

# L É G K Ö R

62. évfolyam

2017. 4. szám





# Országos Meteorológiai Szolgálat

## FELHÍVÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat elnöke – az 58/2012. (VI. 25.) VM rendeletben, valamint a végrehajtására kiadott 16/B/2012. (VI. 25.) VM utasításban foglaltak szerint – a *Meteorológiai Világnap* alkalmából, a hazai és a nemzetközi meteorológia területén kimagasló tudományos kutatások és szakmai eredmények elismeréséül **miniszteri kitüntetések** adományozására kíván előterjesztést tenni.

A korábbi évekhez hasonlóan két *Schenzl Guidó-díj* és négy *Pro Meteorologia Emlékplakett* átadására szeretnénk lehetőséget kapni.

A díj, ill. a plakett várományosára legkésőbb **2018. január hó 26.** napjáig tegye meg javaslatát, amelyet az Országos Meteorológiai Szolgálat Elnöki Irodájára, a személyügyi referensnek kell eljuttatni. (**1024 Budapest, Kitaibel Pál u. 1, saho.a@met.hu**). Az írásos javaslatnak tartalmaznia kell a jelölt *nevét, személyi adatait, munkahelyét, beosztását, tudományos fokozatát, korábbi kitüntéseit*, továbbá szükséges ismertetni az *indítványt megalapozó eredményeket ill. indokokat* is – **minimum 1 oldal terjedelemben**.

A beérkezett javaslatokat bizottság értékeli, amelyben a Szolgálaton kívül a Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálat, a Magyar Tudományos Akadémia, az ELTE Meteorológiai Tanszéke és a Magyar Meteorológiai Társaság képviselteti magát.

A kitüntetéseket a Meteorológiai Világnap alkalmából rendezett megemlékezésen, ünnepélyes keretek között fogja a miniszter, vagy megbízottja átadni.

### Meteorológiai miniszteri kitüntetésben eddig részesült személyek

Év	Schenzl Guidó díj	Pro Meteorologia emlékplakett
1995	Csaplak Andor, Mészáros Ernő	Kéri Menyhért, Kozma Béla, Tünczer Tibor, Tóth Pál
1996	Rákóczi Ferenc, Zách Alfréd	Dunay Sándor, Felméry László, Práger Tamás, Vissy Károly
1997	Czelnai Rudolf, Szász Gábor	Makainé Császár Margit, Mezösi Miklós
1998	Antal Emánuel, Dobosi Zoltán	Bodolainé Jakus Emma, Csomor Mihály, Dombai Ferenc, Horváth Emil
1999	Götz Gusztáv, Justyák János	Simon Antal, Weidinger Tamás, Tar Károly, Torda Lajos
2000	Ambrózy Pál, Major György	Bartholy Judit, Böjti Béla, Horváth László, Posza István
2001	Kéri Menyhért, Varga-Haszonits Zoltán	Bereczky László, Szilágyi Tibor, Heilingbrunnerné Bóna Márta
2002	Koppány György, Vissy Károly	Buránszkiné Sallai Márta, Geresdi István, Németh Lajos, Makra László
2003	Szepesi Dezső	Horváth Ákos, Varga Miklós, Zemankovicsné Hunkár Márta
2004	Bodolai Istvánné	Körösi György, Mika János, Unger János
2005	Tünczer Tibor, Tóth Pál	Bartha Imre, Dunkel Zoltán, Gáspár Pál, Maller Aranka, Matyasovszky István
2006	Kapovits Albert, Nagy Sándor	Antal Emánuelné, Haszpra László, Papp Andor, Tökei László
2007	Láng István	Horányi András, Ináncsi László, Kenderesy Kálmán, Kövér Béláné
2008	Barát József, Horváth Csaba	Ihász István, Károssy Csaba, Németh Péter, Völker József
2009	Horváth László, Mezösi Miklós	Barca Zoltán, Kovács Győző, Tamáskovits Károly, Tölgyesi László
2010	Fejesné Sándor Valéria, Geresdi István	Ács Ferenc, Péliné Németh Csilla, Szilvási Erzsébet, Szudár Béla
2011	+ <i>Dévényi Dezső</i> , Haszpra László, Wirth Endre	Faragó István, Molnár Károly, Putsay Mária, Szeibert Tivadarné
2012	Ináncsi László, Mika János	Buda István, Jákfalvi Mihály, Mészáros Róbert, Pusztainé Holczer Magdolna
2013	Anda Angéla, Práger Tamás	Klaibán Sándor, Löwinger Endre, Puskás János, Radics Kornélia
2014	Bartholy Judit, Dunkel Zoltán	Kovács László, Pappné Ferenczi Zita, Sáhó Ágnes, Zárbok Zsolt
2015	Varga László, Weidinger Tamás	Fejes Edina, Hernádi Balázs, Németh György, Wantuchné Dobi Ildikó
2016	Molnár Károly, Tar Károly	Horváth Gyula, Lakatos Mónika, Pongrácz Rita, Vadász Vilmos
2017	Puskás János, Zemankovicsné Hunkár Márta	Balogh Tibor, Hangyál Gyula, Kis-Kovács Gábor, Szépszó Gabriella

### SZERZŐINK FIGYELMÉBE

A LÉGKÖR célja a meteorológia tárgykörébe tartozó kutatási eredmények, szakmai beszámolók, időjárás események leírásának közlése. A lap elfogad publikálásra szakmai úti beszámolót, időjárás eseményt bemutató fényképet, könyvismertetést is.

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzőkkel nem közöljük. Közlésre szánt anyagokat kizárólag elektronikus formában fogadunk el. Az anyagokat a **legkor@met.hu** címre kérjük beküldeni Word-fájlban. A beküldött szöveg ne tartalmazzon semmiféle speciális formázást. Amennyiben a közlésre szánt szöveghez ábra is tartozik, azokat egyenként kérjük beküldeni, lehetőleg vektoros formában. Az ideális méret 2 MB. Külön Word-fájlban kérjük megadni az ábraalírást. A közlésre szánt táblázatokat akár Word-, akár Excel-fájlban szintén egyenként kérjük megadni. Amennyiben a szerzőnek egyéni elképzelése van a nyomtatásra kerülő közlemény felépítéséről, akkor szívesen fogadunk PDF-fájlt is, de csak PDF-fájllal nem foglalkozunk.

A közlésre szánt szöveg tartalmazza a magyar és angol címet, a szerző nevét, munkahelyét, levelezési és villanypostacímét. Irodalomjegyzéket kérünk csatolni a *Tanulmányok* rovatba szánt szakmai cikkhez. Az irodalomjegyzékben csak a szövegben szereplő hivatkozás legyen. Az egyéb közlemények, szakmai beszámolók esetében is kérjük lehetőség szerint angol cím és összefoglaló megadását.

Felelős szerkesztő:

**Dunkel Zoltán**

a szerkesztőbizottság elnöke

Szerkesztőbizottság:

**Bartholy Judit**

**Bihari Zita**

**Haszpra László**

**Hunkár Márta**

**Sáhó Ágnes**

**Tóth Róbert** főszerkesztő-helyettes

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:

**Dr. Radics Kornélia**

az OMSZ elnöke

Készült:

**HM Zrínyi NKft.**

nyomdájában

**725 példányban**

Felelős vezető:

**Benkóczy Zoltán**

ügyvezető igazgató

Évi előfizetési díja:

**3000.- Ft**

Megrendelhető az OMSZ

Pénzügyi és Számviteli Osztályán

1525 Budapest Pf. 38.

E-mail: [legkor@met.hu](mailto:legkor@met.hu)

## AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

### TARTALOM

CÍMLAPON: Jenki Szilvia: <b>Jégzajlás a Dunán</b> .....	145
<b>Az Országos Meteorológiai Szolgálat felhívása</b> .....	146

### TANULMÁNYOK

Bihari Zita, Lakatos Mónika és Szentimrey Tamás: <b>Felszíni megfigyelésekből készített rácspontri adatbázisok az Országos Meteorológiai Szolgálatnál</b> .....	148
Baranka Györgyi: <b>Városiasodás és a klímaváltozás</b> .....	152
Lázár Dóra és Weidinger Tamás: <b>Ózonkoncentráció előrejelzés és érzékenységi vizsgálat a WRF-SMOKE-CMAQ modellrendszer felhasználásával a Kárpát-medencére</b> .....	158
Göndöcs Júlia, Breuer Hajnalka, Pongrácz Rita és Bartholy Judit: <b>Városi hősziget meghatározásának lehetőségei a WRF modell felhasználásával</b> .....	165
Tarczay Klára és Feiler József: <b>Az éghajlatváltozás kihívásai a méhekre és a méhészetekre</b> . 171	
Pieczka Ildikó, Szabóné André Karolina, Pongrácz Rita és Bartholy Judit: <b>Regionális klímamodell-szimulációk eredményei az új RCP-szenáriók figyelembevételével</b> .....	175
Kis Anna, Pongrácz Rita, Bartholy Judit és Szabó János Adolf: <b>A Felső-Tisza Vízyűjtő vizsgálata éghajlati és hidrológiai szimulációk alkalmazásával</b> .....	179
Szabóné André Karolina, Bartholy Judit és Pongrácz Rita: <b>Hideg légpárna helyzet vizsgálata esettanulmány alapján</b> .....	183
Zsilinszki Anna, Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit és Pongrácz Rita: <b>A Kárpát-medence magaslégköri szeleinek vizsgálata</b> .....	185
Nyitrai László és Tóth Róbert: <b>Globális aerológiai adatbázis és ami mögötte van</b> .....	188
Lakatos Mónika, Weidinger Tamás és Bihari Zita: <b>PannEx – egy formálódó kutatási együttműködés a Kárpát-medencében</b> .....	192
Dunkel Zoltán: <b>A magyarországi klímaváltozás nyomon követése a hőmérsékleti térképek alapján</b> .....	194

### KRÓNIKA

Tóth Róbert: <b>A „VHZ”</b> .....	201
Zsikla Ágota és Szilágyi Eszter: <b>A 2017. évi balatoni és velencei-tavi viharjelzési szezonról</b> ..	206
Tóth Róbert: <b>Németh Tibor észlelő világnapi kitüntetése</b> .....	210
Hoffmann Lilla: <b>2017 őszenek időjárása</b> .....	211
Cserny Tibor: <b>Földtudományos Forгатag – 2017</b> .....	213
<b>A 62. évfolyam (2017) szerzői</b> .....	214
Baranka Györgyi: <b>Történelmi arcképek: Thomas Jefferson</b> .....	215

### LIST OF CONTENTS

<b>COVER PAGE: Szilvia Jenki: Drifting Ice on the Danube)</b> .....	145
<b>Call of Hungarian Meteorological Service</b> .....	146

### STUDIES

Zita Bihari, Mónika Lakatos and Tamás Szentimrey: <b>Gridded Data Series Prepared from Surface Observation at Hungarian Meteorological Service</b> .....	148
Györgyi Baranka: <b>Urbanization and Climate Change</b> .....	152
Dóra Lázár and Tamás Weidinger: <b>Forecast of Ozone Concentration and Sensitivity Study With CMAQ-SMOKE-WRF Air Quality Model System for Carpathian Basin</b> .....	158
Júlia Göndöcs, Hajnalka Breuer, Rita Pongrácz and Judit Bartholy: <b>Possibilities of the Urban Heat Island Analysis using the WRF Model</b> .....	165
Klára Tarczay and József Feiler: <b>Challenges of Climate Change to the Life of Bees and Apiaries</b> 171	
Ildikó Pieczka, Karolina Szabóné-André, Judit Rita Pongrácz and Bartholy: <b>Regional Climate Model Projection Results based on the new RCP Scenarios</b> .....	175
Anna Kis, Rita Pongrácz, Judit Bartholy and János Adolf Szabó: <b>Analysis of the Upper-Tisza Catchment Using Climatological and Hydrological Simulations</b> .....	179
Karolina Szabóné André, Judit Bartholy and Rita Pongrácz: <b>Analysis of Persistent Cold Air Pool: Case Study</b> .....	183
Anna Zsilinszki, Zsuzsanna Dezső, Judit Bartholy and Pongrácz Rita: <b>Analysis of High Level Winds in the Carpathian Basin</b> .....	185
László Nyitrai and Róbert Tóth: <b>Global Aerological Database and Behind the Scenes</b> .....	188
Mónika Lakatos, Tamás Weidinger and Zita Bihari: <b>PannEx – a Prospective Research Collaboration in the Carpathian-basin</b> .....	192
Zoltán Dunkel: <b>Tracking the Climate Change in Hungary Based on Temperature Maps</b> ..	194

### CHRONICLE

Róbert Tóth: <b>Interview with Zoltán Varga-Haszonits</b> .....	201
Ágota Zsikla and Eszter Szilágyi: <b>About the Storm Warning Season at Lake Balaton and Velencei in 2017</b> .....	206
Róbert Tóth: <b>Award of Mr. Tibor Németh Observer for the World Meteorological Day</b> .	210
Lilla Hoffmann: <b>Weather of Autumn of 2017</b> .....	211
Tibor Cserny: <b>Earth Science 'Whirl' – 2017</b> .....	213
<b>Authors of Volume 62 (2017)</b> .....	214
Györgyi Baranka: <b>Historical Portraits: Thomas Jefferson</b> .....	215

# FELSZÍNI MEGFIGYELÉSEKBŐL KÉSZÍTETT RÁCSPONTI ADATBÁZISOK AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLATNÁL

## GRIDDED DATA SERIES PREPARED FROM SURFACE OBSERVATION AT HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

**Bihari Zita, Lakatos Mónika, Szentimrey Tamás**

Országos Meteorológiai Szolgálat, Éghajlati Osztály, 1024 Budapest Kitaibel Pál utca 1.

*bihari.z@met.hu, lakatos.m@met.hu, szentimrey.t@met.hu*

**Összefoglalás.** Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Éghajlati Osztályán (ÉO) készített rácsponi adatsorokat mutatjuk be. Röviden elemezzük az előállításukhoz felhasznált homogenizálási (MASH) és interpolációs (MISH) eljárásokat, majd részletezzük a különböző adatsorok tulajdonságait. Négy homogenizált adatsort ismertetünk: az ÉO feladataihoz használt, évente frissülő adatbázist, a *CarpatClim*, illetve *DanubeClim* adatokat, valamint a *CarpatClim-HU* grideket. Végül a Mezőgazdasági Kárenyhítési Rendszer (MKR) kiszolgálására létrejött, naponta automatikusan frissülő, nem homogenizált adatbázist is bemutatjuk. Mindegyik adatbázishoz mutatunk néhány példát is.

**Abstract.** Gridded data series prepared at the Unit of Climatology of Hungarian Meteorological Service are presented. First we briefly analyze the applied homogenization and interpolation methods, MASH and MISH, then we specify the features of several datasets. Four homogenized data series are described: data series for climate researches at the Unit of Climatology (refreshed annually), as well as the *CarpatClim*, *DanubeClim* and *CarpatClim-HU* grids. Finally we present the data series used for Hungarian Agricultural Risk Management System. These latter data are not homogenized because they are produced operatively day by day. Some examples are also attached.

**Az adatsorok közös jellemzői.** A bemutatott rácsponi adatsorok az OMSZ Éghajlati Osztályán készültek, illetve készülnek. Felszíni mérésekből származó napi adatokon alapulnak. Az OMSZ hivatalos adatbázisában található adatokat a feldolgozás során ellenőrizzük, pótoljuk és homogenizáljuk a MASH homogenizációs módszerrel, majd interpoláljuk a MISH interpolációs módszerrel.

**A MASH homogenizációs módszer főbb jellemzői.** A MASH rendszert (Multiple Analysis of Series for Homogenization) hosszú havi és napi adatsorok pótlására, ellenőrzésére és homogenizálására dolgoztuk ki (Szentimrey, 1999; 2008). Lényegében ez a többi rendszerünk alapja is, hiszen az éghajlatra vonatkozó információ szempontjából a hosszú adatsorok jelentik a térbeli és időbeli mintát. A legújabb MASHv3.03 verzió (Szentimrey, 2014) módszertani alapelvei az alábbiak.

**Havi adatsorok homogenizálása, ellenőrzése, pótlása:**

- A rendszer az ún. relatív homogenitás vizsgálati elv alapján működik. Ennek lényege, hogy egy adott éghajlati elem, különböző megfigyelési állomásokhoz tartozó, azonos időszakra vonatkozó, ugyanazon havi – vagy ugyanazon évszakos, esetleg éves – adatsorait hasonlítjuk össze, és az előforduló ellentmondásokat keressük, vizsgáljuk. Az ezen elv alapján történő homogenizálás célja pontosan a felfedezett ellentmondások megszüntetése, vagyis az ezeket okozó inhomogenitások kiszűrése az adatsorokból.
- Havi adatsorokat homogenizálunk, és a homogenizált évszakos, éves sorokat a homogenizált havi sorokból származtatjuk.

- A rendszer alkalmas additív (pl. hőmérséklet) és kumulatív (pl. csapadék) jellegű éghajlati elemek havi, évszakos, éves adatsorainak homogenizálására.
- Lépésről lépésre működtethető interaktív, fél-automatikus iterációs eljárás.
- Az adattörténeti információkat (ún. meta adatokat) a rendszer képes automatikusan használni.
- A homogenizálás eredménye kiértékelhető, verifikálható. Ez annyit jelent, hogy az eredeti adatsorok és az eredményül kapott sorok inhomogenitásának mértékét, valamint a változtatás mértékét az eljárás során kvantitatíve jellemezzük.

**Napi adatsorok homogenizálása, ellenőrzése, pótlása:**

- A napi adatok homogenizálása a becült havi inhomogenitások felhasználásával történik.
- A rendszer automatikus adatellenőrző és adatpótló eljárást is tartalmaz.

A MASH rendszerünknel különösen a pontos matematikai statisztikai megalapozottságra törekedtünk, ugyanis sok, a gyakorlatban elterjedt módszer gyengesége pontosan ennek hiányával, azaz az elméleti háttér elnagyolásával, elhanyagolásával magyarázható.

**A MISH interpolációs programrendszer főbb jellemzői**

A MISH rendszert (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis) meteorológiai elemek földfelszíni értékeinek interpolációjára dolgoztuk ki (Szentimrey, T. and Bihari, Z., 2007). A rendszer tulajdonképpen két részre bontható, nevezetesen az éghajlati modellező és az interpolációs részre. Az interpolációs rendszer a modellező rendszer eredményeinek felhasználásával működik.

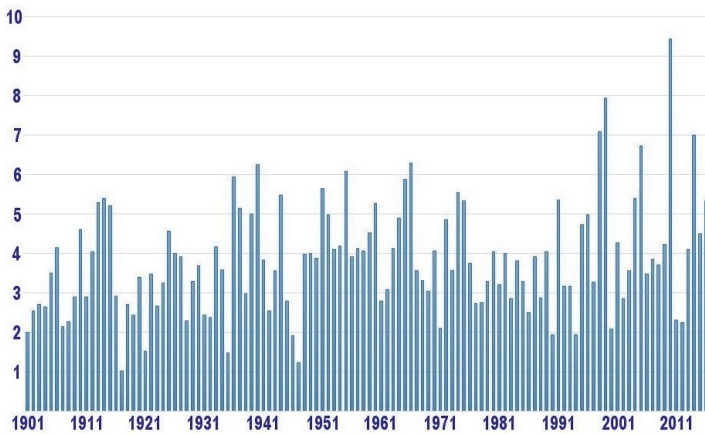
*Modellező programrendszer az éghajlati statisztikai paraméterekre:*

- Hosszú homogenizált adatsorok és determinisztikus modellváltozók (pl. topográfia) alapján működik.
- A modellezést csak egyszer kell elvégezni az interpolációs alkalmazások előtt.

*Interpolációs programrendszer:*

- Additív (pl. hőmérséklet), vagy multiplikatív (pl. csapadék) modell és interpolációs formula alkalmazható a meteorológiai elem eloszlásától függően.
- Lehetséges mind a napi, havi értékek, mind a sokévi átlagok interpolálása.
- Kevés prediktor is elegendő, tekintettel a korábbi modellezésre.
- Becslés az interpolációs hibákra, mégpedig a reprezentativitás értékekre.
- Lehetőség háttérin-formáció (pl. műholdas információk, radaradatok, illetve előrejelzések) használatára.
- A programrendszer képes adatsorok rácspontokba való interpolációjára (gridding).

**Évente frissülő adatbázis.** Az adatbázis elkészítésének



1. ábra: A 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok országos átlaga az 1901–2016 időszakban

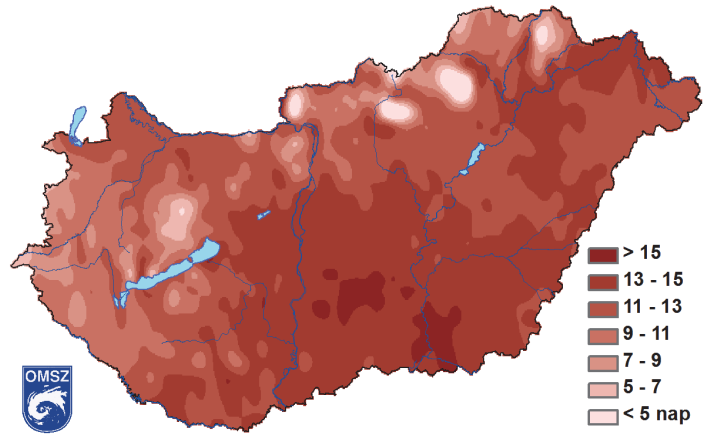
célja az Éghajlati Osztályon végzett kutatási és szolgáltatási feladatok adatigényének biztosítása, az adatok tehát nem publikusak. Jelenleg a legtöbbször használt éghajlati paraméterekre, a napi közép-, maximum- és minimumhőmérsékletre, valamint a napi csapadékösszegre állnak rendelkezésre. Az adatsorokat évente frissítjük, az idei évben jelentősen bővítettük a felhasznált állomások számát.

A tárolt rácsponti adatsorok felbontása  $0,1^\circ$ , de egy-egy konkrét időpontra (1 nap – 1 év, sokévi átlagok) vonatkozó térkép jobb, akár fél perces felbontásban is elkészíthető.

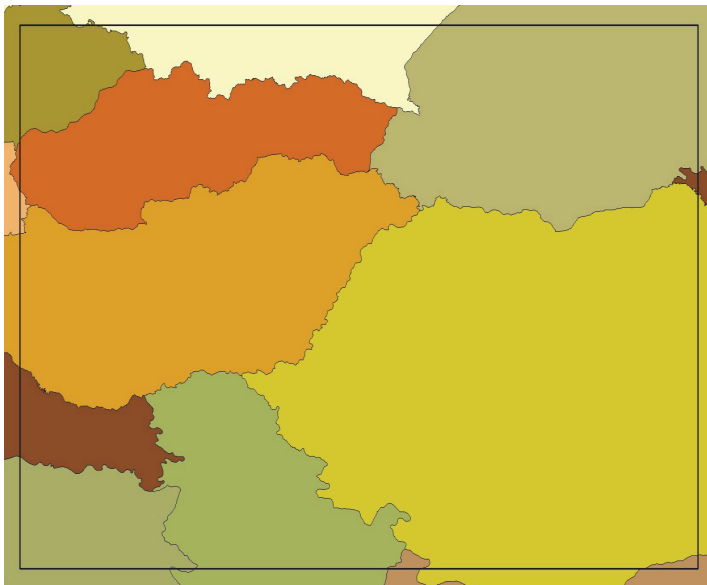
Felhasznált alapadatok:

- napi közép-, maximum- és minimumhőmérséklet:
  - 25 állomás 1901-től,
  - 58 állomás 1971-től;
- napi csapadékösszeg:
  - 131 állomás 1901-től,
  - 461 állomás 1951-től.

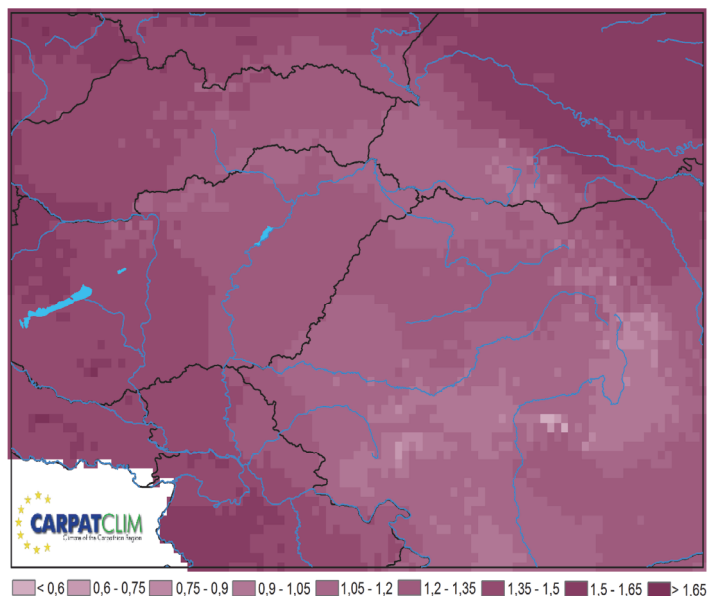
Példaként egy grafikont és egy térképet mutatunk be, melyek a legfrissebb, 2016-os adatokat is felhasználják (1. és 2. ábra). Az országos átlagokat bemutató grafikon



2. ábra: A hóhullámos napok változása az 1981–2016 időszakban



3. ábra: A CarpatClim területe



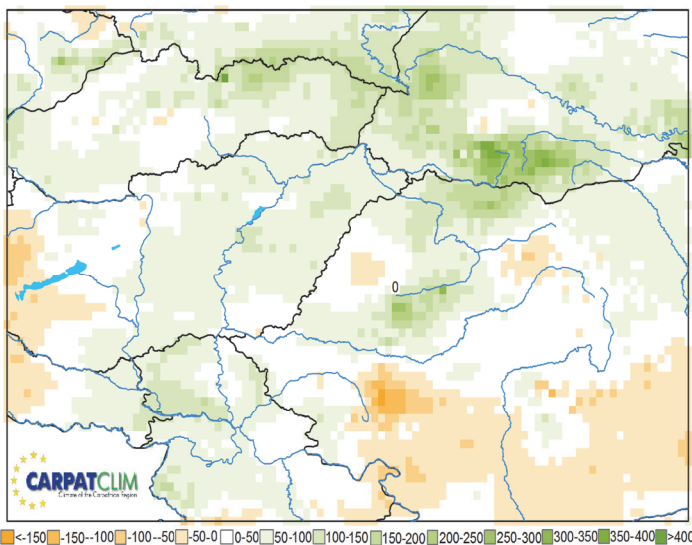
4. ábra: Az évi középhőmérséklet változása 1961–2010 között

esetében az országos átlagot a rácsponti adatok átlagaként (és nem állomási átlagként) számoljuk.

**A CarpatClim adatbázis.** Az adatbázis az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (Joint Research Center – JRC) által kiírt projekt eredményeként jött létre (CarpatClim, 2013). A konzorcium vezetője és szakmai irányítója az OMSZ volt, az adatsorok előállításához minden résztvevő a MASH-MISH rendszereket használta saját adataira, ami lehetővé tette, hogy a térségben jellemző szigorú adatpolitika ellenére a rendelkezésre álló összes állomási adatot fel lehessen használni. Annak elkerülésére, hogy a politikai határok megjelenjenek az

- közép-, maximum- és minimumhőmérséklet;
- csapadék;
- átlagos szélesség, szélirány, maximális szélesség, szélesség 2 m-en;
- napfénytartam, globálsugárzás;
- felhőzet;
- légnyomás, párányomás, relatív nedvesség;
- hóvastagság, hó vízezenérték.

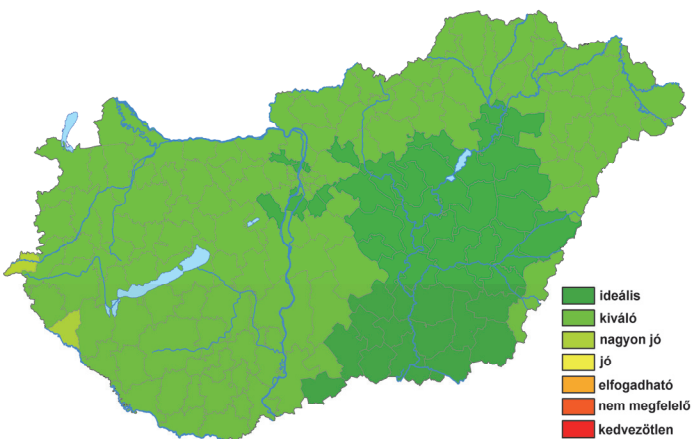
A napi adatokon kívül számos származtatott paraméter és index is kiszámításra került. Példaként az évi középhőmérséklet és csapadékösszeg 1961–2010 közötti változását mutatjuk be (4. és 5. ábra).



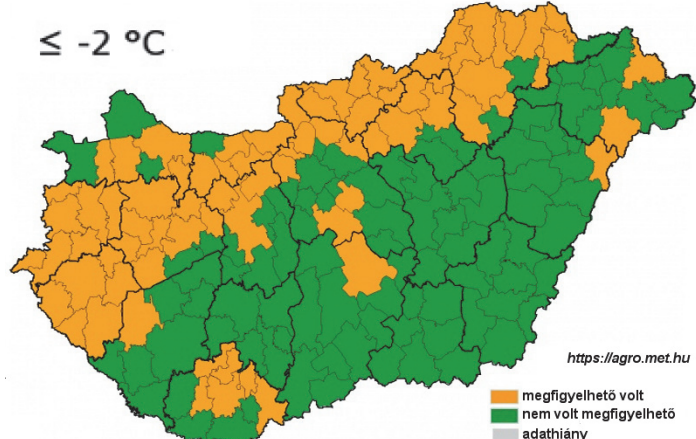
5. ábra: Az évi csapadékmennyiség változása 1961–2010 között



6. ábra: A DanubeClim jelenlegi területe



7. ábra: Módosított Turisztikai Klímaindex (TCI) kategóriák, 1961–1990, július



8. ábra: Fagy előfordulása 2017 áprilisában járásonként

adatsorokban, a nemzeti szintű homogenizáció és interpoláció a határ menti állomások adatainak cseréjével történt, majd a teljes területre az országos rácsponti adatsorok harmonizációjával készült el a közös rendszer.

Az adatsorok az 1961–2010-es időszakot és az  $50^\circ\text{N}$ – $44^\circ\text{N}$ ,  $17^\circ\text{E}$ – $27^\circ\text{E}$  közötti területet fedik le, Bosznia kivételével (3. ábra). A napi adatsorok  $0,1^\circ$ -os felbontásban készültek a következő meteorológiai paraméterekre:

A hosszú időszak és a résztvevő országok eltérő mérési gyakorlata miatt kompromisszumos megoldásokra is szükség volt, melyről a honlapon megtalálható beszámolókból lehet részletesen tájékozódni.

Az adatsorok ingyenesen letölthetők a projekt honlapjáról.

**A DanubeClim adatbázis.** A CarpatClim-hez hasonlóan szintén a JRC kezdeményezésére jött létre azzal a céllal,

hogy a *CarpatClim* által lefedett területet a Duna teljes vízgyűjtőjére kiterjesszék. Az alkalmazott módszer, a rácsávolság és az időszak ugyanaz, mint a *CarpatClim*-nél volt, az előállított meteorológiai paraméterek száma azonban kisebb, és országonként nem teljesen ugyanaz.

Jelenlegi állapotában az adatsorok az alábbi területekre készültek el: Magyarország 17°-tól nyugatra eső sávja, Szerbia déli része, Boszniai Szerb Köztársaság, Montenegró (6. ábra).

A projekt ezúttal bilaterális szerződések formájában valósult meg, az OMSZ feladatai között ismét szerepelt a szakmai irányítás is. A nemzeti szinten történő homogenizálás és interpoláció minden országban lezajlott, megtörtént az adatsorok összefésülése is. Publikálásuk mi-kéntje a JRC döntésére vár.

**A *CarpatClim-HU* adatbázis.** Magyarország éghajlati állapotának, az éghajlatváltozás hatásainak elemzésére, a változó körülményekhez igazodó döntés-előkészítés, döntéshozás és tervezés elősegítésére a 94/2014. (III. 21.) Korm. rendeletben szabályozott módon létrejött a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR, 2016).

A *CarpatClim* projektet követően az OMSZ felkérést kapott, hogy az abban szereplő meteorológiai paraméterek egy részét Magyarország egészére meghatározza és a NATÉR részére átadja. Az adatátadás a következő meteorológiai paraméterekre valósult meg a *CarpatClim*-ben használt módszerekkel, térbeli felbontással és időszakkal megegyezően:

- napi maximum- és minimumhőmérséklet;
- napi csapadék;
- évi átlagos szélesség 2 m-en;
- napi globálsugárzás;
- évszakos relatív nedvesség.

A Magyarország egész területét lefedő, de egyébiránt a *CarpatClim* adatsorokkal mindenben megegyező rács-ponti adatokat a mindkét tulajdonságot tükröző *CarpatClim-HU* névvel láttuk el.

Az adatok felhasználásával több kiegészítő projekt is megvalósult (*Alkalmazkodás az éghajlatváltozáshoz*, 2013). Közéjük tartozik az OMSZ vezetésével lezajlott KRITÉR projekt is (A klímaváltozás okozta sérülékenysé-g vizsgálata, különös tekintettel a turizmusra és a kritikus infrastruktúrára; Bihari, Z., 2016), melyben többek között különböző turisztikai klímaindexeket állítottunk elő (7. ábra).

**Rács-ponti adatok a mezőgazdasági kárenyhítési rendszer (MKR) részére.** Az MKR célja a mező- és erdőgazdaságot sújtó időjárási és más természeti eredetű elháríthatatlan külső ok miatti káresemények hatásainak egységes kezelése, melyet a *mezőgazdasági termelést érintő*

*időjárási és más természeti kockázatok kezeléséről szóló 2011. évi CLXVIII. törvény szabályoz.* A törvény értelmében az OMSZ az *agro.met.hu* oldalon az aszályal, a felhőszakadással, a viharos széllel és a fagygal kapcsolatos információkat jeleníti meg, melynek alapja egy 0,05° felbontású, napi csapadék, szélesség és minimumhőmérséklet adatokból álló, operatív, naponta frissülő rács-ponti adatbázis (*Agrárkár enyhítés*, 2013). A csapadékatok interpolálása során az állomási adatok mellett a MISH háttérinformációként a radaros csapadékmérés eredményeit is felhasználja, amivel pontosabb képet kapunk a csapadékhullás területi eloszlásáról. Mivel az eljárás naponta frissít az előző nap adataiból, ebben az adatbázisban az adatok nem homogenizáltak, 2013 novemberétől állnak rendelkezésünkre. Példaként a 2017. áprilisi időszak fagyterképét mutatjuk be (8. ábra).

## Irodalom

- Agrárkár enyhítés*, 2013: <https://agro.met.hu/>  
*Alkalmazkodás az éghajlatváltozáshoz*, 2013: <http://eea.rec.org/tamogatott-projektek.html>  
 Bihari, Z., 2016: A klímaváltozás okozta sérülékenysé-g vizsgálata, különös tekintettel a turizmusra és a kritikus infrastruktúrára, KRITÉR (EEA-C12-13) projekt zárójelentés, *Országos Meteorológiai Szolgálat*, pp. 19. <http://www.met.hu/KRITeR/hu/publikacio/>  
*CarpatClim*, 2013: Climate of the Carpathian Region. <http://www.carpatclim-eu.org>  
 KRITÉR, 2015: A klímaváltozás okozta sérülékenysé-g vizsgálata, különös tekintettel a turizmusra és a kritikus infrastruktúrára. <http://www.met.hu/KRITeR/hu/kezd/index.php>  
 NATÉR (Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer), 2016: <http://nater.mfgi.hu/>  
 Szentimrey, T., 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). In: Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary. *WMO, WCDMP-N° 41*, 27–46.  
 Szentimrey, T., 2008: Development of MASH homogenization procedure for daily data. In: Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases, Budapest, Hungary, 2006. *WCDMP-No. 71, WMO/TD-N° 1493*, 123–130.  
 Szentimrey, T., 2014: Manual of homogenization software MASHv3.03, Hungarian Meteorological Service, p. 70.  
 Szentimrey, T. and Bihari, Z., 2006: MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). In: Tveito, O. E., Martin Wegehenkel, M., van der Wel, F and Dobesch, H.: COST Action 719 Final Report. The use of GIS in climatology and meteorology, 54–56.  
 Szentimrey, T. and Bihari, Z., 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). In: *Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology*, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, *COST Office*, 17–27.  
 Szentimrey, T. and Bihari, Z., 2014: Manual of interpolation software MISHv1.03. *Hungarian Meteorological Service*, pp. 60

# VÁROSIASODÁS ÉS A KLÍMAVÁLTOZÁS

## URBANIZATION AND CLIMATE CHANGE

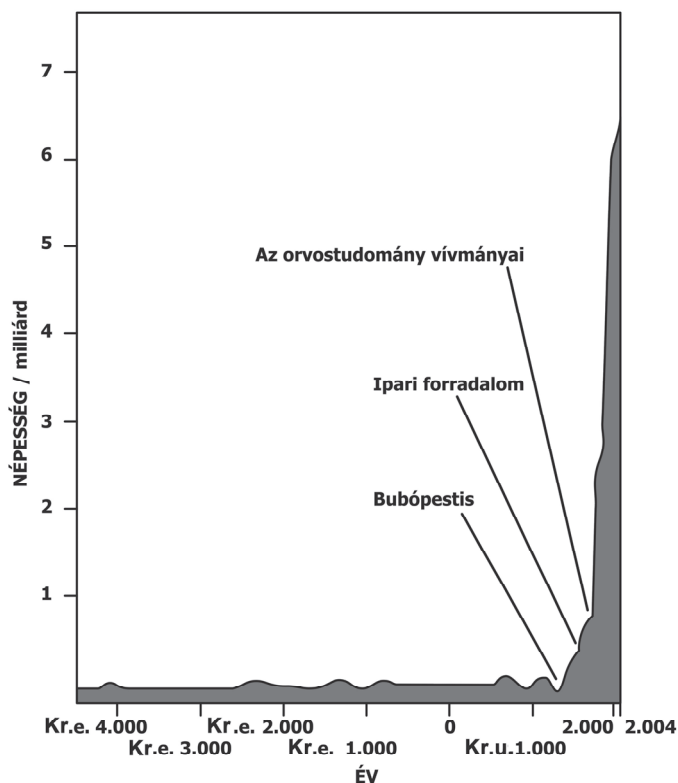
**Baranka Györgyi**

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1525 Budapest Pf. 38., [baranka.gy@met.hu](mailto:baranka.gy@met.hu)

**Összefoglalás:** A városi népesség történelmi távlatokba visszanyúló digitalizált adatbázisának 2016-os megjelenése akár a városi klímakutatásoknak is új lendületet adhat. A világviszonylatban is egyre nagyobb méreteket öltő urbanizációs folyamatok és a globális klíma előrejelzések ismeretében a jövő városainak éghajlati viszonyai, a hősziget jelenségek kialakulásának gyakorisága is meghatározható. Statisztikailag jól definiálható kapcsolat létezik a városi népességszám és a napi hősziget intenzitás maximális értéke között. Napjainkban a drasztikusan növekvő városi népességnek kell szembenéznie a felmelegedés és az áradások okozta környezeti kihívásokkal. Ugyanakkor a városiakok a természeti károk ellen saját erejükből nehezen tudnak védekezni. A várostervezők, az építészek, a tájépítészek felelőssége, hogy a sérülékeny népesség klímaváltozással szembeni alkalmazkodását segítsék, és így például a hőstressz kialakulását csökkentsék. Az Urban Heat Island (UHI- városi hősziget) elnevezésű, a Central Europe Programme által támogatott pályázat keretében Budapest egy belvárosi területén olyan építészeti és zöldterületfejlesztési megoldásokat dolgoztunk ki, amelyek a környék lakosainak komfortérzetét jelentősen javíthatják.

**Abstract:** In 2016 appearance of retrospective digitized database of urban population can give new impetus to the urban climate research as well. Knowing increasing levels of urbanization and global climate forecasts the climate of future cities and the frequencies of urban heat island phenomena can be determined. There is a good defined statistical relationship between urban population and the daily maximum heat island intensity. Nowadays dramatically growing urban population should be faced to environmental challenges caused by global warming and floods. However, citizens have difficulties when relying on their own resources to defend against natural damages. The responsibility of urban planners, architects, landscape designers is to help vulnerable population in adaptation to climate change and for example in mitigation of heat stress. In the framework of Urban Heat Island (UHI) project supported by the Central Europe Programme architecture and green space development solutions have been elaborated in city centre of Budapest to significantly improve the wellbeing of local population.

### A Föld népességének alakulása. Napjainkban a Föld



I. ábra: A Föld népességének alakulása Kr. e. 4000 és 2004 között (<https://online.science.psu.edu/>) ©The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission granted for reproduction

népességének drámai növekedésével kell szembesülnünk. A történelmi távlatokba visszanyúló népességszám diagramon (I. ábra) „hokiütőszerű” exponenciális emelkedést tapasztalhatunk az utóbbi 100–150 évben, amikor is kb. 5 milliárddal nőtt a Föld népessége. Az ábra tanúsága szerint Kr.e. 4000 és Kr.u. 1000 között a Föld lakosainak száma jelentősen nem változott, évezredek alatt kb. 300 millió lélekszám körül ingadozott. A XIV. század közepén észrevehető jelentősebb népességfogyást a bubópestis járvány okozta. A XVIII. század végétől elindult növekedésnek köszönhetően a Föld népessége elérte az 1 milliárdot. Az ipari forradalom vívmányai, a gépesítés lehetővé tette az emberi és állati munka kiváltását, hatékonyabb lett a munkavégzés és javult az emberek életminősége. A mezőgazdaság területén is óriási előrelépést jelentett, hogy az egyes növényeket elkülönítve termesztették, ezáltal a betegségekkel szemben ellenállóbbak lettek, és így növekedtek a termésátlagok. A XIX. és XX. században az orvostudomány fejlődésének köszönhetően azok a betegségek, melyek korábban több ezer, sokszor több millió ember halálát okozták, nem jelentettek már veszélyt. A XX. század elején a gyermekbénulás volt rettegett vírusos betegség, melyben évente több ezer ember meghalt vagy nyomorékká vált. Míg 150 éve a gyerekek egy jelentős része nem érte el a felnőttkort, azóta a csecsemő- és gyermekhalandóság drasztikusan csökkent különösen a fejlett országokban. Az orvostudomány eredményei miatt javult az életminőség, a betegségek megelőzhetővé váltak, és nőtt az embe-

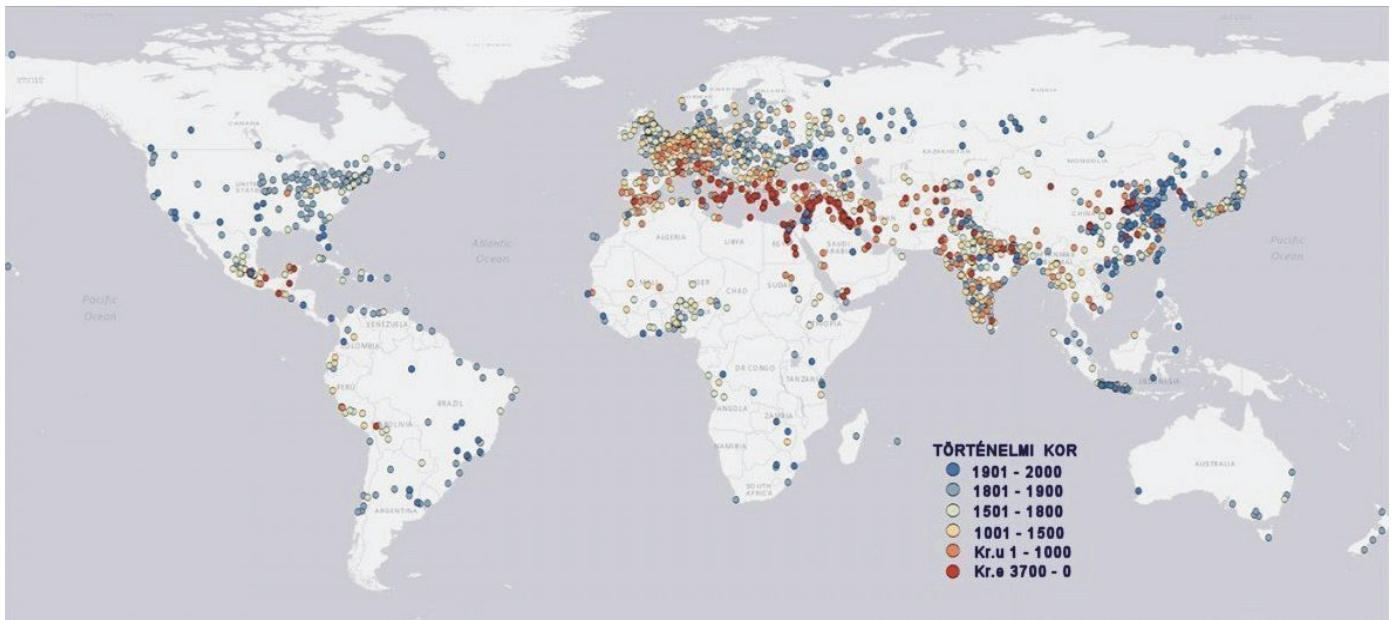


rek várható élettartama is. Napjainkban a modern orvostudomány eredményeit szerte a világban alkalmazzák; igaz, még mindig vannak olyan részei a világnak, ahol nagy a gyermekhalandóság.

**Urbanizáció.** Az utóbbi 50-60 évben a népességnövekedéssel együtt a városok száma, nagysága és népessége is emelkedett, sőt a városi népesség növekedési üteme több, mint kétszerese az átlagos népességnövekedésnek. Tehát a Föld népességének egyre nagyobb százaléka lesz város lakó. 1800-ban a népesség csupán 3%-a élt városokban. Az ipari forradalom hatására a XIX. században az urbanizáció folyamata jelentősen felgyorsult. 1960-ban a Föld népességének még csupán 34%-a volt város lakó, jelenleg ez az arányszám 54%, és a 2030-ra vonatkozó előrejelzések szerint el fogja érni a 75%-ot.

A városnak különböző definíciói léteznek attól függően, hogy mely történelmi korra vonatkozik, vagy, hogy me-

ban 2016 júniusában új időszak kezdődött a városkutatás történetében. A *Yale School of Forestry & Environmental Studies* megjelentette és szabadon hozzáférhetővé tette a civilizációk fejlődését nyomon követő globális léptékű digitalizált adatbázist (*Reba et al, 2016*). A történelmi adatgyűjtésnek és a kutatásoknak köszönhetően az elmúlt 6000 év (Kr. e. 3700-tól napjainkig) városainak kialakulását és pusztulását kísérhetjük figyelemmel. A civilizációk fejlődésének az írásbeliség megjelenése adott lendületet, lehetővé téve a városok igazgatásának, életének megszervezését. Az agyagtáblák rögzítették a bronzkori Mezopotámia népeinek társadalmi, vallási, gazdasági és kulturális szabályait, valamint a törzsi és nagycsaládi szokásjogot. Az öntözéses földművelést olyan fejlett fokra emelték, mely már lehetővé tette több tízezer ember élelmezését. Az első város a sumér Eridu volt. Az adatbázis is vele kezdődik, Kr. e. 3700-ban már 6 000 volt lakosainak száma. A legkorábbi időszakban



2. ábra: A városi fejlődés az elmúlt 6000 évben (<http://environment.yale.edu>)

lyik tudományág határozza azt meg. Általánosan elmondható, hogy a város olyan nagyobb lélekszámú település, amelyben az ipari, közlekedési, kereskedelmi, közigazgatási, oktatási, kulturális és szociális funkciók a meghatározóak, és ezek hatásterülete túlnyúlik a település határán, tehát a környezetére is hatást gyakorol. Az építészet a zárt utcahálózat, a többszintes épületek, a közművek kialakításához köti a város fogalmát. A statisztika számára a népességszám a fontos paraméter. Míg a közigazgatást tekintve város az a település, mely városi jogokkal rendelkezik és közigazgatási funkciókat lát el. A történelem folyamán létrejött fejlett civilizációk mindig városokhoz voltak köthetőek, amelyek virágzása vagy pusztulása nagy hatással volt az adott kultúrára. A történelem folyamán városnak lenni mindig is rangot jelentett, évszázadokon át külön jogok jártak ezzel a címmel (például árumegállítási, vámszedési jog stb.). A statisztikai vizsgálatokban a világ urbanizációs folyamatait általában csak 1950-ig szokták visszavezetni. Azon-

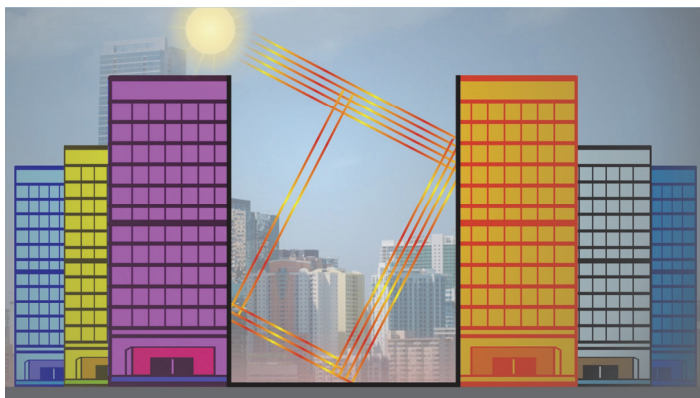
(Kr. e. 3500–Kr. e. 2500 között) 17 sumér és egy szír település népessége haladta meg a tízezer főt. A későbbiekben Mezopotámia lakosságának 80 százaléka már legalább 40 hektár területű városokban élt, amely városoknak lakossága 15 ezer és 30 ezer fő között mozgott.

A városi fejlődésbe Egyiptom is bekapcsolódott, hiszen Kr. e. 2000-re a legnagyobb város Memphis lett 60 ezres lélekszámmal.

A Yale Egyetem adatbázisában egy-egy település (<http://www.nature.com/articles/sdata201634>) a városi rangot, városi minősítést a lakosság száma alapján kaphatta meg. Természetesen - az eltérő civilizációs fejlettség miatt - mást és mást jelent városnak lenni az ókorban és mást a modern időkben. A kutatók ezért három nagy történelmi időszakot jelöltek ki az adatbázisban, amelyekben a városi „rangot” különböző lakosságszám esetén kaphatták meg a települések:

- Ősi időszak (Kr. e. 3500 – Kr. e. 1000), lakosok száma  $\geq 10\ 000$
- Klasszikus (Kr. e. 1000 – Kr. u. 1000), lakosok száma  $\geq 100\ 000$
- Modern kor (Kr. u. 1000-tól napjainkig), lakosok száma  $\geq 1\ 000\ 000$ .

E történelmi korok városainak megjelenését térképen ábrázolták (<http://environment.yale.edu> – 2. ábra). Az időbeli fejlődés gyorsasága azonban ilyen térképen nem érzékelhető, ezért néhány perces filmet készítettek a városi fejlődés időbeli lefolyásának szemléltetésére (<http://metrocism.com/history-of-cities/>). Az azonos időszakban virágzó városok világtérképen történő ábrázolása lehetőséget teremt arra, hogy összefüggéseket keressünk a területi és időbeli eloszlások között. Láthatjuk, hogy az ősi időszakban a korai városok pl. Kínában és Közép-Amerikában közel azonos szélességi körön helyezkedtek el. Feltételezhető tehát egyfajta kapcsolat a városiasodás és az éghajlat között, mely további kutatást igényel. A felmérésből kitűnik, hogy a Föld egyes tájai,



3. ábra: A házfalakra érkező napsugárzás

pl. Európa és Kelet-Ázsia sokkal dominánsabbak voltak a városi fejlődés tekintetében, mint a többi területek. A videotechnikának köszönhetően a XIX. század végi és a XX. század folyamán tapasztalt városi népesség ugrászerű növekedése a filmes vizualizációnál is érzékelhető volt, hiszen a világtérképen a városok villanásszerűen bukkannak fel ([www.theguardian.com](http://www.theguardian.com)).

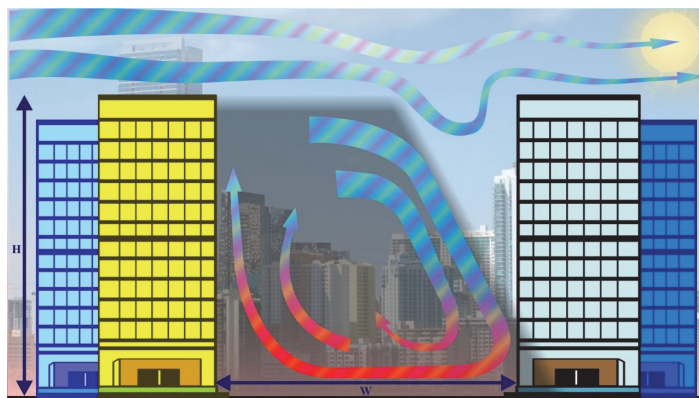
Az itt bemutatott digitalizált adatbázis szabadon elérhető bárki számára, és kiinduló pontja, alapja lehet bármilyen vizsgálatnak, amelyet a különböző tudományágak ([https://figshare.com/articles/Chandler\\_Population\\_Data/2059494](https://figshare.com/articles/Chandler_Population_Data/2059494)) célként jelölnek ki. Segítségével vizsgálhatók a múltbeli klíma adatsorok és lakosságszám közötti összefüggések, vagy egyéb urbanizációs folyamatok. Az adathalmaz az újabb ismeretek birtokában folyamatosan bővíthető, tökéletesíthető és pontosítható.

Európában, Észak- és Dél-Amerikában a városiasodás folyamatát már befejezettnek tekinthetjük az elmúlt két-három évszázadban végbement változások alapján. A Föld más tájain (főként Délkelet-Ázsiában) ezek a folyamatok most vannak kialakulóban. A Yale Egyetem adatbázisában az utolsó adatok 2000-es évek körüliek, tehát a nagy ázsiai népességnövekedés –, amely a XXI.

században kezdődött – még nem szerepel benne. Ez is mutatja, hogy ez nem egy végleges adatbázis. A készítőinek az volt a szándéka, hogy összegyűjtse a számtalan forrásból eredő információkat, mely a városi fejlődés területén fellelhető, és könnyen használható formában a felhasználók rendelkezésére bocsássa, hogy teszteljék, kiegészítsék és tökéletesítsék azt.

**A városi jövőkép.** Előrejelzésekből tudjuk, hogy századunkban a fejlődő világ nagyvárosi népességének növekedése lesz a meghatározó demográfiai folyamat. Latin-Amerika népességének 73%-a városokban él, és ezzel itt az urbanizáció mértéke Európához és Észak-Amerikához hasonlítható. Afrikában és Ázsiában várható további emelkedés, ahol is jelenleg csak kb. 30–35%-a a lakosságnak városlakó. A 2030-ra szóló előrejelzések szerint a további 2,7 milliárdos világméretű népességnövekedés színtere a fejlődő országokban lesz.

A középkori városok kis méretűek voltak, kis népességgel, a zárt városfalak a település védelmi funkcióját látták el. Az ipari forradalom a városok szerkezetét is megváltoztatta. A vasútvonalak és az úthálózatok kialakítá-



4. ábra: Zárt légörvény kialakulása utcakanyonban

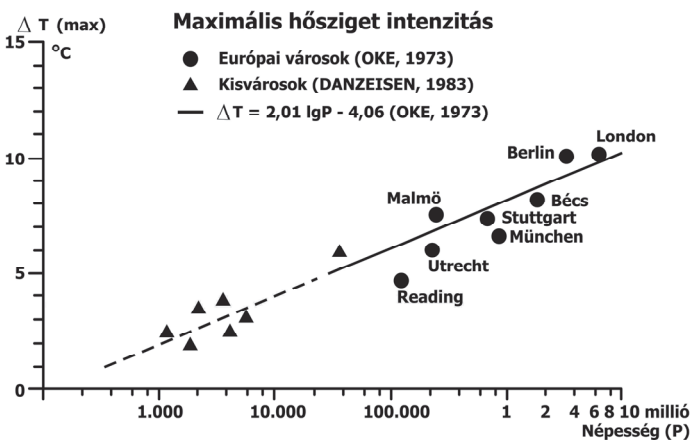
sával a zárt szerkezeti egysége is megbomlott. Az ipari létesítmények fellendítették a városok fejlődését. A későbbiekben azt tapasztalhattuk, hogy az üzleti élet és a pénzügyi központok létrejötte ugyanilyen lendületet adott a fejlődésnek. Némely nagyváros környékén települések gyűrűje jött létre, a városhoz tartozó agglomeráció népsűrűsége néhol igen jelentős lett, pl. Németország legnagyobb összefüggő városrégiójában, a Ruhr-vidéken 5,3 millió ember él 4435 km<sup>2</sup>-en. A városok munkaerő-elszívó hatása egyre nagyobb távolságokra érvényesül, néhol a napi ingázás a városoktól 100 km-es távolságra is kiterjedhet. Új fogalmak jönnek létre a tájépítészetben, mint az urbanizált táj, amikor a város szinte teljesen feloldódik a tájban.

A jelenkor települései már átlépték történelmi határaikat, és olyan új igények és megoldandó feladatok jelentkeztek a fejlődésüknél, amely már különböző szakterületek (városépítő, környezetvédő, ökológus, kertész stb.) összefogását, együttgondolkodását igényli.

A világvárosok kialakulása veszélyeket is rejt magában, hiszen újabb és újabb hatalmas területekre terjeszti ki az

emberiség a tevékenységét, aminek következtében megjelenik a környezetszennyezés és a természetkárosítás. Ez számos kihívással szembesíti a világvárosi törekvéseket. Ezek közül az egyik az épített és természeti környezet egyensúlyának megteremtése, mely alapja lehet a fenntartható városi fejlődésnek.

**Káros környezeti hatások.** A város számos olyan környelmi szolgáltatást kínál lakóinak, amely vonzza a beköltözőket; ilyen az egészségügyi és oktatási szolgáltatás, villamosáram, ivóvízellátás, közösségi közlekedés, gyors információáramlás. E szolgáltatások kiépítése olcsóbban és egyben kisebb környezetkárosítással megoldható sűrűn lakott, városi területen, mint vidéken. Ugyanakkor a nagy létszámú lakosság viszonylag kis területen való összezsúfolódása magas higiénés kockázattal is jár, ezért a városokban a szennyvíz- és a hulladékkezelés korszerű és szakszerű kiépítése elengedhetetlen. További környezeti károkat jelentenek a városokban az ipari és lakossági energiaszennyezésből származó légszennyezőanyagok megjelenése, továbbá nő a zajterhelés is, valamint a városi hősziget hatás jelenségével is számolnunk kell.



5. ábra A lakosság száma ( $P$ ) és a maximális hősziget intenzitás  $(\Delta T)_{max}$  összefüggése Európában (*Climate Booklet for Urban Development, 2012 alapján*)

**A városi hősziget hatás okai.** A városi felszín borítottsága jelentősen eltér a természetestől. A város felszínének nagy részét szilárd burkolat borítja, ami megakadályozza a víz talajba történő lefolyását, beszivárgását. A városi növényzet nem jut hozzá a talajban tárolt víztartalékokhoz, életben maradása veszélybe kerül, és így a környezet hűtő hatása nem tud érvényesülni. A beépített területeken jelentősen nőhet az árvízveszély is, ugyanis a csapadék a csatornahálózaton keresztül a felszíni vizeket terheli, és nem jut el a felszín alatti vizekbe. A talajba lejutó és tárolható víz mennyisége minimális. A felszíni párolgás hiánya miatt a városi környezet levegőjének hőmérséklete magasabb. Az épített környezet eltérő fizikai tulajdonságainak –, mint a felszín sugárzást visszaverő- és elnyelőképességének – megváltozása miatt a városokban a hőmérséklet növekszik. A beépítettség, az épületek szabálytalan alakja és elhelyezkedése miatt csökken a városokban a szélsébség és az átszellőzés

mértéke. Az utcakanyonokban megreked, a többszöri sugárzás visszaverődés miatt felmelegszik a levegő (3. ábra). A szűk utcakanyonokban a zárt légörvények kialakulása (4. ábra) a feldúsult meleg és szennyezett levegő távozását megnehezíti. Az emberi tevékenységből (főként a hőerőművek, az épületek hűtéséből és fűtéséből, az ipari tevékenységből és a járművek kibocsátásából stb.) származó hőtermelés szintén a hősziget hatást növeli. A városokban felhalmozódott légszennyezőanyagok a napsugárzás elnyelő és visszaverő hatásukkal módosítják a városi éghajlatot. Az aeroszolok a hosszuhullámú sugárzás elnyelő, míg a PM (Particulate Matter) rövidhullámú sugárzást visszaverő és elnyelő hatást fejt ki. Továbbá a PM, mint kondenzációs mag játszik szerepet a felhő- és csapadékképződésben.

A fentebb részletezett okok a városi hősziget jelenség kialakulásához vezetnek, amikor is a városok átlagosan 1–2 °C-kal melegebbek, mint a környező vidéki területek. A hőmérséklet-különbség egy nagyobb város és a környező vidéki területek között nappal átlagosan kisebb, éjszaka nagyobb (átlagosan akár 2 °C is lehet – Landsberg, 1981). Nagy hőmérséklet-különbség tapasztalható derült éjszakákon, alacsony szélsébségnél, a napi minimum hőmérsékletek idején. A hősziget intenzitás ( $\Delta T$ ) bevezetésével –, mely a városi ( $T_u$ ) és vidéki ( $T_r$ ) terület hőmérséklet különbségéből adódik ( $\Delta T = T_u - T_r$ ) – jellemezhetjük ezt a jelenséget.

A városban tapasztalt hősziget intenzitást befolyásolja, hogy milyen szerkezetű a település, milyen a beépítettség mértéke, lakosainak száma és milyen a településen végzett tevékenység. A város lakosainak száma és a városi hősziget intenzitás egymással szoros kapcsolatban levő mennyiségek. Oke (1973) különböző empirikus formulákat határozott meg a lakosság száma ( $P$ ) és a maximális hősziget intenzitás ( $\Delta T_{max}$ ) között különböző kontinensekre.

Észak-Amerikára:

$$\Delta T_{max} = 3,06 \cdot \log(P) - 6,7 \quad (1)$$

és Európára

$$\Delta T_{max} = 2,01 \cdot \log(P) - 4,06. \quad (2)$$

A standard hiba az első formulánál  $\pm 0,7$  °C, a másodikon pedig  $\pm 0,9$  °C. Egy holland tanulmány (van Hove et al., 2011) szerint az Európára vonatkozó formula az alábbi egyenlettel is megadható:

$$\Delta T_{max} = 2,93 \cdot \log(P) - 11,95. \quad (3)$$

Az 5. ábra az európai viszonyok között szemlélteti a hősziget hatás és a város lakosainak száma közötti kapcsolatot a *Climate Booklet for Urban Development* (2012) internetes kiadvány alapján. A tapasztalatok szerint többmillió városok esetében a maximális hőmérséklet-különbség ( $\Delta T_{max}$ ) a 10 °C-ot is meghaladhatja. Az ábrából láthatjuk, hogy kisebb európai települések esetében is kialakulhat hősziget hatás (Danzeisen, 1983), amely az Oke (1973) által meghatározott egyenlettel leírt vonalra jól illeszkedik. A Yale Egyetem által kidolgozott lakosságszámra épülő adatbázis jó kiindulópontja lehet további vizsgálatoknak, amelyek a népesség és a hősziget

intenzitás közötti kapcsolatot keresik különböző történelmi korokban.

**Várostervezési eszközök a hősziget hatás csökkentése érdekében.** A klímaváltozás következményeképpen a városi területek éghajlata is átalakulóban van. A városi lakosság a környezeti kihívásokkal szemben sokkal kevésbé tud védekezni, mint vidéki társaik. A városi népesség folyamatosan növekszik, így egyre nagyobb, a környezeti kihívásokra érzékeny népességgel kell számolnunk. Szükségessé vált tehát a klímaváltozáshoz való alkalmazkodási stratégiák kidolgozása és bevezetése. A városlakók alkalmazkodását a várostervezők, az építé-

– A beépítettség csökkentése

– Járműforgalom mérséklése

– Energiafelhasználás hatékonyságának javítása és az energia kibocsátás csökkentése.

Kihívást jelentő feladat ezeket a nagymennyiségű, tapasztalaton alapuló eljárásokat a tervezési folyamatba beilleszteni, és rábírnival az építészeket, hogy az épületek *design*-ja mellett a környezeti szempontokat, a klímabarát megoldásokat is vegyék figyelembe, és ültessék be a várostervezési folyamatokba. Annak érdekében, hogy a



6. ábra Klímabarát fejlesztések a budapesti mintaterületen.

Készült a 2015. december 21-ei párizsi ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény Részes Feleinek Konferenciájára

szek, a közterület-tervezők és tájépítészek a saját eszköztárukkal segíthetik. A várostervezéskor a városi hősziget hatás mérséklésére, az energiafelhasználás csökkentésére, és az árvizek elleni védekezés szempontjainak figyelembe vételére kell megfelelő válaszokat, építészeti, tájépítészeti és várostervezési megoldásokat találniuk.

A városi hősziget hatás mérséklésére az alábbi intézkedések bevezetése ajánlott:

– Zöldfelületek, vízfelszínek kialakítása

– Fehér tetők, magas albedójú építőanyagok, útburkolatok használata

– Vízáteresztő útburkolat alkalmazása

döntéshozókat abban bátorítsuk, hogy tervezési elvekkel dolgozzanak, ún. városi indexeket dolgoztak ki, amelyek számszerűsítik a klímabarát megoldások hatását.

Természetesen léteznek már követendő jó példák a világon a városi indexek alkalmazására. Berlinben, Seattleben és Malmöben a BAF (Biotrop Area Factor) indexet használták már a tervezési munkában. Ez az arányszám az ökológiailag hatékony felület és a teljes földterület részarányát határozza meg.

Egy újabb mérőszám a RIE (Reduction of Building Impact) index, melynek felhasználására olasz és német városokban láthatunk példát.

Számítási módja:

$$RIE = \frac{\sum_{i=1}^n S v_i \frac{1}{\psi} + S e}{\sum_{i=1}^n S_{i1} + \sum_{j=1}^m S_{ij} \psi}$$

ahol:

$S v_i$  növényzettel borított áteresztő felszín

$S_{ij}$  nem növényzettel borított áteresztő felszín

$\psi$  az áramlásra jellemző koefficiens

$S e$  a fák felszínét jellemző együttható.

Számítógépes modell-kalkulációk és döntéshozó mechanizmusok épülnek be a RATE index alkalmazásába. RATE modell-szimulációval input paraméterek (a felszín fizikai és műszaki jellemzői: mint a fényvisszaverő képesség, fényáteresztő képesség, hőellenállás paraméterek) megadásával a beérkező napsugárzás ismeretében egy adott városi térség összes felszínének hőenergia elnyelését ki lehet számítani. Ezen módszerek alkalmazásával az éghajlattudatos tervezési gyakorlatot terjeszthetjük el az építészek körében.

**Tervezési mintaterület Budapesten.** Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) az elmúlt időszakban részt vett az Urban Heat Island (UHI – városi hősziget) elnevezésű európai uniós pályázatban, amely többek között célul tűzte ki, hogy kidolgozzon egy cselekvési tervet a hősziget hatás enyhítésére a várostervezés és az építészet eszköztárának felhasználásával Budapest egy kiválasztott területén. Bel-Budán, a II. kerületben, a Millenáris Park környékén kijelölt mintaterületen klímataudatos közterület fejlesztésre mutattunk be megoldásokat, melyeket a várostervezőkkel, építészekkel és tájépítészekkel közösen dolgoztunk ki. A városi hősziget hatás csökkentésére fasorok, zöld felületek telepítését, vízáteresztő burkolat alkalmazását, valamint zöldtető és zöldfal kialakítását javasoltuk. Számítógépes modell-szimulációval támasztottuk alá, hogy ezen építészeti, területrendezési és a zöld infrastruktúrát érintő megoldások kimutatható mértékben csökkentették a környezet léghőmérsékletét, javították a lakosság komfortérzetét.

A zöld infrastruktúra fejlesztések pozitív hatásai a Millenáris Park környékén:

#### **Városi éghajlat:**

A fasorok javítják a hőérzetet, főképpen, ha az utca párhuzamos az uralkodó széliránnyal.

– Az utcák átszellőzése szintén javítható fasorok telepítésével.

– Fasorok telepítésével hatékonyan javíthatóak a mikroklimatikus viszonyok, amely hatás a légáramlás befolyásolásával és az égbolt láthatósági tényező alakításával érhető el.

#### **Vízháztartás:**

– Csapadékvíz talajban történő tárolását növelni lehetett.

#### **Városlakók komfortérzete:**

– A human biológiai indexek kiszámításával bebizonyítottuk, hogy javult a városlakók közérzete, különösen az uralkodó széliránnyal párhuzamosan telepített fasorok esetében.

A pályázat eredményeit a közigazgatásban dolgozó, építésüggyel, területrendezéssel, parkosítással foglalkozó budapesti és vidéki szakemberek körében népszerűsítettük.

A 2015. december 21-ei párizsi ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény Részleges Felelősség Konferenciáján, az Európai Unió közös arculatának kialakításához, az Európai Bizottság felkérte a tagállamokat, hogy egy-egy poszteren mutassák be, hogy milyen tevékenységgel járulnak hozzá a klímaváltozás elleni harchoz nemzeti és nemzetközi szinten egyaránt. Ehhez az OMSZ – többek között – a városi hősziget pályázat eredményeit összefoglaló és bemutató poszterrel járult hozzá, melyet a 6. ábrán mutatunk be.

#### **Irodalom**

*Climate Booklet for Urban Development, Indications for Urban Land-Use Planning, 2012 (online version)*

<http://www.staedtebauliche-klimatefibel.de/?p=0.&p2=0.&lng=ENG>

Danzeisen, H., 1983: Experimentell Untersuchung bodennaher Lufttemperatur – und Feuchteverteilungen in Stadtgebieten mit Hilfe eines Meßwagens. *Beiträge Landschaftspflege Rheinland-Pfalz* 9, 7–34.

<http://environment.yale.edu/news/article/yale-researchers-map-6000-years-of-urban-settlements/>

<http://metrocosm.com/history-of-cities/>

<http://www.theguardian.com>

[https://figshare.com/articles/Chandler\\_Population\\_Data/2059494](https://figshare.com/articles/Chandler_Population_Data/2059494)

Landsberg, H.E., 1981: The urban climate. *The Academic Press*, London. pp. 275

Oke, T. R., 1973: City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.* 7, 769–779.

Reba, M., Reitsma, F and Seto. C., 2016: Spatializing 6,000 years of global urbanization from 3700 BC to AD 2000, *Scientific Data* 3, Article number: 160034

van Hove, L. W. A., Steeneveld, G. J., Jacobs, C. M. J., Heuvelinkveld, B. G., Elbers, J. A., Moors, E. J. and Holstaag, A. A. M., 2011: Exploring the Urban Heat Island Intensity of Dutch Cities. pp. 63

# ÓZONKONCENTRÁCIÓ ELŐREJELZÉS ÉS ÉRZÉKENYSÉGI VIZSGÁLAT A WRF-SMOKE-CMAQ MODELLRENDSZER FELHASZNÁLÁSÁVAL A KÁRPÁT-MEDENCÉRE

## FORECAST OF OZONE CONCENTRATION AND SENSITIVITY STUDY WITH CMAQ-SMOKE-WRF AIR QUALITY MODEL SYSTEM FOR CARPATHIAN BASIN

Lázár Dóra, Weidinger Tamás

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A,  
ldora1989@gmail.com, weidi@caesar.elte.hu

**Összefoglalás:** A WRF-SMOKE-CMAQ modellrendszer alkalmas együttes időjárás-levegőkörnyezeti előrejelzésekre. (Lázár *et al.*, 2014). A háromszoros modell beágyazással európai, Kárpát-medence térségi és magyarországi kivágrata végzünk számításokat. Európai emissziós kataszterek (TNO, EMEP) alapján elkészült a modellbeágyazásnak megfelelő részletes emissziós adatbázis. Erre alapozva – az időjárás helyzet ismeretében – végzünk ózonkoncentráció előrejelzéseket, érzékenységi és verifikációs vizsgálatokat. Az időjárás rendszer fejlődését a WRF modell szolgáltatja, míg a levegőkörnyezeti bemenő adatokat (kezdeti és határfeltételek) a GEOS-Chem (Goddard Earth Observing System) globális modell adja, amit szintén az ELTE ATLASZ szuper-számítógépére telepítettünk. Két modellfuttatás (egy ciklonális és egy anticiklonális időjárás helyzet) eredményeit elemezzük. Vizsgáljuk a mért és modellezett ózonkoncentrációk menetét. Jó egyezés adódott a napi mért és modellezett maximális ózonkoncentrációk között, míg az éjszakai kis koncentrációkat nem követi jól a modell: túlbecsli, s így kisebb napi meneteket szolgáltat. A lehetséges okok között szerepel az ózon-prekursor adatbázisok pontatlansága, amire az érzékenységi vizsgálatok is felhívták a figyelmet. Ennek javítása, illetve a városi és a közlekedési eredetű részletesebb emissziós adatbázisok (pl. NO<sub>x</sub>) szerkesztése a közeli jövő feladata.

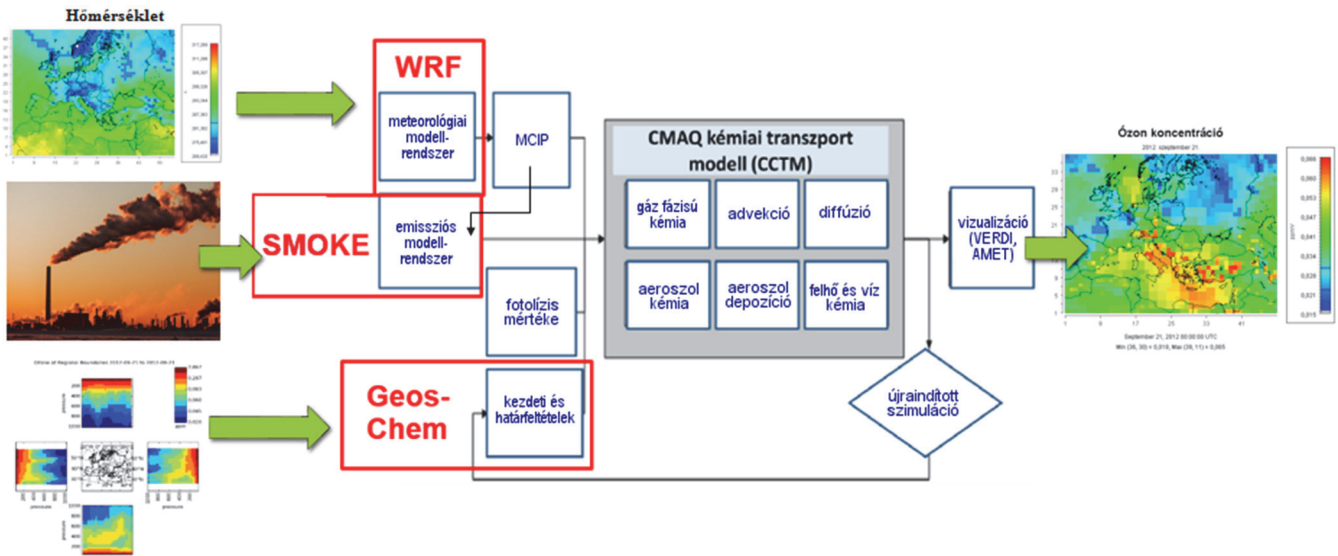
**Abstract:** Our CMAQ-SMOKE-WRF model system is capable to weather-air quality forecasts (Lázár *et al.*, 2014). Calculations provided by a three-level one-way nested grid to Europe, Carpathian Basin and Hungary, respectively. Due to European emission cadastres (EMEP, TNO) a detailed database was completed which was suited for our model grids. Knowing the weather situation we predicted the ozone concentration and sensitivity and verification studies were accomplished too. The up-to-date weather forecast files were provided by the WRF model; the boundary and initial files were supplied by the GEOS-Chem (Goddard Earth Observing System) model, which had been installed to ELTE ATLASZ server. We analysed the results of two different types of weather situations (an anticyclonic and a cyclonic). We studied the differences of the measured and modelled ozone concentrations. Measured and forecasted values of daily maximum ozone concentrations were fairly similar, but on the other hand the daily minimum values (in the early morning or night time) were overestimated by the model, thus smaller daily courses were yielded. The inaccurate precursor database of ozone concentration might arise as a possible explanation, which is supported by the sensitivity studies. In our opinion advancing these results and combining them with more detailed urban and traffic initial emission databases (e. g. for NO<sub>x</sub>) will be the task of the near future.

**Bevezetés.** A terjedési modellek jelentősége egyre inkább növekszik, ugyanis a városi levegő szennyezettségének mértéke nemcsak természetvédelmi, hanem egészségügyi szempontból is fontos. Gondoljunk csak a cikk elkészítése idején (2017. január harmadik dekádja) kialakult anticiklonális, szmogriadós időjárás helyzetre (az ok a nagy szállópor koncentráció volt). A koncentrációmérések és az időjárás előrejelzése mellett ismernünk kell a levegőkörnyezet várható állapotát is, így a troposzférikus ózont (O<sub>3</sub>), az aeroszol koncentrációt, vagy a reaktív nitrogén vegyületeket.

Az ózon kiemelt fontosságú másodlagos légszennyező (egészségügyi határértéke 60 ppb (nyolc óras átlag), a tájékoztatási küszöb 80 ppb, míg a riasztási küszöb 120 ppb-s óras átlagos koncentráció, a jogszabályban megfogalmazottak szerint). Növekvő jelenléte a városi és vidéki levegőben – vesd össze a XIX. századi értékekkel, Bozó and Weidinger (1995), Weidinger *et al.* (2011) – nemcsak az ott élő emberek egészségére káros (pl. szemirritáció, köhögés, fejfájás, asztma), hanem a környezetre

és azon belül a mezőgazdaságra is hatással van. A magas ózonkoncentráció gátolja a növény fotoszintézisét és növekedését (<https://www.epa.gov/>). Az első kritikus ózonszint 40 ppb. A növények károsodása – jó közelítéssel – arányos azzal az idővel, amíg a koncentráció meghaladja a kritikus értéket.

Az időjárás-előrejelző és légköri kémiai transzport modellek összekapcsolásával úgynevezett „kémiai időjárás-előrejelző modelleket” kapunk (Baklanov *et al.*, 2010), de egyre elterjedtebbek a valószínűségi előrejelzések is (Marécal *et al.*, 2015). A légkör kémiai összetételének rövidtávú változásai alakítják a „kémiai időjárást”. Magyarországon a légszennyező anyagok terjedésének (közepes és hosszú távú) modellezését az 1990-es évektől a FLEXPART (FLEXible PARTicle dispersion model) modellel végzik (<https://www.flexpart.eu/>; Ferenczi *et al.*, 2014; Molnár *et al.*, 2016). Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál a modellt operatív célokra használják, és *forward* módban futtatják, vagyis a szennyezőanyag szállítás útját kapják meg.

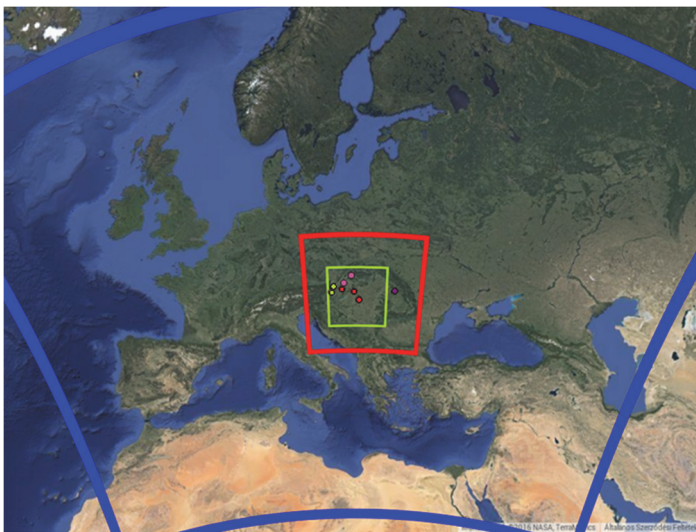


1. ábra: Az időjárás-levegőkörnyezeti modellrendszer felépítése. A bemenő adatokat az egyes almodellek dolgozzák fel (meteorológiai adatok: WRF, emissziós adatok: SMOKE, kezdeti és határértékek: GEOS-Chem) és adják be a fő modellnek, a CMAQ-nek. A kimenő adatokat VERDI java program segítségével jelenítjük meg.

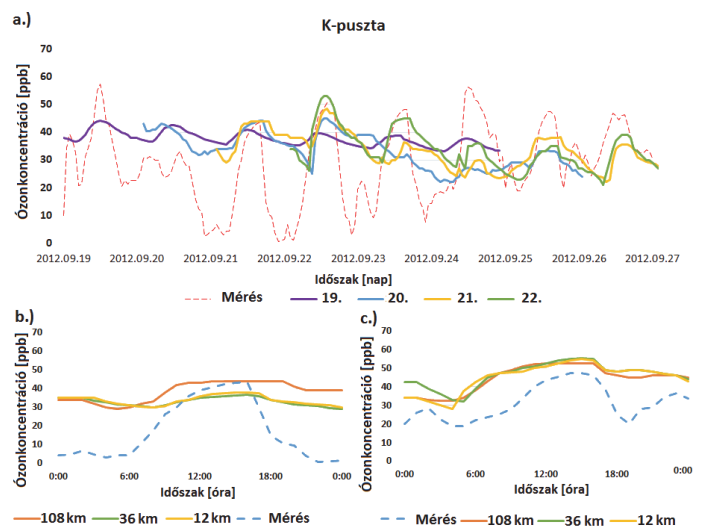
Az ELTE Meteorológiai Tanszékén több éve fut a WRF (Weather Research and Forecasting) időjárás-előrejelző modell (Gyöngyösi *et al.*, 2012). Célunk, e modellel közösen, egy skálafüggő levegőminőségi modellrendszer kialakítása. Számos lehetőség közül mi a CMAQ-SMOKE-WRF modellrendszert választottuk, mivel nemcsak egy részletes, ingyenes, felhasználóbarát rendszer (Colette *et al.*, 2012), hanem oktatási célokra is alkalmazható, így az egyetemi hallgatók is megismerhetik a levegőminőségi előrejelzések módszertanát (Gyöngyösi és Weidinger, 2013).

Levegőkörnyezeti modellrendszerünket az 1. ábrán szemléltetjük. Az időjárás adatokat a WRF biztosítja,

melyet a CMAQ modell (Community Multi-Scale Air Quality Model) almodellje, az MCIP (Meteorology-Chemistry Interface Processor) rendezi megfelelő formátumba mind változó-, név- és fájl-struktúra szempontjából. A kibocsájtási (emissziós) adatokat az időjárás (WRF) adatokkal közösen a SMOKE modell (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions Model) alakítja a CMAQ számára megfelelő formátumba. A kezdeti- és peremfeltételeket a GEOS-Chem modell biztosítja, amelyet a NASA Globális modellező és asszimilációs szolgálata (Global Modeling and Assimilation Office) fejlesztett ki (<http://acmg.seas.harvard.edu/geos/>). A CMAQ modell fő almodellje a kémiai transzport modell (CCTM – CMAQ chemical-transport model), mely kezeli a be-



2. ábra: Modellrendszerünk területi beállítása (kék: 108 x 108 km – Európa, piros: 36 x 36 km – Kárpát-medence, zöld: 12 x 12 km – Magyarország térsége; karikák: verifikációs levegőkörnyezeti állomások)



3. ábra: a.) Ózonkoncentráció előrejelzése 2012. 09. 19–27. K-puszta (108 km-es rács) (lila: 8 napos előrejelzés 2012. 09. 19–25., kék: 6 napos előrejelzés 2012. 09. 20–26. sárga: 6 napos előrejelzés 2012. 09. 21–27., zöld: 5 napos előrejelzés 2012. 09. 22–27., piros szaggatott: mért ózonkoncentráció értéke) b.) 1 napos ózonkoncentráció előrejelzése 2012. 09. 21. (narancssárga: 108 km-es, zöld: 36 km-es, sárga: 12 km-es rács, kék szaggatott: mért érték), c.) 1 napos ózonkoncentráció előrejelzése 2012. 09. 25. (narancssárga: 108 km-es, zöld: 36 km-es, sárga: 12 km-es rács, kék szaggatott: mért érték)

menő adatokat, majd a megfelelő beállításokkal számos kémiai és fizikai folyamatot számol végig – elkészítve a koncentráció-előrejelzéseket – az ELTE ATLASZ szerverén.

A következőkben ismertetjük modellrendszerünk fontosabb beállításait és az alkalmazott számítási módszereket, levegőkémiai sémákat. Ezt követően a tesztszámítások (2012. szeptember, 2013. június) eredményei következnek, végezetül további terveinkről írunk.

**Rendszerbeállítások, alkalmazott módszerek.** Mindkét modellfuttatásnál ugyanazt a hármass beágyazott rácsot alkalmaztuk mind a WRF, mind a SMOKE modellnél: egy 108 x 108 km-es európai, egy 36 x 36 km-es Kárpát-medencei és egy 12 x 12 km-es magyarországi rácsra számoltunk (2. ábra). Az ózonkoncentráció időbeni változásának leírásához a légköri tényezők mellett ismerünk kell a hazai és a környező országok szennyezőanyag kibocsájtási adatait. A kezdeti és peremértékeket szolgáltató globális GEOS-Chem modellt az egész Földre futtatjuk, majd az eredményeket egy *python* program csomag segítségével, a PseudoNetCDF program rendezi – az MCIP modullal készített időjárási kivágat fájlokat felhasználva – a CMAQ számára szükséges szennyezőanyagokra (78 db változó).

A GEOS-Chem számos bemeneti adattal dolgozik, mint például műholdas és felszíni mért adatok (ezeket a hivatalos szerverről lehet elérni, ingyenesen); jó néhány kémiai sémával futtatható, amelyek közül mi az ún. „*full-chemistry*”-t alkalmaztuk (Emmerson and Evans, 2009). Előnye, hogy könnyen telepíthető, felhasználóbarát és más modellekhez képest az egész Földre gyors kezdeti mezőket állít elő. Így oktatási célra is felhasználható.

Modellünket két időszakra futtattuk. Elsőként egy őszi anticiklonális, stabil időjárási helyzetben készítettünk ózon előrejelzést. Célunk a modellrendszer viselkedésének megismerése volt. A 2012. szeptember 19–27. közötti 8 napos időszakot választottuk. Másodikként egy Közép-Európában elhelyezkedő ciklonális rendszer fejlődését, „kémiai időjárását” elemeztük 2013. június 1. 00 UTC és 2013. június 8. 00 UTC között.

A fizikai-kémiai számítási és parametrizációs eljárásokat a modell-beállításokon keresztül tudjuk változtatni. A WRF modellnél egy-momentumos, 3 osztályú (WSM3) mikrofizikai sémát (*mp\_physics* 3-as opció) használtunk, ami Hong et al. (2004) nyomán szedimentációt és más jégfázisú felhőfizikai parametrizációkat is tartalmaz. A GEOS-Chem modellnél számos kémiai sémát lehet alkalmazni, viszont a CMAQ számára szükséges anyagok megadásához a *full chemistry* (teljes kémia), más néven NO<sub>x</sub>-O<sub>x</sub>-HC-Aer-Br kémiai mechanizmus szükséges. A CMAQ kémiai mechanizmusai közül kettőt is alkalmaztunk. Az egyik a CB05 TUCL AE6 AQ (Carbon Bond 05 active chlorine chemistry, updated toluene mechanism sixth-generation CMAQ aerosol mechanism, aqueous/cloud chemistry) kémiai mechanizmus, melyben 51 szennyezőanyag (gáz és aeroszol), 156 reakció, légköri oxidációs kémia, homogén hidrolízis és sebességi együtthatók találhatóak pl. a N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-nak is (más néven

dinitrogén-pentoxid, mely pl. hőfejlődés közben salétromsavvá alakul). A másik, amit alkalmaztunk, ugyanúgy CB05, AE6 és AQ-s kémiai séma, viszont itt a TUMP mechanizmust használtuk. Ez abban különbözik a TUCL mechanizmustól, hogy itt szerepelnek még higany vegyületek, acrolein, 1,3-butadién, reaktív jelölőanyagok és több veszélyes légszennyező anyag (HAPs) is. Az emissziós mezőket ASCII fájlokba rendezve éves, havi és napi felbontásban lehet megadni, viszont hiába adjuk meg a szennyező anyagok értékét, a pontos levegőminőséget sajnos nem tudjuk meghatározni, így bármilyen finom felbontással vagy rengeteg különböző anyag megadásával is számol a modell, az eredmény „csak egy becslés lesz” a légkör állapotára. Sokszor a túl precíz és részletes modell alkalmazása is problémákat okozhat. A legjobbnak tartott modellbeállításokat használtuk (Fraser et al., 2014).

Nem volt célunk egy részletes érzékenységi vizsgálat elvégzése, hiszen ezek korábban már megtörténtek. A modellt ökológiai, illetve levegőkémiai modell érzékenységének vizsgálatára korábban Tomelleri et al. (2005) illetve Mészáros et al. (2009) alkalmazták. Terveink szerint – a későbbiekben – a modellrendszer válaszait elemezzük majd a kezdeti és peremfeltételekre (GEOS-Chem modell beállítások), illetve az emissziós adatbázisokra.

A SMOKE modell a CMAQ kémiai mechanizmusához szükséges anyagok emissziós adatait számolja ki, így itt is a CB05 SOA (SOA – secondary organic aerosol, másodlagos szerves aeroszol folyamatok figyelembevételével) beállítást használtuk annyi változtatással, hogy a CMAQ terjedési modellben alkalmazott mindkét kémiai séma számára szükséges anyagokat kiíratuk.

A kémiai anyagok vertikális profiljainak előállítását a GEOS-Chem modell végzi, ami 47 vertikális szinttel dolgozik, a WRF modell 27 modell szintet definiál, így a SMOKE és CMAQ is 27 modell szinttel fut. Az adatmezők összeállítását és harmonizációját – ahogy említettük – a SMOKE modell végzi.

A bemenő időjárási adatokat a globális GFS modell szolgáltatta, amit a NOAA szerveréről töltöttünk le a WRF számára. A SMOKE az Európai Megfigyelési és Értékelési Program (EMEP) által kiadott kibocsájtási adatokat rendezi, a GEOS-Chem pedig a saját adatbázisában lévő műhold és egyéb adatokat kezeli. Így áll össze a levegőkörnyezeti modell futtatásához szükséges

–meteorológiai,

–emissziós és

–koncentrációs

adatbázis a 3D beágyazott rácsrendszerre.

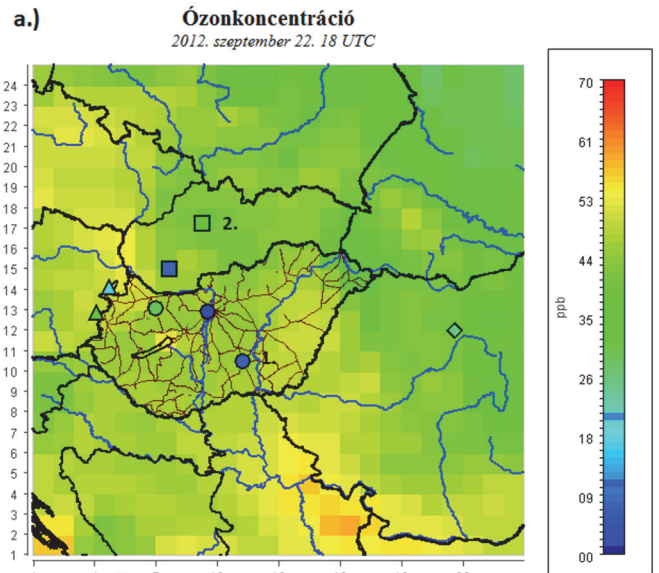
**Eredmények.** A modellrendszer bemutatása után az eredményeket részletezzük. Elsőként egy stabil, anticiklonális időszakra végeztük el a modellfuttatásokat (2012. szeptember 19–27.). Az emissziós értékeket az EMEP adatbázisából vettük, ami évi és napi adatokat is tartalmaz, s amit számos tényező, így az időjárási helyzet (pl. a csapadék általi nedves ülepedés révén), és az antropogén tevékenység (pl. fűtési szezon, közlekedés, ipar)



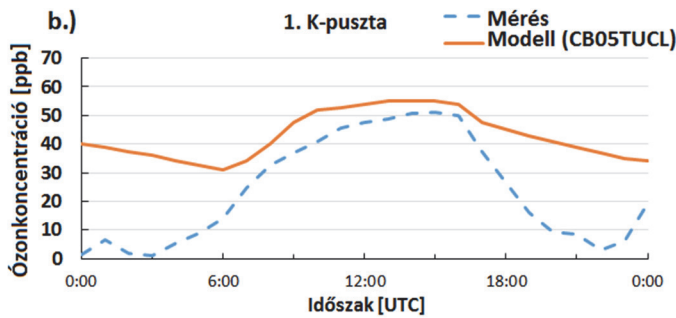
is befolyásol. Több, különböző időpontban indított 6 napos előrejelzést futtattunk le és vetettünk össze a háttér-szennyezettségmérő állomások ózon adataival. A 3. ábrán a K-pusztai mérőállomás adataival való összehasonlítást mutatjuk be. Itt a CMAQ által számolt kezdeti koncentráció értékek is jóval magasabbak a mért értékekénél. A több napos futtatás során reméltük, hogy a fizikai és kémiai folyamatok révén az ózonkoncentráció az éjszakai és reggeli időszakokra jelentősen lecsökken majd. A mért alacsony értékeket azonban a modell egyik nap sem közelítette meg. Az első vizsgálatot a 108 km-es rácson készítettük el (3.a ábra). Érdekeltek minket, mi történik az egyes napokon a különböző méretű beágyazott modell-rácsokon (3.b és c ábra).

Két különböző napot választottunk, az egyik a 2012. szeptember 21-én futtatott háromszoros beágyazás (b.), amikor, bár a maximális koncentráció értéket viszonylag jól visszaadta a modell; csökkentek a reggeli és az éjszakai értékek is, de magasak maradtak.

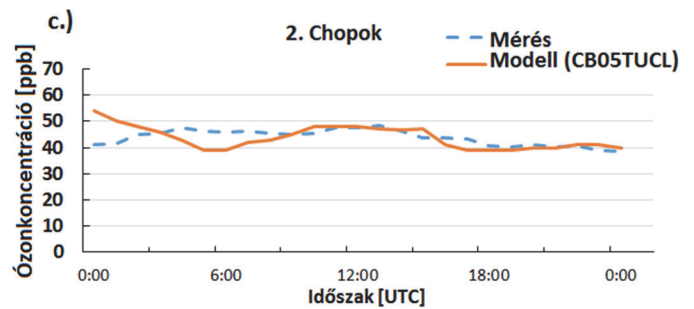
A másik esettanulmány 2012. szeptember 25-ére készült, amikor a kezdeti (00 UTC) mért értékek magasabbak voltak, mint a megelőző napokban (c.). Bár szeptember 25-én a modell a reggeli órákra csökkenti az ózonkoncentrációt a 108, 36 és 12 km-es rácson is, de egyik sem



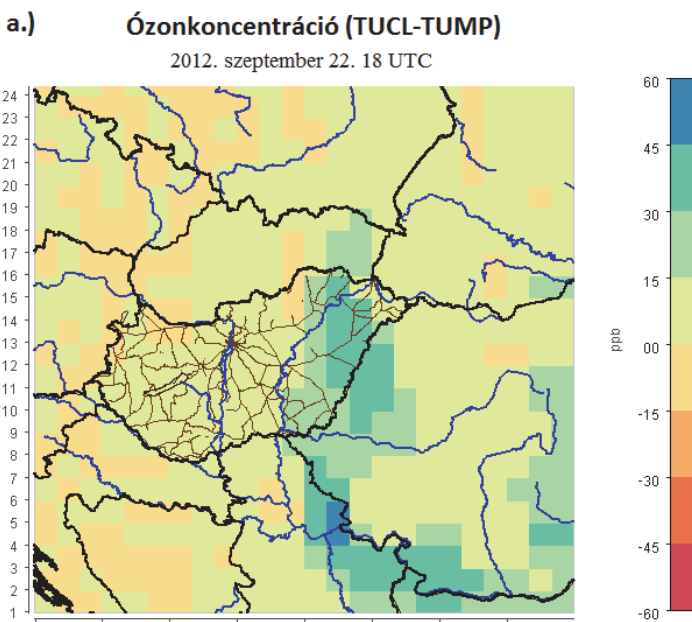
4.a ábra: Ózonkoncentráció előrejelzés és az állomási adatok összehasonlítása 2012. 09. 22-én, a.) levegőtisztasági állomások mért értékei a térkép színskálájához igazítva (kör: magyarországi állomások (EMEP, OLM), négyzet: szlovákiai EMEP állomások, háromszög: osztrák EMEP állomások, rombusz: romániai EMEP állomás)



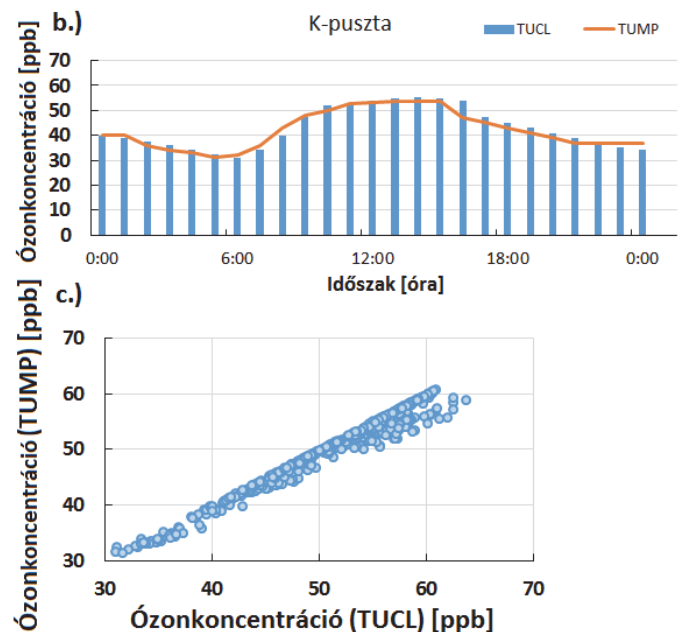
4.b ábra: Napi ózonkoncentráció alakulása K-pusztán (kék szaggatott: mért érték, narancssárga: modellezett érték)

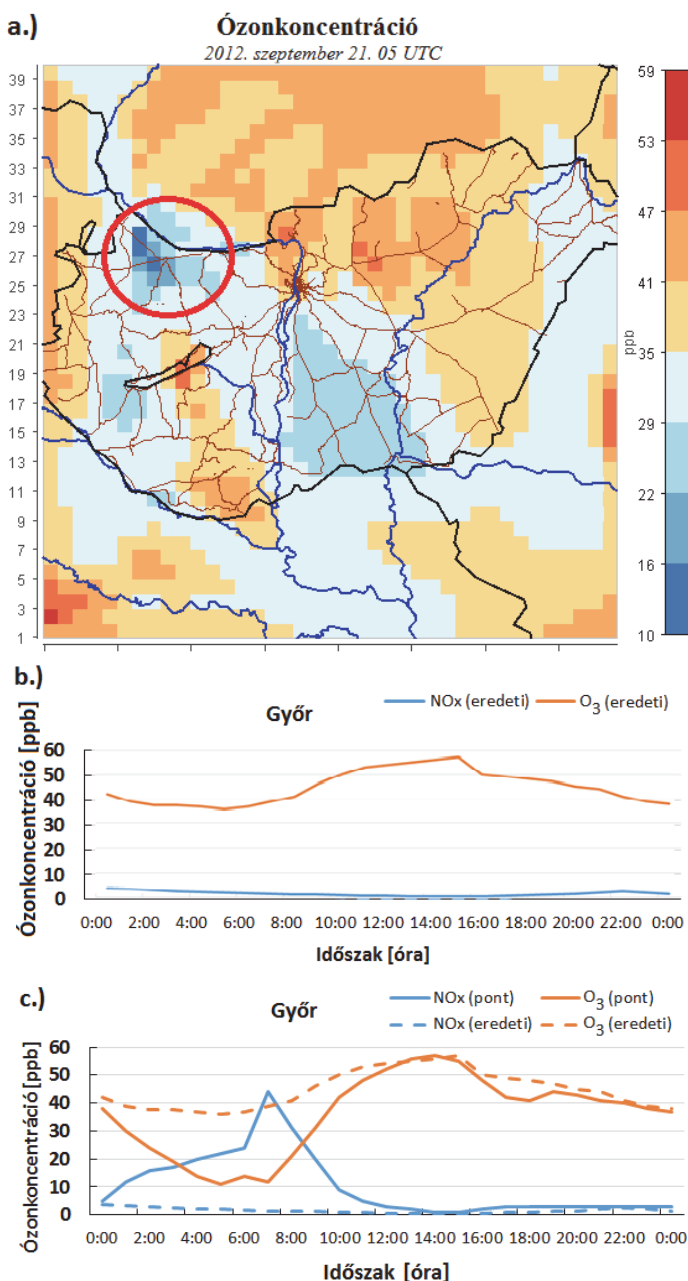


4.c ábra: Napi ózonkoncentráció alakulása Chopokon (kék szaggatott: mért érték, narancssárga: modellezett érték)



5. ábra: A modell kémiai sémáinak (TUCL, TUMP) összehasonlítása az ózonkoncentráció alakulásában a.) az ózonkoncentráció különbség térképe 2012. 09. 22. 18 UTC. b.) ózonkoncentráció alakulása a két séma függvényében (kék oszlop: TUCL séma koncentráció értékei, narancssárga folytonos vonal: TUMP séma koncentráció értékei), c.) területi összes ózonkoncentráció scatter plot diagramja 2012. 09. 22. 17 UTC





6. ábra: Emelt nitrogén-oxid ( $\text{NO}_x$ ) kibocsájtás (Győr) hatásának modellezése a.) az ózonkoncentráció alakulása (2012.09.21. 05 UTC). Jól kivehető a lokális szélirány hatása (irány: északnyugat, hatás:  $\text{NO}_x$  kibocsájtás tovább terjed az adott irányban és a környező területeken is ózon csökkenés figyelhető meg). b.) az ózon és  $\text{NO}_x$  koncentráció alakulása normál esetben 2012. 09. 21., c.) ózon és  $\text{NO}_x$  koncentráció alakulása normál és emelt  $\text{NO}_x$  kibocsájtás esetén 2012. 09. 21. (szagatott: a volt normál értékek)

közelíti meg a mért értéket, s nem figyelhető meg az éjszakai órákban sem drasztikus koncentráció csökkenés. A rácsfelbontás csökkentésével alig, vagy egyáltalán nem változott az előrejelzett ózonkoncentráció. A K-pusztai értékek vizsgálata után érdekelt minket, hogy hogyan változott az ózonkoncentráció Kárpát-medence más háttérszennyezetségi-mérő állomásain. Így most térben vizsgálódunk.

Eredményeinket 2012. szeptember 22-ére mutatjuk be nyolc kiválasztott állomásra (3 magyar, 2 osztrák, 2 szlovák és 1 román), ahol megbízható ózommérések

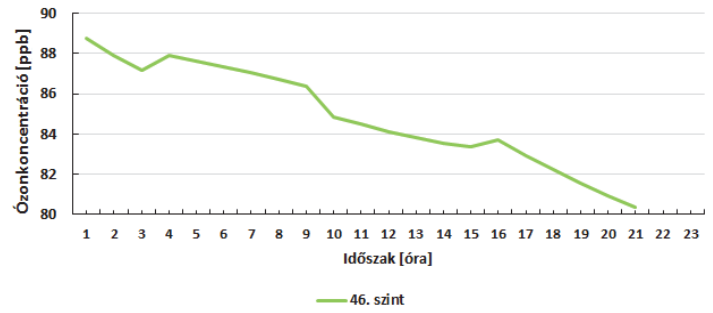
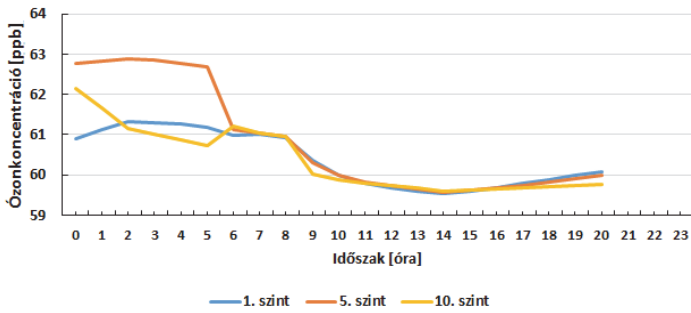
folynak (hazai OLM, illetve EMEP állomások), s viszonylag távol esnek egymástól (más-más rácsnégyzetbe esnek). A 4.a ábrán a VERDI megjelenítő program segítségével – ugyanazon színskálával – mutatjuk be az egyes pontban mért és modellezett átlagos napi koncentrációkat. Jól látható, hogy a mért értékek minden esetben alacsonyabbak az előrejelzettnél. A chopoki állomáson (Szlovákia) a természeti viszonyok és a közeli nemzeti park miatt az előrejelzés megközelíti a méréseket (4.b ábra).

Az előrejelzések elemzése után azok érzékenységi vizsgálatával foglalkozunk (5. és 6. ábra). Először a CMAQ modellben felhasználható 6 kémiai séma közül hasonlítottunk össze két ózonkoncentráció előrejelző sémát (5. ábra), majd egy fiktív szimuláció (nagy  $\text{NO}_x$  kibocsátás) eredményeit vizsgáljuk (6. ábra).

Nézzük a két kémiai séma összehasonlítását! A 2012. szeptember 22-i Kárpát-medencei eredményeket vizsgáljuk (lásd a 4. ábrát is)! A két séma (TUCL és TUMP) között nem volt nagy különbség. Az 5.a ábrán a 18 UTC-s eredményeket közöljük. Jól látható, hogy Magyarország keleti, Szerbia nyugati illetve Románia déli részén a TUMP által kapott adatok sokkal alacsonyabbak, mint a TUCL-lel kapott értékek. A két kémiai sémával modellezett ózonkoncentráció napi menetét K-pusztára mutatjuk be (5.b ábra). Nincs lényeges eltérés a két séma között; a délutáni órákban: a TUMP séma valamivel kisebb értéket jelzett előre, ugyanez látható a 17 UTC-s területi scatter plot diagramnál is (5.c ábra).

Következő lépésként a modell emissziós adatokra való érzékenységére mutatunk példát. A jelenlegi emissziós adatbázisban nem szerepelnek egyedi pontforrások, továbbá a városi és közlekedési kibocsátások is nagy térbeli felbontásban „elmosódottan” jelennek meg. Azt nézzük, hogy mi történik, ha az  $\text{NO}_x$  jogszabályban megfogalmazott [4/2011 (I.14.) VM rendelet 1. melléklet] órás határértéket ( $\sim 100 \mu\text{g}/\text{m}^3 = \sim 47,4 \text{ ppb}$ , 6. ábra) meghaladó koncentrációt kialakító kibocsájtását adunk meg a modell egy cellájában (ez esetben Győr térségében). Úgy állítottuk be a kibocsájtást 00 és 08 UTC között – egy pontforrást, képzeletbeli kéményt alkalmazva –, hogy az időszak végén (8 UTC) a Győrt reprezentáló rácsnégyzetben ( $12 \times 12 \text{ km}$ ) a talajközeli  $\text{NO}_x$  koncentráció elérje az 50 ppb-s értéket. A következő paramétereket adtuk meg a kéménynek: 82 ft ( $\sim 24,9 \text{ m}$ ) magasság, 2,5 ft (0,76 m) átmérő,  $180^\circ\text{F}$  ( $82^\circ\text{C}$ ) távozó gáz hőmérséklet,  $201 \text{ ft}^3/\text{sec}$  ( $\sim 5,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a távozó gáz áramlási sebessége,  $41 \text{ ft}/\text{sec}$  ( $\sim 12,49 \text{ m}/\text{s}$ ) távozó gáz kilépő sebessége. Azt vártuk, hogy a magas  $\text{NO}_x$  kibocsájtásnak köszönhetően az  $\text{O}_3$  koncentráció lecsökken. A térképen (6. ábra) jól látható, hogy az ózon a Kisalföld térségében le is csökkent, ami tükröződik az időbeli változásban is.

Láthattuk, hogy a kezdeti értékek mennyire befolyásolták az ózon előrejelzését, így a következőkben a GEOS-Chem modelleredmények jóságát vizsgáltuk a 2013-as évre. Először a 2013. június 1-i futtatási eredményeket elemezzük különböző modell szintekre, mind a napi alakulás (7.a ábra), mind a vertikális profilok alapján (7.b ábra). Mindegyik szint magas kezdeti koncentráció-

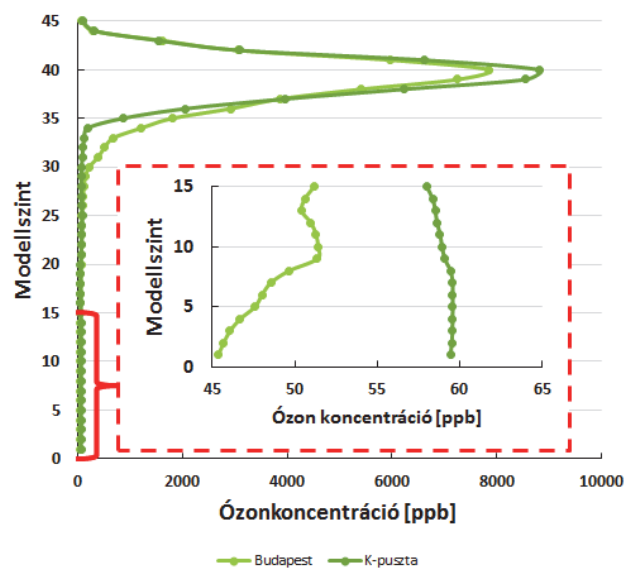


7.a ábra: GEOS-Chem ózonkoncentráció alakulása 2013. 06. 01-én a.) különböző modell szinteken az ózon alakulása 2013. június 01-én K-pusztán (bal: 1. (~58 m), 5. (~589 m) és 10. szint (~1290 m), jobb: 46. szint (~68 392 m))

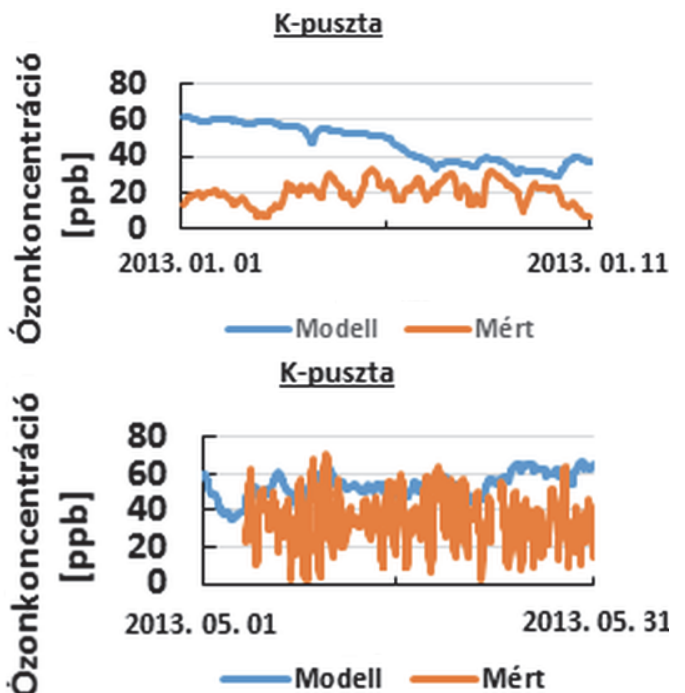
val jellemezhető, majd az 1. szint kivételével – a modell szerint – azonnal csökkeni kezd a koncentráció értéke egészen kora délutánig, amikor ismét növekedés tapasztalható. A vertikális profiloknál, nemcsak a K-pusztai, hanem a budapesti modell eredményeket is vizsgáltuk. Jól látható a sztratoszférikus ózon mindkét rácspontra fellett. Nekünk a felszín közeli ózon a fontos, így kiemeltük az első 15 modell szint adatait (a piros szaggatott kerettel jelölt részen). A K-pusztánál előrejelzett értékek sokkal egyenletesebbek és nagyobbak, mint a budapesti értékek, ahol a magassággal növekszik is az ózonkoncentráció, majd csökkenés figyelhető meg a 10. modell szintnél (~1,2 km).

Ezután megvizsgáltunk egy téli és egy késő tavaszi idősort is. A 8. ábrán a GEOS-Chem által modellezett és a K-pusztán mért ózonkoncentrációkat hasonlítjuk össze. A januári időszakban csak az első 10 napot mutatjuk be (a hónap további részében nem volt mérés K-pusztán). A GEOS-Chem modell bemenő adatai jelenleg 2013. június 1-ig érhetőek el, így esett a választásunk májusra, egy nyári hónap helyett. Látható, hogy mind a januári, mind a májusi modellezett értékek lényegesen magasabbak a mért adatoknál, s itt sem csökken le az ózonkoncentráció értéke az éjszakai és a reggeli órákban. További vizsgálatok szükségesek az okok felderítésére, érdemes tanulmányozni i) az ózon-prekursor anyagok emissziós adatbázisát és ii) az előrejelzett értékeit, iii) a modell beállításokat, továbbá iv) a kémiai sémák viselkedését.

**Összefoglalás.** A légköri terjedési modellrendszerek számos új lehetőséget nyújtanak az integrált meteorológiai-levegőkörnyezeti előrejelzésre, ami a közeli jövő egyik fontos feladata. Az általunk adaptált – és a nemzetközi gyakorlatban is elterjedten alkalmazott – WRF-SMOKE-CMAQ rendszer alkalmas beágyazott modell-előrejelzések készítésére hazánk térségére. Erre mutatunk példát az ózonkoncentráció előrejelzése kapcsán. Az előrejelzésekkel azonban óvatosan kell bánni. A maximális koncentrációk jól követik a mért eredményeket, az éjszakai és a hajnali minimumokat azonban túlbecsüli mind a globális GEOS-Chem modell, mind a CMAQ. Ez számos modell problémája: túl magasak és nem csökkennek le az éjszakai koncentráció értékek (Syrovak et al., 2015; Žabkar et al., 2015). Ennek modellezési és adatbázis okai lehetnek. Más szavakkal: az alkalmazott kémiai sémák bonyolultsága és az emissziós kataszterek



7.b ábra: Ózonkoncentráció vertikális alakulása Budapesten és K-pusztán (piros keret, az első 15 modell szint alakulása, troposzférában) 2013. 06. 01. 00 UTC-kor



8. ábra: Az ózonkoncentráció alakulása K-pusztára a GEOS-Chem 1. modell szintjére a.) 2013. január b.) 2013. május (narancssárga: mért érték, kék: modellezett GEOS-Chem érték)

megadásában rejlő bizonytalanságok. Ezek feltárása és megoldása további kutatást igényel. Ezt szolgálja egy új emissziós adatbázis kialakítása, ahol már a helyi szennyezők (közlekedés, ipar) hatását is figyelembe vesszük. (*A feldolgozásra kerülő új európai emissziós adatbázisok – <https://www.tno.nl> – 7 km-es rácsfelbontásúak a korábbi 50 km-es felbontással szemben.*) Tervezzük az ózonkoncentráció profilok mérését is pilótanélküli repülőgépekkel. Ez a modell verifikációban segíthet majd.

**Köszönetnyilvánítás.** A szerző köszönetet mond az OTKA NK101356 és a GINOP-2.3.2-15-2016-00007 program támogatásáért.

## Irodalom

- Baklanov, A., Mahura, A. and Sokhi, R., 2010: Integrated systems of meso-meteorological and chemical transport models. Springer, pp.190, ISBN 978-3-642-13979-6, 9–10.
- Bozó, L. and Weidinger, T., 1995: Tropospheric ozone measurements over Hungary in the 19th century. *Abio* 23(2), 129–130.
- Colette, A., Granier, C., Hodnebrog, Ø., Jakobs, H., Maurizi, A., Nyiri, A., Rao, S., Amann, A., Bessagnet, B., Angiola, A. D., Gauss, M., Heyes, C., Klimont, Z., Meleux, F., Memmesheimer, M., Mieville, A., Rouil, L., Russo, F., Schucht, S., Simpson, D., Stordal, F., Tampieri, F. and Vrac, M., 2012: Future air quality in Europe: a multi-model assessment of projected exposure to ozone. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12, 10613–10630.
- Emmerson, K. M. and Evans, M. J., 2009: Comparison of tropospheric gas-phase chemistry schemes for use within global models. *Atmospheric Chemistry and Physics* 9, 1831–1845, doi:10.5194/acp-9-1831-2009.
- Ferenczi, Z., Homolya, E., Pázmándi, T. and Szántó, P., 2014: Comparison of FLEXPART-WRF and SINAC-AROME Lagrangian dispersion models: a case study for a nuclear incident. Proc. of the 16<sup>th</sup> International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. Várna, Bulgária, 8–11 September, *Bulgarian Academy of Sciences*, 95–101.
- Fraser, A., Murrells, T., Rose, R., Beevers, S., Kitwiroon, N., Xavier, F. and Sokhi, R., 2014: CMAQ Development for UK National Modelling. *Final report*. Ricardo-AEA, Ref: ED57210-Issue, Number 1, pp. 89
- Gyöngyösi, A. Z. és Weidinger T. (eds), 2013: Alkalmazott számszerű előrejelzés. V. Fejezet, A GEOS-Chem és a CMAQ modell felépítése, futtatása (Gyöngyösi A. Z. és Grosz B.), *E-jegyzet, ELTE*.
- Gyöngyösi, A. Z., André K., Horányi, A., Mile M., Szépszó, G., Tasnádi P. és Weidinger T., 2012: Numerikus meteorológiai modellfuttatások az ELTE Meteorológiai Tanszékén. *Léggör* 57, 177–183.
- Hong, S.-Y., Dudhia, J. and Chen, S.-H., 2004: A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Monthly Weather Review* 132, 103–120.  
<http://acmg.seas.harvard.edu/geos/>  
<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AlkalmazottNumerikusPrognosztika>  
<https://www.epa.gov/>  
<https://www.flexpart.eu/>  
<https://www.tno.nl/>
- Lázár, D., Bájhober, E., Weidinger, T. és Ferenczi, Z., 2014: CMAQ (Többléptékű Közösségi Levegőminőségi) légköri terjedési modell adaptálása Magyarországra. *Léggör* 59, 170–174.
- Maréchal, V., Peuch, V.-H., Andersson, C., Andersson, S., Arteta, J., Beekmann, M., Benedictow, A., Bergström, R., Bessagnet, B., Cansado, A., Chéroux, F., Colette, A., Coman, A., Curier, R. L., Denier van der Gon, H. A. C., Drouin, A., Elbern, H., Emili, E., Engelen, R. J., Eskes, H. J., Foret, G., Friese, E., Gauss, M., Giannaros, C., Guth, J., Joly, M., Jaumouillé, E., Josse, B., Kadyrov, N., Kaiser, J. W., Krajsek, K., Kuenen, J., Kumar, U., Liora, N., Lopez, E., Malherbe, L., Martinez, I., Melas, D., Meleux, F., Menut, L., Moinat, P., Morales, T., Parmentier, J., Piacentini, A., Plu, M., Poupkou, A., Queguiner, S., Robertson, L., Rouil, L., Schaap, M., Segers, A., Sofiev, M., Tarasson, L., Thomas, M., Timmermans, R., Valdebenito, Á., van Velthoven, P., van Versendaal, R., Vira, J. and Ung, A., 2015: A regional air quality forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production. *Geoscientific Model Development* 8, 2777–2813.
- Mészáros, R., Zsély, I. G., Szinyei, D., Vincze, C. and Lagzi, I., 2009: Sensitivity analysis of an ozone deposition model. *Atmospheric Environment* 43, 663–672. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.058
- Molnár, A., Bécsi, Zs., Imre, K., Gácsér, V. and Ferenczi Z., 2016: Characterization of background aerosol properties during a wintertime smog episode. *Aerosol and Air Quality Research* 16(8), 1793–1804.
- Syrakov, D., Prodanova, M. and Georgieva, E., 2015: Performance of the Bulgarian WRF-CMAQ modelling system for three subdomains in Europe. *Física de la Tierra* 27, 137–153.
- Tomelleri, E., Churkina, G., Gianelle, D. and Barcza, Z., 2005: Sensitivity analysis of the BiomeBGC model parameters for two grassland sites. (poster) 3<sup>rd</sup> CarboEurope-IP Integrated Project Meeting. Levi, Finland, 14–18 November.
- Weidinger, T., Baranka, Gy., Balázs, R. and Tóth, K., 2011: Comparison of 19<sup>th</sup> Century and Present Concentrations and Depositions of Ozone in Central Europe. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 7, 23–38.
- Žabkar, R., Honzaka, L., Skok, G., Forkel, R., Rakovec, J., Ceglár, A. and Žagar, N., 2015: Evaluation of the high resolution WRF-Chem (v3.4.1) air quality forecast and its comparison with statistical ozone predictions. *Geoscientific Model Development* 8, 2119–2137.

# VÁROSI HŐSZIGET MEGHATÁROZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A WRF MODELL FELHASZNÁLÁSÁVAL

## POSSIBILITIES OF THE URBAN HEAT ISLAND ANALYSIS USING THE WRF MODEL

Göndöcs Júlia, Breuer Hajnalka, Pongrácz Rita, Bartholy Judit

ELTE, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

juliagondocs@nimbus.elte.hu, bhajni@nimbus.elte.hu, prita@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu

**Összefoglalás.** A városok egyik legfontosabb éghajlat-alakító hatása a városi hősziget jelenségében nyilvánul meg, mely során a városi területek nagyobb mértékben melegednek fel a városon kívüli növényzettel borított területekhez képest. A jelenség vizsgálható numerikus modellek segítségével, illetve az ehhez kapcsolt városi fizikai folyamatokat leíró parametrizációkkal. Munkánkban a WRF modellt és beépített városi sémáit teszteltük Budapestre és közvetlen környezetére, finomfelbontású és aktualizált felszíni adatbázisok alkalmazása mellett. Célunk volt a budapesti városi hősziget jelenségének detektálása és területi elrendeződésének vizsgálata.

**Abstract.** One of the most substantial climatic effects of the built-up areas is the urban heat island, which results in warmer urban areas compared to its surrounding rural areas. The phenomenon can be analysed with numerical models, linked to urban parameterisation. In this research the WRF (Weather Research and Forecasting) model and its urban schemes are tested for Budapest and its surroundings, initialized with updated surface databases of fine resolution. The main goal of this study is to evaluate the intensity of the urban heat island effect and its spatial distribution in Budapest.

**Bevezetés.** A Föld népességének rohamos növekedése és városokban történő koncentrálódása (ENSZ, 2007) miatt az urbanizáció következményei egyre több problémát váltanak ki világszerte. A mesterségesen létrehozott felszínek – mint például az utak, épületek – a természetes vegetációtól eltérő fizikai tulajdonságaik miatt, jelentősen megváltoztatják egy adott terület energiaháztartását és áramlási viszonyait. Ennek eredményeképpen a városi környezet melegebb, mint a környező területek, s ezt a lokális éghajlati hatást városi hőszigetnek nevezzük. A növekvő népességgel a városi területek és a beépítettség is növekszik, mely a városi hősziget intenzitását tovább fokozhatja, ezzel rontva az ott élők klimatikus életkörülményeit. A városi hősziget jelenség Budapesten (Dezső et al., 2012; Pongrácz et al., 2006) és más közepes nagyságú magyarországi városban is detektálható műholdképeken (Bartholy et al., 2005) és felszíni mérések (Bottyán et al., 2005; Gál et al., 2016) adatsorai alapján.

A módosult tulajdonságok hatásának vizsgálatára jól használható fizikai alapú modelleket fejlesztettek ki, melyek egyike a WRF (Skamarock et al., 2008) időjárás előrejelző modell. A WRF beépített városi almodellel rendelkezik, melyek lehetővé teszik a városi környezetben zajló mikroskálájú folyamatok és a különböző városrészek mikroklimatikus viszonyainak becslését. A modellt számos tanulmányban alkalmazták városi területnövekedés hatásainak becslésére is (Zhang et al., 2010), továbbá jelen munkánkban sikeresen használtuk a városi hősziget becslésre. A kialakult jelenség területi elrendeződése függ a felszínborítás típusától, komplexitásától és a felbontástól. Brousse et al. (2016) sikeresen alkalmazták a lokális klímazónák szerinti kategorizálást a WRF modellben, ezzel javítva előrejelzéseiket, míg munkánkban az ingyenesen elérhető OpenStreetMap adatbázist

használtuk fel szimulációink elkészítéséhez fővárosunk hősziget jelenségének feltérképezése céljából.

### Módszerek és adatok.

**WRF modell.** A két nagy amerikai kutatóintézet – NCEP<sup>1</sup> és NCAR<sup>2</sup> – együttműködésében kifejlesztett WRF modell (Skamarock et al., 2008) az egyik legdinamikusabban fejlődő időjárás előrejelző modell, melynek forráskódja szabadon letölthető a világhálóról és tetszés szerint módosítható. A WRF egy nem-hidrosztatikus, korlátos tartományú numerikus időjárás előrejelző modell, mely a több 100 km-estől akár az 1 km alatti horizontális felbontásig képes a légköri folyamatok szimulációjára. Finomabb horizontális felbontás esetén azonban már a modellterületek egymásba ágyazására van szükség. Ekkor a modellterületen belül kijelölünk további kisebb részterületeket, így növelve a felbontást és csökkentve a leskalázásból adódó hibákat.

A modell a prognosztikai egyenletek integrálását végzi, a számítások egy része további kapcsolók közbeiktatásával módosítható. A hidrotermodinamikai egyenletrendszer megoldása mellett almodelleket alkalmaznak a sugárzás-átvitel, a határréteg átkeveredés, a konvektív felhőképződés, a felhő-mikrofizika, a talaj-felszín-légkör kölcsönhatások és a városi termodinamika leírására. A modell vertikális koordináta-rendszere felszínkövető, melyet a nyomás hidrosztatikus komponense alapján számítanak.

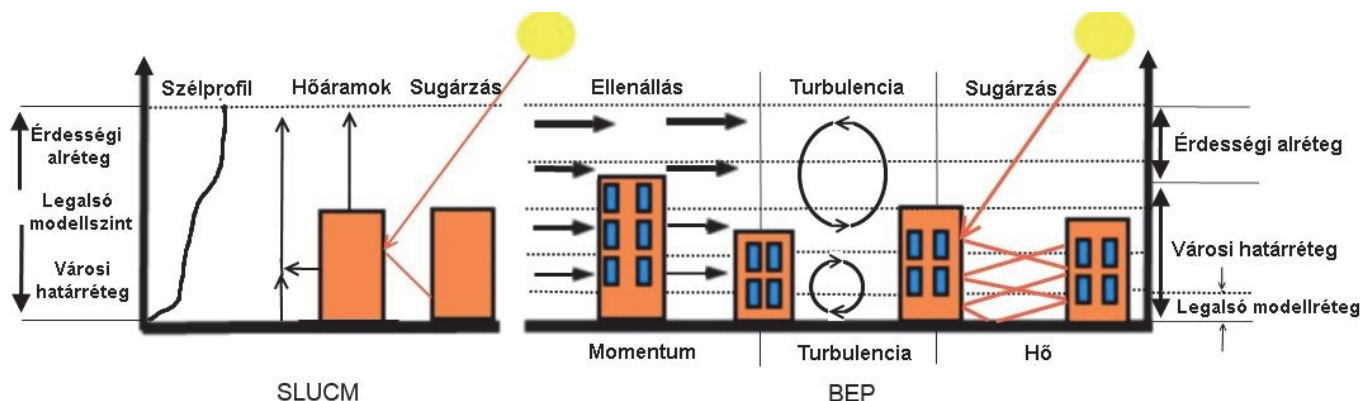
A városi felszín figyelembevételére a modellben három almodell található, melyek a következők:

<sup>1</sup> National Centers for Environmental Prediction

<sup>2</sup> National Center for Atmospheric Research

(1) A WRF modellben 2001 óta megtalálható alapbeállítás használatával a modell nem számol külön városi parametizációval, helyette a beépített felszíni folyamatokért felelős ún. Noah almodellt (*Chen and*

szél vertikális profilját a városi határrétegben exponenciálisnak feltételezzük. A szenzibilis hőáramok és hőmérséklet számítása során minden egyes városi felszíntípusra (tető, fal, út) a séma külön



1. ábra: Az egyzintes (SLUCM) és a többszintes (BEP) városi parametizáció működésének sematikus ábrája

*Dudhia*, 2001) alkalmazza. Ez az almodell felszíni paraméterek segítségével reprezentálja a városi felület természetestől eltérő viszonyait. A városi felület felett a nagyobb érdeklőség miatt kialakuló turbulencia a felszíni érdeklőség paraméter megadásával módosítható. Természetes, növénytakaróval borított környezet esetén értéke 0,5 m, míg beépített területekre 0,8 m. A mesterséges felületekhez tartozó albedó is eltér a természetestől, melynek értéke 0,15 városokra, a növényzettel borított területeken pedig 0,16 és 0,3 között változik. Városi felületek esetében a felület albedójának csökkentésével számítják a nagyobb rövidhullámú sugárzáselnyelést. Mivel az épületek hőtárolása nagyobb, mint a természetes növényzettel borított felületé, ezért a számítások során a térfogati hőkapacitás értékét  $3 \text{ J m}^{-3} \text{ K}^{-1}$ , míg a hővezetést  $3,24 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  értékkel állítják be. A séma csak egyetlen városi felületkategoriat különít el, mely felett a párolgás mennyisége jelentősen csökken, hiszen a zöld területek aránya 5%-ra van redukálva. Az antropogén hőkibocsátást és a városi geometriát nem veszi figyelembe a Noah felszíni modul.

(2) A WRF-beli első kifejezetten városi környezetre kifejlesztett modell *Kusaka et al.* (2001) és *Kusaka and Kimura* (2004) nevéhez fűződik, melyben a város vertikálisan csupán egy kitüntetett szinttel rendelkezik (SLUCM<sup>3</sup>). Ezzel a városi modellel a számítások során már figyelembe vehető a városok egyedi struktúrája: a város geometriája, a falak és a tetők eloszlása. Számításba vehetjük továbbá a város háromdimenziós kiterjedését, így az árnyékolást, valamint visszaverődést és sugárzáselnyelést is számolunk. A geometriai tulajdonságok statisztikai alapon adandók meg, egy adott városi felület kategóriához tartozó rácspontbeli épületmagasságok minden hasonló felület kategóriában ismétlődve, azonos módon építik fel a várost a modellterben. A

számol fluxusokat, amik végül összeadódnak a légkörre vonatkozó értékekkel. Az alapbeállításhoz viszonyítva további újdonság, hogy a modell képes az antropogén hőkibocsátást is figyelembe venni, mégpedig oly módon, hogy a modellben megtalálható a különböző felületkategoriatokhoz tartozó átlagos kibocsátás értéke és a napi menet. A becsült antropogén kibocsátás a modellfutás során hozzáadódik a felszíni modellel számított szenzibilis hőáram értékeihez. Ennek és a felszíni paramétertáblázatban megadott városi paramétereknek a segítségével modellezhetővé válik a városi hősziget jelensége mind az éjszakai, mind a nappali órákban. A felszíni hőmérséklet és a hőmérsékleti profil a városban prognosztikus változóként kezelendő. A séma működéséhez közel 20 városi paraméter megadása szükséges, mely jól jellemzi egy adott város fizikai tulajdonságait.

(3) A specifikus modellfejlesztésnek köszönhetően a WRF-ben elérhetővé vált a *Martilli et al.* (2002) által kidolgozott többszintes városi környezet parametizáció (BEP<sup>4</sup>), mely már közvetlen kölcsönhatást teremt a városi felület és a légkör között (1. ábra). Ebben a sémaiban is fontos szerepe van a különböző felületi paramétereknek, azonban a fizikai folyamatokban már vertikálisan figyelembe vesszük az épületek eltérő magasságát, ami alapvető szerepet játszik a város felett kialakuló turbulencia és az áramlási viszonyok kialakulásában. Az épületek vertikális kiterjedése hat a város termodinamikai szerkezetére és a kialakuló hőáramokra a sűrűlási rétegben, valamint a legalsó városi modellszinten. A beérkező sugárzás ebben a verzióban is a felület tulajdonságaitól és irányától függően visszaverődik, elnyelődik, s az épületek árnyékot képeznek. A modell lehetőségeinek maximális kihasználása érdekében szükséges a felület nagyfelbontású megadása, továbbá fontos, hogy több vertiká-

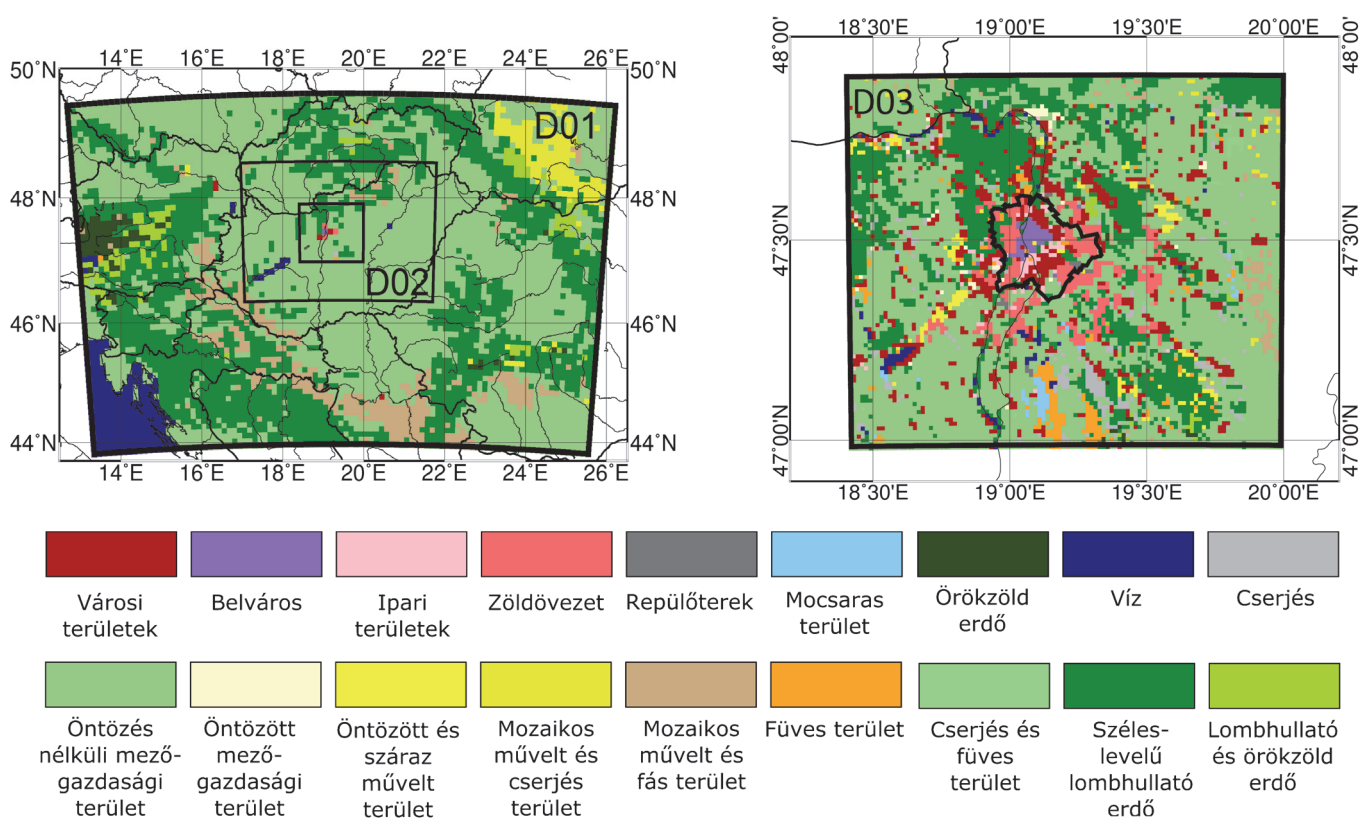
<sup>3</sup> Single Layer Urban Canopy Model

<sup>4</sup> Building Environment Parameterization

lis szint essen a városi határétegbe. Az antropogén hőkibocsátás figyelembevétele ebben az esetben is rögzített napi menettel történik. A séma használatával az egyes épületek belső hőjét konstansnak tekintjük, azonban csatolhatunk a sémához egy városi környezet modellt (BEM<sup>5</sup>), mely az épületek belső hőcseréjét számítja. A számításokhoz figyelembe veszi a hődiffúziót a falakon, a tetőn és a padlón keresztül; az ablakon keresztül történő hőcserét; a közlekedési eszközök és berendezések általi hőképződést; valamint a légkondicionálók, a fűtés és a ventiláció hatását. Az így számítható antropogén hőkibocsátás függ a felhasználó által előre megadott, épületeken belüli hőmérsékletektől. Ezáltal a szenzibilis hőáramra és az antropogén hőkibocsátásra egy pontosabb becslést kaphatunk (Chen et al., 2011).

tosabbá tehető a modell által alkalmazott városi szerkezet.

**Felszíni adatbázis.** A szimulációk nagy felbontása miatt szükséges a felszíni mezők finomfelbontású meghatározása a modellterületen. Hivatalos, finomfelbontású felszínhasználati adatbázis hiányában szükséges volt egy olyan felszínhasználati adatbázis létrehozása, melyhez az ingyenesen elérhető és módosítható *OpenStreetMap* adatbázist használtuk. Az adatbázis tartalmaz számos városi paramétert, például 43 féle felszínhasználati kategóriát, épületmagasságot, utcahálózatot és vízzel fedett területeket. *Google Earth* műholdképek alapján további területeket különítettünk el: a sűrűn beépített belvárost és a Liszt Ferenc Nemzetközi repülőtérrel, ezzel növelve a városi kategóriák számát az eredeti háromról ötre. A folyamatok vizsgálatához a főváros körül lehatároltunk



2. ábra: A vizsgált terület és a felszínhasználati eloszlás

A WRF széles horizontális skálán történő alkalmazhatósága és a finomfelbontású szimulációk elkészítése miatt feltétlenül szükséges a felszíni adatbázisok finomfelbontású meghatározása, mely részletesen tartalmazza a felszíni információkat és a terület struktúráját. Ez gyakran meglehetősen nehéz feladat, hiszen nem állnak rendelkezésre megfelelő felbontásban részletes és hozzáférhető mérések. Az eredeti modellbeállításban megadott felszíni adatbázis alapján a WRF modell három városi felszíni kategóriát különít el, melyek a következők: ritka beépítettségű lakónegyedek, sűrű beépítettségű lakónegyedek, illetve ipari területek. A felszín pontosabb ismeretében több városi kategória is bevezethető, melyekkel pon-

egy területet, melyet korábbi vizsgálatok alapján határoztunk meg és a következő területet fedti le:

k. h. 18° 48'–19° 30'; é. sz. 47° 12'–47° 48'. A terület lehatárolásakor fontos volt, hogy a későbbi városi hősziget vizsgálatok esetén a városi és környékbeli pontok száma azonos nagyságrendbe essen, így a lehatárolás után 733 városi és 1094 városkörnyéki pont adódott.

A számítások során további kikötéseket alkalmaztunk: a tengerszint feletti magasság nem haladhatja meg a 200 m-t és a vizsgált rácspont nem lehet vízzel fedett. Így a rácspontok végső száma a következő: 604 városi és 664 külterületi pont.

A külterületi pontok – ahogyan azt a 2. ábra is szemlélteti – 60%-a mezőgazdasági terület, míg 24%-a lombhullató erdő.

<sup>5</sup> Building Environment Model

**Felhasznált további adatbázisok.** A modellfuttatáshoz szükséges kezdeti mezőket az ECMWF<sup>6</sup> központ IFS<sup>7</sup> modelljének analízis mezői biztosították számunkra. A kezdeti mezők nyolcad fokos felbontásban voltak elérhetőek, és rendelkezésre álltak a WRF-modellfuttatáshoz szükséges talaj adatok négy szintre, valamint a hőmérséklet- és szélmezők több légköri nyomási szintre.

A modell felszíni adatbázisainak módosítása során a klimatológiai albedó mezőt is frissítettük. A modellben megtalálható eredeti adatbázis 1992 és 1993 között végzett AVHRR<sup>8</sup> mérésekből készült. Az általunk készített frissített adatbázis az *Aqua* és *Terra* műholdon található MODIS<sup>9</sup> szenzorral mért 16 napos átlagos globális albedó mérésekből készült a 2000.01.01–2015.12.31. időszakot lefedve, 500 m felbontással.

A modellszimulációk értékeléséhez Budapest-Pestszentlőrinc szinoptikus állomáson a Marcell György Obszervatóriumban (é. sz. 47° 25', k. h. 19° 10') mért állapotváltozók értékeit is felhasználtuk.

**Szimulációk.** A városi hősziget jelensége anticiklonális időjárási helyzetben képes a legszabályosabban kialakulni, gyenge légmozgás és felhőmentes égbolt esetén. A szimulációkat 2015. július 4-re készítettük el, amikor egy magasnyomású rendszer határozta meg hazánk időjárását, kevés felhőt és 32,4 °C-os maximumhőmérsékletet eredményezve a pestszentlőrinci állomáson.

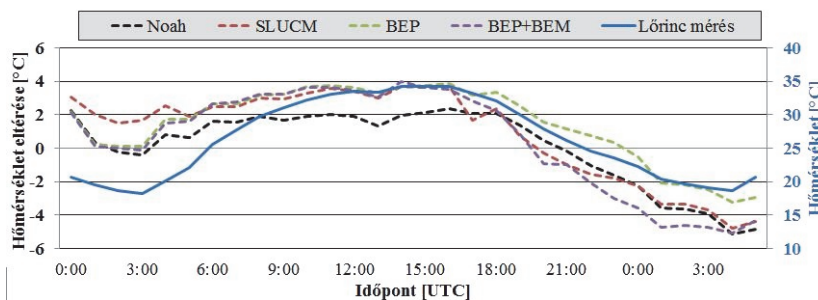
A modellszimulációt július 4-én 00 UTC-től indítottuk és másnap 06 UTC-ig futtattuk. Négy szimulációt készítettünk el a fent bemutatott városi parametizációkat alkalmazva. Az első szimulációban – mely során nem alkalmaztunk külön városi almodellt – csupán a WRF felszíni folyamatokért felelős Noah modulját használtuk (továbbiakban: Noah), majd az egyszintes városi modellel (továbbiakban: SLUCM) és a többszintes városi modellel (továbbiakban: BEP) készítettünk szimulációkat. Utóbbi esetében a városenergetikai modellt is használtuk

ba vettük (továbbiakban: BEP+BEM) az egyik számítás során.

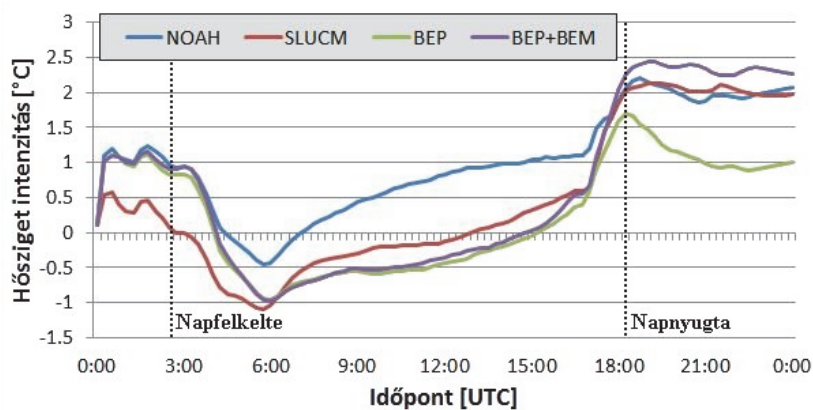
A különböző városi parametizációk viselkedésének vizsgálatához Budapestre és annak közvetlen környezetére készültek szimulációk. A kezdeti- és peremfeltételek durva felbontása miatt szükséges volt egymásba ágyazott modellterületek használata. Így a legkülső D01 modellterület a Kárpát-medencét fedi le 10 km-es horizontális felbontással (99×64 rácspont), az első beágyazott terület (D02) Magyarország középső térségét 3333 m felbontással (108×75 rácspont), míg a belső (D03) terület a fővárost és környezetét 1 km-es felbontással (108×93 rácspont).

### Eredmények.

A modell által generált hősziget jelenség vizsgálata előtt szükséges megvizsgálnunk a modellszimulációkból kapott hibákat is. A 3. ábrán a Budapest-Pestszentlőrinci állomáson mért lég-hőmérsékleti adatokat (folytonos vonal) és a modellszimulációk ettől vett eltéréseit (színes szaggatott vonalak) szemléltetjük. A mérésekből egyértelműen kirajzolódik a hőmérséklet napi menete 17 °C-os minimummal a hajnali órákban és 32 °C-os maximummal a déli órákban. A grafikon jól illusztrálja a különbségek napi menetét is, ami nagyjából együtt fut a mért



3. ábra: A Budapest-Pestszentlőrincen végzett hőmérséklet mérés és a modellszimulációk ettől vett eltéréseinek nap menete 2015. 07. 04. 00 UTC-től 2015. 07. 05. 06 UTC-ig



4. ábra: Hősziget intenzitások napi menete a szimulációkban 2015. 07. 04-én.

hőmérsékleti értékekkel. A hajnali órákban (még a modellfuttatás felpörgési ideje alatt) a minimális besugárzás hatására az eltérések 0 °C és 2 °C között mozognak. Majd ahogy növekszik a beérkező rövidhullámú sugárzás, a hibák 4 °C-hoz közelednek, kivéve a Noah szimulációt, melynek hőmérsékleti hibája a nappali órákban sem haladja meg a 2,3 °C-ot.

A beérkező sugárzás csökkenésével mind a mért hőmérséklet, mind a szimulációk ettől való eltérése csökken a délután és az este folyamán. A pestszentlőrinci állomás a zöldövezeti zónában helyezkedik el, ahol a modellszimulációkban – a Noah szimulációt kivéve – megjelenik egy minimális antropogén hőkibocsátás. Az emberi tevékenységek által kibocsátott hő eltérő számítási módjának és a város eltérő struktúrájának következté-

<sup>6</sup> European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

<sup>7</sup> Integrated Forecast System

<sup>8</sup> Advanced Very High Resolution Radiometer

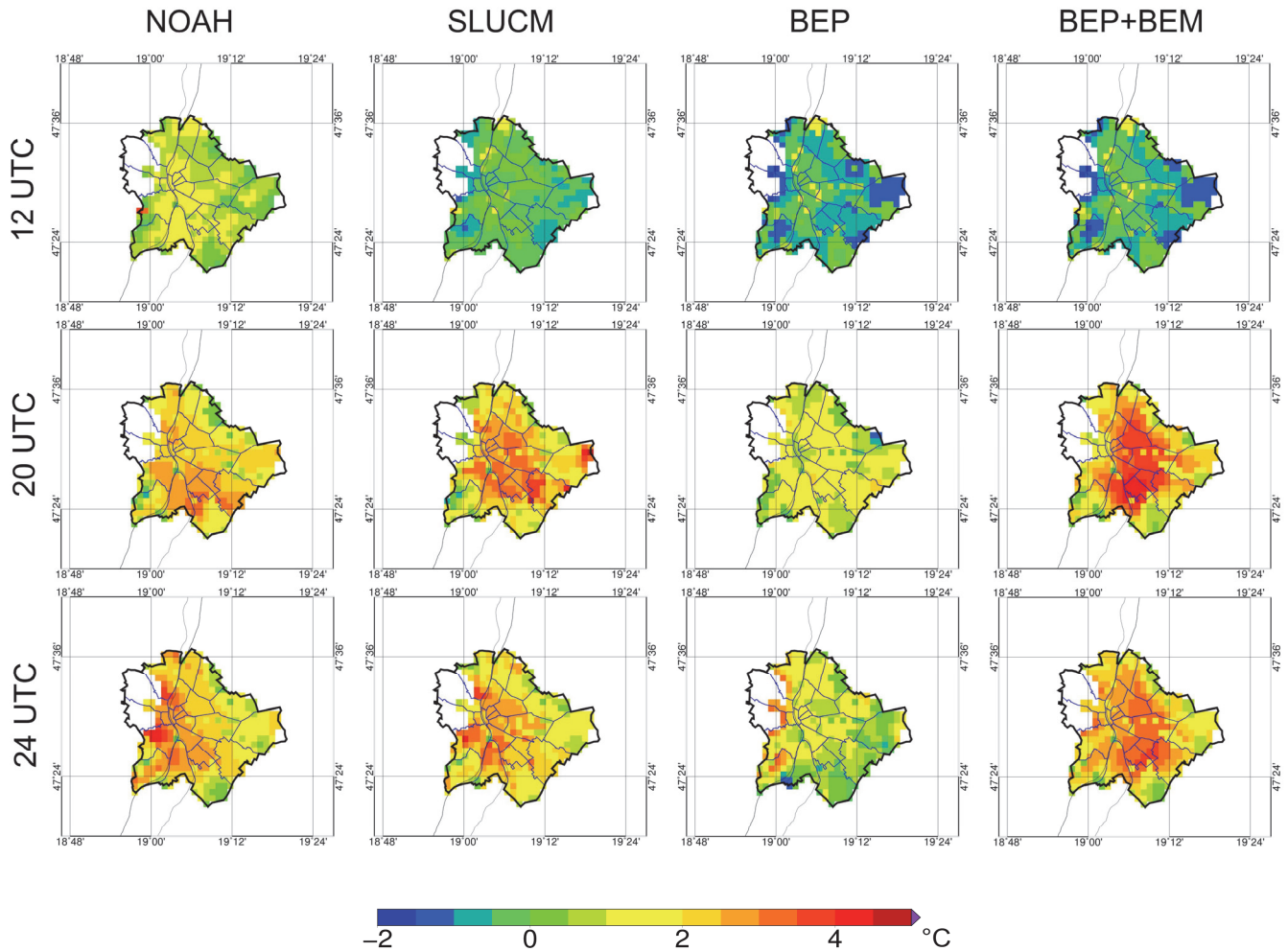
<sup>9</sup> Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer



ben a BEP szimuláció lassabb csökkenést mutat a hőmérsékleti eltérésekben 18 UTC után a többi szimulációhoz képest.

Számításaink során a városi hősziget intenzitását (UHI) a következőképpen definiáltuk: a korábban bemutatott, elkülönített modellterületen belül városi pontnak tekintettük azokat a rácpontokat, melyek Budapest közigazgatási területén belül helyezkednek el, nem vízzel borítottak és tengerszint feletti magasságuk nem éri el a 200 m-t; a külterületi pontok pedig a Budapest határain kívül eső, nem mesterséges felszínborítású területek rácpontjai. Az értékelésnél e két területen kialakult kétméteres

futtatástól, ahol az intenzitás értéke csupán a napfelkelte időszakában volt negatív. Ez a pozitív irányú eltolódás a városi területek hőtöbbletével és a látens hőáram hiányával magyarázható. A Noah felszíni séma minimális városi vegetációjának és a felszíni talajnedvesség hiányának hatására a látens hőáram a nap folyamán nulla volt. Ezzel ellentétben a többi szimuláció során a ritkább beépítettségű felszínkategóriákban kialakulhatott közel  $125 \text{ Wm}^{-2}$ -es látens hőáram is. Naplemente után a szimulációkban található városi területek eltérő módon viselkedtek a kialakuló látens, szenzibilis és antropogén hőáramok miatt. A BEP szimuláció hősziget intenzitása naplementekor érte el  $1,7 \text{ }^\circ\text{C}$ -os maximumát, utána el-



5. ábra: Városi hősziget területi elrendeződése a különböző szimulációkban 12, 20 és 24 UTC-kor

léghőmérsékletbeli különbségének napi menetét (4. ábra) és területi elrendeződését (5. ábra) vizsgáltuk.

A WRF-modellben használható városi parametizációk eltérő módon kezelik a fizikai folyamatokat: így nem meglepő, hogy a kapott hősziget intenzitások sem alakulnak teljesen azonosan. A hajnali órákban, napfelkelte előtt, a modell felpörgési időszakában pozitív hősziget intenzitás ( $\approx 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) alakult ki, azonban a SLUCM szimulációban a városi területek kevésbé tudtak felmelegedni, mely kisebb intenzitás értékeket eredményezett. A nap-pali órákban a városi parametizációt használó szimulációkban az UHI értéke nulla alatt mozgott eltérve a Noah

kezdett csökkenni, eltérve ezzel a többi szimulációtól. A jelentős csökkenés a városi területek hirtelen lehülésével magyarázható. Az éjszakai órákban a BEP+BEM szimuláció generálta a legerősebb hőszigetet, ami a városi területek antropogén hőtöbbletével magyarázható és a belvárosi területeken maximalizálódott (5. ábra).

A városi hősziget számításánál jelentős szerepe van a felszín borítottságának is, így elengedhetetlen az UHI területi elrendeződésének vizsgálata. Korábbi műholdas vizsgálatok (Pongrácz *et al.*, 2006) alapján Budapestről elmondható, hogy a hősziget intenzitás a maximumát a Duna bal partján fekvő belvárosi területeken érte el, ahol

a legnagyobb a beépítettség és az antropogén hő kibocsátás is. A város határa felé fokozatos intenzitás csökkenés detektálható, kirajzolva ezzel egy sugaras város szerkezetet. A WRF-modell forráskódjába újonnan bevezetett városi kategóriák segítségével pontosabban reprezentálható az UHI struktúrája, azonban itt is mutatkoznak különbségek a szimulációk között. Az UHI intenzitások 4. ábrán bemutatott napi meneténél a Noah szimuláció a nappali órákban egyértelműen kiemelkedett magasabb értékeivel, ami jól látszódik az 5. ábra legfelső sorában is.

A Noah szimuláció esetében a városi területek hőmérséklete átlagosan 31,4 °C volt, míg a külterületeké 30,5 °C. Ezzel ellentétben a többi szimuláció során 12 UTC-kor negatív hősziget jelenség alakult ki (SLUCM: város: 30 °C környék: 30,2 °C; BEP: város: 29,7 °C, környék: 30,4 °C; BEP+BEM: város: 29,8 °C, környék: 30,5 °C). Megfigyelések alapján a vizsgált jelenség naplemente után, az éjszakai órákban éri el maximumát és rajzolódik ki a legtisztábban (Oke, 1982). Az 5. ábra szemléltet két további, éjszakai időpontra meghatározott területi eloszlást is.

A korábbi eredményekhez hasonlóan a BEP+BEM szimulációban 4 °C-os maximummal kirajzolódik a belváros térsége, ami a többi szimulációban nem, vagy csak részlegesen jelenik meg gyengébb intenzitásokkal. A BEP szimuláció alacsony éjszakai intenzitás értékei miatt a belvárosi meleg zóna nem jelenik meg. A Noah szimuláció, habár nem rendelkezik antropogén hő kibocsátást leíró taggal, mégis képes reprodukálni az éjszakai hősziget jelenséget, azonban a BEP+BEM szimulációtól eltérő területi elrendeződésben.

**Összegzés.** A WRF numerikus modell beépített városi parametizációinak segítségével megbecsülhető a budapesti városi hősziget hatás jellemzői és térbeli szerkezete. A modellszimulációk során a felhasználói igények figyelembevételével a megoldandó feladat, probléma jellegétől függően háromféle, eltérő komplexitású városi sémával számolhatunk. Habár a komplex fizikai folyamatok miatt a szimulációs eredmények hibával terheltek (nappali órákban mintegy 4 °C-os a léghőmérsékleti eltérés), a város sajátos struktúrája és a hősziget beépítettségéből adódó területi elrendeződése elemezhető. Pontos és finomfelbontású adatbázisok használatával tovább javítható a felszíni folyamatok becslése és a folyamat térbeli eloszlása is.

#### Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kutatásokat támogatta az AGÁRKLIMA2 (VKSZ\_12-1-2013-0034) és az OTKA K-120605 számú projekt.

#### Irodalom

- Bartholy J., Pongrácz R. és Dezső Zs., 2005: A hazai nagyvárosok hősziget hatásának elemzése finomfelbontású műholdképek alapján. *AGRO-21 Füzetek* 44, 32–44.
- Brousse, O., Martilli, A., Foley, M., Mills, G. and Bechtel, B., 2016: WUDAPT, an efficient land use producing data tool for mesoscale models? Integration of urban LCZ in WRF over Madrid. *Urban Climate*. 17, 116–134.
- Bottyán, Zs., Kircsi, A., Szegedi, S. and Unger, J., 2005: The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. *Inter. J. Climatol.* 25(3), 405–418.
- Chen, F. and Dudhia, J., 2001: Coupling an Advanced Land Surface-Hydrology Model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. *Mon. Weather Rev.* 129(4), 569–585.
- Chen, F., Kusaka, H., Bornstein, R., Ching, J., Grimmond, C. S. B., Grossman-Clarke, S., Loridan, T., Manning, K. W., Martilli, A., Miao, S., Sailor, D., Salamanca, F. P., Taha, H., Tewari, M., Wang, X., Wyszogrodzki, A. A. and Zhang, C., 2011: The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems. *Int. Jour. of Climat.* 31, 273–288.
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R. és Lelovics E., 2012: Városi hősziget vizsgálatok műholdas és állomási mérések alapján. *Léggör* 57, 170–173.
- ENSZ, 2007: World Urbanization Prospects: The 2007 Revision, <http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007wup.htm>.
- Gál, T., Skarbit, N. and Unger, J., 2016: Urban heat island patterns and their dynamics based on an urban climate measurement network. *Hungarian Geographical Bulletin* 65(2), 105–116.
- Kusaka, H. and Kimura, F., 2004: Coupling a single-layer urban canopy model with a simple atmospheric model: impact on urban heat island simulation for an idealized case. *J. Meteor. Soc. Japan* 82, 67–80.
- Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y. and Kimura, F., 2001: A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: comparison with multi-layer and slab models. *Boundary-Layer Meteorology* 101, 329–358.
- Martilli, A., Clappier, A. and Rotach, M. W., 2002: An urban surface exchange parameterization for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology* 104, 261–304.
- Oke, T.R., 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108, 1–24.
- Pongrácz, R., Bartholy, J. and Dezső, Zs., 2006: Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. *Advances in Space Research* 37, 2191–2196.
- Skamarock, W.C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W. and Powers, J. G., 2008: A description of the advanced research WRF Version 3. *NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR*. doi:10.5065/D68S4MVH.
- Zhang, N., Gao, Z. and Wang, X., 2010: Modeling the impact of urbanization on the local and regional climate in Yangtze River Delta, China. *Theor. Appl. Climatol.* 102, 331–345.

## AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS KIHÍVÁSAI A MÉHEKRE ÉS A MÉHÉSZETEKRE

### CHALLENGES OF CLIMATE CHANGE TO THE LIFE OF BEES AND APIARIES

Tarczay Klára<sup>1</sup>, Feiler József<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest 1024, Kitaibel Pál Utca 1., [tarczay.k@met.hu](mailto:tarczay.k@met.hu)

<sup>2</sup>European Climate Fundation, Riviervismarkt, 5, 2513 AM The Hague, Netherlands, [jozsef.feiler@europeanclimate.org](mailto:jozsef.feiler@europeanclimate.org)

**Összefoglalás.** Családunk több mint 100 éve foglalkozik méhekkel, méhészzel. Ezt a hagyományt folytatjuk mi is, és szeretnénk, ha a gyermekeink is továbbvinnék ezt. Arra keressük a választ, hogy a változó környezet, az éghajlat átalakulása hogyan befolyásolja ezeket az apró állatoknak az életét, a méhész szakmát milyen kihívások elé állítja? Ezeket a kérdéseket már a méhész szakma hazai képviselői is feltették nekünk, több előadás is foglalkozott az éghajlatváltozás méhészeti vonatkozású hatásaival – méhész szemmel. Most a másik oldal képviselőinek – a meteorológusoknak – szeretnénk bemutatni, hogy milyen kutatási eredmények születtek ebben a témában, az éghajlati modellek eredményei hogyan használhatók a méhészeknek az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásban.

**Abstract.** Our family is keeping bees, produces honey for more than a century. This is a tradition we continue and would like to have our children carrying on. We would like to explore which challenges pose the impact of environmental and climate change to the life of bees, apiarist profession. These questions were already raised by home apiarists and several lectures dealt with the bee keeping related impacts of climate change – from the viewpoint of apiarists. Now we would like to introduce the issue and to the other side, to the meteorologists – what kind of research results are available regarding this topic and how can the results of climate modelling used for apiarists for adaptation to climate change.

Meteorológusoknak éghajlatváltozásról írni nem klimatológusként nehéz feladat, ugyanúgy, ahogy, méhészeknek beszélni a méhészetről kezdő méhészként, de talán a két téma találkozási pontja, azaz az éghajlatváltozás hatása a méhekre és a méhészetekre elég sok újdonságot adhat mindkét szakterület művelői számára. Ebben a cikkben a Magyar Meteorológiai Társaság XXXVI. Vándorgyűlésén elhangzott előadásunkat szeretnénk ismertetni.

#### Néhány érdekesség a méhekről.

Szándékosan nemcsak a házi, hanem a vad- és poszméhekről is szólunk, mivel az éghajlatváltozás rájuk is hatással van, ráadásul a kutatások elsősorban az utóbbiakkal foglalkoztak. A legtöbb ember egész életében nem találkozik közelről méhekkel, de sokan nem is tudják, hogy milyen fontos szerepük van az emberi társadalom fennmaradásában. Még azok is, akik nem fogyasztanak mézet, élvezik a méhek áldásos tevékenységét a növények beporzása révén.

A méhek – beleértve a vadméheket és a poszméheket is – az emberi táplálék 35%-nak beporzását végzik és 115 vezető élelmiszer előállításuk függ a méhek beporzásától. Ha nem lennének, ezen élelmiszerek közül 35-nél 10–90%-kal kevesebb termésre lehetne csak számítani. De nemcsak a haszonnövények, hanem a vadon élő növények szempontjából is fontos szerepük van. A fejlett társadalmak függősége a beporzástól 1961 és 2006 között 50%-kal nőtt, a fejlődő világra pedig 62%-kal, miközben Európában a méhcsaládok száma 26%-kal, Észak-Amerikában pedig 50%-kal csökkent. Ázsia az egyedüli kivétel, ott a számuk megnégyszereződött.

Sokfajta méh létezik, a vadméheknek közel 20 000 fajtáját ismerik. Vannak magányos és családos méhek. Utóbbiak között vannak olyanok, melyek az év bizonyos részében élnek társaságban: télre felbomlik a család, és csak a fiatal anyák telelnek át, ilyenek a poszméhek (*Bombus*). A mézelő méhek (*Apis*) viszont egész évben családban élnek. A családos méhek harmadik csoportja a fullánk nélküli méhek (*Melipona*). A méhészek természetesen a mézelő méhek közül a házi méhekkel (*Apis mellifera*) foglalkoznak. Számos fajtájuk ismert, melyek különböző tulajdonságokkal rendelkeznek a vadtság, rajzási hajlam és hidegtűrés tekintetében. Nálunk legelterjedtebb fajták a krajnai, az olasz, a kaukázusi és a sötét európai/északi.

Vannak olyan növények, melyeket a házi méhek nem tudnak beporozni fizikai okok miatt – ilyen a paradicsom is –, mindemellett a házi méhekre jellemző, hogy nem specifikálódtak egy-egy növényre, emellett hatékonyságukat a családon belüli kommunikáció is növeli.

A család tagjainak nemcsak a feladata, de mérete, alakja és élettartama is különbözik. Az anya, melyből csak egy van családonként, akár 4–5 évig is élhet, feladata a pete rakás. Érdekesség, hogy kétféle petét rak le, a megtermékenyített petéből lesz nőstény, azaz anya vagy dolgozó méh, a megtermékenyítetlenből pedig hím, azaz here fejlődik. A dolgozók élettartama 4–6 hét és 5–8 hónap között változik – utóbbi az áttelelő méhekre vonatkozik. Számuk – szintén az évszaktól függően – 10 000 és 65 000 között mozog. Életkoruk szerint más-más feladatot látnak el: tisztogatás, a költés ápolása, élelemgyűjtés, légkondicionálás, védekezés, viasz készítése. Ahhoz,

hogy egy kilogramm mézet előállítsanak, kb. 4 millió virágot kell meglátogatniuk a dolgozóknak, egy egyed pedig naponta akár 7000 virágot is felkeres, s ha kell, képes 4–5 km-t is repülni az élelemért. A herék szerepét a mai napig nem teljes mértékig ismerik, az biztos, hogy a fiatal anyák megtermékenyítése a legfontosabb feladatuk. Mindössze 4–5 hétig élnek a tavasztól ősziig tartó ún. hordási időszakban, télen a számuk nullára csökken a kaptárban.

Mint minden élőlényt, a házi méheket is érhetik betegségek. Baktériumokkal, gombákkal, élősködőkkel, kispórással és vírusokkal kell megküzdeniük. Az élősködők közül az atka (*Varroa destructor*), míg a kispórással közül a *Nosema* nevét érdemes megemlíteni az éghajlatváltozás hatásai kapcsán. Erről később lesz szó bővebben.

A méhek nagyon pontos „belső hőmérővel” rendelkeznek. Ha a kaptáron kívüli levegő hőmérséklete a +10 °C-ot eléri, a dolgozók kirepülnek a kaptárból, ez alatt bent maradnak. A méhek nem alszanak téli álmod, ha a kaptárban a hőmérséklet 8 °C alá csökken teletűrtbe állnak össze, hogy az anyát melegen tudják tartani. A fűrt magjában a hőmérséklet a 30 °C-ot meghaladja, míg a külső részén a hőmérséklet negatív is lehet.

Egy másik fontos léghőmérsékleti érték a +34 °C, ekkor a dolgozó méhek kénytelenek a nektár- és pollengyűjtést abbahagyni, hogy a kaptárban légkondicionáló feladatot lássanak el. Természetesen a hőmérsékleten kívül a szél, a csapadék és a légnedvesség is erősen befolyásolja az életüket, a táplálékgyűjtési eredményességüket.

### Milyen kutatások folytak az éghajlatváltozás és méhek témában?

*Fitter and Fitter* (2002) azt vizsgálták, hogy Nagy-Britanniában közel 400 növény virágzásának kezdete hogyan változott az elmúlt 50 évben. Azt találták, hogy átlagosan 4,5 nappal korábbra tehető az első virágok megjelenése az utóbbi 10 évben az előző negyven évhez képest, de 16% közülük akár 15 nappal korábban kezdte a szirmát bontani. A vizsgált fajok közül csupán 3% virágzott később az előző időszakhoz képest. Azt is megállapították, hogy a rovarporozta virágok közül a korai virágzók érzékenyebbek a melegezésre, mint a később

virágzók, miközben a szélporozta fajoknál nem volt különbség. Ugyanez a cikk említi, hogy német kutatások arra jutottak, hogy 1951–1996 között akár 6 nap eltolódás is megfigyelhető a korai tavaszi fenofázisban, a mediterrán régióban pedig 1 °C hőmérséklet növekedésnél 6 nap eltolódást tapasztaltak. Hogy ez miért fontos a méhek szempontjából? Ha a virágzás hirtelen indul meg, a méhek fiasítása nem indul kellő időben meg – dolgozók esetén 21 nap kell a kifejlődéshez – a család nem képes elegendő táplálékot gyűjteni. Ez természetesen kihat a család későbbi fejlődésére is, és nemcsak a mézhozamot veszélyezteti, hanem a család fennmaradását is. Nem csoda, ha 2013-ban egy orosz kutatócsoport arra volt kíváncsi, hogy az ottani boreális erdőben 40 évi adatsort vizsgálva hogyan alakult az ökológiai rendszer viselkedése 77 klímamutatót tekintve. Úgy tűnik, hogy rövidtávon a madarak és rovarok, hosszú távon pedig sok növény és a hullók, kételtűek fenológiája változott. Évek közötti változásoknál viszont azt találták, hogy szinkronban maradtak a rendszer tagjai, a gombák kivételével.



Vissza a kaptárba - mézgyűjtés után

*Bartomeus et al.* (2011) munkájukban már kifejezetten a méhek és növények fenológiáját vizsgálták Észak-Amerikában egy 130 évi időszoron. 10 vadméhfajt vettek be a kutatásba, melyeknél megállapítható volt, hogy átlagosan 10 nappal toldott el a különböző

fejlődési szakaszuk, és ennek az eltolódásnak a nagy része 1970 után következett be – a globális hőmérséklet-növekedéssel párhuzamban. Az elérhető legjobb adatok növények esetében hasonló képet festettek, azaz szinkronban vannak legalább a vizsgált fajok.

*La Conte and Navajas* (2008) tanulmányukban átfogó képet adnak arról, hogy az éghajlat milyen hatással van a mézelő méhek populációjára és a betegségeikre. Bár a cikk címében az éghajlatváltozás méhekre gyakorolt hatásai szerepel, a jövőben várható hatásokról igazából nem beszél, inkább a jelen szélsőséges időjárási körülmények által okozott problémákat taglalja. Hozzá kell tenni, hogy ezeket a tapasztalatokat az alkalmazkodás területén érdemes szem előtt tartani. Az talán magától értetődik, hogy az éghajlat befolyásolja a virágok fejlődését, nektár- és pollentermelését. Ebből következik, hogy az éghajlatváltozás következtében a virágfajták eloszlásának változása lehet a legnagyobb hatás a méhekre. Tény, hogy az őszi szárazság a méhek pollengyűjt-

tését csökkenti, emiatt az immunrendszerük legyengül, csökken az élettartamuk, ezáltal a család esetleg nem telet át. Az erdei méhészeteknél a nedvesség csökkenése a mézharmat csökkenését, elmaradását okozhatja. A szárazság természetesen az összes növény nektártermelését visszaveti, de a virágzás ideje alatt érkező kiadós vagy tartós eső is hasonlóan káros, az akácvirágzást is ez teheti tönkre. Ez azért is érdekes, mivel a hazai méhészetek legfontosabb nektárforrása az akác. Az éghajlatváltozásról csak a cikk összefoglalásában találunk említést: a negatív hatások elkerülése érdekében a genetikai keveredést, változatosságot javasolja a házi méhek esetében. Ezen kívül felhívja a figyelmet arra, hogy az ázsiai méhek kevésbé adaptívak, nagyobb veszély számukra a változó környezet.

Érdekes kísérletről számoltak be *Rader et al.* (2013; 2016): modellezték, hogy a legextrémebb IPCC forgatókönyv (A1F1) alapján hogyan változik a házi méhek és a vadméhek beporzási szolgáltatása. Bár számos egyszerűsítést (betegségek, alkalmazkodás, elterjedés, peszticidok elhanyagolása) alkalmaztak, ami jelentősen befolyásolhatja a végeredményt, azt állapították meg, hogy míg a házi méhek 14,5%-kal kevesebb beporzást végezhetnek, addig a vadméhek nemcsak ellensúlyozzák majd e kiesést, de még növekedhet is ez a szolgáltatás, összességében 4,5%-kal 2099-re.

Ugyanez a kutatócsoport 2016-ban már azt vizsgálta, hogy a nem-méhek általi beporzás hogyan alakul a világban. 39 tanulmány alapján arra jutottak, hogy a beporzások egy részét, 25–50%-ot ezeknek köszönhetjük, s bár kevésbé hatékonyak, de többször látogatnak meg egy-egy virágot. A kutatásuk fő mondanivalója az volt, hogy ha csökken is a méhek populációja, van biztosíték arra, hogy más fajok átvehetik a méhek által nyújtott beporzási szolgáltatást. Ugyan a cikk pozitív kicsengésű az emberiség szempontjából, a méhészek szempontjából egyáltalán nem tűnik biztatónak.

### Mik a hazai tapasztalatok?

Szomorú képet fest a hazai poszméh állományról *Sáropataki et al.* (2005) cikke, melyben arról számolnak be, hogy veszélyben vannak ezek az élőlények. Csökkenő létszámok mutatkoznak szinte minden jelen lévő fajnál, a korábban 25 ismert fajból 4 mára kihalt vagy nincs adat az előfordulásukról. Az őshonos fajoknál 21-ből 10-nél csökkenő, s csupán 3 esetben növekvő létszámadatot regisztráltak. Ha ezeket az adatokat figyelembe vesszük, aligha tudják majd helyettesíteni a szintén csökkenő populációjú házi méheket a növények beporzásában.

Tudományos közleményeket nem találtunk a hazai méhészek tapasztalatairól az eddig megfigyelt éghajlatváltozás témájában, de számos újságcikk (<http://www.eu-info.hu/>) számol be az elmúlt években sorozatosan előforduló problémákról (*Örösi*, 1989; *Pohl*, 2011), melyek a kedvezőtlen időjárási események miatt alakultak ki. Bár mindig is időjárásfüggő volt a méhészet nyereségsége, mintha a mostani méhészeknek semmi sem kedvezne. Hogy mikkel kell mostanában megküzdeni a mé-

hészeknek? 2007 telén arról számolt be Szalainé Mátray Enikő, a herceghalmi központú Állattenyésztési Kutatóintézet gödöllői méhtenyésztési osztályának vezetője, hogy a szokatlanul meleg napok miatt a teletőfűrt jócskán fellazult, s a méhek anyagcseréje, következőképpen tápanyagfogyasztása is megélnékült. A méhanyák némelyike megkezdte a petézést, és a teletőfűrt belsejét alkotó, értékesebb fiatal méhek akár életük árán is táplálják és védik a fiasítást. Közben a tartalék tápanyagkészlet gyorsabban fogy, mintha az ilyenkor szokványos nyugalomban teletne a méhcsalád. Nem is szólva a februári, márciusi, netán áprilisi lehülésről, ami akár a biztonságos áttelelést is veszélyeztetheti. Még ugyanabban az évben a hosszú forró nyár vetett véget a méztermelésnek, és komoly gondot okozott a méhcsaládoknak is. Egyes szakértők szerint a forróság felülírta a méhek táncával közölt „adatait”, ami a dolgozók életébe kerülhetett. A nyúlós költésrothadásnak hívott fertőző betegség, valamint a száraz, meleg időjárás miatt egyes becslések szerint eltűnt a magyar méhek fele ebben az évben. 2009-ben a márciusi hideg vetette vissza a méhcsaládok fejlődését. 2014-ben arról számoltak be a lapok, hogy harmadik éve tartó negatív rekordot könyvelhetünk el az akácméztermelésben, melyet az időjárásnak köszönhetünk. 2015-ben az enyhe telet komoly lehülés követte és sok helyen ezen kívül a *Nosema* nevű betegség is pusztította a családokat. A 2016-os év sem hozott áttörést, ezen a tavaszon minden egyszerre virágzott, ami kockázatot is jelentett a méhészeknek. A gyenge tél és a korai tavasz következtében hetekkel előre járt a természet. Az enyhe tél miatt a családok nem voltak nyugalomban, az anya petézett, a dolgozók pedig a fiasítást áptolták, ami többféle legyengítette, előregítette a telető állományt. Emiatt korán jött a nemzedékváltás, lecsökkent a népesség a kaptárakban. Ahol így történt, ott a méhészek csak nagyon sok munkával tudták a méhcsaládokat termelő családokká fejleszteni. A bajt csak tetézte, hogy az egymást követő, elhúzódó virágzások helyett minden egyszerre és gyorsan levirágzott, ami jelentősen csökkentette a mézhozamot.

### Mire is számíthatunk a közeljövőben, milyen kihívásokkal kell szembenézni a méhészeknek?

A méhészek olyan elemeket kezdtek felfedezni az elmúlt időszakban az időjárásban, mely arra irányította a figyelmüket, hogy foglalkozniuk kell az éghajlatváltozás megismerésével is. Ez adta az ötletet, hogy a *Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR)* adatbázis nyilvános térképei alapján megnézzük, hogy Magyarországon a méhekre, méhészetekre, milyen változások lesznek hatással, mire kell majd a nem is olyan távoli jövőben (2021–2050) felkészülniük.

A bevezetőben már ismertettük, hogy vannak meghatározó hőmérsékletek a méhek életében. Ha valamiféle képet akarunk kapni a jövőbeli viselkedésükről, ezek változását érdemes áttekinteni. Az adatbázis alapján azt kapjuk, hogy a forró napok száma várhatóan majd növekszik +5–20 nappal, és akár 20–25 nap hőségriadó is előfordulhat évente. Ez természetesen kevesebb nektár- és pollengyűjtést eredményezhet, és szárazsággal páro-

sulva a teletől méhek túl korai megjelenését eredményezheti. Ez pedig veszélyezteti az áttelelést, ami a méhállomány csökkenését eredményezheti.

A tavaszi átlaghőmérséklet növekedése 1,5–2 °C-os értéket mutat. Hogy a fenofázisok eltolódnak-e vagy sem (Ovaskainen et al., 2013), még nem egyértelmű. Az azonban valószínű, hogy korábban indulhat meg a virágzás, és esetleg hasonlóan a 2015-ös és 2016-os tavaszhoz, az egyszerre virágzó növények miatt a fajtaméhek mennyisége csökkenhet. A késői fagyok pedig jóval nagyobb kárt okozhatnak a korán megindult fejlődésben mind a növények, mind a méhek tekintetében. A gyors melegedés rövid virágzást hozhat, mely ismét kevesebb nektár- és pollentermelést eredményezhet.

A téli átlaghőmérséklet növekedése (1–1,5 °C) sem könnyíti meg a méhészek életét. Arra gondolhatnánk, hogy a melegebb miatt majd kevesebb téli táplálékra lesz szükségük, ami pozitív hatás. Emellett viszont a fiasítás esetleg nem áll le, mely kimerítheti tavaszra a család teljes tartalékát. Nem beszélve arról, hogy a *Varroa atka*, mely nagy számban fordul elő a fiasításban, nagyobb eséllyel gyengíti le a családot. Ha előfordulnak fagyhullámok, elpusztíthatják az ilyen aktív családokat. A téli melegedés komoly fejtörést okoz a méhészeknek abban a tekintetben is, hogy milyen az ideális kaptár? A korábban bevált gyakorlatok, vagyis a hőszigetelés, a kisebb családok közös kaptárban történő elhelyezése talán már nem is jó megoldás?!

A melegedés akár pozitív hatással is lehet a méhészetekre, ha az őszi átlaghőmérséklet növekszik (a különböző modellek +1,0–1,5 vagy +1,5–2 °C változást is adnak) a vadvirágok ismételt virágzása újabb élelemforrása lehet a méheknek és kevesebb téli élelem kell majd a családoknak.

Ejtsünk arról is szót, hogy az éghajlatváltozás a misztikus távoli jövőt befolyásoló kellemetlen dologként jelenik meg az emberek képzeletében. Aztán hirtelen meglepődnek, amikor a következményekkel a saját életükben szembesülnek, így jártak a méhészek is. Az eddigi melegedés már úgy tűnik elég volt ahhoz, hogy a méhek számára veszélyt jelentő *Nosema apis* helyét a délebbi terü-

leteken pusztító *Nosema ceranae* átvegye, melyre a korábbi védekezési módszerek hatástalanok.

### Összefoglalás

Elmondható, hogy a természet, bár igyekszik egyensúlyt tartani, a változó környezet számos kihívás elé állítja már most a méheket és a méhészeteket. Az alkalmazkodás nem egyszerű feladat, számos megoldandó kérdést vet fel, amelyre ma még nem tudjuk a választ. A házi méhek esetében a fajok mesterséges szelekciója, keveredése nyújthatja a megoldást. A többi méhfajnak sajnos az éghajlatváltozáson kívül az emberi tevékenység okozta számos káros hatással is, melyeket ebben a cikkben nem említettünk, meg kell küzdeniük, hogy életben maradhassanak. Ezek az apró élőlények hatalmas befolyást gyakorolnak a mindennapi életünkre az élelmiszerek kapcsán, ezért mindenképpen oda kell figyelni rájuk.

### Irodalom

- Bartomeus, I., Ascher, J. S., Wagner, D., Danforth, B. N., Colla, Sh., Kornbluth, S. and Winfree R., 2011: Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants, *PNAS* 108(51) 20645–20649.
- Fitter, H. and Fitter, R. S. R., 2002: Rapid Changes in Flowering Time in British Plants, *Science* 296(5573), 1689–1691. <http://www.eu-info.hu/>
- Le Conte, Y. and Navajas, M., 2008: Climate change: Impact on honey bee population and diseases, *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)* 27(2).
- Ovaskainen, O. et al. 2013: Community-level phenological response to climate change. *PNAS*, 110(33), 13434–13439.
- Örösi, P. Z., 1989: Méhek között, *Börze Kft.*, Budapest, ISBN: 9630278537
- Pohl, F., 2011: Méhészet, A nektárgyűjtéstől a finom és egészséges mézig. *Holló és Társa Könyvkiadó*, Budapest, ISBN: 9636842132.
- Rader R., Reilly, J., Bartomeus, I. and Winfree, R., 2013: Native bees buffer the negative impact of climate warming on honey bee pollination of watermelon crops. *Global Change Biology*, 19(10) 3103–3110.
- Rader, R. et al., 2016: Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *PNAS* 113(1) 146–151.
- Sárospataki, M., Novák, J. and Molnár, V., 2005: Assessing the Threatened Status of Bumble Bee Species (Hymenoptera: Apidae) in Hungary, Central Europe, *Biodiversity and Conservation* 14, 2437–2446. doi:10.1007/s10531-004-0152-y.

## REGIONÁLIS KLÍMAMODELL-SZIMULÁCIÓK EREDMÉNYEI AZ ÚJ RCP-SZCENÁRIÓK FIGYELEMBEVÉTELÉVEL

### REGIONAL CLIMATE MODEL PROJECTION RESULTS BASED ON THE NEW RCP SCENARIOS

Pieczka Ildikó<sup>1</sup>, Szabóné André Karolina<sup>1</sup>, Pongrácz Rita<sup>1,2</sup>, Bartholy Judit<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A,

<sup>2</sup>Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Kiválósági Tudásközpont 2462 Martonvásár, Brunszvik u. 2.  
*pieczka@nimbus.elte.hu, karol@nimbus.elte.hu, prita@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu*

**Összefoglalás.** Az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának antropogén eredetű növekedése egyértelműen az éghajlat megváltozását eredményezi, melyet dinamikus leskalázással vizsgáltunk. A hazai éghajlati viszonyok várható változásait számszerűsítendő a RegCM felhasználásával klímamodel-szimulációkat készítettünk 10 km-es horizontális felbontással, az RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyvek figyelembevételével. Ebben a cikkben a kapott eredményeket elemezzük.

**Abstract.** The global average atmospheric concentration of greenhouse gases clearly increased in the past century due to the anthropogenic emissions. The consequent regional climate change in Hungary is analyzed here with the dynamical downscaling method. For this purpose, RegCM model simulation of 10 km horizontal resolution were carried out taking into account RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. The results are summarized in this paper.

**Bevezetés.** A globális és regionális klímaváltozás jövőbeli alakulásához kapcsolódóan napjaink kulcskérdései közé tartoznak (a) az éghajlatváltozás közvetlen következményei (melyek elsődlegesen az emberi szervezetet és/vagy a természetes környezetet érintik), valamint (b) a gazdasági és társadalmi folyamatokban jelentkező közvetettebb hatások. A válaszadáshoz alapvetően az éghajlati modelleket s ezek szimulációs eredményeit tekintjük kiindulási eszköznek. A múltra vonatkozó modell-futtatások alapján értékelhetjük, hogy a modellek milyen mértékben képesek reprodukálni az elmúlt időszakok éghajlati viszonyait (Pieczka et al., 2014; 2017a). A kapott hibák alapján kijelölhetők a fő fejlesztési irányok, melyek a modell javítását célozzák. A jövőre végzett modellszimulációk különféle feltételezett jövőképeket felhasználva adnak becslést az éghajlat további alakulására. Mivel ezek a becslések relatíve sok, változó bizonytalanságot tartalmazó feltételezést foglalnak magukba, ezért az így kapott eredmények csupán lehetséges éghajlati viszonyokat írnak le – melyek alapvetően a feltételek teljesüléséhez köthetők.

Magyarország térségére négy különböző klímamodel adaptációjával rendelkezésre állnak a jövőre vonatkozó becslések (Krüzselyi et al., 2011), melyeket a hatásvizsgálatokhoz kiindulási információként lehet használni. A hozzáférhetőség megkönnyítésére 2013-ban hozták létre a NATÉR<sup>10</sup>-t, amely az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodással kapcsolatos döntéseket támogató térinformatikai rendszer. Első verziójába az ALADIN-Climate 4.5 (Csima and Horányi, 2008) és RegCM3.1 (Torma et

al., 2011) regionális klímamodellekkel, SRES A1B<sup>11</sup> forgatókönyvvel készített szimulációkat építették be három időszetre: az 1961–1990 referencia-időszakra, valamint a közelebbi (2021–2050) és a századvégi jövőre (2071–2100).

Az IPCC<sup>12</sup> legfrissebb, Ötödik Helyzetértékelő Jelentésében (IPCC, 2013) már az újabb, a sugárzási kényszer megváltozásán alapuló forgatókönyveket alkalmaztak. A jelentésben a globális klímamodellek futtatási eredményei alapján készült elemzéseket találunk. Kisebb régiókat – például Magyarország térségét – tekintve ezeket az eredményeket pontosítani szükséges, melyhez a globális modellek szimulációs eredményeinek leskalázását kell elvégezni. Erre a célra a beágyazott regionális klímamodellek (RCM<sup>13</sup>) szolgálhatnak megfelelő eszközzel.

Ebben a cikkben a RegCM4.3 modellverzióval (Elguindi et al., 2011) kapott eredményeinket mutatjuk be, mely a korábbi klímascenáriók továbbfejlesztésének tekinthető, és amely részben bekerült a NATÉR bővített verziójába. A teljes XXI. századot is felölelő, 10 km horizontális felbontású RegCM-szimulációkban (1. ábra) a jövőre vonatkozó új RCP<sup>14</sup> scenáriók (van Vuuren et al., 2011) közül az RCP4.5-t és az RCP8.5-t vizsgáltuk. A megadott számérték azt fejezi ki, hogy az ipari forradalom előtti időszakhoz képest 2100-ra mekkora sugárzási kényszer változással számolunk Wm<sup>-2</sup> egységben kife-

<sup>11</sup> Special Report on Emissions Scenarios, A1B: A1B kibocsátási forgatókönyv

<sup>12</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change: Éghajlatváltozási Kormányközi Testület

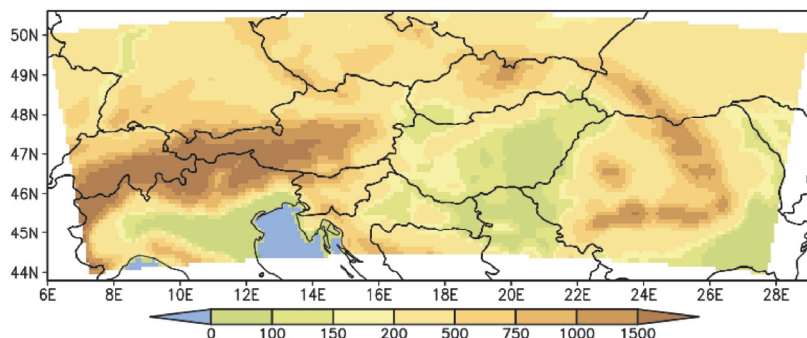
<sup>13</sup> Regional Climate Model: regionális klímamodel

<sup>14</sup> Representative Concentration Pathway: reprezentatív koncentrációváltozási pálya

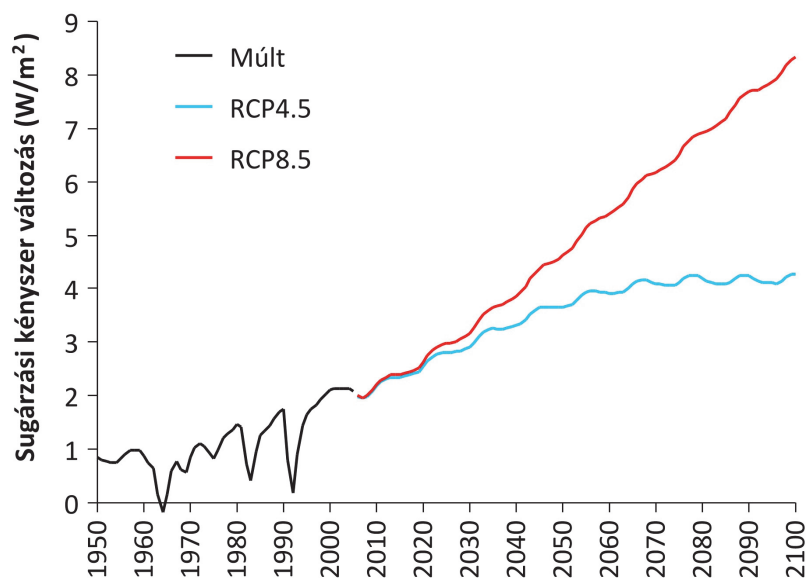
<sup>10</sup> Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer

jezve (2. ábra). Tehát a nagyobb mértékű sugárzási kényszer változás az emberi tevékenységek hatásának erőteljesebb érvényesülését feltételezi.

**Validáció.** A validációs vizsgálatok során két hosszabb RegCM-futtatás eredményeit elemeztük (André et al., 2015). Ezekhez egyrészt a Brit Meteorológiai Szolgálat által előállított HadGEM2<sup>15</sup> outputok, másrészt az ERA-Interim reanalízis adatok szolgáltatták a kezdeti- és oldalsó peremfeltételeket. A modellfuttatásaink 1981–2000 időszakra vonatkozó eredményeit összevetettük a referenciaként használt CarpatClim adatbázissal (Szalai et al., 2013).



1. ábra: A 10 km-es horizontális felbontású modellszimulációkban alkalmazott 216×120 rácscellát tartalmazó tartomány domborzata (m)



2. ábra: Sugárzási kényszer változás ( $W/m^2$ ) az ipari forradalom előtti időszakhoz képest a vizsgálat során alkalmazott forgatókönyvek esetén. (Adatok: Meinshausen et al., 2011)

A magyarországi rácspontokra átlagolt éves hőmérsékleti hiba a HadGEM2 globális modell által meghajtott RegCM-szimuláció esetén ( $0,7\text{ }^\circ\text{C}$ ) egyértelműen kisebb, mint az ERA-Interim reanalízis adatok által meghajtott RegCM-szimuláció esetén ( $1,3\text{ }^\circ\text{C}$ ). A nyári felülbecslés térbeli átlaga  $2,9\text{ }^\circ\text{C}$ , a többi évszakban a hiba  $1\text{ }^\circ\text{C}$  alatti mindkét szimulációban. A hibamezők térbeli szerkezetét tekintve általában a hegyvidéki területeken inkább alul-

becslés mutatkozik, míg a síkvidékeken felülbecslés. Az évi csapadékösszeg hibája Magyarországra 6% (HadGEM2 meghajtású szimuláció), illetve 11% (ERA-Interim meghajtású szimuláció). Az évi és évszakos csapadéokra kapott hibamezők térbeli szerkezetére jellemző, hogy a hegyvidéki területeken a tél és az ősz jelentősen csapadékosabb a modellszimulációk alapján, mint a CarpatClim. Nyáron viszont a vizsgált régióban szinte mindenhol alulbecsülte a csapadékot mindkét modellszimuláció.

**Projekciók eredményei.** A kapott szimulációs eredmények feldolgozása során az IPCC jelentésben alkalmazott 20 éves időszakokat különítettük el: az 1981–2000 referencia időszakot követően a XXI. században négy 20 éves időszakot: 2021–2040, 2041–2060, 2061–2080 és 2080–2099 (a meghajtó globális modell adatsorai a 2100. évet már nem tartalmazták). Ezekre a jövőbeli időszakokra meghatároztuk a RegCM szimulációk felhasználásával a Kárpát-medence térségére becsült hőmérsékletváltozást a teljes évre, valamint mind a négy évszakra (Pongrácz et al., 2016). Ebben a cikkben a XXI. század közepét és végét reprezentáló két időszakot emeljük ki (azaz 2041–2060-t és 2080–2099-t). A korábbi regionális éghajlatváltozási vizsgálataink alapján összességében leginkább eltérő két évszakot – a telet és a nyarat – kiválasztva a 3. ábra foglalja össze térképes formában a becsült hőmérsékletváltozások mértékét. A modellszimulációk egyértelműen melegedést valószínűsítenek az évszázad egészére vonatkozóan. A 2041–2060-ra vonatkozó térképeken megfigyelhetjük, hogy jelentős eltérés nem látható a két szimuláció között, azaz a forgatókönyv megválasztása a közeljövőben még nem befolyásolja számottevő mértékben a várható változások mértékét. Ugyanakkor az évszázad végéhez közeledve jóval nagyobb mértékű változások valószínűsíthetők: az RCP8.5 scenárió esetén a legnagyobb átlagos hőmérsékletemelkedés nyáron  $6,9\text{ }^\circ\text{C}$ , amely az RCP4.5 esetén becsült melegedésnek csaknem a kétszerese. A kapott különbség oka a sugárzási kényszer változása és a melegedés között fennálló egyértelmű kapcsolatban keresendő.

A melegedés hatása a napi hőmérsékleti szélsőértékek eloszlásában is megfigyelhető (4. ábra): a januári napi minimumokban várható melegedő tendencia a júliusi napi maximumokéhoz képest kisebb mértékű. A szimulációs eredmények elemzéséből kitűnik, hogy mindkét kiemelt hónapban a nagyobb sugárzási kényszer változást feltételező RCP8.5 scenárió esetén jelentősebb melegedésre kell számítanunk a XXI. század végére, mint amit az RCP4.5 scenárió esetén becsülhetünk. A grafikonokon megfigyelhető továbbá a maximum- és minimumhőmérsékletek eltérő viselkedése is: a mini-

<sup>15</sup> Hadley Centre Global Environment Model version 2: Hadley Központ Globális Környezeti Modell 2. verzió



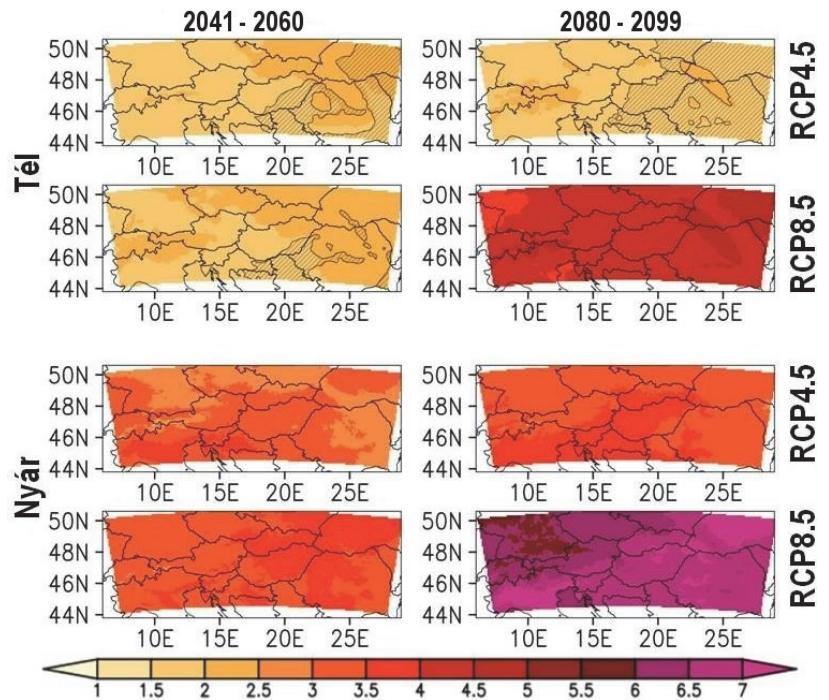
mumhőmérsékleteknél az eltolódáson kívül a gyakorisági függvény alakjának erőteljesebb megváltozása is leolvasható. A modelleredmények egyértelműen alátámasztják a meleg extrémumok számának várható növekedését, valamint a hideg extrémumok számának várható csökkenését (Pieczka et al., 2017b).

A hőmérséklethez hasonlóan a várható csapadékváltozások évszakos becsléseit is elkészítettük – ezeket az 5. ábra összegzi. Ez alapján mindkét scenárió esetén télen a csapadék növekedésére, míg nyáron szárazabbá váló éghajlati viszonyokra számíthatunk hazánk térségében. Az évszázad első felében (a 2041–2060 időszakig) nincs jelentősebb különbség a két scenárió között (a becslést változások jellemzően csupán néhány százalékban térnek el egymástól). Ez az évszázad második felében már egyre kevésbé igaz. Ugyan a becslést változások iránya a téli időszakban megegyezik, ám az RCP8.5 esetén valószínűsíthető számottevő mértékű csapadéknövekedés (mintegy 46% az 1981–2000 referencia időszakhoz viszonyítva) jelentősen meghaladja az RCP4.5 esetén becslést (23%).

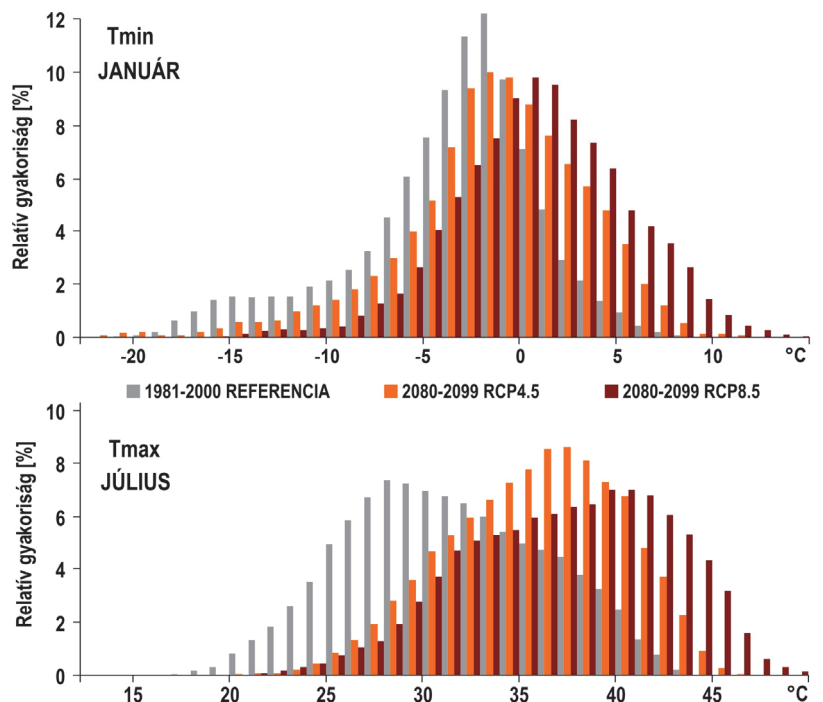
**Összefoglalás.** Munkánk során a RegCM regionális klímamoddellel készített 10 km-es horizontális felbontású szimulációk eredményeit vizsgáltuk. A múlttra vonatkozó validációs elemzés alapján a hőmérséklet hibájának jellegzetes térbeli eloszlása van: a hegyekben általában alulbecslés, vagy csak kisebb mértékű felülbecslés jellemző, míg a síkvidékeken nyáron jelentősebb felülbecslés tapasztalható. A RegCM-szimulációk a nyarat általában melegebbnek és szárazabbnak mutatják, mint amilyen a referencia adatbázis alapján volt – főleg a Kárpát-medence régiójának alacsonyabb fekvésű vidékein. A csapadékhiba térbeli szerkezetére a hegyvidéki területeken egyértelműen felülbecslés jellemző.

E cikkben bemutatott eredmények alapján egyértelmű, hogy a Magyarországra várható hőmérséklet- és csapadékváltozások olyan mértékűek, melyek érzékenyen érintik – többek között – a mezőgazdaságot, az erdészetet és a vízgazdálkodást. Ezért a közeljövőben folytatni kell a megfelelő felkészülési stratégiák részletes kidolgozását és gyakorlati megvalósítását. A nemzeti és helyi éghajlatváltozási alkalmazkodási stratégiák kiindulási információit a klímamodell eredményei szolgáltatják. A lehető legsikeresebb tervezés érdekében minél több elérhető modellszimulációt szükséges figyelembe venni. Ezek közül egy konkrét – az ELTE Meteorológiai Tanszékén adaptált – modell kétféle forgatókönyvre vonatkozó eredményeit tekintettük át tanulmányunkban. A várható regionális melegedés mér-

téke egyértelműen az antropogén eredetű sugárzási kényszer változashoz köthető: nagyobb mértékű antropogén hatás erősebb melegedő tendenciát valószínűsít, mely a



3. ábra: Várható hőmérsékletváltozás (°C) az RCP4.5 és RCP8.5 scenárió figyelembevételével, referencia időszak: 1981–2000.



4. ábra: A januári napi minimum- (fent) és júliusi napi maximumhőmérséklet (lent) relatív gyakoriságának várható eltolódása 2080–2099 és 1981–2000 között a RegCM szimulációk alapján.

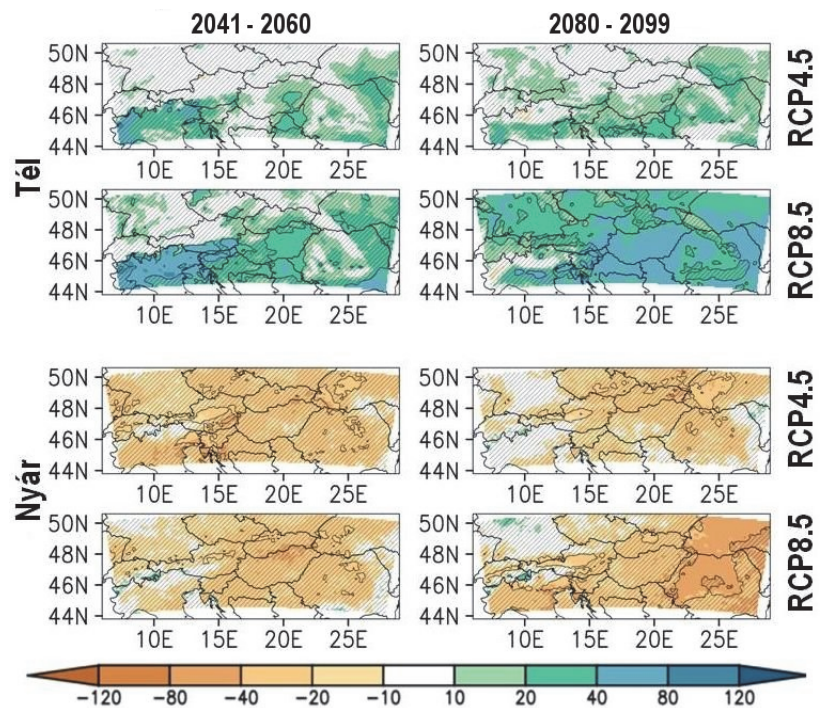
szélsőséges hőmérsékleti értékekben is megjelenik.

**Köszönetnyilvánítás.** Kutatásainkat támogatta az OTKA K-78125, K-120605 és a K109109 számú pályázata, az

AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ\_12-1-2013-0034) és az Európai Gazdasági Térség (EGT) Támogatási Alap „Alkalmazkodás az Éghajlatváltozáshoz” Program (EEA-C13-10), valamint a Széchenyi 2020 program az AgroMo kutatási projekt (GINOP-2.3.2-15-2016-00028) keretében. A validációs adatokat a CARPATCLIM Adatbázis szolgáltatta, amelynek előállítását az Európai Közösség támogatta a JRC intézeten keresztül kiírt kutatási program keretében.

### Irodalom

- André, K., Pieczka, I., Pongrácz, R. és Bartholy, J., 2015: Érzékenységvizsgálatok a RegCM klímamoddellel a Kárpát-medence térségére. In: Mesterházy, B. (ed.): XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia: Előadások. *Nyugatmagyarországi Egyetem, Szombathely*. ISBN 978-963-359-053-9, 190–197.
- Csima, G. and Horányi, A., 2008: Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás* 112, 155–177.
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A. and Giuliani, G., 2011: Regional climatic model RegCM user manual version 4.3. *ITCP, Trieste, Italy*. pp. 32
- IPCC, 2013: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds.: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M.). *Cambridge University Press, Cambridge, UK & New York, NY, USA*.
- Krüzselyi, I., Bartholy, J., Horányi, A., Pieczka, I., Pongrácz, R., Szabó, P., Szépszó, G. and Torma, Cs., 2011: The future climate characteristics of the Carpathian Basin based on a regional climate model mini-ensemble. *Advances in Science and Research* 6, 69–73.
- Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J. F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., Raper, S. C. B., Riahi, K. and Thomson, A. G. J. M. V., 2011: The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic change* 109(1–2), 213.
- Pieczka, I., Bartholy, J., Pongrácz, R., Kelemen, F., Kis, A. és André, K., 2014: Regionális klímamodell-becslések a Kárpát-medencére. In: Pongrácz, R., Mészáros, R., Kis, A., Leelőssy, Á., Sábitz, J. (eds): *Légköri folyamatok előrejelzésének módszerei és alkalmazásai. Az ELTE Meteorológus TDK 2014. évi Nyári Iskola előadásának összefoglalói. Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 25, 96–101.
- Pieczka, I., Pongrácz, R., André, K., Kelemen, F. D. and Bartholy, J., 2017a: Sensitivity Analysis of Different Parameterization Schemes Using RegCM4.3 for the Carpathian Region. *Theoretical and Applied Climatology* 130, 1175–1188. doi 10.1007/s00704-016-1941-4



5. ábra: Várható csapadékváltozás (%) az RCP4.5 és RCP8.5 szcenárió figyelembevételével, referencia időszak: 1981–2000

- Pieczka, I., Pongrácz, R., Bartholy, J. and Szabóné André, K., 2017b: Future temperature projections for Hungary based on RegCM4.3 simulations using new representative concentration pathways scenarios. *International Journal of Global Warming* (in print)
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Pieczka, I. and Szabóné André, K., 2016: RegCM szimulációkon alapuló éghajlati becslések eredményei. In: Pongrácz, R., Mészáros, R. és Kis, A. (eds): *Kutatási és operatív feladatok meteorológusként. Az ELTE Meteorológus TDK 2016. évi Nyári Iskola előadásának összefoglalói. Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 27, 125–133.
- Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyryk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T. and Spinoni, J., 2013: Climate of the Greater Carpathian Region. *Final Technical Report: www.carpatclim-eu.org*.
- Torma, Cs., Coppola, E., Giorgi, F., Bartholy, J. and Pongrácz, R., 2011: Validation of a high resolution version of the regional climate model RegCM3 over the Carpathian Basin. *Journal of Hydrometeorology* 12, 84–100.
- van Vuuren, D. P., Edmonds, J. A., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A. M., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., and Rose, S., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5–31.

# A FELSŐ-TISZA VÍZGYŰJTŐ VIZSGÁLATA ÉGHAJLATI ÉS HIDROLÓGIAI SZIMULÁCIÓK ALKALMAZÁSÁVAL

## ANALYSIS OF THE UPPER-TISZA CATCHMENT USING CLIMATOLOGICAL AND HYDROLOGICAL SIMULATIONS

Kis Anna<sup>1</sup>, Pongrácz Rita<sup>1,2</sup>, Bartholy Judit<sup>1,2</sup>, Szabó János Adolf<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A., <sup>2</sup>ELTE Természettudományi Kar Kiválósági Tudásközpont, 2462 Martonvásár, Brunszvik utca 2., <sup>3</sup>HYDROInform Bt., 1021 Budapest, Hűvösvölgyi út 54.  
kisanna@nimbus.elte.hu, prita@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu, janos.szabo@hydroinform.hu

**Összefoglaló.** A Felső-Tisza vízgyűjtőjét vizsgáljuk éghajlati és hidrológiai szimulációk alapján az 1971–2000 referencia időszakra, majd a XXI. század végére vonatkozóan. Eddigi eredményeink alapján a jövőbeli várható melegedés és a csapadék éven belüli eloszlásának megváltozása miatt az éves lefolyás-karakterisztikák változása valószínűsíthető a vizsgált célterületen.

**Abstract.** The Upper-Tisza catchment is analysed for the 1971–2000 reference period and the end of the 21st century using climatological and hydrological simulations. According to our results, a change of the yearly average runoff is projected for the target area in the future due to the expected warming and the estimated change of the annual distribution of precipitation.

**Bevezetés.** A víz túlzott többlete, illetve időszaki hiánya egyaránt komoly problémákat okozhat társadalmi-gazdasági rendszerünkben és a természetes ökoszisztémákban is. Az átlagnál több lefolyó víztömeg árvizeket, villámárvizeket, belvizeket; míg az átlagnál kevesebb aszályt, ivóvízhiányt, hajózhatósági nehézségeket idézhet elő. A 2003-as európai aszály például összességében mintegy 30%-os csökkenést eredményezett a nettó primer produkcióban, amely aztán a légköri CO<sub>2</sub> koncentráció emelkedéséhez vezetett, ezzel is tovább fokozva a felmelegedést (Ciais et al., 2005). 2007 is egy különösen száraz év volt Európa-szerte; Magyarországon a kukorica átlagnál alacsonyabb terméshozama közel 80 milliárd forintnyi veszteséget okozott (Faragó et al., 2010). Megfelelő felkészüléssel azonban ezek a károk jelentősen csökkenthetők. Például vízátervezést biztosító rendszerekkel, öntözéses gazdálkodással lehetőségünk van a potenciális aszálykárok enyhítésére. Az időről időre bekövetkező száraz időszakok mellett 1900 óta több mint 30 olyan árvízi esemény fordult elő világszerte, amely egymillió dollárt meghaladó összegű anyagi kárt okozott, illetve legalább ezer halálos áldozatot követelt. Az ártereken való terjeszkedés, a földhasználat változása, valamint az éghajlatváltozás miatt az árvíz kockázat és a sérülékenység több térségben is megnövekedett az elmúlt években, és ennek további fokozódása várható a jövőben (Kundewicz et al., 2005). Napjainkban számos árvízvédelmi módszer áll rendelkezésre a potenciális károk megelőzésének céljából. Ilyenek például: gátak, mobilgátak, ideiglenes védelmi létesítmények, szükségtározók kiépítése; árvízvédelmi töltések létesítése vagy magasítása; hullámtér növelése; folyómeder mélyítése, kotrása.

A lehetséges károk, veszteségek mérséklésének, minimalizálásának érdekében azonban nem elég a technikai megoldások megléte; a jövőben várható vízkészlet-eloszlások becslése is elengedhetetlen feltétele a sikeres védekezésnek. Tanulmányunkban a XX. és a XXI. század végére vonatkozóan vizsgáljuk éghajlati és hidrológiai szimulációk alapján a Felső-Tisza vízgyűjtőjét, amely hazánk egyik kiemelten fontos területe árvízvédelmi szempontból. Az elmúlt években több nagyobb árvíz is volt e területen: 1995 decemberében, 1998 novemberében, 1999 márciusában, 2000 áprilisában és 2001 márciusában (Konecsny, 2006). Ez utóbbi esetben különösen magas

vízállás értékek fordultak elő, amely több meghatározó tényező (~130 mm csapadék három nap alatt; jelentős hőmérsékletemelkedés, gyors hóolvadás) egybeesésével magyarázható (Konecsny, 2003) – ez is mutatja, hogy egy különösen összetett problémával állunk szemben. Ugyanakkor 2015-ben egy rendkívül száraz időszak okozott gondot a területen: február és április között az átlagnál kevesebb csapadék hullott és a talajvíz utánpótlás sem volt jelentős a 2013 óta tartó hófelhalmozódás hiánya miatt (Némethné Tóth, 2016). Jelen vizsgálataink célterülete, a Felső-Tisza vízgyűjtője változatos domborzattal rendelkezik (1. ábra); az átlagos magassága 800–900 m, legmagasabb csúcsa a Nagy-Pietrosz (2303 m). A hegyoldalak igen meredek, így a hegyi patakok nagy esésűek (80–200 m/km), gyorsan elérik a folyó völgyet (Andó, 2002). Tiszabecsnél (ahol a folyó belép Magyarországra) az átlagos vízhozam 217 m<sup>3</sup>/s, de nagyobb árhullámok idején ennek több mint tízszeresét, akár a 3000–4000 m<sup>3</sup>/s-t is elérheti (Konecsny, 2003). A csapadékeloszlás, illetve a márciusi-áprilisi hóolvadás – amely nagyobb kiterjedésű térséget érint, nem csupán egy-egy gócpontot, ahogyan a nyári záporok – miatt a legnagyobb árvizek télen és tavasszal jelentkeznek a vízgyűjtőn.

**Adatok.** Tanulmányunkban az éghajlati és hidrológiai szimulációk két 30 éves időszakát vizsgáljuk (1971–2000 és 2069–2098) részletesebben. A klimatológiai jellemzéshez a RegCM4 regionális klímamodell (Elguindi et al., 2011) szimuláció idősorait használtuk fel, amely 2005-ig az üvegházhatású gázok mért értékeit tekinti, majd a pesszimista RCP8.5 forgatókönyvet (van Vuuren et al., 2011) alkalmazza a jövőben várható éghajlati kényszerek becslésére. A múltra vonatkozóan referencia-ként az állomási mérések alapján összeállított CARPATCLIM rácspontokra interpolált adatbázist (Spinoni et al., 2015) vettük figyelembe. Validációs vizsgálatok (Pieczka et al., 2017) azt mutatták, hogy a RegCM4-szimulációk gyakran alul-, illetve felülbecslik a Kárpát-medencére jellemző hőmérsékleti- és csapadékvisszonyokat. Ezeket a szisztematikus hibákat percentilis-alapú korrekciós eljárással (Kis et al., 2017) elimináltuk és az elemzések során mind a nyers, mind a korrigált mezőket felhasználtuk. A hidrológiai szimulációkat a fizikai alapú DIWA modell (Szabó, 2007) szolgáltatta. A

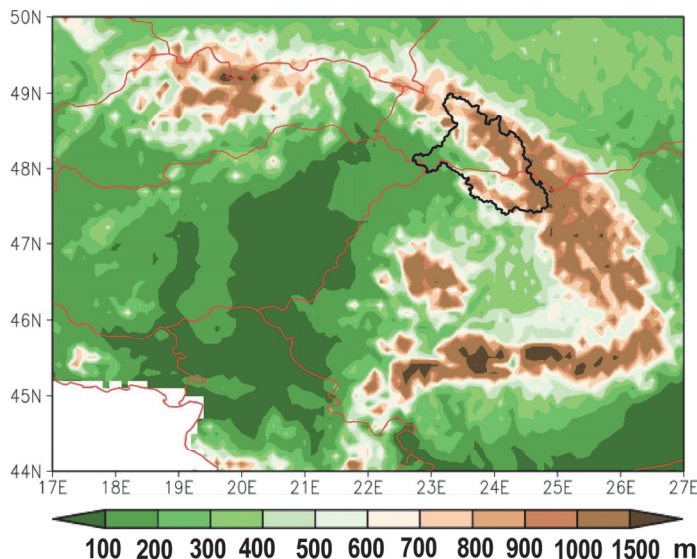
DIWA a hidrológiai ciklus minden lényeges részfolyamatát leírja, amihez elengedhetetlenek a bemeneti meteorológiai idősorok – ezeket az éghajlati vizsgálatnál is alkalmazott CARPATCLIM, illetve RegCM4 szimulált mezői biztosították esetünkben.

**Eredmények.** Elsőként a Felső-Tisza vízgyűjtő éghajlati jellemzőit tekintjük át a fent említett adatokból számított értékek alapján. Az 1971–2000 időszakra vonatkozó CARPATCLIM átlagait tekintve a középhőmérséklet évi menete Magyarországhoz hasonló görbét ír le nyári maximumokkal és téli minimumokkal, valamint lassabb tavaszi felmelegedéssel és gyorsabb őszi lehűléssel (2. ábra). Fagyponthoz alatti átlagos középhőmérsékletek csak a téli hónapokban fordulnak elő, 10 °C feletti pedig a májustól szeptemberig tartó időszakban. A legmelegebb hónap a július (átlagosan 15,7 °C), a leghidegebb a január (átlagosan -4,4 °C). A RegCM4 nyers szimulációja kismértékben alulbecsli a referenciának tekintett CARPATCLIM adatokat szeptember és április között, a nyári hónapokban pedig egy jelentősebb felülbecslés tapasztalható; ám összességében az évi menetet jól reprodukálja a modellszimuláció. Az alkalmazott percentilis-alapú korrekció hatására ezek a hibák eltűnnek. A XXI. század végére a nyers és a hibakorrigált szimuláció egyaránt az átlagos középhőmérséklet emelkedését valószínűsíti minden hónapban. A legnagyobb mértékű melegedésre június és szeptember között, illetve márciusban számíthatunk; ez utóbbinak fontos szerepe van a hóolvadásban és így közvetve az árvizek kialakulásában is. A középhőmérsékleti görbe évi menete nem változik

lényegesen a XXI. század során, de fontos megjegyezni, hogy a melegedés következtében a jövőben enyhébb telek (legtöbbször fagymentes decemberrel) és forróbb nyarak (átlagosan 20 °C feletti középhőmérséklettel júniusban, júliusban és augusztusban is) várhatóak majd. A CARPATCLIM havi átlagos csapadékösszegeit tekintve megállapíthatjuk (3. ábra), hogy az 1971–2000 időszakban a Felső-Tisza vízgyűjtőjén a legcsapadékosabb hónap a június és a július (130 mm/hó), a legszárazabb pedig a február (53 mm/hó) volt. A csapadék időbeli eloszlása nagy hasonlóságot mutat a magyarországi átlagokkal, azonban a Felső-Tisza vízgyűjtőn magasabb értékek fordulnak elő, amely egyértelműen a domborzat hatásával magyarázható. A vízgyűjtőterület tehát Magyarországhoz képest csapadékosabb: az éves összeg átlagosan 1060 mm, s az év több mint felében 80 mm feletti az átlagos havi csapadékösszeg. A RegCM4 szimuláció nyers csapadék idősorai láthatóan nem képesek

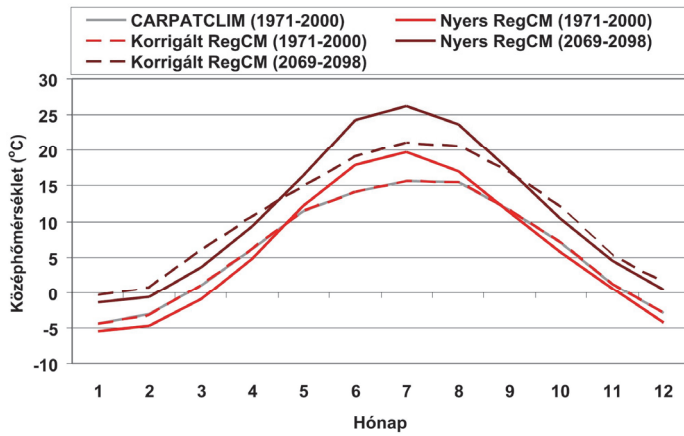
a csapadék éves menetét helyesen reprodukálni: a valós éghajlati viszonyokkal ellentétben téli maximumok és nyárvégi minimumok jelentek meg. A hibakorrekció alkalmazásával azonban ezek az eltérések kiküszöbölhetők, s a valós évi menet rekonstruálható. A jövőre vonatkozó becslések szerint a csapadékmennyiség időbeli eloszlásának eltolódása várható: a legcsapadékosabb a korrigált idősorok alapján április-május lesz; a legszárazabb az augusztus (amely a referencia időszakban még a negyedik legcsapadékosabb hónap volt a térségben). Az átlagos évi csapadékösszeg, illetve az átlagos évi középhőmérséklet térbeli szerkezetét a 4. ábrán láthatjuk. Szembetűnő, hogy a korrekció hatására sokkal részletesebb képet kapunk a régió éghajlati viszonyairól, de a területi különbségek és átlagértékek hasonlóak a nyers szimuláció alapján kapott eredményekkel. Jól látható, hogy a két kiválasztott meteorológiai változó értékeit jelentősen befolyásolja a domborzat. Az évi átlagos csapadékösszeg a magasabban fekvő térszíneken akár 1400 mm feletti is lehet és az átlagos középhőmérséklet jellemzően nem haladja meg a 6 °C-ot, míg a sík területeken átlagosan 500–

800 mm mennyiség hullhat egy évben, a középhőmérséklet pedig elérheti a 10 °C-ot. A csapadék esetén a két időszakra vonatkozó térkép (4. ábra) összevetésével megállapíthatjuk, hogy az éves átlagot tekintve csupán egy kismértékű csökkenés várható a területen. Évszakos, illetve havi skálán vizsgálódva azonban jelentősebb változások valószínűsíthetők a becslések szerint (3. ábra). A középhőmérséklet évi átlaga a XXI. század végére a régió minden pontjában legalább 3 °C-kal magasabb lesz a szimulációk szerint (4. ábra). Az

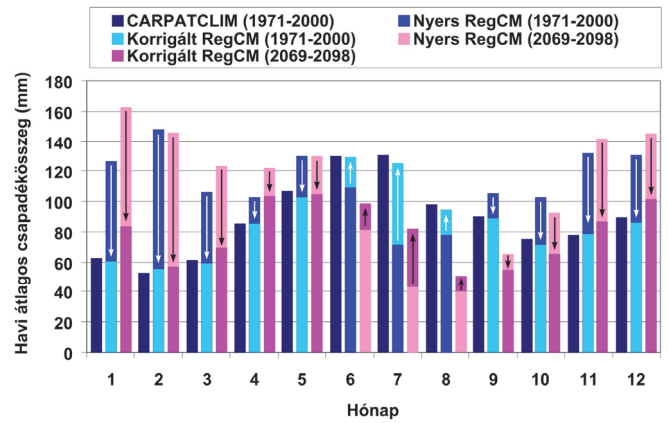


1. ábra: Domborzati térkép a CARPATCLIM adatbázis alapján. A fekete kontúrvonal a Felső-Tisza vízgyűjtőterületét jelöli.

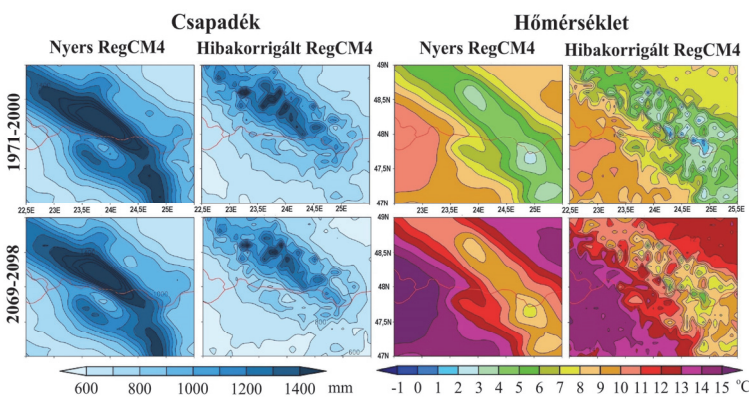
Északkeleti-Kárpátokban a referencia időszakban jellemző -1 és +5 °C közötti átlagok helyett +4 és +9 °C közötti a becsült átlagos érték, a hegységtől keletre fekvő területeken mintegy 5 °C-os növekedés valószínűsíthető, míg a vízgyűjtő nyugati felén 10 °C-ról akár 14 °C-ra is emelkedhet az átlagos évi középhőmérséklet. Összességében tehát a Felső-Tisza vízgyűjtő szárazodása és melegedése valószínűsíthető a XXI. század során. A következőkben áttérünk a Felső-Tisza vízgyűjtő hidrológiai vizsgálatára, a RegCM4 szimuláció nyers idősorait felhasználó DIWA szimulációk alapján. Fontos megjegyezni, hogy a RegCM4 az év nagy részében felülbecsli a csapadékot, ezért a hidrológiai szimuláció eredményeként kapott vízhozamokban is nyilvánvalóan megjelenik majd ez a felülbecslés. Éppen ezért az elemzések során a kapott konkrét értékeket nem, csak a várható változások irányát emeljük ki, amely a nyers modelledmények alapján is releváns információt szolgáltat. A referencia



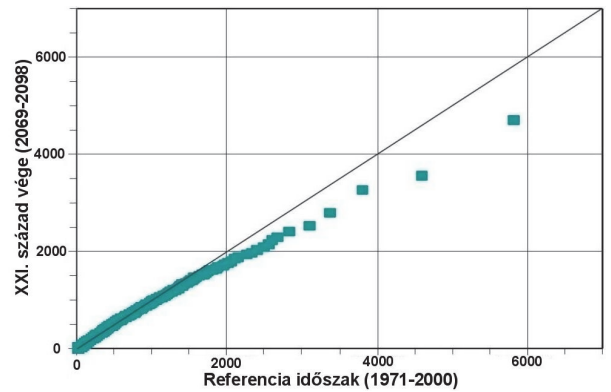
2. ábra: Az átlagos középhőmérséklet évi menete a Felső-Tisza vízgyűjtőn 1971–2000-ra és 2069–2098-ra vonatkozóan a CARPATCLIM, valamint a RegCM4 nyers és hibakorrigált idősorai alapján.



3. ábra: Havi átlagos csapadékösszegek a Felső-Tisza vízgyűjtőn 1971–2000-ra és 2069–2098-ra vonatkozóan a CARPATCLIM, valamint a RegCM4 nyers és hibakorrigált idősorai alapján. A nyilak a korrekció irányát jelölik (felfele/lefele mutató nyíl: alulbecslés/felülbecslés korrigálása).



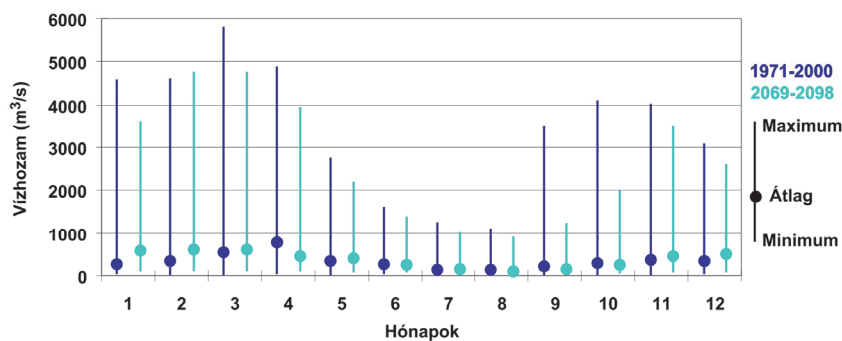
4. ábra: Átlagos évi csapadékösszeg és átlagos évi középhőmérséklet a Felső-Tisza vízgyűjtőn 1971–2000-re, illetve 2069–2098-ra vonatkozóan a RegCM4 nyers és hibakorrigált idősorai alapján.



5. ábra: A Q-Q plot Tiszabecsre vonatkozóan a RegCM4 szimuláció nyers meteorológiai idősorait felhasználó DIWA szimuláció alapján mutatja a napi középvízhozamokat,  $m^3s^{-1}$ .

időszakra és a XXI. század végére vonatkozó napi középvízhozamok eloszlásfüggvényei által meghatározott ún. Q–Q ploton (5. ábra) jól látszik, hogy a jövőben várhatóan kisebb napi átlagos lefolyással kell számolnunk. A legnagyobb eltérés a magasabb vízhozam értékek esetén valószínűsíthető. A napi közepes vízhozamok alsó kvartilisénél kisebb értékek előfordulása mintegy 30%-kal növekedni fog a becslések szerint, a felső kvartilisnél nagyobb értékek szinte változatlan gyakoriságúak lesznek, ám a 99. percentilis feletti értékek 50%-os csökkenése várható a jövőben. Ez is azt mutatja, hogy a XXI. század végére elsősorban az extrém magas napi közepes vízhozam értékek csökkenésére számíthatunk. A napi középvízhozamok maximumai tehát a szimulációink szerint minden hónapban csökkenni fognak, ám az átlagos vízhozamok esetén már különböző

irányú változásokat figyelhetünk meg az egyes hónapokban (6. ábra). Télen (novembertől februárig) növekedés várható, amely az erre az évszakra (amely jelenleg a legszárazabb) becsült átlagos csapadékösszeg emelkedésével magyarázható. Fontos tényező még, hogy a magasabb középhőmérsékletek miatt hó helyett jellemzően eső formájában hullik majd a csapadék, így az nem felhalmozódik, hanem rögtön a lefolyás folyamatának részévé válik, és a szokásosnál magasabb vízhozamokat eredményez. A legjelentősebb csökkenés áprilisban valószínűsíthető: általában ebben a hónapban a legintenzívebb a hóolvasás, amely aztán áradásokat okozhat. A XXI. század végén azonban a becslések szerint a magasabb középhőmérsékletek miatt télen kevesebb hó halmozódik majd fel, így az olvasás kisebb gyakorisággal okoz majd jelentősebb lefolyástöbbletet.



6. ábra: A 30 éves idősorok (1971–2000 és 2069–2098) napi vízhozamainak havi maximuma, minimuma és átlaga Tiszabecsre vonatkozóan a RegCM4 szimuláció nyers meteorológiai idősorait felhasználó DIWA szimuláció alapján.

Nyáron már a referencia időszakban is a napi vízhozam alacsony átlagértéke volt tapasztalható, amely a jövőben még hangsúlyosabb lesz – a csökkenés összhangban van a terület XXI. század végére becsült nyári szárazodásával.

**Összegzés.** Napjainkban az egyik legfontosabb, tudományosan is megalapozottan megválaszolendő kérdés, hogy adott területen a lefolyás statisztikus megváltozása hogyan befolyásolja az ott kialakult társadalmi-gazdasági életet, valamint hogy a vízkészletek szélsőséges, illetve elégséges értékeinek gyakoriságai miként hatnak a természetes élőhelyek megszokott egyensúlyára. Ezért kiemelten fontos, hogy minél részletesebb és megbízhatóbb becsléseket készítsünk a jövőben várható hidrológiai változásokra vonatkozóan. Tanulmányunkban a Felső-Tisza vízgyűjtőjét elemeztük éghajlati és hidrológiai szimulációk alapján az 1971–2000 és a 2069–2098 időszakokra vonatkozóan. A vizsgálatokat a DIWA hidrológiai modell és a RegCM4 klímamodell, valamint a CARPATCLIM referencia adatbázis felhasználásával végeztük el. Becsléseink szerint a jövőben minden hónapban magasabb átlagos középhőmérséklet várható a területen, de a tér- és időbeli eloszlásban nem valószínűsíthető jelentős változás. Ezzel szemben a csapadékszimuláció XXI. század végére vonatkozó eredményei az évi átlagos összegeket és a térbeli eloszlást tekintve is szinte megegyezik a referencia időszyakkal. Markáns változások a csapadék éven belüli eloszlásában várhatók: a tél csapadékosabb, a nyár – különösen az augusztus – szárazabb lesz a számításaink alapján. A Tisza napi vízhozamának éven belüli eloszlása megváltozik a modellfuttatások szerint; a magasabb (99. percentilist meghaladó) értékek esetén csökkenés valószínűsíthető. A legnagyobb csökkenés áprilisban várható a kisebb mértékű hóolvadás miatt, míg télen a becsült csapadéknövekedés következtében az átlagos vízhozamok növekedése valószínűsíthető. Más modellek (REMO, HD, PRECIS) és más scenárió (A1B) alkalmazásával készültek már hasonló vizsgálatok a területre (Radvánszky and Jacob, 2008; HYDROInform Bt., 2012): ezek eredményei összhangban vannak az újabb adatbázisok alapján tett fenti megállapításainkkal.

**Köszönetnyilvánítás.** Kutatásainkat támogatta az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programja, az AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ\_12-1-2013-0034), az OTKA K-120605 számú projektje, valamint a Széchenyi 2020 program az AgroMo kutatási projekt (GINOP-2.3.2-15-2016-00028) keretében. Továbbá köszönet az adatokért: CARPATCLIM Database©European Commission – JRC, 2013.

## Irodalom

Andó, M., 2002: A Felső-Tisza vízrendszer hidrogeográfiai adottságai. *Hidrológiai Közöny* 82(3), 129–141.  
Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchmann, N., Bernhofer, C., Car-

- rara, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A.D., Friedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J.M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J.F., Sanz, M.J., Schulze, E.D., Vesala, T., Valentini, R., 2005: Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437, 529–533.  
Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A., Giuliani, G., 2011: Regional climatic model RegCM – User manual. Version 4.3. ICTP, Italy, 1–32.  
Faragó, T., Láng, I. and Csete, L., 2010: Climate change and Hungary: mitigating the hazard and preparing for the impacts. *VAHAVA Report*. MTA, Budapest.  
HYDROInform Bt., 2012: „Az árvízvédelmi információs rendszer fejlesztése a Felső-Tisza vízgyűjtőjén” című, SH/2/1 reg. sz. projekt keretében „Az árvízi lefolyás elemzése” résztema kapcsán készített összefoglaló tanulmány. A tanulmány megrendelője: Felső-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság (FETIVIZIG), Nyíregyháza. A projekt támogatója: Swiss Hungarian Cooperation Programme.  
Kis, A., Pongrácz, R. and Bartholy, J., 2017: Multi-model analysis of regional dry and wet conditions for the Carpathian Region. *International Journal of Climatology* 37, 4543–4560. doi: 10.1002/joc.5104  
Konecsny, K., 2003: A Felső-Tisza 1998-2001. évi árvizeinek hidrológiai értékelése. *Hidrológiai Közöny* 83(2), 75–86.  
Konecsny, K., 2006: A hóviszonyok jellemzői és vízjárás befolyásoló hatása a Felső-Tiszán. *Hidrológiai Közöny* 86(1), 45–63.  
Kundzewicz, Z. W., Ulbrich, U., Brücher, T., Graczyk, D., Krüger, A., Leckebusch, G. C., Menzel, L., Pinskiwar, I., Radziejewski, M. and Szwed, M., 2005: Summer Floods in Central Europe – Climate Change Track? *Natural Hazards* 36, 165–189.  
Némethné Tóth, K., 2016: Vízihiány és annak kezelési lehetőségei a Felső-Tisza vidékén. MHT XXXIV. Országos Vándorgyűlés, Debrecen. pp. 20  
Pieczka, I., Pongrácz, R., André, K. S., Kelemen, F. D., Bartholy, J., 2017: Sensitivity analysis of different parameterization schemes using RegCM4.3 for the Carpathian region. *Theoretical and Applied Climatology* 130, 1175–1188. doi 10.1007/s00704-016-1941-4  
Radvánszky, B. és Jacob, D., 2008: A Tisza vízgyűjtőterületének várható klímaváltozása és annak hatása a Tisza vízhozamára regionális klímamodell (REMO) és a lefolyási modell (HD) alkalmazásával. *Hidrológiai Közöny* 88(3), 33–42.  
Spinoni, J. and the CARPATCLIM project team (39 authors). 2015: Climate of the Carpathian Region in 1961–2010: Climatologies and Trends of Ten Variables. *International Journal of Climatology* 35, 1322–1341.  
Szabó, J.A., 2007: Decision Supporting Hydrological Model for River Basin Flood Control. In: *Digital Terrain Modeling: Development and Applications in a Policy Support Environment*, szerk: Peckham, R.J. and Jordan, Gy., Springer-Verlag, Germany, 145–182.  
van Vuuren, D.P., Edmonds, J.A., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A.M., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5–31.

# HIDEG LÉGPÁRNA HELYZET VIZSGÁLATA ESETTANULMÁNY ALAPJÁN

## ANALYSIS OF PERSISTENT COLD AIR POOL: CASE STUDY

Szabóné André Karolina, Bartholy Judit, Pongrácz Rita

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.  
karol@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu, prita@nimbus.elte.hu

**Összefoglalás.** Cikkünkben bemutatunk egy tipikus hideg légpárnás időjárási helyzetet, mely a Kárpát-medence térségében fordult elő. Elemzéseinket az ERA-Interim reanalízis felhasználásával végeztük. A rácsponti adatokat tartalmazó adatbázis a mérési adatokhoz képest sokkal jobb térbeli és időbeli felbontással rendelkezik, ezáltal jelentősen megkönnyíti a jelenség objektív vizsgálatát és az éghajlati modellek validációját.

**Abstract.** In this paper a typical persistent cold air pool episode over the Carpathian Basin is analysed using ERA-Interim reanalysis data. Reanalysis data are available on finer temporal and spatial resolution than measurements, which substantially lessens the identification and objective analysis of this weather event. Furthermore, the gridded reanalysis datasets can easily be used to validate climate model simulation results.

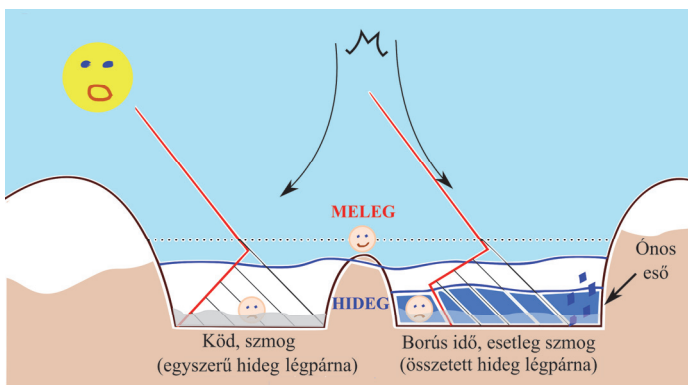
**Bevezetés.** Hideg légpárnával mindenki találkozott már, aki legalább egy telet Magyarországon töltött. Amikor télen napokig nem süt ki a nap, és azt halljuk az időjárás-jelentésben, hogy „folytatódik a ködös, párás idő”, valószínűleg hideg légpárna telepedett hazánkra. Ilyenkor a levegő szennyezettebb, és akár szmogriadó elrendelésére is szükség lehet. Az időjárási jelenség fennállásakor a Kárpát-medence nagy részét, akár az egészét, hideg levegő tölti ki, felette a magasban pedig melegebb légtömeg található. A jelenség elnevezése arra utal, hogy olyan állapot alakul ki, mintha egy hideg levegőpárnát borítottak volna a medencébe. A hideg levegő általában egy hidegfronttal érkezik, ami után egy magas nyomás-középpontú anticiklon érkezik hazánk térségébe, vagy éppen ott épül fel. Ebben leszálló légáramlatok uralkodnak, amelyek a felszín közelébe szorítják a hideg levegőt (1. ábra). Ahogy lefelé ereszkedik a levegő, felmelegszik, s inverzió alakul ki, így a hideg légréteg nem tud felfelé távozni. Horizontálisan pedig a medencét körülölelő hegyek miatt reked meg a hűvös légtömeg. Ez a helyzet több napig, vagy akár egy-két hétig is fennállhat. Az idő múlásával a csapdába esett levegőpárna egyre hidegebb lesz, köd vagy alacsony szintű rétegfelhőzet képződik. Ilyenkor a Kárpát-medencéről készült műholdképeken az egész térség fehérbe borul, és csak a magasabb hegyek látszódnak ki (2. ábra).

A jelenség éghajlati modellekben való megjelenésének vizsgálatához elengedhetetlen validálni a modelleredményeket, amihez reanalízis adatokat használhatunk. A

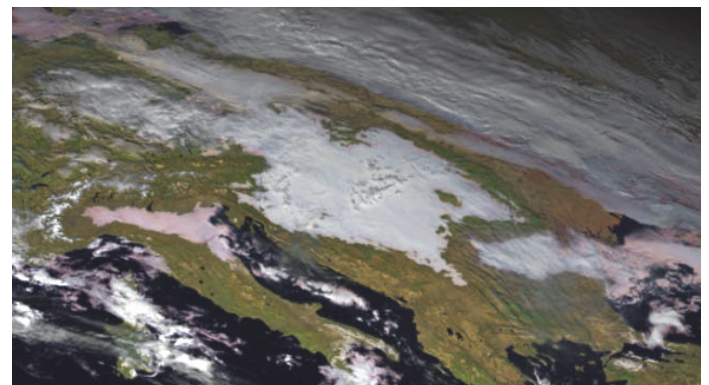
reanalízis adatok megbízhatóságát azok verifikációjával vizsgáltuk. Ehhez példaként rádiószondás és reanalízis adatokat használva eddig két hideg légpárnás helyzetet elemeztünk. Az egyiket, a 2004. decemberi időszakot Szabóné André et al. (2016) írásunkban ismertettük. Ebben a cikkben a 2011 novemberében kialakult hideg légpárnával kapcsolatos eredményeket mutatjuk be.

**Módszertan.** Munkánk során a 0,75°-os horizontális felbontású ERA-Interim adatokat (Dee et al., 2011) validáltuk rádiószondás adatokkal (Durre et al., 2006). Ezt követően a reanalízis adatok felhasználásával meghatározott vertikális eloszlások időbeli menetét (ún. 2D meteogramokat), vertikális metszeteket és térképeket készítettünk. Ezek lehetővé teszik a hideg légpárna – mérési adatokhoz viszonyított – részletesebb tér- és időbeli elemzését. A validációs vizsgálatok általános leírása megtalálható a Szabóné André et al. (2016) tanulmányban, ebben a cikkben nem térünk ki rá részletesen, csupán röviden összefoglaljuk a kapott eredményeket.

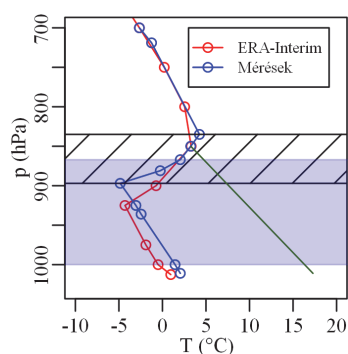
A hideg légpárnának nincsen egyértelmű, széles körben elfogadható számszerű definíciója, s ez meglehetősen megnehezíti a modellekkel való objektív előrejelzését. Elemzéseink során Bozóki (1987) javaslata alapján alkalmaztuk az ún. sekély konvektív potenciális energiát (SCPE,  $\text{Jkg}^{-1}$ ). Ez az az energia, ami ahhoz hiányzik, hogy az adott légrétegződés száraz adiabatikussá váljon (Szabóné André et al., 2015). A 3. ábrán a 850 hPa-os nyomási szinttől a felszínig húzott száraz adiabata (zöld



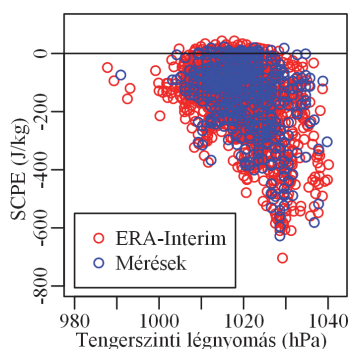
1. ábra: A hideg légpárna két típusa



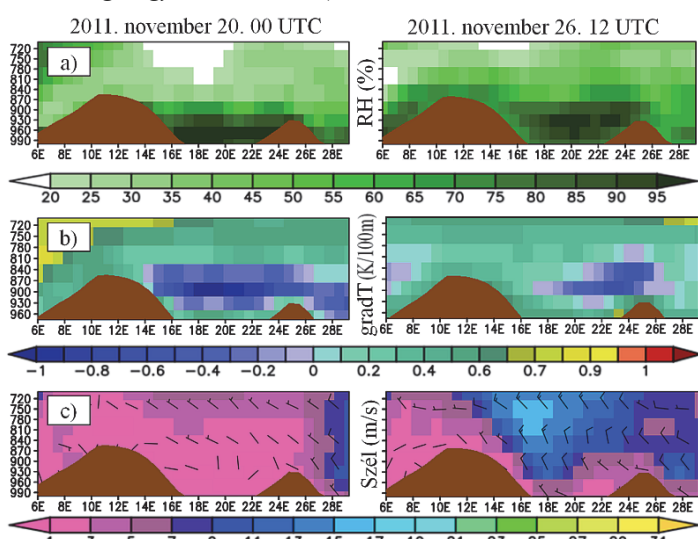
2. ábra: Hideg légpárna műholdképe, 2011. november 20.12 UTC.  
(www.eumetsat.int)



3. ábra: Hideg légpárna rádiószondás felszállás (kék) és az ERA-Interim (piros) reanalízis adatai alapján, 2011. november 20-án 00 UTC-kor, Budapesten. A kék sátrózott terület a nedves réteget jelöli (ahol a relatív nedvesség nagyobb, mint 87%).



4. ábra: A sekély konvektív potenciális energia és a tengerszinti légnyomás közötti kapcsolat 2011. évi adatok alapján, Budapesten.



5. ábra: A relatív nedvesség (a), a vertikális hőmérsékleti gradiense (b), a szélesség és szélirány (c) vertikális keresztmetszete Budapest szélességi köre mentén (é. sz. 47,25°) ERA-Interim adatai alapján 2011. 11. 20. 00 UTC (bal) és 11. 26. 12 UTC (jobb). A barna színnel a hegyiségek: Alpok, Kárpátok.

egyenes) és a rádiószondás felszállás hőmérsékleti görbéje (kék) közötti területtel egyezik meg. Értéke 2011. november 20-án 00 UTC-kor, Budapesten, a mérésekből számolva  $-540 \text{ Jkg}^{-1}$ , a reanalízis alapján pedig  $-572 \text{ Jkg}^{-1}$  volt, ami csupán 6%-os eltérést jelent, s így elfogadhatónak tekinthető.

**Esettanulmány.** Az ERA-Interim verifikálásának témakörén belül az SCPE és a tengerszinti légnyomás kapcsolatát vizsgáljuk (4. ábra). Az ábrán a 2011. év összes budapesti rádiószondás mérés szerepel (kék). Az év első felében – januártól júniusig – napi kettő, a második felében napi egy felszállást végeztek. Mindösszesen csupán 10 időpontban nem történt mérés. Az ERA-Interim adatok (piros) 6 óránként állnak rendelkezésre. A 4. ábrán megfigyelhető, hogy a kisebb SCPE értékek jellemzően magas légnyomás esetében fordultak elő. Ez azt támasztja alá, hogy az erős inverzió, az erősen stabil rétegződés anticlonokhoz köthető.

Az 5. ábrán Budapest szélességi köre (é. sz. 47,25°) menti vertikális metszetek szerepelnek. A felső sorban a relatív nedvesség, alatta a vertikális hőmérsékleti gradiens, valamint legalul a szélesség és szélirány látható. Az első oszlopban egy tipikus hideg légpárnás pillanatképet (2011. november 20. 00 UTC), a második oszlopban pedig egy éppen felszakadó hideg légpárnát (2011. november 26. 12 UTC) figyelhetünk meg. A vertikális metszeteken jól látszik, hogy november 20-án 00 UTC-kor a nedves levegő kitöltötte az egész Kárpát-medencét, a magasban viszont száraz volt a légtömeg. Emellett az inverzió és a szélcsend az egész medence felett megfigyelhető. November 26-án egy hidegfront vonult át a Kárpát-medence felett, amely felszakította a hideg légpárnát. A fronthoz kötődő szélerősödés, illetve az inverzió gyengülése jól jelzi a hideg légpárna leépülését.

**Összegzés, további tervek.** Cikkünkben bemutattunk egy tipikus, Kárpát-medencei hideg légpárnás helyzetet 2011 novemberéből. Az elemzés alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy az ERA-Interim reanalízis jó közelítéssel leírja ezt a jelenséget. A mérési adatokhoz képest sokkal jobb térbeli és időbeli felbontása, valamint rácsponthoz köthető jellege egyértelműen megkönnyíti az éghajlati modellek validációját. Kutatásaink további célja meghatározni e jelenség múltbeli előfordulási gyakoriságát, fennállási időtartamát, s intenzitását, majd becslést adni a jövőben várható gyakoriságára, időtartamára, erősségére vonatkozóan. Ehhez szükséges számszerűsíteni a hideg légpárna pontos objektív definícióját, hogy egy számítógépes program automatikusan képes legyen azonosítani az ilyen helyzeteket. A cikkünkben említett sekély konvektív potenciális energia is hozzájárulhat egy jól alkalmazható definíció megalkotásához, ugyanis hideg légpárnás időszakban az értéke jelentősen alacsonyabb, mint egyéb esetekben.

**Köszönetnyilvánítás.** Kutatásainkat támogatta az OTKA K-120605 és K-109109 számú projektje, az Agrárklíma2 projekt (VKSZ\_12-1-2013-0034), valamint az AgroMo kutatási program (GINOP-2.3.2-15-2016-00028).

## Irodalom

- Bozóki, I., 1987: Folyamatvizsgálat egy meteorológiai jelenség kapcsán. *Meteorológiai tanulmányok*, 61. OMSZ, Budapest. pp 16
- Dee, D. P. et al., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137, 553–597.
- Durre, I., Vose, R. and Wuertz, D., 2006: Overview of the Integrated Global Radiosonde Archive. *J. Climate* 19, 53–68.
- Szabóné André, K., Bartholy, J. és Pongrácz, R., 2015: A hideg légpárnák számszerű vizsgálatának lehetőségei. In: Pongrácz, R., Mészáros, R. és Kis, A. (eds): Aktuális kutatások az ELTE Meteorológiai Tanszékén. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 26, 82–86.
- Szabóné André, K., Bartholy, J. és Pongrácz, R., 2016: Hideg légpárnák vizsgálata az ERA-Interim reanalízis felhasználásával. In: Pongrácz, R., Mészáros, R. és Kis, A. (eds) Kutatási és operatív feladatok meteorológusként. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 27, 156–161.



# A KÁRPÁT-MEDENCE MAGASLÉGKÖRI SZELEINEK VIZSGÁLATA

## ANALYSIS OF HIGH LEVEL WINDS IN THE CARPATHIAN BASIN

Zsilinszki Anna, Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit, Pongrácz Rita

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/a.,

zsilinszka@caesar.elte.hu, dezsozsuzsi@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu, prita@nimbus.elte.hu

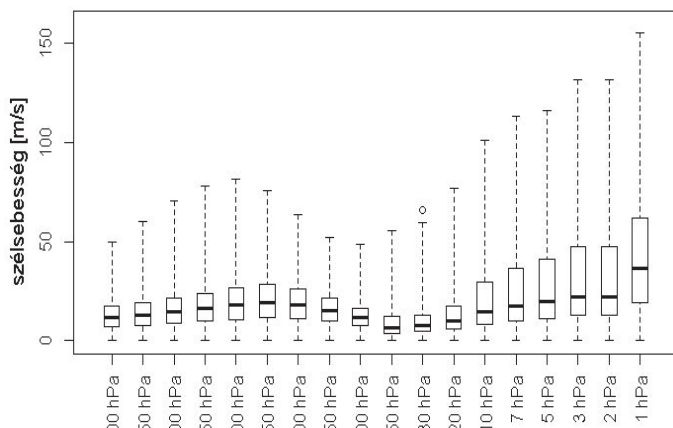
**Összefoglaló.** Cikkünkben ERA-Interim adatok alapján elemezzük az 500 hPa nyomási szint feletti magaslégköri szélviszonyok alakulását a térségben az elmúlt 37 évre vonatkozóan. Az átfogó statisztikai vizsgálat során meghatároztuk az átlagos évszakos szélemezőket, az egyes szintek szélebségeinek és szélirányainak előfordulási gyakoriságait, valamint az ezekben felfedezhető trendeket. Vizsgáltuk továbbá a szélviszonyok és a jellemző Péczy-féle makroszinoptikus típusok közötti összefüggéseket.

**Abstract.** High level wind conditions above the 500 hPa pressure level are analyzed in this paper for the past 37 years on the basis of ERA-Interim data for the region. The comprehensive analysis includes the evaluation of the seasonal mean wind fields, the distribution of wind speed and wind direction at the different levels, and the possible trends. Moreover, the relationship between the wind conditions and the characteristic Péczy macrosynoptic types are also analysed.

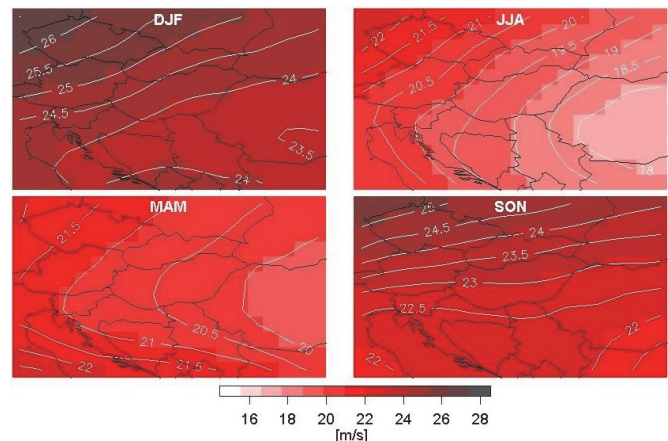
**Bevezetés.** A globális cirkulációs rendszerek elmúlt évtizedekben bekövetkezett módosulása valószínűsíthetően kapcsolatba hozható az éghajlatváltozási folyamatokkal. Ez magyarázza a nagy nemzetközi érdeklődést e téma iránt (Francis és Vavrus, 2012, Overland et al., 2012, Francis and Scifc, 2015). Ezeknek a változásoknak egyik legérzékenyebb indikátora a magaslégköri szelek karakterisztikáiban történő változás. A változás irányával és jellegével kapcsolatban sok a bizonytalanság (Barnes, 2013), de abban nagy az egyetértés, hogy a globális rendszerben bekövetkező kisebb változások hatása regionális skálán is igen jelentős lehet. Ezért fontosnak láttuk megvizsgálni e tendenciák Kárpát-medencei vonatkozásait. Ahhoz, hogy a változásokat felismerhessük, elsőként általános, átfogó képet szükséges alkotni a magaslégköri áramlási viszonyokról, majd ezek ismeretében kereshetünk változási tendenciákat. E vizsgálatok kiegészítéseképpen a Péczy-féle makroszinoptikus típusok (Péczy, 1961) előfordulási gyakoriságait, illetve ezeknek a magaslégköri szélviszonyokkal való összefüggéseit is elemeztük.

**A magaslégköri szélviszonyok statisztikai elemzése.** Az ERA-Interim reanalízis adatok (Berrisford et al., 2009) alkalmazásával 22 vertikális szint 12 UTC-re vonatkozó napi szélebség és szélirány adatait elemeztük, az 500 hPa légnomási szinttől felfelé haladva az 1979 és 2015 közötti időszakra vonatkozóan. Az elemzés 0,75°-os térbeli rácslétszám mellett a Kárpát-medence térségét lefedő 240

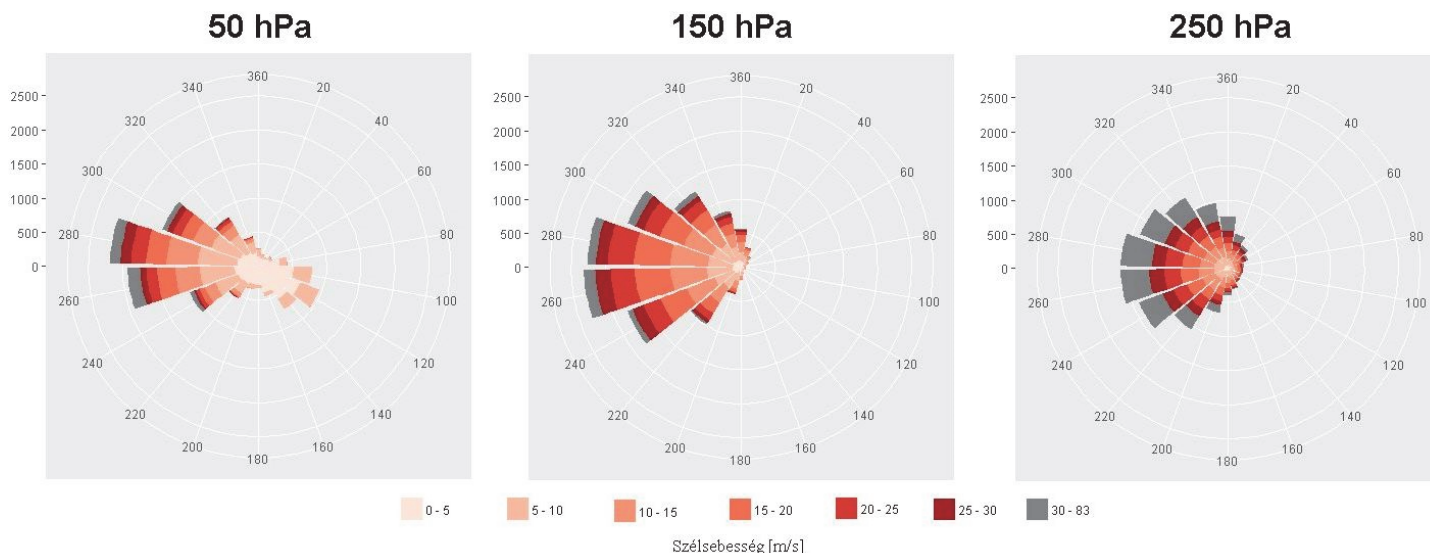
rácspont figyelembevételével készült. A szélebségek szintenkénti gyakorisági eloszlását vizsgálva (1. ábra) egyértelműen megállapítható, hogy a legnagyobb troposzférikus szélebségek a 250 hPa magassági szint környékén fordulnak elő, így ezt tekinthetjük a *jetmag* átlagos elhelyezkedésének térségünkben. E fölött a szint fölött átmeneti szélebség csökkenés után, a sztratoszférában egy jelentős emelkedés kezdődik, mely a vizsgálatban szereplő legmagasabban található 1 hPa nyomási szintig tart (1. ábra). A szélebség átlagos értékeiben területi és időbeli változékonyság egyaránt megfigyelhető. Az éven belül télen fordulnak elő a legnagyobb szélebségek, nyáron a leggyengébbek. A területi eloszlást tekintve (2. ábra) télen és ősszel északról délre haladva, illetve tavasszal és nyáron nyugatról kelet felé gyenge csökkenés észlelhető. A legerősebb átlagos szélebség a 250 hPa magassági szinten a téli időszakban 27 ms<sup>-1</sup> körüli értékkel jelentkezik a vizsgált terület északnyugati részén. A szélebség irányának és nagyságának együttes gyakorisági eloszlásait szélrózsán jelenítettük meg (3. ábra), melyen 20 fokos beosztással láthatjuk a teljes vizsgált időszakra nézve a jellemző szélirány gyakoriságokat, valamint az egyes irányokhoz tartozó szélebségek arányát a Budapesthez legközelebb eső rácspont esetében. Vizsgálataink azt jelzik, hogy az összes magaslégköri nyomási szintet figyelembe véve a nyugatias szélirány dominál. Felfelé haladva először az 50 hPa magassági szinten jelennek meg jellegzetes éves menettel a keleties irányú szelek (4. ábra). Ugyan a keleties irányú



1. ábra: A vizsgált nyomási szintek szélebségeinek gyakorisági eloszlásait reprezentáló Box-Whisker diagram az 1979–2015 időszakra a Budapesthez legközelebb eső rácspont esetében (é. sz. 47,25°, k. h. 18,75°)



2. ábra: Az évszakos átlagos szélebség területi eloszlása a vizsgált régióban, az 1979–2015 időszakban a 250 hPa nyomási szinten

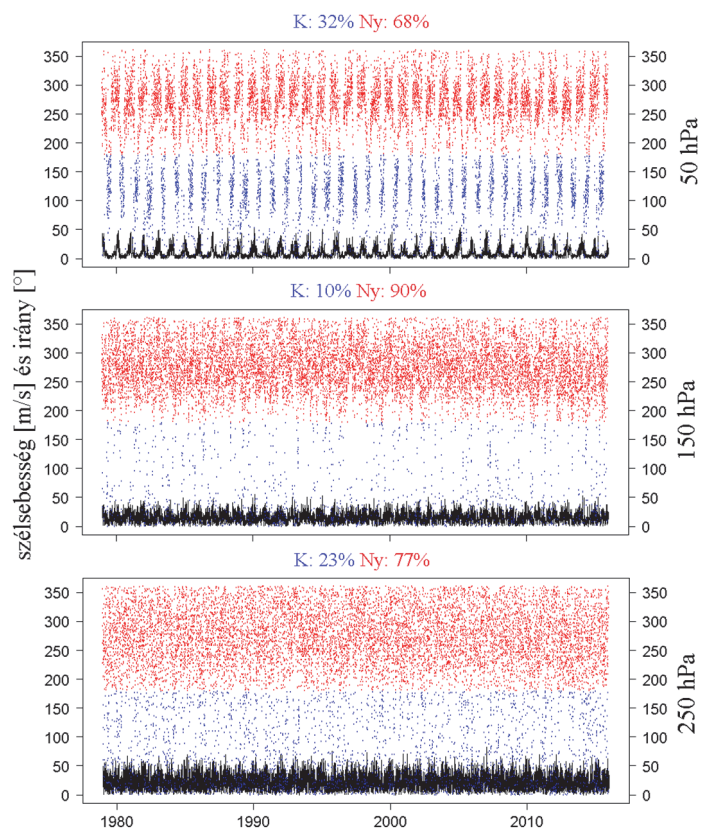


3. ábra: A szélirányok és a hozzájuk tartozó sebességek (színekkel jelölve) eloszlása a Budapesthez legközelebb eső rácspont esetében 3 nyomási szinten, 1979–2015

szelek változó gyakorisággal alacsonyabb szinteken is előfordulnak, de határozott éves menet csak 50 hPa felett figyelhető meg. A 4. ábrán látható az 50 hPa magassági szinttől felfelé már jól kimutatható éves periódus, melynek jellegzetessége a május hónap elején történő szélirányváltás (nyugatiasról keletiesre). A nyári időszakban gyenge szélességek mellett a keleties irányok dominálnak, majd augusztus végén, szeptember elején ismét visszatér a nyugatias szél dominanciája. Lefelé haladva csökken a keleties irány jelenléte 10% alatti minimális előfordulási értékkel egészen a 100 hPa szintig. Ezután ismét növekedni kezd, majd a 250 hPa szinttől lefelé minden szinten közel azonos, 20–25% közötti előfordulási gyakoriság jellemzi, egészen az 500 hPa legalsó vizsgált szintig. A teljes időszakra nézve lineáris időbeli trendelemzés készült ( $y = a \cdot x + b$  regressziós függvény alkalmazásával) a szélesség idősorokra. Elsőként az éves átlagos szélességek alakulását tekintettük, majd a  $30 \text{ ms}^{-1}$  feletti szélességek éves esetszámának változását elemeztük. A vizsgálat során legtöbb esetben csökkenő trendet találtunk a teljes időszakra, de a csökkenés az időszak második felében növekvő tendenciát mutat, és az illesztett trendegyüttható csak az utóbbi esetben (1997–2015) adódott statisztikailag szignifikánsnak. A szélesség trendek irányonkénti lebontásban is elemzésre kerültek a 250 hPa nyomási szint magasságában az átlagos éves sebességek és a  $30 \text{ ms}^{-1}$  feletti éves esetszámok esetében egyaránt. Mindenütt negatív trend figyelhető meg, de nem minden esetben mutatható ki statisztikailag szignifikáns sebességszökkenés, a legnagyobb negatív együttható értékek a déli és nyugati szelek esetében adódtak. A keleties szélirányok ritka és szabálytalan jelenléte miatt ezekre nem illeszhető trend. Megvizsgáltuk azt is, hogy a szélesség változása függ-e a földrajzi helytől. Ennek érdekében egy adott hosszúsági kör mentén (k. h.  $18,75^\circ$ ) az összes rácspontban meghatároztuk a 250 hPa szinten a  $30 \text{ ms}^{-1}$ -t meghaladó szélességek előfordulási gyakoriságának változását. Az így illesztett lineáris regresszió trendegyütthatójára vonatkozó hipotézisvizsgálattal értékeltük, hogy a kapott trend nullától szignifikánsan különböznek tekinthető-e. Ahogyan azt az 5. ábra is mutatja, északról dél felé haladva egyre erősödő

negatív trend figyelhető meg, mely a  $47,25^\circ$  szélességtől délre szignifikánsan csökkenő lineáris trendet jelez.

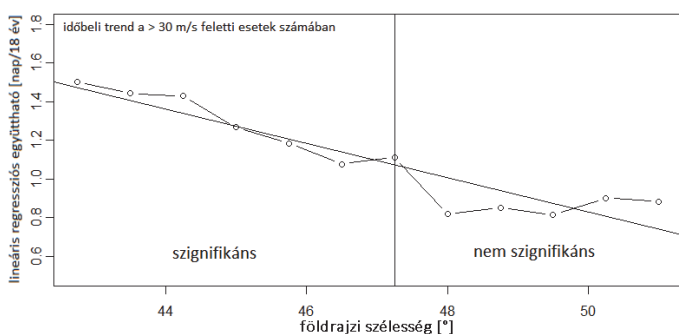
**A magaslégköri szél és a cirkulációs viszonyok kapcsolata.** A Péczy (1961) féle makroszinoptikus típusok és a 250 hPa nyomási szint szélkarakterisztikáinak kapcsolatát is elemeztük, azzal a céllal, hogy a szélkarakteristikák változásainak időjárási helyzetekre való hatásáról információt kaphassunk. A Péczy-kódokat Károssy Csaba, a Szom-



4. ábra: Szélességek (fekete vonal) és irányok (piros pontok: nyugatias ( $180-360^\circ$ ); kék pontok: keleties ( $0-180^\circ$ )) idősora a Budapesthez legközelebb eső rácspontban (é. sz.  $47,25^\circ$ , k. h.  $18,75^\circ$ ) az 1979-2015 időszakban az 50 hPa, a 150 hPa és a 250 hPa nyomási szinten

1. táblázat: A Péczy (1961) féle makroszinoptikus típusok csoportosítása a ciklonális, illetve anticiklonális jelleg alapján

Kód	Péczy-féle makroszinoptikus típus
<b>ciklonális típusok</b>	
mCc	Ciklon hátoldali áramlási rendszere
Cmc	Mediterrán ciklon
mCw	Ciklon előoldali áramlási rendszere
Cmw	Mediterrán ciklon előoldali áramlási rendszere
zC	Zonális ciklonális helyzet
C	Cikloncentrum a Kárpát-medence felett
<b>anticiklonális típusok</b>	
AB	Anticiklon a Brit-szigetek térségében
Ae	Anticiklon Magyarországtól keletre
Aw	Nyugatról benyúló anticiklon
As	Anticiklon Magyarországtól délre
An	Anticiklon Magyarországtól északra
AF	Fennoskandináv anticiklon
A	Anticikloncentrum a Kárpát-medence felett



5. ábra: A 250 hPa nyomási szinten előforduló 30 ms<sup>-1</sup> feletti szélesebbeségek gyakoriságának csökkenését jelző lineáris regressziós együtthatók (meredekség) abszolút értéke (negatív értékek) a k. h. 18,75° hosszúsági kör mentén

bathelyi Egyetem professzora bocsátotta rendelkezésünkre. A típusok listáját az 1. táblázat tartalmazza. Az eredményeket elemezve azt láthatjuk, hogy a típusok eloszlásában eltérő magaslégköri szélviszonyok esetében számottevő különbségek jelennek meg. Ha csak azokat az eseteket nézzük, amikor a 250 hPa nyomási szinten 30 ms<sup>-1</sup> feletti sebességek fordulnak elő (a Budapesthez legközelebb eső rácspont esetében: é. sz. 47,25°, k. h. 18,75°), akkor megfigyelhetjük, hogy a várakozásnak megfelelően a ciklonális típusok száma megnövekszik (6. ábra). A szélirányok szerinti felbontást vizsgálva, valamint elkülönítve a 250 hPa

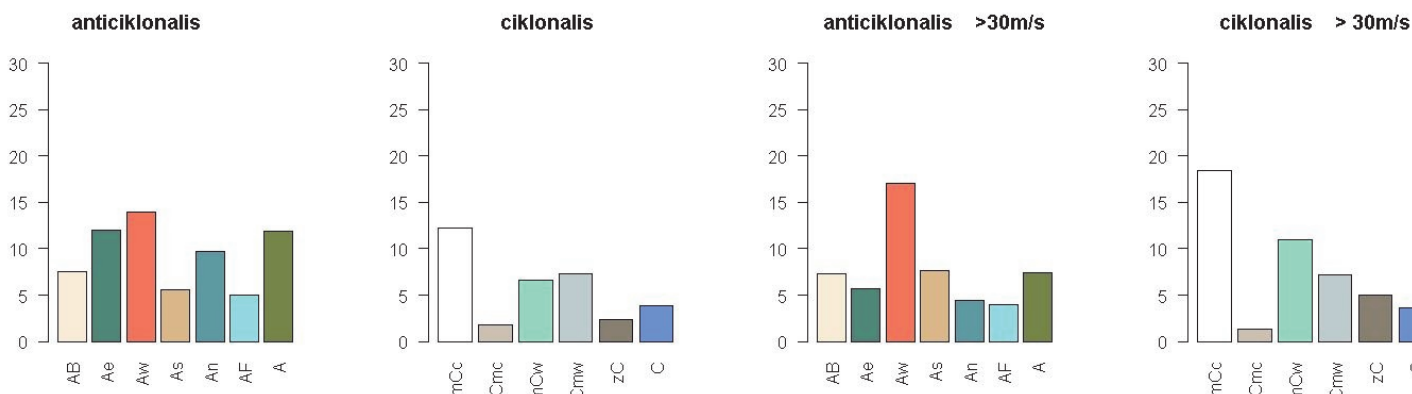
nyomási szinten 30 ms<sup>-1</sup> feletti szélesebbeségu idopontokat, azt láthatjuk, hogy amikor a jet stream nyugati vagy déli irányu, akkor gyakoribbak a ciklonális típusok, míg a keleti és északi irányu magaslégköri szél esetében az anticiklonális típusok dominálnak.

**Összefoglalás.** A cirkulációs rendszerekben végbemenő változások a regionális skálájú meteorológiai viszonyokra is kimutatható hatással vannak. E változások egyik jó indikátoraként a magaslégköri szélmezőket elemeztük a Kárpát-medence térségére. Eddigi eredményeinkből kitünik, hogy a futóáramlás szintjén az elmúlt 35 évben csökkenő trend detektálható a szélesebbeség idosorokban. Megállapítható továbbá, hogy csökkent a 30 ms<sup>-1</sup> feletti szélesebbeségek előfordulási gyakorisága a térségben, északról déli irányba haladva egyre erősödő mértékben. Kutatásaink során megvizsgáltuk a 250 hPa nyomási szint szélkarakterisztikáinak függvényében a Péczy-típusok előfordulásaiban jelentkező változásokat is. Elemzéseink azt jelzik, hogy főként nyugatias és délies magaslégköri áramlások esetén dominálnak a ciklonális típusok.

**Köszönetnyilvánítás.** A kutatásokat támogatta az OTKA K-120605 pályázat, az AGÁRKLIMA2 (VKSZ\_12-1-2013-0034) projekt, valamint az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja.

**Irodalom**

Barnes, E. A., 2013: Revisiting the evidence linking Arctic amplification to extreme weather in midlatitudes. *Geophysical Research Letters*, 40, 4734–4739.  
 Berrisford, P., Dee, D., Fielding, K., Fuentes, M., Kallberg, P., Kobayashi, S. and Uppala, S., 2009: The ERA-Interim Archive. *ERA report series 1*, 1–16.  
 Francis, J. A. and Skific, N., 2015: Evidence linking rapid Arctic warming to mid-latitude weather patterns. *Phil.Trans.R.Soc, A* 373, <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2014.0170>.  
 Francis, J. A. and Vavrus, S. J., 2012: Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophysical Research Letters* 39, L06801.  
 Overland, J. E., Francis, J. A., Hanna, E. and Wang, M., 2012: The recent shift in early summer Arctic atmospheric circulation. *Geophysical Research Letters* 39, 1–6.  
 Péczy, Gy. 1961: Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek éghajlati jellemzése. *OMSz Kisebb Kiadványai* 32. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest



6. ábra: A Péczy-féle makroszinoptikus típusok relatív gyakorisága (%) a teljes 1979–2015 időszakra nézve (bal oldal), illetve azokban az esetekben, amikor a 250 hPa szinten 30 ms<sup>-1</sup> feletti szélesebbeség figyelhető meg (jobb oldal). Az elemzés a Budapesthez legközelebb eső rácspontra (é. sz. 47,25°, k. h. 18,75°) készült.

# GLOBALIS AEROLÓGIAI ADATBÁZIS ÉS AMI MÖGÖTTE VAN

## GLOBAL AEROLOGICAL DATABASE AND BEHIND THE SCENES

Nyitrai László, Tóth Róbert

Országos Meteorológiai Szolgálat, Marczell György Főobszervatórium, 1181 Budapest, Gilice tér 39.  
nyitrai.l@met.hu, toth.r@met.hu

**Összefoglaló.** A Globális Megfigyelő Rendszer valamennyi TEMP táviratát legyűjtöttük, amiket 1973–2015 között nemzetközi adateserére megküldtek. Megvizsgáltuk egyes államok rádiószonda felszállásainak gyakoriságát. A trendek időbeli alakulásából megpróbáltunk gazdasági, társadalmi és politikai következtetéseket levonni.

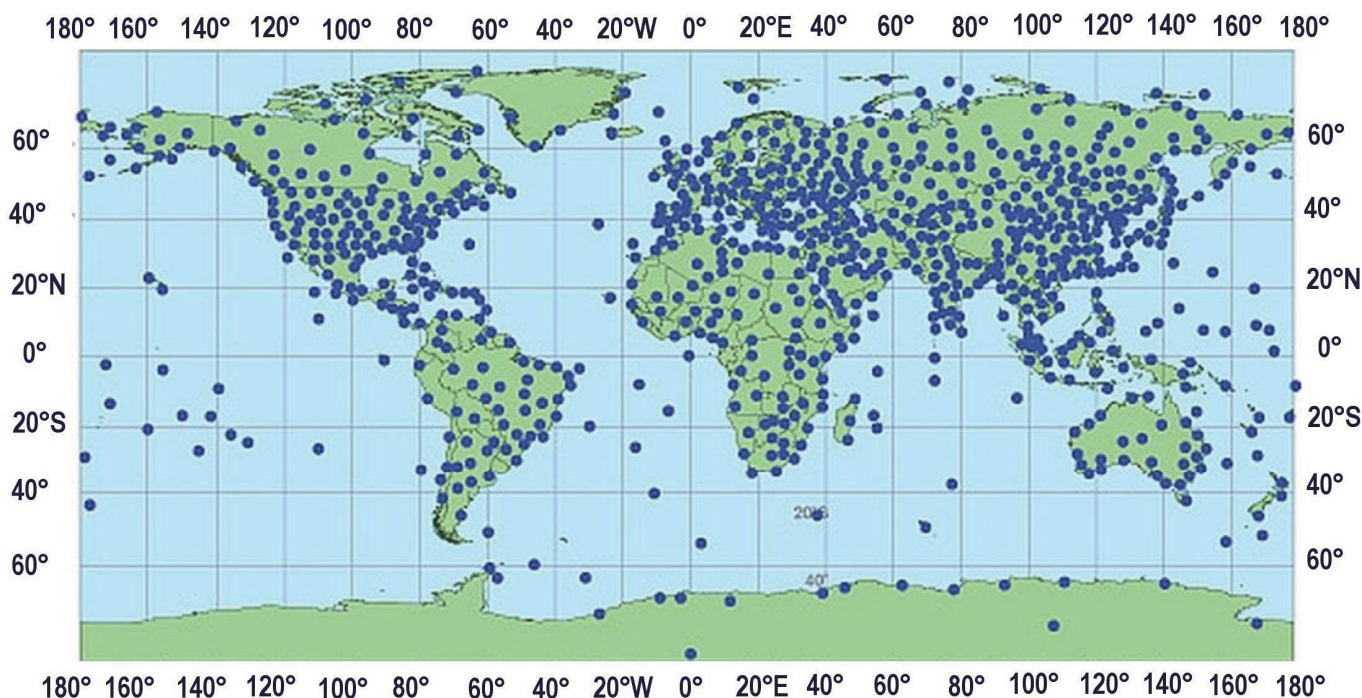
**Abstract.** We downloaded all the TEMP messages of the Global Observing System were sent for international data exchange between 1973 and 2015. The frequency of ascents by some states was examined. We tried to derive economic, social and political conclusions from the trends in time.

A rádiószondát szárazföldről vagy tengeri hajó fedélzetéről hidrogénnel vagy héliummal töltött rugalmas falú léggömb emeli a magasba mintegy 30 km-ig, leggyakrabban a légnyomás, léghőmérséklet, légnedvesség, valamint a szélirány és szélsébség mérésére. Speciális érzékelők alkalmasak egyes napsugárzási paraméterek, az ózon függőleges eloszlásának, a levegő vezetőképességének vagy rádióaktivitásának mérésére is.

Az alap gondolat, vagyis, hogy egy, a levegőnél könnyebb gázzal töltött luftballon képes méretéhez képest nem túl nagy tömegű mérőeszközt, és a műszerek együttesét körülvevő védődobozt a magasba emelni, voltaképpen már az elektronika kezdeti fejlődését

vizuális követés, ezt képes kiegészíteni az iránypozícióról információt adó jeladó. Hazánkban folytak rendszeres pilót szélmérések hozzávetőleg negyedszázaddal ezelőttig, ám ezek információtartalma nagyon korlátozott volt, mert azon kívül, hogy diagnosztikai paramétereket nem mértek, még a léggömb koordinátáiból is csak kettőt voltak képesek megmondani, a harmadikra (közvetve a magasság) csak a közegellenállásra felírt közelítő képletből lehetett következtetni, ami nagyjából állandó emelkedési sebességet tételez fel.

A rádiószonda elnevezés Hugo Hergesell német meteorológustól származik a rádió (fedélzeti rádióadó) és a szonda (üzenetküldő a régi angolban) szavak össze-



1. ábra: Az aerológiai állomások világhálózata (WMO)

megelőzően is kézenfekvő volt. A magaslégköri felszállások története a XX. század első felére nyúlik vissza. A nagy áttörést a felszálló egység és a megfelelő földi berendezés közti rádiókapcsolat megteremtése jelentette. Létezik olyan egyszerűsített módszer is, amikor a léggömb mérőegységet nem hordoz, csak egy apró jeladót, ezzel csak a szelet lehet mérni, de ez még a pilót szélmérések körébe sorolt módszer. Alapeset a pilót szélmérésnél, ha semmilyen elektronika nincs, csak

tételéből. Robert Bureau francia konstruktőr 1929. január 7-én bocsátotta fel első rádiószondáját Franciaországban, amit csak hőmérséklet érzékelővel szerelt fel (Dubois et al., 2002). Molcsanov Leningrádban 1930. január 30-án felengedett szondájával már a hőmérsékletet és a légnyomást is mérte, ballonja 8900 méterig emelkedett. Ezt követően francia, német, finn, svájci, kanadai és amerikai kutatók csiszolták a rádiószondázás technikáját (Zaitseva, 1993). Hazánkban a rendszeres rádiószondázó

tevékenység 1949-ben indult Budapesten, majd 1961 óta Szeged is csatlakozott. A szondázás nemzetközi és hazai fejlődéséről Mezősi (2004) adott összefoglalást.

1957 óta valamennyi rádiószondázó állomás összehangoltan 00.00 és 12.00 UTC-kor végzi a felszállást (esetenként 06.00-kor és/vagy 18:00-kor is), bár sok közülük pénzügyi okokból csak napi egy felbocsátást engedhet meg. A Meteorológiai Világszervezet tagállamai a World Weather Watch keretében ingyenesen kicserélik magaslégköri adataikat TEMP távirat formájában. Jelenleg mintegy 750 rádiószondázó állomás működik világszerte (1. ábra). A műholdas megfigyelések elterjedésével számuk enyhe csökkenést mutat.

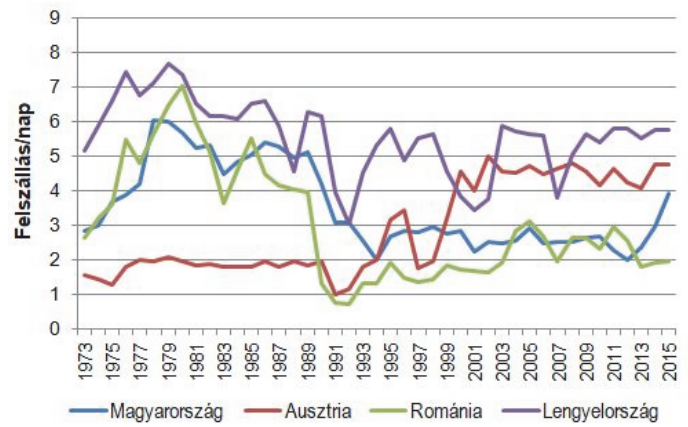
A magaslégköri mérések legfőbb felhasználási területe az időjárás előrejelzése, a vertikálisan sokszintű modellek elengedhetetlen bemenő adatait szolgáltatják. Fontos még a légiközlekedés és a tűzéréség, valamint egyéb ballisztika, az űrhajózás, távközlés és éghajlatkutatás számára is. Egyúttal azonban a költségesebb megfigyelési technikákhoz tartozik.

Tanulmányunkhoz legyűjtöttük a Wyomingi Egyetem honlapján elérhető TEMP táviratokat 1973–2015 között. Megvizsgáltuk, hogy e 43 év alatt az egyes országok hány állomáson milyen gyakorisággal rádiószondáztak. Az időbeli trendekhez megpróbáltunk gazdasági, társadalmi és politikai mozgásokat rendelni, azaz megtalálni azokat a hajtóerőket, amelyek jelentős befolyást gyakoroltak a magaslégköri felszállások számára.

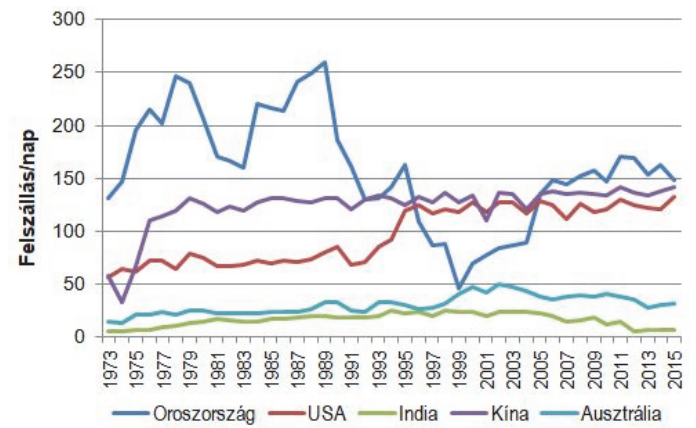
Az 1973-al kezdődő első 7–8 év adataiból megállapítható, hogy akkor jóval kevesebb információ jutott el a nemzetközi meteorológiai központokba, ez azonban nem egyértelműen jelenti azt, mintha a 40 évvel ezelőtti időszakban lényegesen kevesebb mérést folytattak volna. Sokkal inkább arról van szó, hogy az informatika fejlődött közben, a szonda műszerei már akkor is időben folyamatosan mértek, míg az adatok előállításában jócskán éltek a diszkretizáció eszközével, ami a felszállások egyfajta idealizált megjelenítését jelenti. Arról van ugyanis szó, hogy a felszállások kiértékelésekor akkor is és ma is érvényben van a markánspontról képzés, azaz a folytonos és sima hőmérséklet, nedvesség, stb. görbéből egy szintén folytonos, de törésekkel határolt egyenes szakaszokból álló görbét képezünk. Ez a képzett görbe a töréspontok számától függően ideálisan közelít a természetből kapott eredeti görbéhez. Mindez a leegyszerűsítés a valóságból való forgácsolódást jelent ugyan, ám lehetővé teszi, hogy véges, nem túl nagyszámú szintből adódó hőmérséklet, nedvesség, stb. adattal leírassuk a végzett megfigyeléseket. E szintek adatai kerülnek bele a TEMP táviratba, valamint a főnyomásfelületek adatai is, úgy, mint az 1000, 925, 850, 700, 500, stb. hPa szintek adatai.

A főnyomásfelületek adatai vagy a szakaszosan lineáris markánspontról képzett görbéből adódnak, vagy a mérés valamilyen nagyszűrűségű egyenes vékonyrétegeinek integrálásával állnak elő.

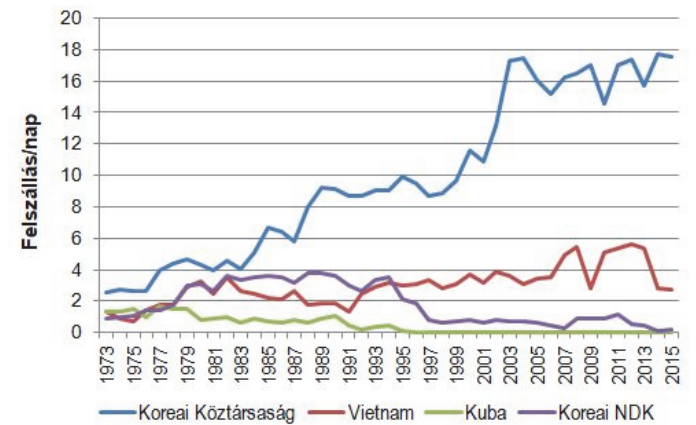
A vizsgált időszak első évtizedére tehát az mondható el, hogy míg az ezredforduló körüli és utáni állapothoz képest abból az időből jóval kevesebb adat áll rendelkezésünkre, addig az 1970-es majd a 80-as években is maguk a mérések jó földrajzi és időbeli elosz-



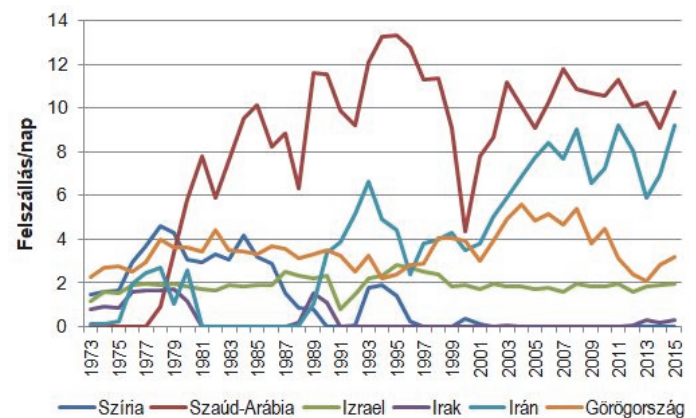
2. ábra: A rádiószondázás gyakorisága néhány közép-európai országban



3. ábra: A rádiószondázás gyakorisága néhány nagy országban



4. ábra: A rádiószondázás gyakorisága néhány országban



5. ábra: A rádiószondázás gyakorisága keleti országokban

lásúnak mondhatók, mi több, kevesebb földrajzi és időbeni inhomogenitást tapasztalunk akkorról, mint a mai időnkben.

A II. világháború után a nagy gyarmatosító országok nemcsak „háterszágukban”, hanem külbirtokaikon is létrehoztak rádiószondázó állomásokat, amelyek, ha változó rendszerességgel is, de végeztek méréseket. Az, hogy a gyarmati rendszer felbomlása után mi történt, elég tarka képet mutat.

Földrajzilag részletesebben végighaladva kezdjünk Európánál. Kontinensünk az egyik legnagyobb sűrűséggel méréseket végző régió. Ezen belül is élen jár Északnyugat-Európa, de a XX. század utolsó évtizedeiben Európa középső része is jeleskedett. Itt volt a politikai és földrajzi megosztottság tengelye, itt volt szomszédos a NATO és a Varsói Szerződés. A mérések sűrűsödtek, a két Németországban, Olaszországban, Csehszlovákiában, Magyarországon és sokfelé a Szovjetunióban a napi két mérésen felül megjelenik a reggeli és esti szonda is. Nem mindenütt volt könnyű ezt pénzzel győzni, hazánkban a pestszentlőrinci esti mérés például visszahozott, újrafelhasznált szondával történt. A 2. ábrán láthatjuk, hogy a három volt szocialista országban a 70-es évek végén érte el maximumát, majd a rendszerváltást követően jelentősen visszaesett a felszállások száma. Legmélyebbre Romániában süllyedt, 1991–93-ban a napi egyet sem érte el. Hazánkban 1994 és 2012 volt a két mélypont napi két szondával. Az 1990–94 időszak az OMSZ életében anyagilag nagyon nehéz periódus volt. Az utóbbi három évben folyamatosan biztosítjuk a napi négy (Budapest 2, Szeged 2) felbocsátást. Mindazonáltal a rádiószondázás költsége nem olyan jelentős egy legalább közepesen fejlett ország meteorológiai szolgálatának költségvetésében, mint ahogy azt sokan gondolják. Hazánkban a két aerológiai állomáson napi két mérést végezve sem több évi 40 millió forintnál. Ez hozzávetőleg 2%-os kiadást jelent a nemzeti szolgálat költségvetésében. A mérések sokrétű felhasználása révén ennek többszöröse a nehezen számzerűsíthető haszon.

Vizsgáljuk meg néhány nagy területű ország rádiószondázási trendjét!

A 3. ábra jelzi, hogy eltérő múltat befutva a három gazdaságilag-katonailag legnagyobb állam, Oroszország, USA és Kína az utóbbi évekre egyaránt napi megközelítőleg 150 felszállással stabilizálta a magaslégköri megfigyeléseit. Brezsnyev és Gorbacsov idején szondáztak legtöbbit az oroszok. A Szovjetunió 1991-es széthullását követően a Független Államok Közösségében Jelcin elnöksége alatt az ötödére esett vissza a rádiószondázás, nyilvánvalóan a belpolitikai zűrzavar és a gazdasági válság következményeként. Az ipari termelés és az életszínvonal jelentősen visszaesett. A kedvezőtlen folyamatok Putyin 2000-ben történt első elnökké választása után fordultak meg. Az olajbevételekből megszilárdította a gazdasági és társadalmi életet, s fokozatosan háromszorosára növekedett a napi felszállások száma.

Kína Mao Ce-Tung alatt a 60-as évektől dolgozik saját űrkutatási és rakétafejlesztési programján. 1970-ben bocsátották fel első műholdjukat. E fejlesztésekhez 1974-

től öt év alatt a háromszorosára futtatták fel a rádiószondázást, s ezt a szintet négy évtizede tartják.

Az USA 42. elnöke 1993–2001 között Bill Clinton volt. Az ő elnöksége idején mintegy duplájára emelkedett a szondázások száma, s stabilizálódott ezen a szinten. Ez valószínűleg annak a következménye, hogy a demokrata elnökök közt is kiemelkedő figyelmet fordított a környezetvédelem ügyének.

Földrajzi barangolásunkat folytassuk néhány sajátos történelmi ázsiai országgal és a közép-amerikai Kubával!

A 4. ábrán néhány távolabbi ország szondázási menete látható. Érdekes Kuba esete, ahonnan az 1970-es években még napi 2 mérésről jöttek adatok – Havannából és Camagüeyből is –, azután csak egyről, majd 1991-től egyről sem. Részletesebben megnézve azonban kiderül, hogy a mérések nagy része egy harmadik állomásról, az amerikai ellenőrzés alatt lévő Guantánamo-öbölből származik. Feltűnő, hogy 1982-ig az USA itt rendszeresen, naponta korábban kétszer, utóbb egyszer bocsátott fel szondát, míg utána inkább már csak kétnaponta egyszer. A 90-es évek elejétől alig vagy egyáltalán nem. A 80-as évek elején bekövetkezett változást esetleg írhatjuk a grenadai válság számlájára, s az, hogy utána már csak esetszerűen szondáztak, arra enged következtetni, hogy a szondákat referenciaként használják csupán, vagy az indonéz szisztémához hasonlóan a kritikus karib-tengeri tölcserviharok esetére szorítkoztak. Amíg Guantánamo rendszeresen szondázott, addig a pénzügyi nehézségekre előszeretettel hivatkozó karib-tengeri ország mintegy ingyen kapott, a prognózishoz elsősorban az ország keleti felében használható szondamérést. Ugyanakkor Ronald Reagan hatalomra kerülésével tovább romlottak a kubai-amerikai kapcsolatok, másrészt az a szempont is felmerülhetett, hogy Kuba a hazájukból a tengeren keresztül menekülő állampolgárainak felderítésére használhatja az ajándékba kapott meteorológiai információkat. Egy szó, mint száz, a szigetország térségében az 1970-es évektől kezdve több lépcsőben drasztikusan visszaestek a rádiószondás mérések az időről időre bekövetkező rendkívüli időjárási események dacára.

A vietnami háború alapvetően a dél-vietnami oldalon zajlott. Mivel Vietnam déli felének Saigon a központja, és ott jegyeznek rádiószondázó állomást, célszerű először ennek működését figyelni. 1973-tól az adatregisztereket követve azt láthatjuk, hogy a legnagyobb harcok idején is működött Saigon rádiószondázó állomása, 48900 számmal. Elkövetkezett azonban 1975 májusa, amely a dél-vietnami állam kapitulációját jelentette. A rádiószondás mérések Saigonban egészen '75 májusáig rendszeresek, majd érthető módon kimaradás következik, viszont igen hamar, 1975 októberében újra folytatódnak. Közben az aerológiai állomásnak nevet adó város elnevezését megváltoztatják és Ho Si Minh város lesz. Így nevezi a wyomingi adatbázis is, amely mindig a legutolsó város, illetve ország nevet vonatkoztatja visszamenőleg is. Ehhez képest az északi oldal, Hanoi (48820) jóval kevesebbet mér, az itteni regisztrálás első évétől, 1973-tól kezdődően a vietnami háború végéig alig láthatók esetszámok a havi bontásban. A háború végét követően sem indulnak meg a mérések.

A kambodzsai Khmer Rouge, a vietnami hadsereg, és Kína közt nyílt ellentétek feszültek, melyek kirobbanásaként 1979 februárjában Kína villámháborút indít Vietnam északi határán. Hanoi ismét stratégiai helyszínné válik, sőt most válik csak azzá, hisz ennek előtte földi hadműveletek nem zajlottak itt. Miután azonban a kínai hadsereg hirtelen kivonul Vietnamból, alig telik el egy hónap – 1979. március vége, április eleje –, és a hanoi aerológiai állomás megkezdí a méréseket, melyeket ettől kezdve napjainkig rendszeresen végez. De vajon miért nem indulnak meg a mérések 1975 májusában, amit a Vietnami Demokratikus Köztársaság azóta is a nagy győzelem időpontjának tekint? Úgy látszik, megvárták még a kínaiakat.

A Koreai Köztársaság rádiószondázási trendjében 1988 lokális maximumként jelentkezik, amit indokol a szüli olimpia megnövekedett légi forgalmának biztosítása. A 2000-es évektől duplájára emelik a méréseket, valószínűleg északi szomszédjuk agresszív fegyverkezésének következtében.

A Koreai Népi Demokratikus Köztársaság első államelnökének, Kim Ir Szennek 1994-ben bekövetkező halála után napi négyről napi egyre esett vissza a szondázások száma. Napjainkra ez a nullához közelít, ami azt valószínűsíti, hogy nem tesznek eleget a mérési adatok kötelező ingyenes cseréjének, hiszen az elképzelhetetlen, hogy az intenzív nukleáris programjuk és rakétafejlesztésük idején ne szondáznának.

Az 5. ábrán Görögország mellett néhány közel- és közép-keleti állam szondázási trendjét tüntettük fel. A görögöknél jól kiemelkedik 2004, az athéni olimpia éve. Ezt követően pedig a folyamatos gazdasági nehézségek miatt napi 2–3 szondázást végeznek csak.

A világ legnagyobb kőolaj kitermelője és exportőre, az arab világ egyik módos állama, Szaúd-Arábia a 70-es években alig mért, majd 1980-tól mérési programjuk gyors fejlődésnek indult, s stabilizálódott az utolsó három évtizedben, azaz nyolc aerológiai állomásuk napi 1–2 felszállást végez. 2000 táján tapasztalható egy rövid idejű nagy visszaesés. Ennek lehetséges oka, hogy Abdullah ibn Abdul-Aziz – aki az 1995-ben agyvérzést kapott Fahd király helyett régensként uralkodott – csökkentette a kormányzati kiadásokat. A körülöttük zajló harci cselekmények azonban valószínűleg hamar kikényszerítették a korábbi, magasabb gyakoriságú szondázást. Háborúk idején hadászatiilag különösen fontos értékkel bírnak a magaslégköri adatok, ezért jellemzően az érintett országok végeznek ugyan méréseket, de azt nem továbbítják nemzetközi adatcserére, hiszen az ellenség is hozzájutna. Ez történt az iraki-iráni háború évei alatt 1980–88. között az iraki és iráni adatokkal, valamint az öböl-háború idején az iraki és a szíriai adatokkal. Izrael a négy évtized alatt elég stabilan folytatta a napi két felszállást, de az öböl-háború idején valószínűleg egyik felszállás adatait nem továbbították. Izrael tevételesen nem vett részt a harcokban, csak elszenvedője volt több Scud-rakéta támadásnak, amit a Szaddam-rezsim indított ellenük. Szíria 1996 után lényegében nem tesz közzé megfigyelési adatot, még a damaszkuszi méréseiket sem. Ez

már jelezte az országban lappangó problémákat, ami a 2011-ben kirobbant polgárháborúhoz vezetett.

Végül tekintsük át azokat az országokat is, ahol nem rádiószondáznak. Európában ilyenek elsősorban a törpeállamok: Andorra, San Marino, Vatikán, de nem rendelkezik bejelentett szondázó állomással Málta, Liechtenstein, Koszovó, Albánia és Luxemburg sem. Gibraltár 2013-ig napi két szondát bocsátott fel, azóta egyet sem. Lettország nemzeti meteorológiai szolgálata több éve csak saját bevételeire támaszkodhat, költségvetési pénzt nem kapnak. Ez a megszorítás látszik a szondázásuk leépítésében: fővárosuk, Riga 2004 óta nem szondázik, Kaunas 2011-ig naponta egyszer engedett fel szondát, 2015 óta szünetelteti.

A többi kontinensen csak az 500 000 km<sup>2</sup>-nél nagyobb területű nem-szondázó országokat kerestük. A legtöbb ilyen Afrikában található, ahol a gazdaság erőtlen, gyakori a belpolitikai zűrzavar, s így a meteorológiai mérőinfrastruktúra meglehetősen fejletlen: Kongói Demokratikus Köztársaság, Szudán, Dél-Szudán, Líbia, Angola, Etiópia, Tanzánia, Nigéria, Mozambik, Szomália. Ázsiában a nagyobb országok közül Jemen, Mianmar és Pakisztán nem szondáz, míg Dél-Amerikában Bolívia és Venezuela.

A legutóbbi években látható olyan tendencia, hogy a fejlett országok vagy olyan országok is, amelyek korábban dicséretesen szondáztak, több-kevesebb mértékben csökkentették mérési programjukat. Mivel a nemzetközi gazdasági krízis 2008-ban kezdődött, és a hullámvölgy után emelkedő menet tapasztalható az államok pénzügyi mozgásterében, így a visszaesés közvetlen pénzügyi okokkal nem indokolható e mérések tekintetében.

Felmerül a lehetősége, hogy elhúzódó kísérleti stádium után a WMO tagállamok egy részében számottevő szerepet kapnak a távérzékelési módszerek, mint a radiométer, windprofilér, radaros szélmérés vagy a távérzékelésnek nem számító AMDAR, mely a repülőgép által hordozott regisztrációs műszer terméke. Ezeket a mérési módszereket az EUMETNET már igyekszik összehangolni, s az eredményeket felhasználni az adatasszimilációban.

A rádiószondás mérések közvetlen érzékelésen alapulnak, kialakult, nemzetközi referenciával bíró eszközökkel végezzük őket, sok évtizedes múltra tekintenek vissza, tehát várható, hogy még hosszú ideig szolgálják a magaslégköri klímakutatást és az időjárás modellezést.

## Irodalom

Dubois, J., Multhauf, R. and Ziegler, C., 2002: The Invention and Development of the Radiosonde with a Catalog of Upper-Atmospheric Telemetry Probes in the National Museum of American History. *Smithsonian Institution Press*, Washington, D.C.

Zaitseva, I., 1993: Historical Developments in Radiosonde Systems in the Former Soviet Unions. *Bulletin of the American Met. Society* 74(10).

Mezősi, M., 2004: Rádiószonda történelem: 60 éve indult az első magyar szonda. *Léggör* 49(4), 28–30.

# PANNEX – EGY FORMÁLÓDÓ KUTATÁSI EGYÜTTMŰKÖDÉS A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN

## PANNEX – A PROSPECTIVE RESEARCH COLLABORATION IN THE CARPATHIAN BASIN

Lakatos Mónika<sup>1</sup>, Weidinger Tamás<sup>2</sup>, Bihari Zita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Országos Meteorológiai Szolgálat, Éghajlati Osztály, 1024 Budapest Kitaibel Pál utca 1., <sup>2</sup>ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, lakatos.m@met.hu, weidi@caesar.elte.hu, bihari.z@met.hu

**Összefoglalás.** A PannEx (Pannonian Basin Experiment) a WMO WCRP (World Climate Research Program) GEWEX (Global Energy and Water Cycle Exchanges) projekt kezdeményezése nyomán jött létre. A GEWEX egyik panelje a Hydrology Panel (GHP), aminek fő célja a hidrológiai ciklus és a Föld-légkör rendszerben zajló energiaátadási folyamatok minél pontosabb megismerése. A PannEx egy most formálódó, határokon átnyúló regionális kutatási együttműködés a Kárpát-medence területén. A kutatási terv kidolgozása a legfontosabb lépés ahhoz, hogy a GHP által elismert regionális hidroklimatológiai projektté (RHP) váljon a PannEx, s ennek eléréséhez jó úton halad a közösség. A PannEx tudományos együttműködés átfogó célja hogy hozzájáruljon az éghajlati rendszer működésének megértéséhez és az éghajlat állapotának előrejelzéséhez, valamint az éghajlati változások emberi tevékenységre gyakorolt hatásának megismeréséhez.

**Abstract.** A group of scientists from countries in the Basin has joined together to form the Pannonian Basin Experiment (PannEx), which promotes coordinated research on the climate and environment of the region, and addresses societal impacts related to these important issues. The initiative is working towards becoming a Regional Hydroclimate Project (RHP) under the GEWEX Hydroclimatology Panel, and will thus adhere to the principles of GEWEX, its Grand Challenges and Scientific Questions. The goal of the activities of PannEx, including the Initiative's interaction with the GHP RHPs and other projects of GEWEX and WCRP, is to enhance Earth system science in the Pannonian Basin and contribute to the overall goal of the scientific community to improve the understanding of the climate system, its predictability and its effect on human activities.

**GEWEX kezdeményezés.** A WMO WCRP (World Climate Research Program – Éghajlati világprogram) egyik fő projektje a GEWEX (Global Energy and Water Cycle Exchanges – Globális energia- és vízciklus változások) projekt, aminek fő célja a hidrológiai ciklus és a Föld-légkör rendszerben zajló energiaátadási folyamatok minél pontosabb megismerése és modellezése. A GEWEX Hydroclimatology Panel (Hidroklimatológiai Fórum) (GHP) egy regionális kutatási együttműködést kezdeményezett a Kárpát-medencére, s ez megvalósulni látszik PannEx néven (Pannonian Basin Experiment – Pannon-medencei kutatási együttműködés). A GHP-nek több, a PannEx-hez hasonló regionális hidroklimatológiai projektje (RHP) is működik jelenleg a Föld különböző régióiban (1. ábra).

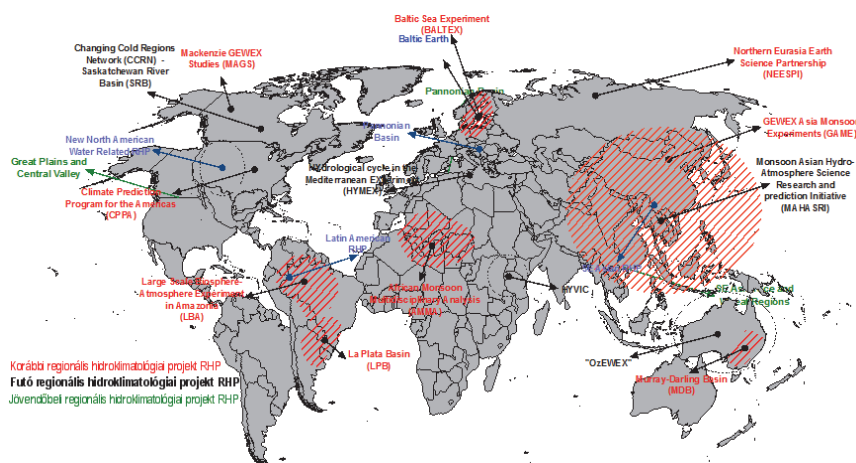
Ezek között van olyan, mint például a Baltic Earth, ami már a második 10 éves ciklusát kezdte, a BaltEx RHP időszak után a Balti-tenger térségében. Hozzánk legközelebb a HyMEX (Hydrological cycle in the Mediterranean Experiment – A hidrológiai ciklus a mediterrán térségben) egy jelenleg futó RHP a mediterrán régióban. Ebben is részt vesznek hazai kutatók, lásd *Ruti et al.* (2016) cikkét, a PannEx pedig egyelőre az inicializálás fázisában van. Hogy miért éppen a Kárpát-medencét szemelte ki a GEWEX egy lehetséges RHP helyszínéül? Ennek a háttérben egy elkötelezett kutató:

Joan Couxart, a University of the Balearic Islands fizikus-meteorológus professzora áll, aki 2017-től a GEWEX GHP társelnöke. Őt különösen érdekli a világ egyik legnagyobb zárt medencéjének a dinamikája, nagytérségű áramlási rendszere, illetve a felszín-légkör kölcsönhatások és a határreteg szerkezetének modellezése. Hosszú ideje kapcsolatban áll a régió kutatóival, így a Horvát Meteorológiai Szolgálat, illetve a Zágrábi Egyetem munkatársaival (*Cuxart et al.*, 2014; *Jiménez et al.*, 2016). Két magyarországi határreteg mérési expedícióban is részt vett Szegeden, 2013 telén, illetve 2015 nyarán, ahol a cél a felszíni energiamérleg komponensek meghatározása, illetve a határreteg szerkezetének mérése volt, különösen az átmeneti reggeli és éjszakai órákban (*Weidinger et al.*, 2014; *Cuxart et al.*, 2016).

Az eredmények kiértékelése során is szembetűnő volt számára a Kárpát-medence sajátos helyzete a Duna vízgyűjtőjén, a hegyek ölelésében – ami nekünk természetes. Ekkor fogant meg egy regionális hidroklimatológiai együttműködés kezdeményezésének gondolata.

Közép-Európának ez a régiója egy

különleges, természetes „laboratóriumként” működhet, a hidrológiai ciklus és az energiaátadási folyamatok tanulmányozására kiválóan alkalmas terület. Mivel a régió politikailag eléggé feldarabolt, tizenkét ország osztozik területén, az egész medencét érintő lehetséges kutatási



1. ábra: A GEWEX GHP jelenleg működő, illetve korábbi (piros), a leendő (kék) és formálódó (zöld) Regionális Hidroklimatológiai Projektjei (RHP). (Lee, 2016)

különleges, természetes „laboratóriumként” működhet, a hidrológiai ciklus és az energiaátadási folyamatok tanulmányozására kiválóan alkalmas terület. Mivel a régió politikailag eléggé feldarabolt, tizenkét ország osztozik területén, az egész medencét érintő lehetséges kutatási



feladatok megoldása koordinációt igényel. Több ismert és elismert kutatóintézet és egyetem is működik a Kárpát-medencében, léteznek különböző kutatói hálózatok, ezekre lehet támaszkodni, ugyanakkor esetenként még nem eléggé ismertek, erősíthetők, illetve bővíthetők. Alapvetően ezek összefogása a GEWEX célja a PannEx kezdeményezéssel. Emellett az is fontos szempont, hogy a Kárpát-medence földrajzi elhelyezkedése kedvező az uniós források eléréséhez. Ezen kívül a PannEx területe a már létező HyMeX és a Baltic Earth RHP-k célterülete között helyezkedik el, s a három RHP együttműködésének a lehetősége is szerepel a távoli jövő elképzelései között.



2. ábra: A PannEx logó

**Első lépések a Regionális Hidroklimatológiai Projekttevékenység útján.** A PannEx kezdeményezés első állomása az Eszéki Egyetem Mezőgazdasági Karán 2015. november 9–11. között, „Climate System of the Pannonian Basin” (A Pannon-medence éghajlati rendszere) címmel megrendezett munkaértekezlet volt, amit a GEWEX kezdeményezett. Ezen mintegy 50 fő vett részt Horvátország, Magyarország, Szerbia, Szlovákia, Románia, Csehország és Ausztria területéről. A PannEx elnevezés az első munkaértekezlet címére utal. A rendezvény zárásaként a résztvevők megfogalmazták az általuk legfontosabbnak ítélt kutatási témákat a régióban, s egyetértettek abban, hogy készítenek egy „white book”-ot, amiben ezeknek a háttérét és a megválaszolandó kérdéseket vázolják fel. Az öt legfontosabbnak ítélt „zászlóshajó” kérdés (FQ), s ezek mindegyikét érintő kereszt-kapcsolati „cross cut” (CC) témák az alábbiak:

- FQ1:** A mezőgazdaság alkalmazkodása az időjárási és éghajlati szélsőségekhez
- FQ2:** A levegőminőség alakulása különböző időjárási és éghajlati viszonyok között
- FQ3:** Fenntartható fejlődés
- FQ4:** Vízgazdálkodás, aszályok és árvizek
- FQ5:** Oktatás, tudástranszfer és tájékoztatás
- CC1:** Adatok és meglévő tudás egyesítése
- CC2:** A folyamatok modellezése
- CC3:** A modellek fejlesztése és validálása

Az első találkozó után megalakult a programtanács a PannEx IPC „International Planning Committee”, melynek tagjai: *Branka Ivančan-Picek* (DHMZ, Horvátország), a GEWEX SSG tagja 2017 óta; *Lakatos Mónika* (OMSZ, PannEx elnök); *Adina Croitoru* (Babes-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár); *Danijel Jug* (Eszéki Egyetem, Horvátország); *Vladimir Djurdjevic* (Belgrádi Egyetem, Szerbia); *Weidinger Tamás* (ELTE), *Ivan Guettler* (DHMZ, Horvátország, PannEx titkár). Az IPC vállalta, hogy 2016 júniusára, a Budapestre tervezett második workshopra elkészítik a „white book” első verzióját és a PannEx iránt érdeklődő közösség elé tárják. A második összejevetelre több mint 60 fő regisztrált, 37 előadást és 27 posztert mutattak be a résztvevők. A „white book” is terítékre került, az anyagához számos szerző és lektor hozzájárult a régióból. Közel 100 oldalt tesz ki. Magyarországról e cikk szerzői voltak felelősök egy-egy FQ, illetve CC téma kidolgozásáért.

*Weidinger Tamás* az FQ2, *Lakatos Mónika* az FQ4 és *Bihari Zita* a CC1 téma kidolgozását koordinálta.

**A közelmúlt eseményei, tervek.** A 3. PannEx Workshopon (Babes-Bolyai Tudomány Egyetem, Kolozsvár, 2017. március 20–22.) folytatódott a PannEx fehér könyvének véleményezése, javítása, kiegészítése, és a kutatási terv főbb elemeit is megvitaták a résztvevők. 2016. novemberben, illetve decemberben két hazai PannEx Szemináriumot is rendeztünk: „A mezőgazdasági tevékenységek alkalmazkodása az időjárási és éghajlati szélsőségekhez, illetve „Land Degradation Neutrality” címmel. Az előadói napok előadásai az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottság honlapján elérhetők (*MTB rendezvények*). A GEWEX NEWS-ban is hírt adtak a kárpát-medencei együttműködésről (*Lakatos et al.*, 2017). A PannEx honlapján további és még részletesebb információkhoz lehet hozzájutni, valamint lehetőség van a közösséghez való csatlakozásra is (*PannEx*). A kutatási terv megalkotása a legfontosabb mérföldkö ahhoz, hogy a PannEx eljusson az indítványozás fázisából a működő RHP státuszba, jelenleg ezen dolgozik a PannEx IPC. Bízunk az együttműködés sikerében, és abban, hogy kellően nagy ívű, de megvalósítható kutatási terv áll elő, s a megvalósításhoz forrásokat is tudunk majd rendelni.

## Irodalom

- Cuxart, J., Jiménez, M. A., Telišman Prtenjak, M. and Grisogono, B.*, 2014: Study of a sea breeze case through momentum, temperature and turbulence budgets. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 53, 2589–2600.
- Cuxart, J., Tatrai, D., Weidinger, T., Kircsi, A., Józsa, J. and Kiss, M.*, 2016: Infrasonic as a Detector of Local and Remote Turbulence. *Boundary-layer Meteorology* 159(2), 185–192.
- Jiménez, M. A., Simó, G., Wrenger, B., Telišman-Prtenjak, M., Guijarro, J. A. and Cuxart, J.*, 2016: Morning transition case between the land and the sea breeze regimes. *Atmospheric Research* 172, 95–108.
- Lakatos, M., Güttler, I., Djurdjevic, V., Croitoru, A., Weidinger, T., Jug, D., Ivančan-Picek, B., Cuxart, J.*, 2017: The Pannonian Basin Experiment (PannEx). *Gewex News* 27(1) 5–6.
- Lee, B.*, 2016: 42. Meteorológiai Tudományos Napok: A vízgazdálkodás meteorológiai vonatkozásai. *MTA*, 2016. 11. 24–25., Budapest. *MTB rendezvények*, <http://mtb.met.hu/rezvednyek/>
- PannEx*, <https://sites.google.com/site/projectpannex/>
- Ruti, P. M., Somot, S., Giorgi, F., Dubois, C., Flaounas, E., Obermann, A., Dell'Aquila, A., Pisacane, G., Harzallah, A., Lombardi, E., Ahrens, B., Akhtar, N., Alias, A., Arsouze, T., Aznar, R., Bastin, S., Bartholy, J., Béranger, K., Beuvier, J., Bouffies-Cloché, S., Brauch, J., Cabos, W., Calmanti, S., Calvet, J.-C., Carillo, A., Conte, D., Coppola, E., Djurdjevic, V., Drobinski, P., Elizalde-Arellano, A., Gaertner, M., Galán, P., Gallardo, C., Gualdi, S., Goncalves, M., Jorba, O., Jordà, G., L'Heveder, B., Lebeaupin-Brossier, C., Li, L., Liguori, G., Lionello, P., Maciàs, D., Nabat, P., Öno, B., Raikovic, B., Ramage, K., Sevaut, F., Sannino, G., Struglia, M. V., Sanna, A., Torma, C. and Vervatis, V.*, 2016: Med-CORDEX Initiative for Mediterranean Climate Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 97.7, 1187–1208.
- Weidinger, T., Cuxart, J., Gyöngyösi, A. Z., Wrenger, B., Istenes, Z., Botyán, Z., Simó, G., Tatrai, D., Jericevic, A., Matjajic, B. and Kiss, M.*, 2014: An experimental and numerical study of the ABL structure in the Pannonian Plain (PABLS13). *In 21<sup>st</sup> Symposium on boundary layers and turbulence*, 9–13.

# A MAGYARORSZÁGI KLÍMAVÁLTOZÁS NYOMON KÖVETÉSE A HŐMÉRSÉKLETI TÉRKÉPEK ALAPJÁN

## TRACKING THE CLIMATE CHANGE IN HUNGARY BASED ON THE TEMPERATURE MAPS

Dunkel Zoltán

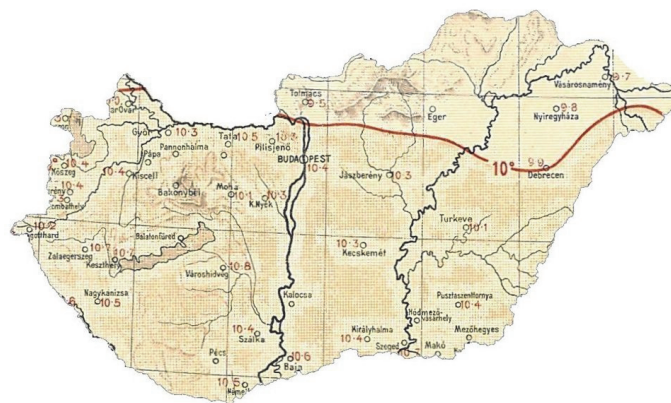
Magyar Meteorológiai Társaság, 1024 Budapest Kitaibel Pál utca 1., [dunkel.z@met.hu](mailto:dunkel.z@met.hu)

**Összefoglalás.** Az éghajlatváltozás kimutatásának természetes és gyakran használt eszköze az évi középhőmérsékletek ábrázolása évek, évtizedek függvényében. A meteorológia (klimatológiai) gyakorlat másik bevett eszköze a rövidebb vagy hosszabb időszakokra kiátlagolt adatok térképes megjelenítése. Kérdés, hogy a fellelhető hazai hőmérsékleti térképek milyen mértékben mutatják az éghajlat változását. A közlemény kísérletet tesz arra, hogy sorba szedje a fellelhető magyarországi hőmérsékleti térképeket, megpróbálva észrevenni, hogy időbeli egymásutánosságuk milyen mértékben ad képet az éghajlat változásáról. Az első, mai értelemben vett éghajlati térkép Magyarországon 1900-ban jelent meg, az utolsó pedig a készülő Nemzeti Atlaszban fog napvilágot látni. A meteorológiai gyakorlatban elfogadott 30 évi átlagon, a klíma normálon alapuló éghajlati térképeknek valószínűleg nincs nagy jövője, sem a gyorsan változó éghajlat, se a rendelkezésre álló számítástechnikai eszközök adta gyors, naprakész információk korában.

**Abstract.** The natural and often-used device of the demonstration of climate change is the plotting of the yearly temperatures as function of longer period, years or decades. Other accepted method in meteorological or climatological practice is mapping of data averaged over shorter or longer periods. The question is how the available temperature maps of Hungary can indicate the change in the climate. The paper attempts to list these maps and reveal the climate trend in their series. The first climate map was published in Hungary in 1900, while the last one will be printed in the New Atlas. It is very probably that the climate maps based on 30' year average has got no great perspective neither because of the rapid climate change, nor the information fast developing technology.

**Bevezetés.** Az éghajlatváltozás kérdésének egyre hangsúlyosabb előtérbe kerülésével a mindennapi beszéd tárgyává vált, hogy melegszik az éghajlat. Már a klímaszkeptikusok kicsiny tábora se arról szól, hogy nincs globális felmelegedés, legfeljebb arról, hogy ez nem az emberi tevékenység eredménye, illetve, hogy a különböző klímavédelmi intézkedések, a szén-dioxid és üvegházgázok kibocsátásának csökkentésére tett erőfeszítések teljesen feleslegesek. A felmelegedést mutató különböző ábrák, amikor az idő (évek) függvényében bemutatják a(z évi közép)hőmérséklet emelkedését, általában földi átlagban a napi rutin szinte unalmas elemévé vált. Ez alól kivétel, ha egyes WMO vagy IPCC jelentésben közölt hőmérséklet trendben nem mutatható ki a folyamatos emelkedés, netán a következő év átlaghőmérséklete alacsonyabb, mint az előző évi, akkor a szkeptikusok örömmel állapítják meg, hogy lám-lám, talán mégis nekünk van igazunk, nincs is globális felmelegedés. A jö-

vőről szóló elemzésekben rendre teret kapnak a különböző klímodellek prognózisai alapján készített térképek, ahol a kételkedő klímaszkeptikus, az érdeklődő szemlélő vagy döntéshozói helyzetben lévő politikus rácsodálkozhat vagy rádöbbenhet arra, hogy egy adott terület milyen mértékben fog felmelegedni a nem is olyan távoli jövőben. Ha hinni lehet a sajtóközleményeknek (*Binczin and Pitrel, 2017*), akkor élelmes francia bortermelők már szőlőművelésre alkalmas területeket vásárolnak Angliában. A meteorológiai (éghajlati) adatok térképes ábrázolása akár közvetlenül is hasznosítható. Ez természetesen eddig sem volt kérdéses, elég a napi gyakorlatban használt szinoptikus térképekre gondolni, ami gyakorlatilag egyidős azzal, hogy időjárás előrejelzés készül. Felmerül a kérdés, hogy a hőmérsékletábrázolásokon olyan remekül kimutatható változó (melegedő vagy hűlő) klíma kimutatható-e a (rendszerint harmincéves) hőmérsékleti átlagokon alapuló klímaterképek egymásutánosságában.



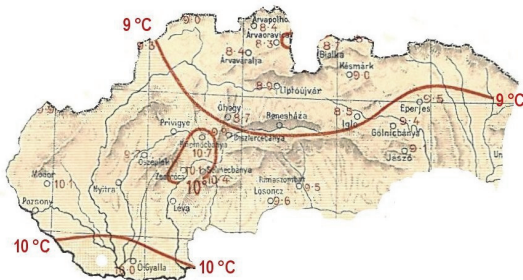
1. ábra: Izotermák a Magyarország hőmérsékleti viszonyai című 2. ábra: A hőmérséklet területi eloszlási 1871-1900 időszakban, kivágat az 1. ábrából

Vizsgálódásunk során megnéztük a fellelhető magyarországi klímaterképeket, hogy mit mutatnak klímaváltozási szemszögből.

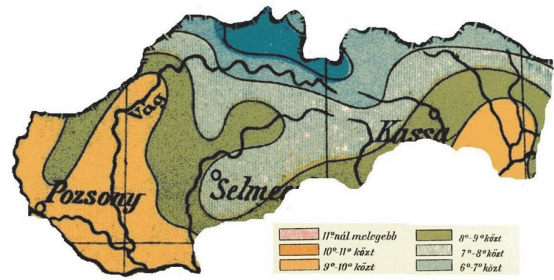
**Az első hivatalos magyar éghajlati térkép.** Mind a mai napig erősen tartja magát a magyar, és lehet, hogy a világ meteorológus közvéleményében az a legenda, hogy a meteorológiai intézetek létrejötte egy időjárási katasztrófának köszönhető. A legenda szerint, a Krími-háború során a balaklavai öbölben az egyesült angol-francia flottát egy vihar komolyan megrongálta, s a III. Napoleon által elrendelt vizsgálat során Urban La Vellier csillagász a begyűjtött adatok alapján arra a következtetésre jutott, hogy a vihar az akkor már létező sürgönyöző állomások segítségével előre jelezhető lett volna. Ennek a

Erdélyre, Tót<sup>16</sup>- és Horvátországra, s a katonai örvidékre. Ennek a feladatnak igyekezett megfelelni az akkori intézet, nem túl hatalmas létszámával, kezdetben összesen csak heten dolgoztak az intézményben. Az alapító okiratban lefektetettnek megfelelően, szorgalmasan folyt a meteorológiai viszonyok tudományos kipuhatolása, sorra jelentek meg az évkönyvek, majd az összefoglaló éghajlati művek. Az időjárás előrejelzése és az időjárási, szinoptikus térkép a magyar gyakorlatban csak jóval később, először 1880-ban jelent meg, s az sem az állami intézet, hanem egy magánszemély kiadásában (Zách, 1986).

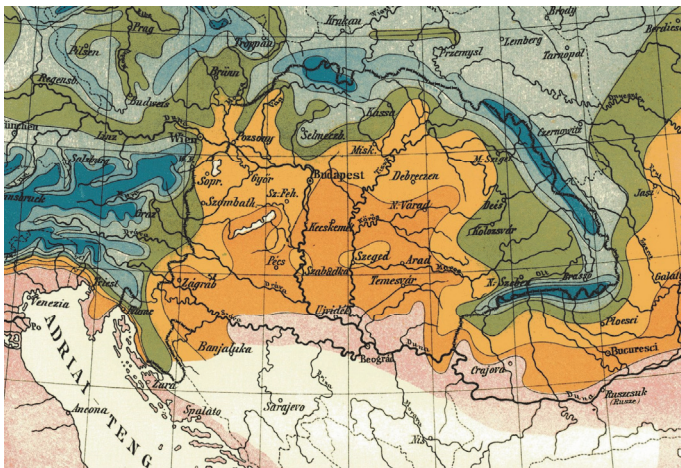
Az intézetben folyó rendszeres adatgyűjtés és feldolgozás eredményeként jelent meg az első mai értelemben vett éghajlati térkép. Róna és Fraunhoffer (1904) nevé-



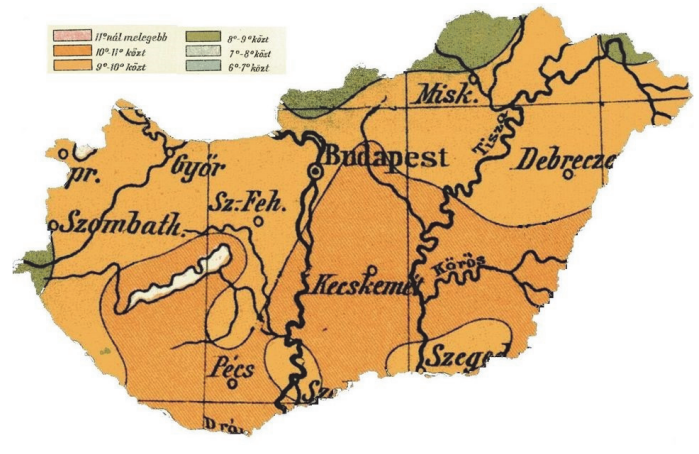
3. ábra: A hőmérséklet területi eloszlása az 1871–1900-as időszakban Szlovákia mai területén, kivágat az 1. ábrából



5. ábra: A hőmérséklet területi eloszlása a Nagy Magyar Atlasz alapján Szlovákia mai területén, kivágat a 4. ábrából



4. ábra: Magyarország és a környező országok hőmérsékleti térkép a Nagy Magyar Atlaszban (Brózik, 1906)



6. ábra: A hőmérséklet területi eloszlása a Nagy Magyar Atlasz alapján Magyarország mai területén, kivágat a 4. ábrából

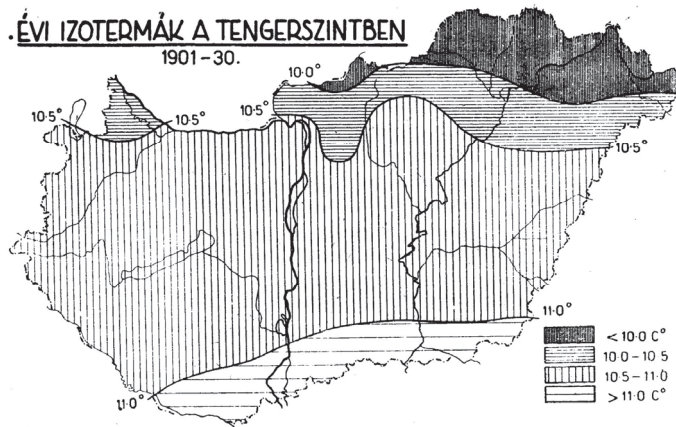
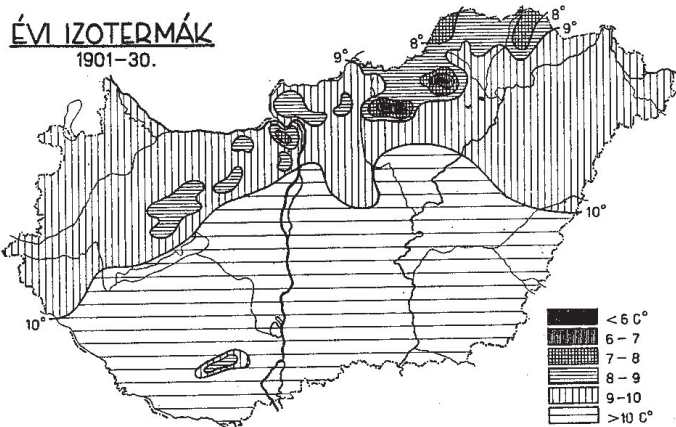
legendának ellentmond az a tény, hogy az osztrák meteorológiai intézetet 1851-ben alapították ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at)). Az osztrák intézet szervezetéből kivált, s 1870-ben megalakult önálló magyar intézet feladatai között sem szerepelt az időjárás előrejelzése. Az intézet feladata az éghajlati viszonyok minél pontosabb leírása volt, hasonlóan a földtani, bányászati intézetekhez a hazai légköri viszonyokat kívánták felderíteni, ahogy az eredeti alapító okiratban szerepel, „...a magyar birodalom meteorológiai és magnetikai viszonyainak megvizsgálására és tudományos kipuhatolására külön intézet a magyar Országos Meteorológiai Intézet állíttatik fel, melynek hivatalos elnevezése: „Meteorológiai és föld-delejességi magyar királyi központi intézet”. Hatásköre kiterjed a magyar szent korona minden országaira, ti. Magyarországra,

hez fűződik az első hivatalos hőmérsékleti térkép elkészítése. Ez a térkép már a később kötelezően elfogadott harmincéves átlagok alapján készült. Mai szemmel nézve merész vállalkozásnak tűnik, hiszen 1870-ben az osztrák intézettől átvett állomások száma 42 volt, s valószínűsíthető, hogy a feldolgozásban ennél sokkal többet nem is vehettek figyelembe nagynevű elődeink. Ezzel az állomás számmal az egész történelmi Magyarországra készítették el a hőmérsékleti térképet (1. ábra). Az izovonalak jól és határozottan megfigyelhetők a térképen, ami későbbi modern feldolgozásoknál sajnos nem minden esetben áll fenn. (Mersich et al., 2001). A továbbiakban a jelenlegi, 1920. június 4-e utáni, határokon belüli klímaterképeket vesszük szemügyre. A könnyebb összehason-

<sup>16</sup> Szlavónia – a mai Horvátország keleti része.

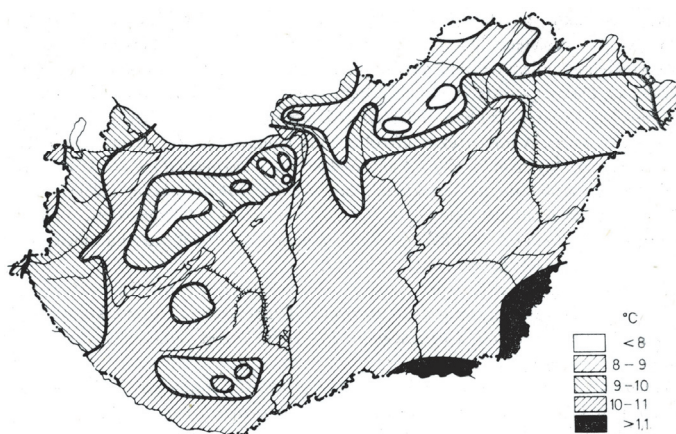
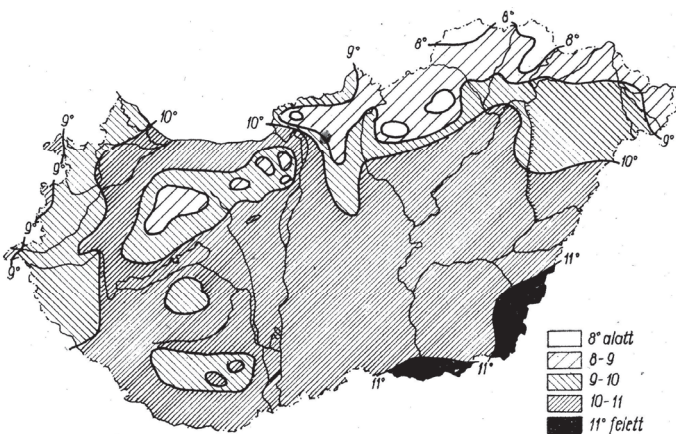
líthatóság kedvéért a vizsgálandó területet kivágjuk az 1904-ben közölt ábrából (2. ábra). Láthatjuk, hogy ez a terület izovonalakban nem különösebben gazdag, de markánsan beleesik egy izovonal, a 10 °C-os görbe. Tekintsük ezt a továbbiakban a klímaváltozás jelzőjének,

A Magyarország hőmérsékleti viszonyai (Róna és Fraunhoffer, 1904) megjelenése után, nem sokkal később napvilágot látott egy terjedelmes földrajzi atlasz (Brózik, 1906), amelyben külön oldalon szerepelt Magyarország és s környező országok hőmérsékleti térképe (4. ábra).



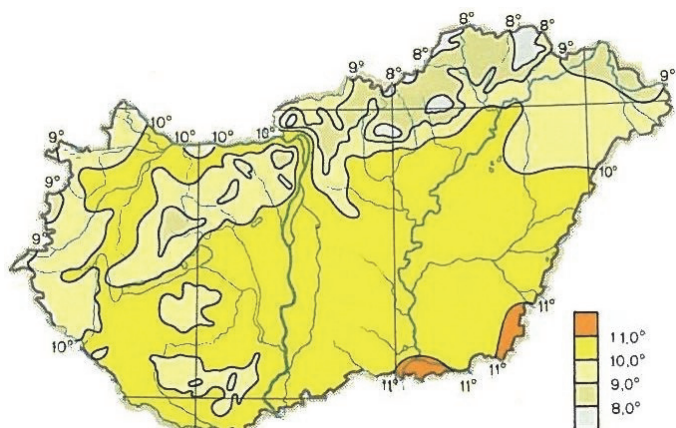
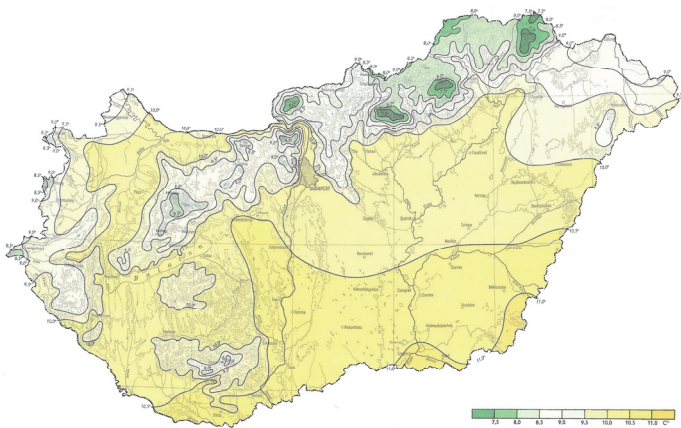
7. ábra: A hőmérséklet eloszlása Magyarországon (Bacsó, 1948)

8. ábra: Az évi izotermák a tengerszinten (Bacsó, 1948)



9. ábra: A léghőmérséklet évi középértékének területi eloszlása, °C, 50 évi átlag, 1901-1950, Bacsó nyomán (Dobosi és Felméry, 1971)

10. ábra: Az évi középhőmérséklet (°C) Magyarországon Péczely (1979) Éghajlatlan című tankönyvében



11. ábra: Magyarország évi középhőmérséklete a Magyarország Éghajlati Atlasza kötetben (Kakas, 1960)

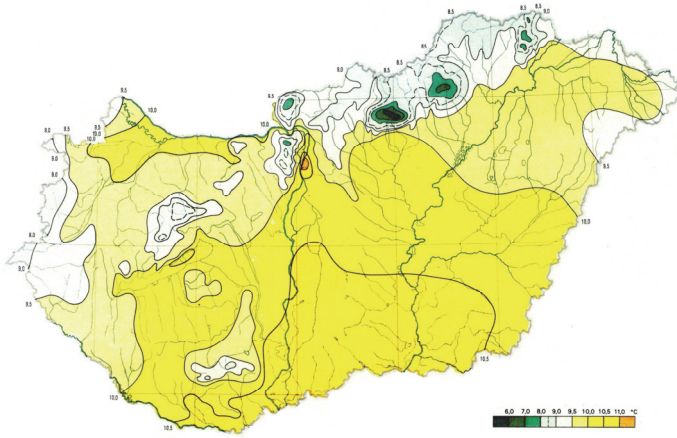
12. ábra: Magyarország évi középhőmérséklete a Magyarország Nemzeti Atlasza kiadványban (Kakas, 1967)

azaz azt, hogy ez a vonal hogyan és milyen irányban mozog. A Róna és Fraunhoffer (1904) által megrajzolt térképből még egy ország vágható ki, az 1993-ben függetlenné vált Szlovákia. Ezt a területet is kivágtuk az eredeti ábrából, a későbbi összehasonlíthatóság kedvéért (3. ábra).

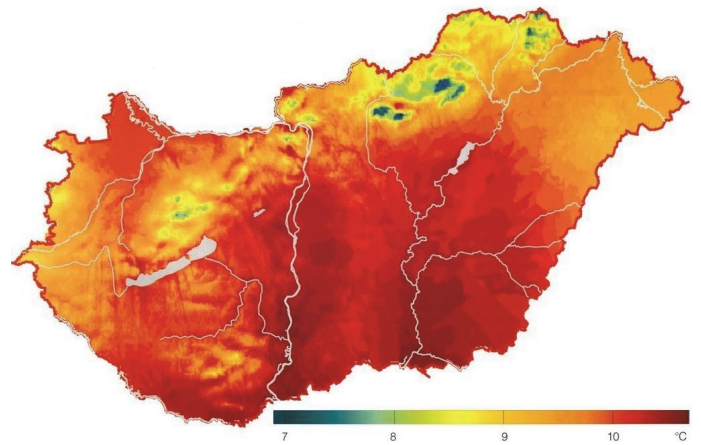
A hőmérsékleti értékeket sávosan ábrázolták, azaz egy-egy fok hőmérsékleti intervallumba eső területet azonos színnel töltötték meg. Ezt az eljárást követik aztán a térképek szerkesztői, rajzolóit a későbbi hőmérsékleti térképen is. A Nagy Magyar Atlaszban számos olyan térképet találhatunk, amelyre berajzolták az azonos hőmérsékleti

helyeket összekötő vonalakat, az atlasz szóhasználatával, az *izothermális vonalakat*. Van az atlaszban globális hőmérsékleti térkép (évi, januári, júliusi és azonos ingásokot bemutató), európai évi közepes térkép Brózik Károly átdolgozásában. Ezen a térképen a 10 °C-os izoter-

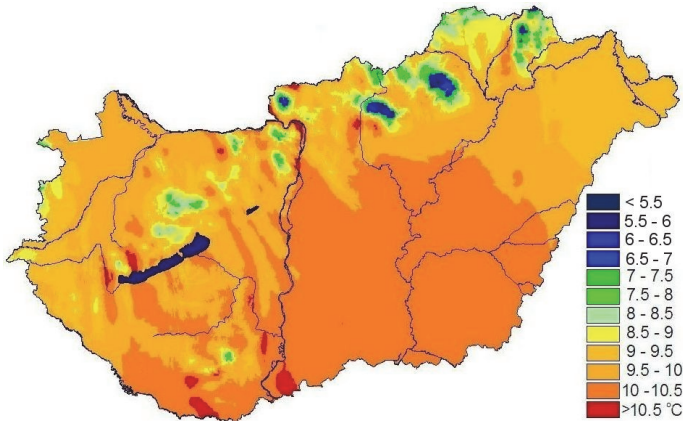
térképnél is kivágtuk a jelenlegi Szlovákia (5. ábra) valamint Magyarország (6. ábra) területére eső részt. Szembetűnő, hogy a Cholnoky-féle hőmérsékleti térképen a 10 °C-os izoterma sokkal délebbre húzódik, mint a *Róna és Fraunhoffer* (1904) által készített izoterma tér-



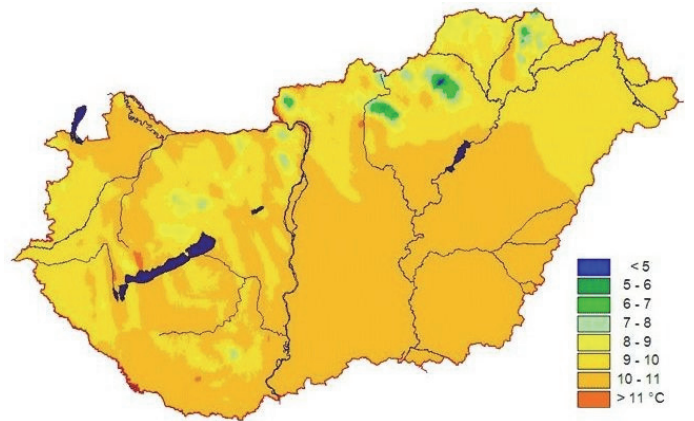
13. ábra: Az 1989-ben napvilágot látott Magyarország Nemzeti Atlaszában található térkép (Ambrózy, 1989)



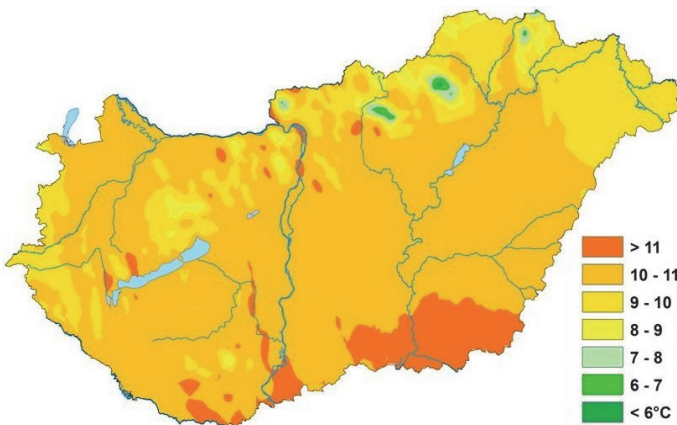
14. ábra: A hőmérsékleti térkép az OMSZ által kiadott Magyarország Éghajlati Atlaszában (Mersich et al., 2001)



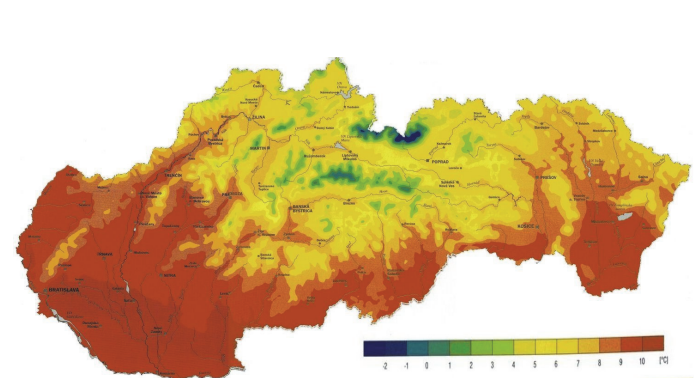
15. ábra: Az 1961–1990-es időszakra készült hőmérsékleti norma térkép (Konkolyné Bihari Zita közlése)



16. ábra: Magyarország évi középhőmérséklete 1971–2000, ([http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/))



17. ábra: Magyarország évi középhőmérséklete 1981-2010, ([http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/))



18. ábra: A hőmérséklet területi eloszlása Szlovákia területére. (Szlovák Klímaatlasz, 2016)

ma nagyjából ott fut, ahol a *Róna és Fraunhoffer* (1904) térkép mutatja. Külön lapon szerepel Magyarország és a környező országok hőmérsékleti térképe (4. ábra), amelyet *Cholnoky Jenő* szerkesztett. Ezen az ábrán az izovonalak sokkal sűrűbbek, mint a Meteorológiai Intézet 1904-es kiadványában szereplő térképen. Ennél a

képen. Sajnos a Nagy Magyar Atlasz semmit nem mond a térképek adatbázis háttéréről. A Cholnoky-féle térképen az is feltűnő, hogy a jelenlegi határokra vonatkozó ország-kivágtatban (6. ábra) a 10 °C-os izoterma nem kettévágja az országot, hanem dél felől is bezáródik. Szeged és környéke itt hűvösebb területnek mutatkozik,

mint például Kecskemét környéke. Hasonlóan zárt 10 °C-os izotermával körülveve Mohács és környéke. Sajnálatos módon az atlaszban sem arról nem esik szó, hogy milyen adatok alapján készült, sem arról, hogy a világ- és Európa térképek valamint Magyarország szűkebb környezetére vonatkozó térképek milyen viszonyban vannak egymással, azaz történt-e bármilyen szinkronizálás, mivel feltételezhető, hogy a világtérképek más nemzetközi kiadványokból származnak.

### Hőmérsékleti térképek az I. Világháború után.

A magyar intézet a háború után sokkal szerényebb anyagi lehetőségek mellett folytatta éghajlat-kutatási tevékenységét, immár egy sokkal kisebb területre. Tekintettel a feldolgozás nehézségére, ne feledkezzünk meg arról, hogy minden számítás és rajzolás kézzel történt. Az első elektromechanikus összeadó készülékek Magyarországon csak a múlt század hatvanas éveiben jelentek meg, amelyekkel legfeljebb egy összeadást vagy egy szorzást lehetett elvégezni! Így nem csoda, hogy a tíz évenkénti éghajlati normának megfelelő feldolgozások nem készültek, valószínűleg szakmai igény sem mutatkozott irántuk.

Az 1901–1930-as időszokról készült el a soron következő feldolgozás, ami *Bacsó* (1948) nevéhez fűződik. A 7. ábrán bemutatott térkép az 1930-as határoknak megfelelően, hiszen az akkori időszakra vonatkozik, ábrázolja az izotermákat. Valószínűleg már a háború előtt is készen volt, s így nem a Párizsi Békeszerződésnek (1947) megfelelő határokon belül mutatja az eloszlást, aminek persze éghajlati szempontból semmi jelentősége sincs. A 10 °C-os izoterma szinte pontosan kettévágja az országot, nagyobb „melegebb” területet kijelölve, mint a Cholnoky-féle ábrázoláson (6. ábra). Talán melegedésről lenne szó?

Ugyanebben a kiadványban egy érdekes térképre is felfigyelhetünk. A szerző a tényleges mért hőmérsékleti értékeket átszámította a tengerszintre (8. ábra). Érdekes elgondolás. Vajon milyen elképzelés vezethette a szerzőt? A légnyomás redukciójának analógiája? Ilyen ábrázolással sem korábban sem később nem találkozhatunk a szakirodalomban. Ez az ábra egy sokkal kiegyenlítettebb eloszlást, s némiképp melegebb klímát mutat. Ekkora felmelegedést okozna, ha lesüllyednénk a tengerszintre?

Az évek múlásával, amikor már egyre több adat állt rendelkezésre, *Bacsó* Nándor vállalkozott arra, hogy ötven éves adatokból készítsen izoterma térképet Magyarországra. Ez az elképzelés azt mutatja, hogy akkortájt még nem gondolkodtak éghajlatváltozásban, fel sem merült az, hogy egy 50 évi átlag már túlzott mértékben kiegyenlít. Minden bizonnyal az volt a cél, hogy egy stabil, kiegyenlített klímát állítsanak elő. A szerző még emlékszik egyetemi tanulmányaiból arra, amikor egy idősebb klimatológus azt mondta, hogy majd akkor tudunk igazán megbízhatóan mondani az éghajlatról és az időjárásról, amikor majd 100 évi adatsorok állnak rendelkezésre. Most már szép számmal vannak százados adatsorok, amiken remekül lehet tanulmányozni a klíma változását,

s meggyőződni arról, hogy a 30-évi átlag is sok mindent kisimít. A *Bacsó* (1971) által készített térképet (9. ábra) nem az eredeti forrásból vettük át, hanem egy későbbi oktatási felhasználásból, a *Dobosi-Felméry-féle Klimatológia* egyetemi jegyzetből, amiből a meteorológusok generációja tanulhatott. A feldolgozási időszak 1901-től 1950-ig terjed, így a térképet nem is igazán lehet beilleszteni a többi, standard időszakra, harminc évre készített térképek közé. A hosszabb átlagolási időszakon nyomot hagyott a negyvenes évek magasabb hőmérséklete, megemelve az átlagot, s ennek megfelelően észak felé eltolva a 10 °C-os izotermát. Míg *Bacsó* (1948) korábbi feldolgozásában a tízes izoterma kettévágja az országot, addig az ötven évre (1901–1950) készült feldolgozásban a tízes izoterma északon kilép az ország területéről, jelezve, hogy ott, ahol a Duna a határ, a túlsó parton is 10 °C felett van az évi középhőmérséklet. A *Bacsó* (1971) feldolgozás jelentőségét mutatja, hogy változtatás nélkül (10. ábra) került be *Péczeley* (1971) Éghajlati című tankönyvébe.

Az Országos Meteorológiai Intézet több éves összehangolt munkával jelentette meg *Kakas* (1960) szerkesztésében Magyarország Éghajlati Atlaszát. Ez a mű nemcsak abból a szempontból volt jelentő, hogy számos éghajlati vagy ahhoz kapcsolódó térképet, többek között számos fenológiai térképet is felvonultatott, hanem az Atlasz második köteteként egy rendezett adattárat is közreadott, amivel hosszú évekre megkönnyítette a klímakutatók munkáját.

A 11. ábrán látható térkép annyival ad többet a korábbi feldolgozásokhoz, hogy egyrészt félfokos izotermákat is behúztak a szerkesztők, másrészt az izovonalak futásából arra lehet következtetni, hogy sokkal részletesebb, precízebb feldolgozás eredményeként születtek meg a térképek. Ezen az ábrán is a tíz fokos izovonal észak felé kilép az ország területéről, de Komárom térsége kívül esik a 10 fokos tartományon, talán egy nagyon alacsonyan lévő állomás adatai miatt. Összevetve a *Bacsó* (1971) és *Kakas* (1960) feldolgozásait, nincs lényegi különbség a két térkép között, inkább csak a technika adta lehetőség miatt *Kakas* ábrázolása finomabb.

Minden valószínűség szerint tartalmi változtatás nélkül került *Kakas* (1960) feldolgozása Magyarország Nemzeti Atlaszába, ahol az egységes szerkesztésnek megfelelően a szerkesztők megelégedtek ritkább izovonalakkal (12. ábra), sematikusabb ábrázolással. Tekintettel arra, hogy ez egy általános kiadvány volt, minden bizonnyal szélesebb olvasói körhöz jutott el, mint az OMI által kiadott Magyarország Éghajlati Atlasza.

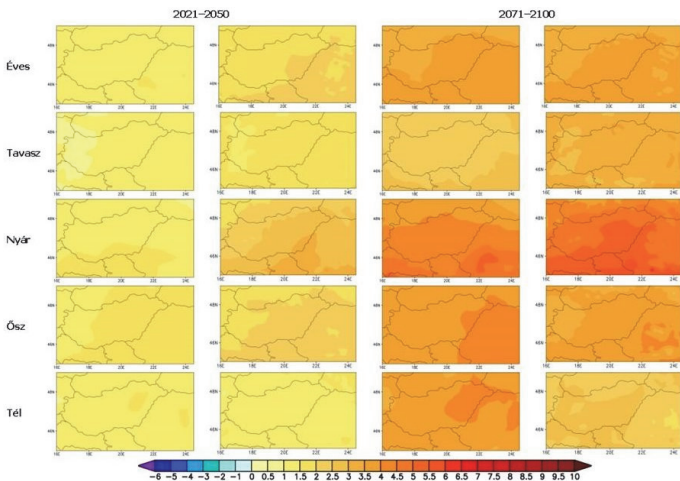
Az 1989-ben újból elkészített, nemzetközileg is nagy elismerést kiváltó Magyar Nemzeti Atlasz elkészítése lehetőséget adott a klimatológusoknak újabb éghajlati térképsorozat előállítására. Több év munkája során készültek el a különböző térképek az Atlasz szerkesztési elveinek megfelelően. Az *Ambrózy* (1989) vezetésével előállított hőmérsékleti térképet a 13. ábra mutatja. Nem feltétlenül a klíma hűlését kell látnunk az 1951–1980-as adatok alapján készült térkép mögött, amikor észrevehet-

jük, hogy a 10 °C-os izoterma által körülzárt terület szűkült a korábbi feldolgozáshoz (11. és 12. ábra) képest. A legfeltűnőbb változás az, hogy megszűnt az összefüggés a kisalföldi és a dél-dunántúli 10 fok feletti tartomány között, illetve Kelet-Magyarországon, a Tiszántúlon, dél felé mozdult el a 10 °C-os terület határa.

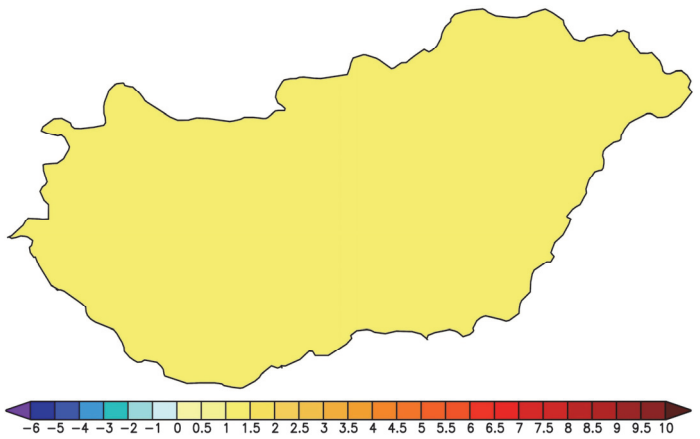
Az Országos Meteorológiai Szolgálat, hasonlóan a negyven évvel korábbi kezdeményezéshez saját maga vállalkozott klímaatlasz kiadására 2001-ben. Ellentétben az 1960-as kiadvánnyal, itt az olvasók nem szembesülhettek adatbőszéggel. A Mersich et al. (2001) által szerkesztett

túlhaladottakká váltak, s csak nyomtatott formában való elérhetőségük miatt a hozzáférhetőségük is korlátozott, az újabb változatokkal ellentétben.

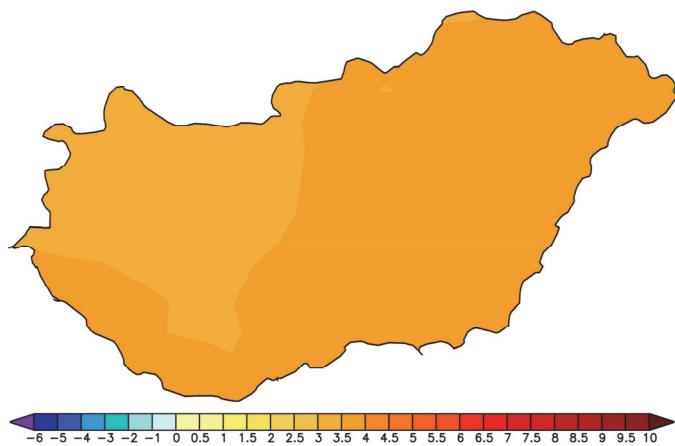
A sorozat első darabjának tekinthető az Országos Meteorológiai Szolgálat Éghajlati Osztályán MISH interpoláció módszerrel (Szentimrey et al., 2006) elkészített térkép (15. ábra), amely az éghajlat-változási vizsgálatokban sokszor szereplő referencia időszakra, az 1961–1990-es periódusra vonatkozik. A szerkesztők (Konkolyné, 2007) követték Kakas (1960) gyakorlatát, amennyiben fél fokos pontossággal húzták ki az izotermákat, pontosabban szí-



19. ábra: Magyarország és szűkebb környezetére REMO és ALADIN klímamodellek éves és évszakos előrejelzései (Bartholy et al. 2011a)



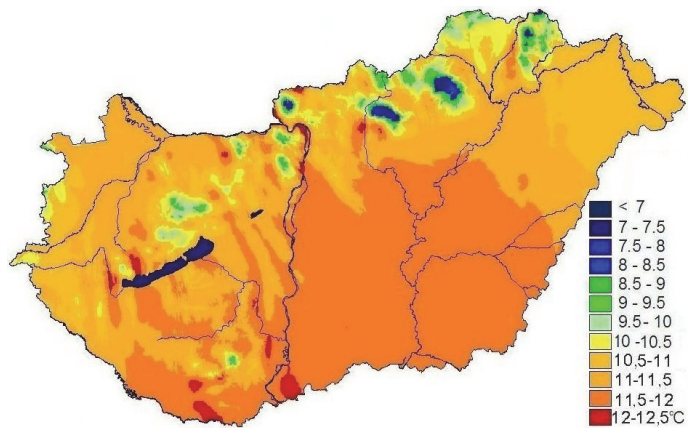
20. ábra: A REMO modell előrejelzése évi előrejelzés a 2021-2050-es időszakra (Bartholy et al. 2011b)



21. ábra: A REMO modell előrejelzése évi előrejelzés a 2071-2100-es időszakra (Bartholy et al. 2011b)

térképeken a számítás- és nyomdatechnika adta folyamatos szinkritöltéssel nem jelenik meg a térképeken izovonal, így a hőmérsékleti térképen (14. ábra) sem, meglehetősen nehézkes a tízfokos izoterma kijelölése.

**A digitálisan megjelenő hőmérsékleti térképek.** Az Országos Meteorológiai Szolgálat a számítástechnikai eszközök bővülésével, az adatsorok homogenizálásával, az adatok immár egységesen digitális adathordozóra kerülésével, rendre előállítja a WMO gyakorlatnak megfelelően a 30 évi átlagokon alapuló klímanorma térképeket, amelyek mindenki számára elérhetők a Szolgálat honlapján: [www.met.hu](http://www.met.hu). A korábbi, nyomtatott térképek



22. ábra: Egy elképzelt jövőbeli helyzet. A klímamodellek előrejelzését (20. ábra) hozzáadva az 1961–1990-es térképhez előállítható a 2021–2050-es időszak hőmérséklet eloszlása nezték be félfokokként az értékközöket. A szokásos klíma gyakorlatnak megfelelően a 10 évvel elcsúsztatott további újabb standardok (1971–2000; 1981–2010) előállításánál már visszatértek az egész fokos skálázáshoz (16. és 17. ábra).

A tízfokos izoterma által körülhatárolt területek növekedése figyelhető meg, sőt az utolsó normatérképen már határozott 11 °C feletti átlaghőmérsékletű terület is kirajzolódik.

A Szlovák Hidrometeorológiai Intézet (Štastný, 2016) által kiadott Klímaatlaszban található hőmérsékleti térkép (18. ábra) szintén lehetőség a globális melegedés

dokumentálásra, ha izovonalait összevetjük a korábbiakkal (3. és 5. ábra).

**Néhány szó az eljövendőről.** A számítástechnika és a numerikus modellek hihetetlen fejlődése lehetővé teszi, hogy szinte korlátlan időtartamra „előrejelzés” készüljön. Az éghajlatváltozásról szóló globális jelentések, a Kormányközi Éghajlat-változási Testület (IPCC) rendre megjelenő összefoglalói mellett elkészülnek Közép-Európára, hazánkra vonatkozó klímaprognózisok. E jelentések szerves része az általában évszakos bontásban illetve éves összesítésben elkészülő hőmérsékleti térképek. Ezeket általában együtt szokták közölni (Bartholy et al., 2011a; 2011b). Ezek a bélyeg diagramok (19. ábra) tartalmazzák sűrítve a klímamodellek eredményeit. A 2007-es IPCC jelentés 2021–2050-es és a 2071–2100-as időszakra ad klímaprognózist. (A 2013-as IPCC jelentés nem tolt tovább a vizsgálati időszakot, megelégedett a 2081–2100 időszakra vonatkozó értékeléssel.). A 20. ábrán megadott előrejelzés az ország egész területére egységesen 1,5 fokos emelkedést mutat. A 2071–2100-as időszakra adott előrejelzés (21. ábra) területileg differenciál.

Játsszunk el a gondolattal, hogy ez a melegedés teljesen egyenletesen jelentkezik az ország területén. Ebben az esetben könnyedén előállíthatjuk a 2021–2050-es időszakra vonatkozó izoterma térképet (22. ábra), mindössze át kell skálázni a 15. ábrát! Nem meglepő, hogy a 10 fokos izoterma által körülzárt terület szinte az egész országot magába foglalja.

**Összefoglalás.** Lehet, hogy messze járunk az igazságtól, ha azt mondjuk, úgy tűnik, hogy a hagyományos értelemben vett éghajlati térképek kora lejárt. A meteorológiai gyakorlatban elfogadott, s mindenki által természetesnek tartott és különösen az oktatásban hasznosnak tekintett nyomtatott, papíralapú térképek alkalmazhatósága mindenképp erősen megkérdőjelezhető. Ennek egyik oka, hogy a – ma már nehezen megkérdőjelezhető globális felmelegedés ténye nem kérdéses –, így a néhány év esetleg évtized elmúltával kiadott térkép információja már idejétmúlt. A másik ok, hogy a meteorológiai adatok folyamatos digitalizálása és homogenizálása előbb-utóbb oda fog vezetni, hogy a szó szoros értelemben minden adat számítógépes adathordozón lesz, s nagy valószínűséggel akár már a középiskolai oktatásban, akár napi gyakorlatként bárki saját magának állíthat elő tetszőleges felbontású és időszakra vonatkozó térképet. A jelen írásban összegyűjtött térképek csak történeti érdekességként fognak emlékeztetőül szolgálni arra, hogy volt idő, amikor fáradtságos kézi munkával, hosszú számolgatással készült el egy-egy éghajlati adatsor, s az éghajlati térkép sikere nagyban azon múlt, hogy van-e ügyes kezű rajzoló. Visszatekintve a múltba, nem meglepő, hogy egy-egy sikeres térkép, vagy eredeti formájában vagy némileg átrajzolva újabb és újabb kiadványban látott napvilágot.

**Köszönetnyilvánítás.** A szerző halás köszönetét fejezi ki T. Puskás Mártának az archív térképek kigyűjtéséért és számítógépes adathordozóra való felviteléért, Konkolyné Bihari Zitának az újabb keletű digitális térképek átadásáért és szakmai megjegyzéseire és Szépszó Gabriellának a jövőre vonatkozó térképekért.

## Irodalom

- Ambrózy, P. (ed.), 1989: Magyarország Éghajlata. In: Pécsi, M. (ed.), 1989: Magyarország nemzeti atlasza. Kartográfiai Vállalat. Budapest.
- Bacsó, N., 1948: A hőmérséklet eloszlása Magyarországon. M. Orsz. Meteorológiai és Földmágnassági Intézet Hiv. Kiadv. Budapest
- Bacsó, N., 1971: A léghőmérséklet évi középértékének területi eloszlása, °C, 50 évi átlag, 1901–1950. In: Dobosi, Z. és Felméry, L., 1971: Klimatológia. Tankönyvkiadó, Budapest
- Bartholy J., Horányi A., Krüzselyi I., Pieczka I., Pongrácz R., Szabó P., Szépszó G., Torma Cs., 2011a: A várható éghajlatváltozás dinamikus modellel eredmények alapján. In: Bartholy J., Haszpra, L. és Bozó, L. (eds): *Klíma-változás – 2011, Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére.* MTA és ELTE Budapest, 170–23
- Bartholy J., Pongrácz, R., Horányi, A., Szépszó, G., 2011b: Regionális klímamodellek. In: Bartholy J., Haszpra, L. és Bozó, L. (eds.): *Klíma-változás – 2011, Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére.* MTA és ELTE Budapest, 78–84
- Binctin, B. and Pitrel, Th, 2017: It's chaud time. *Society Magazine Le premier quinzomadaire de société.* Society 69, 32–44.
- Brózik, K. (ed.), 1906: Nagy Magyar Atlasz, Franklin Társulat. pp. 210
- Fábián, Á. P. and Matyasovszky, I., 2010: Analysis of Climate Change in Hungary according to an extended Köppen Classification System, 1971–2060. *Időjárás* 114, 251–261 [http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata) <http://www.zamg.ac.at/cms/de/topmenu/ueber-uns>
- Kakas, J. (ed.) 1960: Magyarország éghajlati atlasza. Akadémia Kiadó, Budapest 1901–1950-es adatok, kiegészítésekkel
- Kakas, J. (ed.), 1967: Magyarország hőmérsékleti térképe. In: Radó Sándor (ed.), 1967: Magyarország Nemzeti Atlasza. Kartográfiai Vállalat. Budapest
- Konkolyné Bihari Zita, 2007: Magyarország évi középhőmérséklete 1961–1990 (kézirat)
- Mersich, I., Práger, T., Ambrózy, P., Hunkár, M. és Dunkel, Z. (eds.), 2001: Magyarország Éghajlati Atlasza, Országos Meteorológiai Szolgálat
- Štastný, P., Bochníček, O., Faško, P., Pavol Nejedlík, P. and Snopková, Z. (eds.), 2016: Climate Atlas of Slovakia. *Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava*, pp. 154
- Pécczely, Gy., 1979: Éghajlattan. Tankönyvkiadó, Budapest
- Róna, Zs. és Fraunhoffer, L., 1904: Magyarország hőmérsékleti viszonyai. M. kir. Orsz. Met. és Földmágnassági Intézet Hiv. Kiadv. VI., Budapest
- Szentimrey, T. and Bihari, Z., 2006: MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). In: Tveito, O. E., Martin Wegehenkel, M., van der Wel, F and Dobesch, H.: COST Action 719 Final Report. The use of GIS in climatology and meteorology, 54–56
- Zách, A., 1986: 95 éves a térképes időjárás napijelentés. *Léggör* 31(2), 31–32



## A „VHZ” INTERVIEW WITH ZOLTÁN VARGA-HASZONITS

Tóth Róbert

Országos Meteorológiai Szolgálat, Marczell György Főobszervatórium, 1181 Budapest, Gilice tér 39., [toth.r@met.hu](mailto:toth.r@met.hu)

**Összefoglaló.** Varga-Haszonits Zoltán agroklimatológus, az MTA doktora a 85. életévében jár. Igen tartalmas szakmai pályafutás áll mögötte, ami döntően az Országos Meteorológiai Szolgálathoz kötődik. Beszélgetésünkkel e gyorsan változó korszakot tekintettük át.

**Abstract.** Zoltán Varga-Haszonits agroclimatologist, Doctor of the Hungarian Academy of Sciences is around 85 years old. There is a very substantial professional carrier behind him, which is mainly related to Hungarian Meteorological Service. With our conversation we considered this rapidly changing era.

Pár éve egy megbeszélésen vettem részt a Nemzeti Fejlesztési Minisztériumban. Nem sokkal a kezdés előtt belépett a terembe egy fiatalember, aki szakasztott úgy nézett ki, mint egykori kedves munkatársam, a VHZ (Varga-Haszonits Zoltán közismert rövidítése az OMSZ-ban) nézhetett ki évtizedekkel korábban. Mindjárt sejtettem, hogy Zoli unokája lehet, amit a bemutatkozás igazolt is. Ekkor egyrészt bevillant a gyorsan szaladó idő – hiszen kezdő koromban a nagyapával, most már az unokájával dolgozom együtt – másrészt eldöntöttem, hogy megérett a helyzet arra, hogy Zolival egy beszélgetés

keretében áttekintsük a múltat, amit majd megosztunk a *LÉGKÖR* olvasóival. Ismeretségünk Zolival 30 évnel régebbre nyúlik vissza, vagyis hosszabb, mint az éghajlati normál időszak. Az egyetem elvégzése után 1985-ben kerültem az OMSZ Agrometeorológiai Főosztályára. Egyik nap Zsóka (Kozma Ferencné igazgatóhelyettes) közölte, hogy Varga-Haszonits Zoltánnal fogok együtt dolgozni,

aki akkor elnöki tanácsadóként tevékenykedett az OMSZ-ban, s kért maga mellé fiatalokat. Zsóka utasításaival szemben fellebbezésnek helye nem volt, amit egyébként nem bántam meg, mert Zolival sikerült jó hangulatban, eredményesen együttműködni. Másik fiatalként Tölgyesi Laci került még Zoli mellé. A basic-nyelven programozható kisszámítógépek korát éltük, agroklimatológiai kutatásokat folytattunk, természet-előrejelzéseket készítettünk, az eredményeinket publikáltuk addig számomra ismeretlen szaklapokban is, mint például *Olaj*, *szappan*, *kozmetika*. Végül 2017-ben sikerült a tervezett beszélgetésünket összehozni, amiből ez az írás született.

### **Kedves Zoli, kérlek, először beszélj röviden szülőfaludról, szüleidről és az összetett vezetéknévéről.**

A Győr-Moson-Sopron megyei Kóny községben születtem 1933-ban. Kóny egy 2500–3000 fő lakosú község, valamivel több, mint 20 km-rel Győrtől nyugatra, a Győr-Sopron közötti közút és vasút mellett. Szüleim egyszerű, elemi iskolát végzett emberek voltak. Anyám egy 12 holdas parasztembernek volt a lánya, apám egy földnélküli fuvaros ember fia, aki kitanulta a gépészko-

vács mesterséget. Apám az 1900-as évek első évtizedében valamivel több, mint 2 évig dolgozott az Egyesült Államokban, egy üzemben. Erős honvágya 2 év után hazahozta. Itthon a szomszéd faluban volt a falu és egy grófi uradalom kovácsa. Az első világháborúban egy érintésre roncsoló lövedék találta el a bal karját és szét-roncsolta. Orosz hadifogságba esett, ahol a bal kezét amputálták és egy koporsóba fektetve az ortodox keresztény vallási szertartás szerint eltemették. A monarchia csapatainak ellentámadása során a sebesültek kiszabadultak a fogságból és hazaszállították őket. A háború után



*A kónyi szülőház*

apám, mint 75%-os hadirok-  
kant, először egy trafikot,  
majd egy vegyeskereskedést  
és 1800 négyszögöl szántóföl-  
det kapott. Mindezt szülőfa-  
lumban, ahol apám is szüle-  
tett, s ahol az apai őseim éltek.  
Sokan megkérdezték már tő-  
lem, miért van nekünk dupla  
családi nevünk. Az igazság az,  
hogy pontosan mi magunk  
sem tudjuk. Mindössze az  
ismeretes a számunkra, hogy  
az 1800-as évek elején egy  
horvátkimlei Haszonits nevű

horvát fiatalember és egy magyarkimlei magyar lány összeházasodtak, s mivel mindkettőjük szülei ellenezték a házasságukat, elköltöztek Abdára. Az ő utódaik közül az egyik költözött Kónyba. Diákkoromban még én is jártam nagyapám házában, ahol az volt a mestergerendára írva korabeli stílusban, hogy „Építette Haszonits István 1859”. Majd a kónyi plébánia születési anyakönyvében olvastam, hogy apámat születésekor (1884-ben) Varga-Haszonits István néven jegyezték be. De amikor nagyapámról mondtak történetet, mindenki úgy említette csak, hogy „Varga bácsi”. A két időpont között tehát valószínűleg nagyapám kapta valamiért a Varga ragadványnevet. Falun gyakran előfordult, hogy valakinek a neve mellé egy ragadványnevet ragasztottak. Hogy ez a mi családunk esetében miért, mikor és hogyan történt, azt teljes homály fedi. Nagyapám gyerekei – köztük apám is – önkényesen elhagyták a család eredeti horvát nevét és csak a magyar Varga nevet használták. Azonban 1937-ben, amikor az idősebbik bátyám elvégezte a jogi egyetemet, a diploma kiadása előtt a nagyszülőkhöz visszamenőleg kértek tőle születési anyakönyvi kivonatokat, s ekkor kiderült, hogy a családunk nem az eredeti nevet használja. Mivel apámat születésekor Varga-Haszonits

néven jegyezték be, a bátyámat a Varga-Haszonits név viselésére kötelezték. A család többi tagja azonban továbbra is egyszerűen csak Varga néven szerepelt egészen 1950-ig, amikor a személyi igazolvány bevezetésekor ismét felszólítottak bennünket, hogy jogtalan a névhasználatunk, ezért döntsük el, hogy milyen néven kívánunk a továbbiakban szerepelni. Mivel a bátyámat korábban kötelezték a Varga-Haszonits névre, s már több mint 20 éve ezen a néven szerepelt, a család többi tagja úgy döntött, legyen mindegyikünk neve Varga-Haszonits.

### Hány testvéred van, hova jártál iskolába, s hogyan vészelted át a világháborút?

Négyen voltunk testvérek, én voltam köztük a legfiatalabb. Mindhárman az 1910-es években születtek, én pedig 1933-ban, 14 évvel a harmadikként született nővérem után. Az idősebbik bátyám elvégezte a jogi egyetemet, a fiatalabb bátyám és a nővérem az 1930-as évek második felében érettségiztek. Én 4 évig a Kónyi Római Katolikus Elemi Iskolába jártam, majd a nyolc gimnáziumi osztályt Győrben a Révai Miklós Gimnáziumban végeztem el, ahol 1951-ben érettségiztem. Érettségi után az ELTE meteorológus szakára jelentkeztem, ahol 1955-ben fejeztem be a tanulmányaimat. Győrbe, a gimnáziumba minden nap vonattal jártam be. Az első gimnáziumi osztályt 1943-ban kezdtem, majd 1944 tavaszán, amikor a német csapatok megszállták az országot, néhány hét után megkaptuk az első osztály elvégzéséről szóló bizonyítványunkat. Mind a két bátyámat behívták katonának. Tartalékos tisztük voltak. Az idősebbik bátyámat kivitték az orosz frontra, ahol megsebesült. Később amerikai fogságból jött haza. A fiatalabbik bátyám a Kárpátokban épített erődítményeket. Orosz fogságba került. Négy év fogság után engedték haza. Én a háború alatt 10–12 éves gyerekként otthon voltam. Mint minden falusi gyereknek, nekem is be kellett kapcsolódnom a szüleim mindennapos munkájába. Amikor volt szabad időm, futballoztunk, gombfociztunk és a testvéreimtől kapott könyveket olvastam. Nem sokkal az után, hogy az amerikai csapatok partra szálltak Olaszországban, szinte mindennapos gyakorisággal megjelentek az amerikai bombázó rajok kéttörzsű vadászgépek kíséretében. Nagy számban jöttek. Olyankor sem a légvédelmi ágyúkkal nem lötték őket (Győr közel volt, hallottuk volna az ágyúszót), sem a magyar és német vadászgépek nem szálltak fel. Esélyük nem lett volna, olyan nagy volt az amerikaiak fölénye. Amikor azonban egyes kisebb csoportok leszakadtak a nagy csapatból, akkor működésbe lépett a légvédelmi tüzérség és felszálltak a magyar és német vadászgépek. Egyszer egy légi harc éppen felettünk zajlott le, végignéztem, ahogy a légvédelmi ágyúk lövedékei a gépek körül robbantak, ahogy a gépek lötték egymást. S mikor egy gépet találat ért, láttam, ahogy ugrálnak ki belőle az emberek, s nyíltak az ejtőernyők. S délután a csendőrök teherautóval szállították őket Győr-



*Középiskolás diákként*

be. Életemben akkor láttam először amerikai katonát. Az egyikük magyar volt, kiabált a kocsiról az utcán lévőeknek. 1945 tavaszán, egyik reggelen mikor felébredtem, egy ismeretlen, nálam is fiatalabb fiú feküdt mellettem. Hirtelen nem tudtam hol vagyok. Körülnéztem. Minden ismerős volt, otthon vagyok, de ki ez? Anyám észrevette, hogy felébredtem, odajött és csendben szólt: „kisfiam, Pápát elfoglalták az oroszok. Ezt a kisfiút meg a szüleit befogadtuk egy éjszakára. Pápáról menekültek. Holnap mennek tovább.” Néhány nap múlva Kónyt is elfoglalták az oroszok. Már este volt, amikor a faluba értek. Egyszer csak hatalmas robbanás sorozat kezdődött... aztán égtek a házak... Állítólag németek lötték a falut. Az utcán géppisztolyos orosz katonák járkáltak. Aztán teltek-múltak a napok, nem volt villany, nem szólt a rádió, nem volt újság, nem jutottak el hozzánk a hírek. Nem tudtuk, hogy mit hoz a jövő... Majd 1945 őszén a szokásos mederben folytatódott az oktatás a Révai gimnáziumban. Beiratkozhattam a harmadik osztályba azzal, hogy vállaltam, november végéig magánvizsgát teszek második osztályból. A vonatok még nem jártak rendszeresen, ezért Győrben laktam egy ismerősüknél. Minden időmet a tanulásnak szenteltem. Egy tanárom felajánlotta, hogy segít a felkészülésben. Mindig hálával gondolok rá. A második osztályból sikeresen levizsgáztam. Utána az érettségéig már a szokott módon folyt minden.

**Az OMSZ-nál Stoli (Stollár András) Újpest szurkoló volt, Te a Fradi elszánt híve voltál én meg szolidan a Honvédot pártoltam. Így aztán minden forduló után lehetőség nyílt a csipkelődésre, hiszen valamelyikünk kedvence rendre hibázott. Emlékszem, 1987-ben Brünn-ben rendezték a Csehszlovák-Magyar Vándorgyűlést, ahova voltál szíves potyautasként engem is elvinni a vadonatúj Daciádon. Elkísért kedves**

**feleséged és fiad is, s megtapasztaltam, hogy családtagjaid hasonlóan vehemens Fradi szurkolók. Honnan a foci szeretet?**

Szabad időmben sokat olvastam és futballoztam. Különösen érdekelték a történelmi regények és a filozófia. A falum csapata a megyei másodosztályban játszott, ott voltam igazolt játékos. Aztán hívtak a Győri Postásba. Onnan pedig meghívtak a nyugat-magyarországi ifi válogatott keretbe, ahol Baróti Lajos edzett bennünket. Ebben a csapatban egyetlen egyszer játszottam, egy karácsonyi napon, az ETO pályán a nagy csapat meccse előtt játszottunk előkészületi meccset az ETO ifivel. Úgy volt, hogy Lengyelországba megyünk túrára. De nem lett belőle semmi. Utána megkérdeztem a Postásban az edzőmet, milyen képességű játékosnak tart? Azt mondta, jó NB II-es játékos lehet belőlem. Lajos bácsi – mondtam, én akkor hazamegyek a falumba és abbahagyom a focit. Te nem vagy normális fiam – mondta. De én haza mentem, az érettségiig végig játszottam otthon. Aztán még Pesten egyetemistaként játszottam pár évet a Meteorológiai Intézet csapatában, a pesti kerületi bajnokságban. Utána már csak Fradi meccsre jártam

szurkolni. Ma is minden Fradi meccset megnézek a televízióban. Meg a Barcelona meccseit is.

### Mi vonzott a meteorológus pályára?

Amikor egy diák közeledik az érettségi felé, nagy dilemmával találja szembe magát: szakmát kell választania. Erről a problémáról nem lehet megfelekedni, mert sokszor felteszik neki a kérdést: mi szeretnél lenni? Bevallom, én is sokat gondolkoztam ezen, de nem tudtam dönteni. A középiskolában elsősorban a természettudományi tárgyak és a történelem érdekelt. Minden héten megvettem az „Élet és tudomány” című hetilapot. Az volt a kedvenc olvasmányom. Mint falusi gyerek szinte „benne éltem az időjárásban”. Ott mindenki arról beszélt, hogy milyen az időjárás, ha kedvező volt azért, ha kedvezőtlen volt, akkor azért. Az időjárás minden nap beszédtema volt. Fúj a szél, az égen felhők vonultak, esett az eső, néha jég. Sokszor eszembe jutott: vajon hogyan keletkeznek, mi mozgatja őket? Annyit tudtam róluk, amennyit a földrajz és fizika tankönyvek írtak és amennyit az Élet és tudomány

cikkeiből olvashattam. Mikor apámmal dolgoztunk kinn a szántóföldön, bizony eszembe jutott, de jó volna, ha valaha legalább egy kicsit is segíteni tudnék abban, hogy megismerjük, hogyan hat az időjárás a gazdasági növényekre, s még jobb lenne tudni, hogyan lehet a kedvező hatásokat kihasználni, a kedvezőtleneket pedig enyhíteni vagy elkerülni. Az érettségi előtt megismertették velünk, hogy az iskolánkból milyen egyetemi szakokra lehet

jelentkezni. A Révai gimnáziumban 2 fő számára volt lehetőség meteorológus szakra jelentkezni. Amikor ezt megláttam, rögtön döntöttem. Jelentkeztem meteorológus szakra. A felvételin megfeleltam, s fel is vettek. Így lettem meteorológus szakos hallgató. Harmadéves hallgató voltam, amikor dinamikus meteorológiai órán, amelyet Dési Frigyes professzor tartott, aki egyúttal a Meteorológiai Intézet igazgatója is volt, felírt a táblára egy matematikai levezetést. Már nem emlékszem pontosan miről is volt szó. Csak arra emlékszem, hogy felírta a kiinduló feltételt a táblára, elmondta a további lépéseket és felírta a végeredményt. Én az elmondottak alapján gyorsan utánaszámoltam és nem azt az eredményt kaptam, amit ő felírt. Ebből arra következtettem, hogy ha a feltétel jó, akkor nem jó az eredmény. Ha viszont az eredmény jó, akkor valamilyen más feltételre van szükség. Egy gyors elemzés után megtaláltam azt a feltételt, amely mellett az eredmény jó volt. Jelentkeztem, hogy szólni szeretnék. Tessék – mondta. Elmondtam, amit számoltam. Kérte, hogy menjek ki a táblához és ott mutassam be, amit számítottam. Felírtam. Végignézte. Az a feltétel jó, amiből

az eredmény következik. Köszönöm – mondta. A helyemre mentem, s folytatódott az óra. Mielőtt befejezte volna az órát, megállt a katedra szélén és odaszólt hozzám: legyen szíves óra után jöjjön be hozzám. Bementem. Azt mondta, azokat az embereket kedveli, akik alaposak, akik mindennek a helyességéről meg akarnak győződni. Ilyen emberekre van szüksége a meteorológiának. S azt kérte, maradjak mindig ilyen. Amikor utolsó évesként az államvizsgára készültünk, s folytak a megbeszélések, hogy kit hova helyeznek el az egyetem után, akkor Dési professzor éppen Genfben volt a Meteorológiai Világszervezet értekezletén, s onnan üzent, hogy ne fogadjak el semmi állásajánlatot, mert ő egészen biztosan felvesz. Így kerültem a Meteorológiai Intézetbe.

### Melyek a szakmai pályafutásod főbb állomásai?

Amikor Dési professzor Genfből hazajött, megkérdezte, milyen területen szeretnék dolgozni. Mondtam vagy klimatológusként szeretném vizsgálni, hogyan hat az éghajlat a mezőgazdasági termelésre, vagy agrometeorológusként szeretném kísérleti úton vizsgálni ugyanezt. Legyen – mondta, pedig szerettem volna, ha a kutatócsoportomban dolgozna. Így kerültem a Martonvásári Agrometeorológiai Observatóriumba, amely akkor az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének területén helyezkedett el, s munkájával kapcsolódott a kutatóintézeti munkához. Ott dolgoztam 5 évig. Munkám elsősorban a talaj felső rétegei hőmérsékleti viszonyainak tanulmányozására koncentráltam.

Ebből a témából írtam egyetemi doktori disszertációt is. Martonvásári éveim alatt nemcsak intenzív kísérleti munkát folytattam, hanem lehetőségem volt arra is, hogy egyre jobban elmélyedjek az agrometeorológiai irodalomban. Tanulmányaim során azt tapasztaltam, hogy a nagyobb mezőgazdasági országok egyre nagyobb figyelmet fordítanak egy agroklimatológiai információs és tájékoztatási rendszer kidolgozására. Erről a tapasztalatomról beszámoltam Dési Frigyes professzornak, intézetünk igazgatójának, és kértem, hogy a jövőben ezzel a témakörrel foglalkozhassam. Dési professzor akceptálta a kérésemet, áthelyezett az Agrometeorológia Osztály pesti részlegéhez, ahol később az agroklimatológiai kutatócsoport vezetője lettem. Majd pedig az agroklimatológiai kutatás és tájékoztatás témakörében egyéves ENSZ ösztöndíjat kaptam, amelyből félét az akkori Szovjetunióban és félét Kanadában töltöttem e tárgykör tanulmányozásával. Hazatérésem után megírtam a Kultúrnövény-megfigyelési útmutatót és megszerveztem a kultúrnövény-megfigyelő hálózatot, amelyet később Czákó Flórián és Dunay Sándor tervei alapján átalakítottunk. Majd



*Aranydiplomásként 2005-ben az évfolyamtársakkal, balról: Simon Antal, Galló Vilmos, VHZ, Urbán László (Gödöllői Agrár-egyetemen oktatott agrometeorológiát), Antal Emánuel, Ambrózy Pál, Popovicsné Gubola Mária, Zsótér Ferenc*

fajtakísérleti hálózat keretében gyűjtött fenológiai adatokra alapozva a Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztériummal (MÉM) közös munkát jelentettünk meg „Agroklimatológia és növénytermesztés” címmel. A fenológiai adatbázis szolgált alapul a kandidátusi értekezésem megírásához is. Az ENSZ ösztöndíjas tanulmányút befejezése után engem bíztak meg azzal, hogy a WMO Agrometeorológiai Bizottságában képviseljem a magyar meteorológiai szolgálatot. Ez a szerv négyévenként tartott kongresszust. Az 1972-es kongresszuson megválasztottak a Módszertani Bizottság alelnökének. Örömmel töltött el, hogy abban a megosztott világban mind a nyugati, mind a keleti tömb képviselői támogattak. Megbíztak azzal is, hogy az európai szocialista országok által létrehozott, agroklimatológiai körzetesítést végző bizottságban hazánkat képviseljem. Ez a bizottság készítette el az európai szocialista országok területének agroklimatológiai körzetesítését, amely munka a Bolgár Tudományos Akadémia kiadásában jelent meg. Az 1960-as évek közepén először az Agrometeorológiai Osztály, majd a Mezőgazdasági Tájékoztató Osztály vezetője lettem. Később az osztály Agrometeorológiai Előrejelző Osztály néven a Központi Előrejelző Intézet (KEI) keretébe került, ahol kineveztek igazgatóhelyettesnek. Ugyancsak a MÉM felkérésére bekapcsolódtunk az általuk irányított termésbecslési munkákba, amelynek során 20 éven keresztül az általam vezetett osztály rendszeresen készített termés-előrejelzéseket az őszi búzára és a kukoricára vonatkozóan. A termésbecslő munkában a MÉM által szervezett becslő hálózat, a Kompolti Mezőgazdasági Kutatóintézet és az OMSZ Agrometeorológiai Előrejelző Osztálya vett részt. A három termésbecslő eljárásra alapozva tett előterjesztést minden évben a Minisztertanácsnak az agrártárca vezetője a gabonataralékok frissítésére. Lehetőséget kaptam arra is, hogy a Kompolti Kutatóintézet területén az őszi búzára vonatkozóan időjárás-termés modell kidolgozására kísérletet végezzek. Ez a munka képezte az alapját az akadémiai doktori disszertációnak.

**Ehhez kapcsolódóan már vannak emlékeim. Veled jártam először a Kompolti Kutatóintézetben, ott láttam először fitotront és csicsriborsót. Szakmai segítségével cukorrépa termésbecslést végeztem, tanulmányoztam a napraforgó és a szója éghajlati igényeit. Hogyan sikerült a Központi Előrejelző Intézetet (KEI) igazgatnod?**

Közben az Előrejelző Intézet Pestszentlőrincen (a szocialista időszakban a szent nem szerepelt a hivatalos megnevezésben) épített épülete elkészült. Az Intézetnek oda kellett költöznie Budáról. A költözésnek úgy kellett lezajlania, hogy a velünk kapcsolatban lévő intézmények lehetőleg észre se vegyék. Bodolai István, az Előrejelző Intézet akkori igazgatója ezt nem vállalta és lemondott igazgatói beosztásáról. Czelnai Rudolf, aki akkor az OMSZ elnöke volt, felkért, hogy vállaljam el a feladatot, s legyek az Előrejelző Intézet igazgatója. Időt kértem a válaszra, mert nem ismertem a kiköltözés körülményeit, ezért tájékozódnom kellett, s mert nem voltam szinoptikus, fel kellett mérnem, mennyi támogatást várhatok szakmai és szervezési ügyekben az előrejelzéssel foglalkozó kollégáktól. Ez hosszabb időt vett igénybe, de úgy találtam, hogy meg tudom oldani a feladatot és vállaltam.

Két 5 éves cikluson keresztül voltam a KEI igazgatója. Ez alatt folyamatosan fejlesztettük a szakmai munkát, gazdasági lehetőségeink szerint a technikai és számítástechnikai oldalt és megtöbbszörözödtek a bevételeink. Az agrometeorológiai tájékoztatást is széleskörű fizetett szolgáltatássá alakítottuk. A futball megtanított arra, hogy csapatjátékos legyek. Igazgatói tevékenységem alatt mindig a hozzáértők szakmai és szervezési tudására támaszkodtam. Közülük is különösen nagy támogatást kaptam Tóth Páltól, Máhr Jenőtől, Olasz Sándortól, az agrometeorológia területén pedig Dunay Sándortól, rájuk mindig számíthattam. Ebben a 10 éves ciklusban írtam meg *Agrometeorológia* címmel első könyvem, amely a Mezőgazdasági Kiadó kiadásában jelent meg 1977-ben. Részt vettem a líbiai agrometeorológusok angol nyelvű képzésében, amelynek anyaga megjelent jegyzet formájában, az OMSZ kiadásában *Agroclimatology and Agrometeorological Forecasting* címmel. Máhr Jenővel közösen pedig írtunk egy könyvet „Az időjárás előrejelzése és a mindennapi élet” címen, ami a Gondolat Kiadó gondozásában jelent meg. Második könyvem is ebben a ciklusban írtam, de az technikai okok miatt csak 1987-ben jelent meg ugyancsak a Mezőgazdasági Kiadó kiadásában *Agrometeorológiai információk és hasznosításuk* címmel. A második 5 éves ciklus alatt Czelnai Rudolf a Meteorológiai Világszervezethez került, s az új OMSZ elnök a ciklus lejártá után nem tartott igényt vezetői munkámra. Ettől kezdve OMSZ elnöki tanácsadóként dolgoztam. Végeztem tovább a termés-előrejelzési tájékoztatást, amelyhez a MÉM-től minden szükséges támogatást megkaptam. Láng Istvánnak, az MTA akkori főtitkárának felkérésére részt vettem az országos agroökológiai felmérésben, majd pedig az aszályval kapcsolatos vizsgálatokban. Ebben az időben több fiatal meteorológus is csatlakozott a munkámhoz, akiket örömmel segítettem.

**Ha jól sejtem, itt Tölgyesi Lacira, Bussay Attilára és rám céloz. Az első könyved egyébként az államvizsgára készülődve került a kezembe. Tetszett a szerkezete, stílusa, információtartalma. Akkor még nem sejthettem, hogy nemsokára a szerzőjével dolgozhatok együtt. Hogyan lettél oktató, nem középiskolás fokon?**

A Pannon Agrártudományi Egyetem felkért, hogy vállaljam mosonmagyaróvári Mezőgazdaságtudományi Karán az agrometeorológia oktatását. Ott 1987-ben megkaptam a címzetes egyetemi tanári címet, majd 1992-től végleg az egyetem főállású oktatója lettem, egyetemi tanári kinevezéssel. Az agrometeorológia tárgy először a Matematika-Fizika Tanszékhez került, s megbíztak a tanszék vezetésével. Mikor a tanszék fizikus oktatója minősítést szerzett, docensként a tanszék vezetője lett. Ekkor megalakult az Agrometeorológiai és Vízgazdálkodási Tanszék, amelynek én lettem a vezetője, majd amikor a Környezettudományi Intézetet is létrehozták, kineveztek az Intézet igazgatójává. Egyetemi tanárként első feladatommak tekintettem, hogy megírtam az agrometeorológiai előadások jegyzetét és a gyakorlati jegyzetet. Azután írtam egy *Agroklimatológia* jegyzetet, amelynek alapján meghirdettem az agroklimatológiát fakultatív tárgyként, amely éveken át 100 körüli hallgatóval a

adás után a második leglátogatottabb fakultatív tárgy volt. Az egyetemen tovább folytattam az agroklimatológiai kutatásokat, amelyhez többen is csatlakoztak. Elnyertünk két OTKA pályázatot, amelynek eredményeként az egyikből Magyarország éghajlati erőforrásainak agroklimatológiai elemzése címen egy monográfia készült, a másik pályázatból pedig Az éghajlati változékonyság és az extrém jelenségek agroklimatológiai elemzése címen készült monográfia. Ezek után részt vettünk még Várallyay György akadémikus pályázatában, amely az agroökoszisztémák vizsgálatával foglalkozott. Ennek eredménye egy újabb monográfia volt, amelynek címe: Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák. A Láng István akadémikus által irányított, az éghajlatváltozási hatásokat vizsgáló programban szintén részt vettünk. Ebből a munkából is monográfia készült, de ez nyomtatásban nem jelent meg, csak a Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszer-tudományi Karának honlapján olvasható.

**Csak érdekességként említem, hogy a környezetvédelmi tárcánál töltött munkám során az említett akadémikusok szakmai megbízójaként is tevékenykedtem kritikus üledések térképezése kapcsán, illetve a VAHAVA programban. Milyen eredményeire vagy még büszke?**

Az 1990-es évek második felében egymás utáni két ciklusban megválasztottak az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottsága elnökének. Az Időjárás Szerkesztő Bizottságának mintegy 40 éven át voltam tagja, az Acta Agronomica Óvariensis folyóiratnak pedig több mint 20 éve vagyok már tagja. Nyugdíjba meletelemkor a munkásságom elismeréseként megkaptam a professzor emeritus címet. S továbbra is részt vettem a Karon folyó PhD képzésben, ahol két hallgatónak is témavezetője voltam, akik sikeres vizsga és disszertáció után elnyerték a PhD fokozatot.

**Kitüntetéseid és publikációid közül melyiket tartod a legértékesebbnek?**

Amikor kitüntetést kaptam, mindig megtiszteltetésnek vettem és örültem neki. Azonban van nekem a kitüntetésekkel kapcsolatban egy olyan érzésem is, hogy talán jobb volna, ha a kitüntetéseket, akkor adnák, amikor valaki egy nagyobb teljesítményt felmutat. Ha ugyanis a kitüntetéseket meghatározott ünnepnapon adják, akkor azon a napon valakinek kitüntetést kell adni akkor is, ha az idő tájt nem történt nagyobb teljesítmény. Sőt, azt sem lehet kizárni, hogy a kitüntetést adó napok egy bizonyos előfordulási gyakorisága után már azt keresik, ki nem kapott még kitüntetést. Ezért én a teljesítmény után járó címeknek: egyetemi doktori cím, kandidátusi fokozat, akadémiai doktori fokozat, professor emeritus cím, nagyobb jelentőséget tulajdonítok. Ami a publikációimat illeti, sohasem publikálni akartam, hanem én mindig egy feladatot akartam megoldani, s ami mondanivalóm volt a feladról, azt cikkek formájában megírtam, majd végül a témakörrel, amibe a feladat tartozott, igyekeztem akár egyedül, de többnyire inkább a kollé-

gáimmal, átfogó monográfiát készíteni. Így aztán nem szoktam különbséget tenni a publikációim között, azt tartottam fontosnak, hogy a korábban hiányzó hazai agroklimatológiai irodalomban minél több területen hazai adatokra épülő eredményeket mutassunk fel.

**Végül mesélj a közvetlen családról, gyerekekről, unokákról, s arról, hogyan kerültél Siófokra, s hogy telnek nyugdíjas éveid?**

Másodéves egyetemi hallgató voltam, amikor egy iskolában megismerkedtem a feleségemmel. Édesapja a Magyar Rádió Szimfonikus Zenekarának volt tagja, édesanyja otthonukban gondozta betegen született hűgát. Feleségem akkor az Alkotmány utcában a Közgazdasági Technikum második osztályába járt. Ő 1955-ben érettségizett, én ugyanabban az évben államvizsgáztam. Egy év múlva összeházasodtunk. Tavaly, 2016-ban ünnepeltük 60 éves házassági évfordulónkat. A feleségem biztosította számomra azt a nyugodt, biztonságos háttérrel, amely nélkül nem tudtam volna eredményesen dolgozni. Két gyermekünk van. Mindkettő felsősokú végzettséggel rendelkezik. A lányunk a számítástechnika területén dolgozik, a fiunk diplomata.

Három unokánk van, kettő közülük már elvégezte az egyetemet, mindkettő a gazdasági életben dolgozik. A harmadik unokánk még harmadéves egyetemi hallgató. Amikor feleségem szülei megöregedtek, összeköltöztünk velük, s gondoskodtunk róluk. Haláluk után pedig a nővérem költözött hozzánk, aki a sógorom halála után egyedül maradt, mert nem volt gyermekük. Róla is gondoskodtunk. Halála után örököltük a budai lakását, amelynek árán, Siófokon vettünk lakást, s odaköltöztünk. Feleségem is, én is szeretjük a csendet, a nyugalmat, a természet közelségét. S

amellett Siófokon jó az infrastruktúra. Kilenc éve lakunk Siófokon, megszoktuk, megszerettük. Néha leballagok a Balaton partra, leülök egy padra, nézem a tavat, a túlparti dombokat. Végiggondolom az életem: a Horthy rendszerben születtem és voltam gyerek, aztán jött a Szálasi rendszer, aztán a háború után egy-két év demokrácia, majd 1948 és 1956 között a Rákosi rendszer, 1956-ban a forradalom, 1957 és 1989 között a Kádár rendszer, majd 1989 után ismét demokrácia. Az életem több mint 80 éve alatt hat rendszerváltás volt, egy világháború ment rajtunk keresztül, s megéltünk egy forradalmat. Ez alatt különböző eszmék befolyásolták az életünket, a rohamosan fejlődő technika rányomta bélyegét a mindennapjainkra, változtak a vezetőink, változtak a munkatársaink, változott minden. Héraelitosz görög filozófus jutott az eszembe, aki azt mondta: „minden változik.” „Nem lehet kétszer ugyanabba a folyóba lépni.” Igen, a mi életünk folyamatos változás volt. Ebben a folyamatos változásban – úgy gondolom – az volt a legfontosabb, hogy az ember végezze a munkáját, gondoskodjon a családjáról és megőrizze emberségét.

**Köszönöm szépen a beszélgetést, jó egészséget kívánok nyugdíjas éveidhez.**



*Varga-Haszonits Zoltán napjainkban*

## A 2017. ÉVI BALATONI ÉS VELENCEI-TAVI VIHARJELZÉSI SZEZONRÓL ABOUT THE STORM WARNING SEASON AT LAKE BALATON AND VELENCE IN 2017

Zsikla Ágota, Szilágyi Eszter

OMSZ Viharjelző Observatórium, 8600 Siófok, Vitorlás utca 17., [zsikla.a@met.hu](mailto:zsikla.a@met.hu), [szilagyi.e@met.hu](mailto:szilagyi.e@met.hu)

**Összefoglalás.** 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-a között tart. Ez az írás a 83. balatoni viharjelzési szezonról számol be, és áttekinti annak jellemző időjárási eseményeit, valamint ismerteti az első és másodfokú viharjelzések összesítését.

**Abstract.** At Lake Balaton, Velencei and Tisza there is a storm warning service operated by Hungarian Meteorological Service. This was the 83<sup>rd</sup> 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 31th October. This paper is about the eventful weather of the season in 2017.

**Bevezetés.** Október 31-én zárult le a 83. balatoni viharjelzési szezon, mellyel egy viharokban gazdag, és az átlagosnál szelesebb évet zártunk. A 2017-es év viharjelzéssel kapcsolatos mutatószámai az alábbiak szerint alakultak: A viharjelzések összesített fenntartási ideje a Balatonnál a tavalyihoz képest 250–340, a Velencei-tónál 390 órával nőtt. Az emelkedést nagyobb részben a másodfokú viharjelzések fenntartásának megnövekedése (240–270 óra) okozta. 2010-től kezdve, az idei év a második legviharosabb év volt a viharos napok számát tekintve. 2017-ben a Balaton nyugati medencéjében 2269, a középső medencében 2241, a keleti medencében 2270, míg a Velencei-tónál 1830 órán át volt érvényben első- vagy másodfokú viharjelzés. A Tisza-tónál az előző évhez képest 283 óra növekedés mutatkozik, hiszen idén 1321 órán át volt érvényben valamilyen fokozatú viharjelzés.

**A 2017. évi viharjelzési szezon időjárásának főbb jellemzői.** A szélviszonyokat tekintve 2017-ről, mint az átlagosnál szelesebb szezonról beszélhetünk. A hét hónapot összesítve a keleti medence 10%, a nyugati terület pedig ennél kevesebb, az átlagosnál közel 5%-kal volt szelesebb. A medence átlagot a 2004–2016-os időszakra tudjuk számolni, amikortól már 11 automata állomás tízperces mérése állt rendelkezésre. A százaléértékeken felül többet mond az a tény, hogy az említett évek rangsorában az átlagos szélsébség a Tihanytól nyugatra eső területen az addig legszelesebb 2010-es évhez volt hasonló, míg a keleti medence a 2010-es évet megelőzve az első helyen végzett az összehasonlításban. Jellemzően a tavaszi és az őszi hónapok alakultak az átlagosnál szelesebben.

Közülük is kiemelkedik az április, és különösen a keleti medencében az október.

Erős viharok (90 kmh<sup>-1</sup>-t meghaladó széllelkéssel) október végéig 13 alkalommal érték el a tavat. Elmondhatjuk, hogy viharos szezont zártunk, ugyanis ez az érték csaknem az előző két szezon viharos napjainak összege (2015-ben kilenc, 2016-ban öt erősen viharos nap volt). Áprilisban és májusban egy-egy, júniusban két, júliusban három napon is volt 90 km/h-t meghaladó szélmaximum. Július 9-én napközben nyugodt időjárási körülmények között került megrendezésre a 35. Balaton-átúszás, majd a rendezvényt követően az esti órákban a nyugati medencében egy légzuhag okozott 100 kmh<sup>-1</sup>-s széllelkést.

A legnagyobb vihar közvetlenül másnap, július 10-én este a nyár legmelegebb napján csapott le a tó délkeleti részére. A heves zivatar Horvátország irányából, délnyugat felől közelítette meg a Balaton keleti medencéjét és szupercellás jegyeket viselt magán: forgó zivatarfelhőként, jól fejlett üllővel, kiterjedt peremfelhővel a kora esti órákban érkezett meg a tóhoz. Az átvonuló heves zivatar 14 km-es felhőtetővel rendelkezett, s benne többfelé koncentrált leáramlást figyeltek meg. A balatonaligai szemtanúk is ilyen heves leáramlásról, ún. *downburst*-ről számoltak be. Itt, a kikötőben felszerelt szélmérő 157 kmh<sup>-1</sup> széllelkést regisztrált. Ez a vihar a valaha mért legnagyobb szelet okozta a Balatonnál, mióta hitelesített szélmérő műszerrel történik az értékek rögzítése. Az orkán erejű szél háztetőket, a kikötőben vitorlásokat rongált meg, fákat csavart ki gyökerestül, továbbá jégkárokat is okozott. Az 1. és 2. ábrán a Balaton felé közeledő, majd a Balatont elérő zivatarfelhő látható.



1. ábra: 2017.07.10. Délnyugat felől a Balaton felé közeledő szupercella, melyben megfigyelhető az ikercella szerkezet (Horváth Akos felvétele)

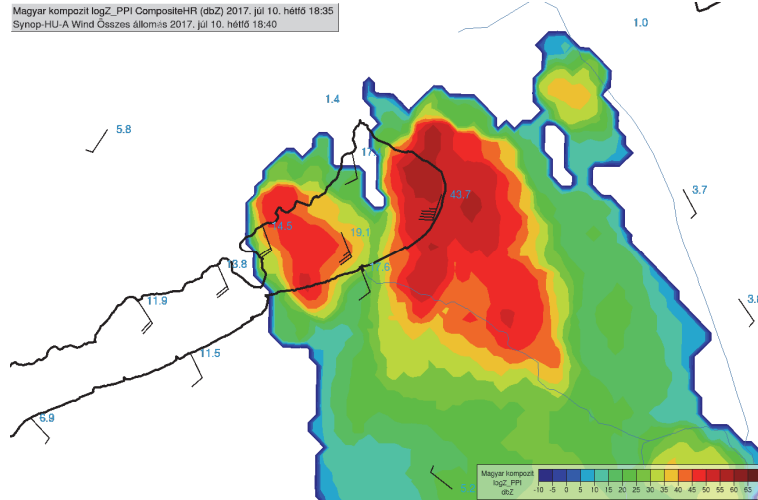
A Balaton környezetében már máskor is regisztráltak  $150 \text{ kmh}^{-1}$ -t meghaladó szélsébséget. 2010 májusában, mikor a Zsófia viharciklon pusztított hazánkban,  $162 \text{ kmh}^{-1}$ -s szelet okozott a Kab-hegyen, majd pár hónappal később, decemberben egy hidegbetörés során  $172 \text{ kmh}^{-1}$  értéket regisztrált a kab-hegyi szenzor a talajsínt felett  $22,85 \text{ m}$  magasságban, mely azóta is a térségben mért legnagyobb szélsébség.

A szezon további részében sem volt hiány erős viharokból, augusztusban két, októberben pedig további négy napon fordult elő  $90 \text{ kmh}^{-1}$ -t meghaladó széllel. A szezon második legerősebb viharja 2017. október 29-én tombolt a Balatonnál. A *Herwart* ciklon (ittthon *Nárcisz* névre keresztelt vihar) markáns hidegfrontja a déli órákban érte el az ország legészakabbi pontjait, s szinte expresszvonat sebességgel, alig néhány óra alatt vonult végig az országon, majd késő délutánra elhagyta az ország területét. Már a hidegfront átvonulását megelőzően is erős, helyenként viharos lökések kísérték a délnyugati szelet, majd a front hatására északnyugatra forduló szél is országszerte  $100 \text{ kmh}^{-1}$  feletti széllel okozott. A front a Balatonhoz a kora délutáni órákban viharos, helyenként orkán erejű széllel kíséretében érkezett. Országos viszonylatban a legnagyobb értéket ezen a napon, Siófokon mérték ( $131 \text{ kmh}^{-1}$ ), s bár az aligai szélrekordot nem sikerült megdönteni, a város klimatológiai adatsorában ez kiugró értéknek számít. A Balaton térségében másik két mérőállomáson is regisztráltak orkán erejű széllel, Kab-hegyen és Balatonöszödön egyaránt  $126 \text{ kmh}^{-1}$ -s értékek születtek. A Nárcisz vihar látványos felhőformákkal vonult végig a tó fölött és több alkalommal a porzó víz jelensége is megfigyelhető volt. A 3. ábrán az érkező hidegfrontot láthatjuk. A nap folyamán nemcsak közvetlenül a fronthoz kapcsolódóan alakultak ki viharos széllel: a leáramló sarkvidéki eredetű hideg levegő, valamint a záporos

csapadék a magasabb szinteken fújó viharos szelet lekeverte, így órákkal a front átvonulását követően is helyenként erős viharos szelek fújtak.

A szezon harmadik legerősebb viharja október 24-én tombolt a Balatonnál. Az előző nap időjárását a Kárpát-medence felett örvénylő sekély ciklon és a hozzá kapcsolódó magassági hidegörvény határozta meg. Október 24-ére virradóan a képződmény délkelet felé helyeződött át, megszűnt a csapadéktevékenység, azonban a magasban még továbbra is markáns hidegadvекció volt a meghatározó. A hátoldali helyzetben jelentős nyomási gradiens mutatkozott az északi, északnyugati szélre (időnként  $5 \text{ hPa}$ -t meghaladó), melynek következtében a nap folyamán végig viharos szelek fújtak a Balatonnál. A parton három állomás regisztrált erős viharos kategóriába sorolható széllel: Balatonöszöd ( $92 \text{ kmh}^{-1}$ ), Fonyód ( $97 \text{ kmh}^{-1}$ ) és Balatonmáriafürdő ( $105 \text{ kmh}^{-1}$ ). A 4. ábrán a szélmaximumokat követő időszakban készült műholdfelvétel és a vihar okozó, Délkelet-Európa fölé helyeződött ciklon látható.

Szeptemberben a Balatonnál ugyan nem fordult elő erős vihar és heves zivatar sem, de említésre méltó nap szeptember 16-a, amikor a Dél-Dunántúlon késő délutántól az éjjeli órákig, és még azt követően is több szupercella vonult át Horvátországból a Duna–Tisza között is elérve. Ekkor azonban csak a pécsi automata állomás tudott



2. ábra: 2017.07.17. 18:40 UTC. A szupercella helyzete a szélmaximum ( $\text{ms}^{-1}$ -ban) idején a Balaton délkeleti részén. Magyar kompozit radarkép



3. ábra: 2017.10.29. 11:25 UTC. Az érkező hidegfronton turbulens felhőörvény figyelhető meg. (Szilágyi Eszter felvétele)

rögzíteni  $90 \text{ kmh}^{-1}$  feletti szélsébséget.

#### A hőmérsékleti viszonyok alakulása.

2017-ben ismét egy melegebb szezon, és egy különlegesen meleg nyarat éltünk át. A nyári hónapok átlaghőmérséklete Keszthelyen  $22.1^\circ\text{C}$ , Siófokon  $23.4^\circ\text{C}$  lett, amivel 2015 helyett a 2017-es év immár Siófokon az eddigi harmadik, Keszthelyen az eddigi második legmelegebb nyár címet nyerte el a homogenizált adatsoron végzett vizsgálatok alapján. A viharjelzési szezon hét hónapjának együttes átlaghőmérséklete Keszthelyen  $1.1^\circ\text{C}$ , Sióf-

fokon 1.9 °C-kal haladta meg az 1961–1990-es évek átlagát. A havi bontást tekintve az április és a szeptember hónap volt az, amikor a középhőmérséklet legjobban megközelítette a sokévi átlagot, vagy kissé az alá is csökkent. A többi, az átlagosnál melegebb hónapok közül most az augusztus lett a legforróbb, Siófokon 24,0 °C, Fonyódon 23,7 °C fokos középhőmérséklettel, ami kb. fél fokkal volt magasabb, mint az előző hónap átlaga. Az év legmelegebb napja a Balatonnál augusztus 4-e volt. Ekkor Fonyódon 39,0 °C, Keszthelyen 38,5 °C, Siófokon is 38,0 fokra emelkedett a hőmérséklet.

A 30 fok feletti hőmérsékletű, úgynevezett hőségnapok száma is igen magas lett: a Balaton keleti medencéjében 36–38 nap, Tihanytól keletre átlagosan 40 nap volt, ami viszonylag egyenletesen oszlott el a három nyári hónap között, jellemzően 10–15–15 nappal.

A nyár átlaghőmérséklete mindkét helyen mintegy 1,6 °C-kal magasabb volt, mint a közelmúlt (1990–2015), és már 2,5–3,2 fokkal magasabb, mint az 1961–1990-es évek átlaga.

A Balaton vize július 21-én melegeedett fel a legjobban, a Siófokon mért hőmérsékleti maximum 28,9 °C volt (1 m mélységben).

**A csapadékviszonyok alakulása.**

A lehullott csapadékról elmondhatjuk, hogy az áprilistól októberig terjedő időszakban a keleti medence térségében átlagosan 385 mm, a nyugati területeken, – mint általában, úgy most is több – átlagosan 456 mm körüli csapadék hullott. Ez mindössze 1–6 % többletet jelent az itt mérő állomások 1961–1990 között mért átlagához képest. Ugyanakkor kisebb térségek, pl. Fonyódkeszthely térsége az átlagnál kevesebb csapadékot

kaptak. A három nyári hónapban a Tihanytól keletre, illetve a nyugatra eső területeken az átlagtól való eltérések jellemzően ellenkező előjelűek lettek. Ekkor a Balatonnál területi átlagban 200 mm körüli csapadék hullott, ami a szokványosnál 12%-kal kevesebb csapadékot jelent a nyugati részeken, és átlagosan 3%-nyi többletet a

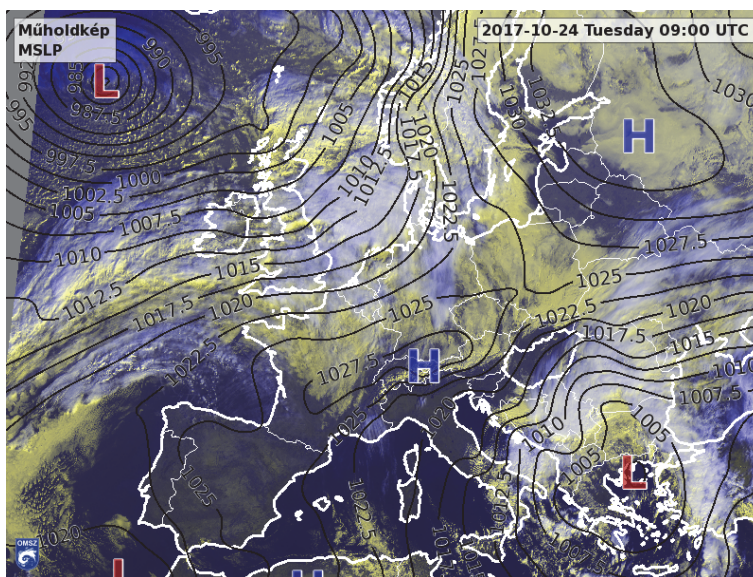
keleti medence térségében. A nyári hónapok közül az augusztus hozzájárulása lett a legkevesebb a nyári csapadékösszeghez, mivel ekkor a térségben a kánikula mellett szárazság is volt. Az augusztus mellett a tavaszi hónapokban hullott még kevés csapadék.

Ekkor jellemzően az elvárt mennyiségeknek csak a fele esett le. Szeptemberben a nyári hónapoknál már általában kevesebb csapadék esik.

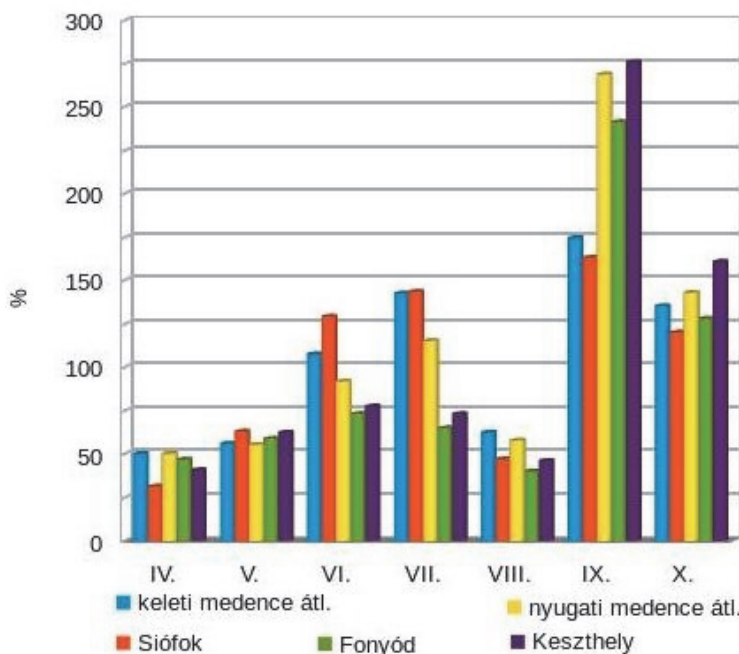
Most keleten átlagosan 77 mm, nyugaton 135 mm csapadék hullott, ami jóval meghaladta a sokévi átlagot (5. ábra). A nyári és az őszi hónapokban (a száraz augusztus kivételével) egyaránt volt havi egy-két csapadékosabb nap, amikor a lehullott csapadékmennyiség meghaladta a 25–30 mm-t is.

Negyven mm feletti napi csapadék ritkábban és csak kevés helyen, 50 mm feletti csapadék pedig a mérőállomásokon egyáltalán nem fordult elő. A zivataros napok száma (6. ábra) a keleti medencében 29 nap, nyugaton 36 nap volt, ami négy nappal kevesebb a 2000 utáni időszak átlagánál.

A csapadékviszonyok alakulásával szorosan összefügg a Balaton vízszintjének változása. A szezon kezdetén 118 cm-t olvashattunk le a vízmércéről, amely az új – magasabb szintű – szabályozásnak felelt meg. Július elejéig viszonylag lassú ütemben apadt a tó vize, majd júliusban és augusztusban a szárazság és az erőteljes párolgásnak köszönhetően 20 cm-rel csökkent a vízállás.



4. ábra: 2017.10.24. 09:00 UTC. MSG látható műholdfelvétel és nyomásmező, a Délkelet-Európa fölé helyeződött ciklon centrummal és az erős hátoldali áramlási mezővel a balatoni viharos periódus végén. OMSZ szinoptikus archívum



5. ábra: 2017. évi havi csapadékösszegek a sokévi átlag százalékában (1961–1990)



A szezon során a legalacsonyabb értéket szeptember közepén jegyezhetjük fel (86 cm), majd a kora őszi esős időjárás kisebb vízszintemelkedést hozott magával, így a szezont végül 93 cm-rel zárta a Balaton.

**A viharjelzések és a vízi biztonság.**

A Balatonra kiadott viharjelzések statisztikáját az 1. táblázatban foglaltuk össze. A másodfokú viharjelzések fenntartási ideje a teljes időszaknak a keleti medencében 18,2%, a középső medencében 18,3%, a nyugati medencében 18,4%, míg a Velencei-tónál 12,0 százalékára terjedtek ki. A Tisza-tónál a másodfokú viharjelzések fenntartási ideje a teljes időszaknak mindössze 6,4%-át tette ki. Ezen értékek az előző évihez képest mindenhol emelkedést mutatnak.

A vízen tartózkodók biztonságáról a Balatoni Vízügyi Rendőrkapitányság is gondoskodott. A szervezetten belül 56 fő 25 szolgálati kiscgéphajóval látott el szolgálatot a vízen. A folyamatos vízügyi rendészeti jelenlét a nyár teljes időszakában biztosított volt.

A Balatoni Vízügyi Rendőrkapitányság munkatársai a viharjelzési szezonban október 31-ig 166 esetben 403 fő fürdőző vagy hajózó személyt mentettek ki a vízből. 2017. április 1. és október 31. között 20 ember fulladt a Balatonba. A 20-ból 18 esetről van részletes jelentésünk. Az egyes eseményeket külön átnézve, a

térségben akkor uralkodó időjárás szerint a következő csoportokat tudjuk elkülöníteni. A 18 esetből 13 esetben a jelzőrendszer alapon volt, és a térség állomásai gyenge, vagy mérsékelt szelet regisztráltak, csak két esetben volt 30 km<sup>-1</sup> sebességet el nem érő élénkülés.

Egy esetben tartósan másodfokú jelzés volt, már az eltűnést megelőzően is több órával, és az időszak alatt a térségben volt viharos szél.

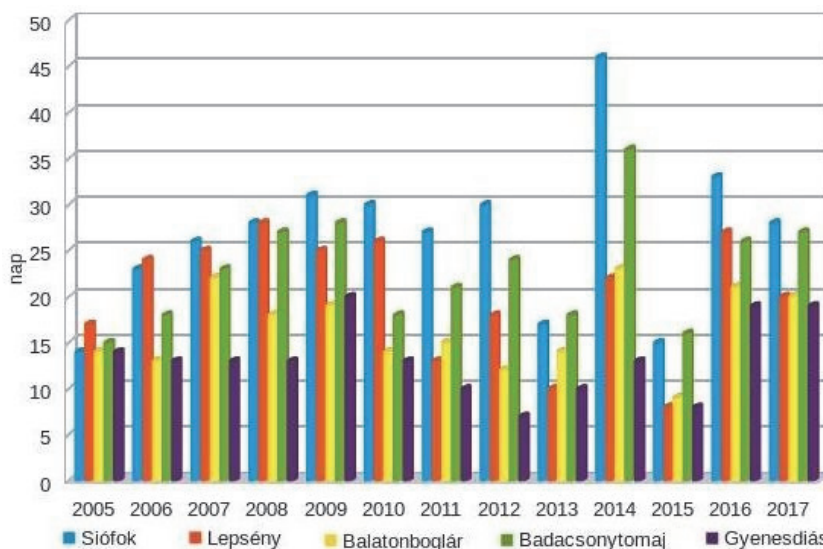
Egy másik esetben tartósan elsőfokú jelzés volt érvényben, már az eltűnés előtt több órával. Három esetben több jelzésváltoztatás is történt, de itt a keresési időszak is minimum 8 óra, illetve több mint egy nap volt. Az időszak alatt a viharjelzés változtatások időben kerültek elrendelésre, és a viharos szél ezt követően több mint 1 órára érkezett.

A Vízügyi Rendészet tájékoztatása szerint egyetlen olyan halálos kimenetelű vízi baleset sem történt, amely elmaradt, vagy későn kiadott viharjelzés következménye lett volna.

A viharjelzések tóparti megjelenítését a Balaton körül 31, a Velencei-tónál 3, míg a Tisza-tónál 5 fényjelző lámpaegység végezte, amelyet a Balatonnál még mobil fényjelző egységek is kiegészítettek.

A katasztrófavédelem megbízásából

az RSOE (Rádió Segélyhívó Országos Egyesület) az idén is fokozottan felügyelte a rendszer üzemeltetését, a vihar okozta károkat elhárította.



6. ábra: A zivataros napok szezonkénti összegei a Balaton térségének állomásain 2005-2017 között

1. táblázat: A 2017. évi viharjelzési szezonban kiadott balatoni viharjelzések összesítése

Balaton medencék	A viharjelzés foka	A kiadott viharjelzések száma, db								Összesen IV-X. db.
		IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.		
Nyugati	I. fok db	11	20	16	30	12	14	8	111	
	II. fok db	18	14	19	26	10	10	6	103	
Középső	I. fok db	12	16	16	27	11	11	9	102	
	II. fok db	14	12	25	25	9	9	7	101	
Keleti	I. fok db	14	20	20	27	9	13	12	115	
	II. fok db	17	13	21	23	9	9	8	100	

Balaton medencék	A viharjelzés foka	A fenntartott órák száma								Összesen, IV-X. óra
		IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.		
Nyugati	I. fok óra	248	250	184	233	149	183	79	1326	
	II. fok óra	182	97	158	131	125	117	133	943	
Középső	I. fok óra	233	219	172	227	140	213	98	1302	
	II. fok óra	196	91	166	132	110	108	137	940	
Keleti	I. fok óra	244	222	186	209	135	203	141	1340	
	II. fok óra	197	91	158	133	107	112	132	930	

## NÉMETH TIBOR ÉSZLELŐ VILÁGNAPI KITÜNTETÉSE

### AWARD OF MR. TIBOR NÉMETH OBSERVER FOR THE WORLD METEOROLOGICAL DAY

#### Tóth Róbert

Országos Meteorológiai Szolgálat, Marczell György Főobszervatórium, 1181 Budapest, Gilice tér 39., [toth.r@met.hu](mailto:toth.r@met.hu)

**Összefoglaló.** Németh Tibor hosszú ideje pontosan, lelkiismeretesen végzi a meteorológiai megfigyeléseket Pétervásárán. E példamutató elkötelezettséget az Országos Meteorológiai Szolgálat elismerő oklevéllel jutalmazta.

**Abstract.** Mr. Tibor Németh has been carrying out meteorological observations in Pétervására precisely, conscientiously for a long time. Hungarian Meteorological Service awarded this outstanding commitment with Certificate of Merit.

Pétervására Heves megye legkisebb városa, járási székhely, nagyjából Eger és Zabar között fekszik. A 15. század közepétől mezőváros, de ezt a rangját a 17. század végén elveszítette. 1989-

ben nyilvánították újra várossá. Az akkor közel 3000 lakosa mostanra 2200 körülire csökkent.

Építészeti nevezetességei a Keglevich-kastély és a kéttornyú templom. A kétszintes barokk kastélyt Keglevich I. Gábor építtette 1760-ban. Ma mezőgazdasági szakképző iskolának és kollégiumnak ad otthont. A római katolikus templomot Keglevich Károly, mint kegyúr emeltette 1812–17 között. Altemplomában található a Keglevichek kriptája, melyet 1980-ban, az utolsó leszármazott halálát követően befalaztak. Említésre méltó földtani képződmény a településen a kora-miocén pétervásárai homokkő formáció, ami sekélytengeri üledékekből képződött. A meteorológiai mérések 1935-ben kezdődtek a településen, akkor közel

3 évig folyt a csapadékmérés, ami némi szünet után 1954-ben indult újra. Azóta folyamatos a mérési sorozat. A jelenlegi pétervásárai észlelőnk, Németh Tibor 1944. január 24-én született Borsodszentgyörgyön. A gimnáziumot Ózdon végezte, majd a debreceni főiskolán állattenyésztést tanult. Először Bánhorvátiban helyezkedett el mezőgazdászként. Később is folyamatosan képezte magát, Gödöllőn mérnök-tanári képesítést, a Debreceni Agrártudományi Egyetemen növénytermesztési szaküzem-mérnöki képzettséget szerzett. 1970-ben költözött

Pétervásárára, s 1972-ben kezdte munkaviszonyát a helyi Szakmunkásképző Intézetnél. 1974-től kapcsolódott be az időjárás rendszeres megfigyelésébe és jelentésébe.

Akkor az iskola területén álló hőmérőházban maximum és minimum hőmérővel mértek, valamint szélmérővel és csapadékmérővel rendelkeztek. Az iskolától a csapadékmérőt 1982-ben helyezték át Németh úr családi házána kertjébe az Orgona út 13-ba. Azóta innen küldi a csapadék mennyiségén és alakján túl az egyéb jelenségek megfigyeléseit, mint szél, köd, harmat, stb...

Az eltelt 43 év folyamán a legkevesebb évi csapadékot 1992-ben jegyezte fel, mindössze 277,3 mm-t, míg a legtöbb 2010-ben hullott, akkor 919,6 mm-t mért. Az évi átlag 486 mm 40 év alapján. A havi eloszlás is szélsőségesen alakult: 2011 novemberében semmi nem hullott, míg 2005 augusztusában 237,5 mm-t mért. Németh úr felesége építésmérnök, s két gyer-



*Németh Tibor a kertjében elhelyezett csapadékmérővel*

mekük született. Fiuk növénytermesztési üzem-mérnök, lányuk tervező mérnök, aki júliusban lányunokával ajándékozta meg a nagyszülőket. Németh urat betegsége 2001-től ugyan a mozgásában korlátozza, de nem akadályozza meg a csapadékmérés megfelelő szintű végrehajtásában. Az elmúlt 43 évben végzett példás hozzáállása elismeréseként tüntette ki az Országos Meteorológiai Szolgálat elnöke a 2017. évi Meteorológiai Világnapon. Köszönjük pontos és lelkiismeretes munkáját, további tevékenységéhez jó egészséget kívánunk.

## 2017 ŐSZÉNEK IDŐJÁRÁSA WEATHER OF AUTUMN 2017

Hoffmann Lilla

Országos Meteorológiai Szolgálat, H-1525 Budapest, Pf. 38., [hoffmann.l@met.hu](mailto:hoffmann.l@met.hu)

**Összefoglalás.** Az idei ősz kissé melegebb volt a szokásosnál. A szeptember valamelyest hűvösebbnek adódott az ilyenkor megszokottnál, az október és a november azonban melegebbnek bizonyult. Ez utóbbi mintegy 0,9 °C-kal múlta felül az 1981–2010-es átlagot. Csapadék tekintetében az évszak csapadékosabb volt az átlagnál. A hónapokat tekintve a szeptember adódott a legcsapadékosabbnak, a normál mintegy 175%-a hullott a hónapban. Az október is csapadékosabbnak bizonyult az átlagnál, a normál 127%-a esett, míg a novemberi csapadékmennyiség az 1981–2010-es sokévi átlag körül alakult. Összességében 35%-kal hullott több csapadék országos átlagban a szokásosnál az ősz során. Az őszi átlaghőmérséklet 10–11 °C között alakult az ország nagy részén. A Dunántúl egyes részein, valamint a Dél-Alföldi területeken 11–12 °C, míg a hegyvidékeken 7–8 °C volt a jellemző. Melegebb, 12 °C-ot meghaladó középhőmérsékletű területek csak szűk régióban, Budapest és Szeged környékén jelentkeztek. Országos átlagban az ősz középhőmérséklete 10,67 °C-nak adódott. Évszakas átlagban a legmelegebb Szeged Belterület állomásunkon (12,6 °C), a leghidegebb pedig Kékestetőn (6,4 °C) volt. Az 1981–2010-es átlagnál alacsonyabb értékek a Duna-Tisza közén, a Mátra egyes részein, valamint foltokban a Dráva-mentén fordultak elő. A normált leginkább a hegyvidéki területeken, a Mezőföld déli részén, valamint Budapest és Szeged környékén haladta meg a középhőmérséklet, itt helyenként előfordult 1 °C-nál nagyobb anomália is. A 2017-es ősz országos viszonylatban csapadékosabb volt az átlagosnál. A legtöbb csapadék az Őrség és a Zalai-dombság területén hullott, 310 mm-t meghaladó összeggel. Ezen kívül a Börzsönyben, a Mátrában és a Bakonyban jelentkezett még magasabb érték (280–310 mm). A síkvidéki területeken jellemzően 160–220 mm hullott, csupán a Tisza legalsó szakaszán volt ennél kisebb az évszakas csapadékösszeg. A középső és a délnyugati területeken a normál 170–190%-a is lehullott. A déli megyék és foltokban az alföldi régiók adódtak szárazabbnak, előfordult olyan terület, ahol a normál 90%-a hullott. Az országos évszakas csapadékmennyiség 196,1 mm volt, ez a megszokott mennyiség 135%-a. A legnagyobb őszi csapadékösszeget, 383,3 mm-t Felsőzslánkőn jegyeztük, a legkevesebb csapadék, 113,4 mm Kúbekházán adódott.

**Szeptember.** Szeptemberben az ország jelentős részén 15 és 16 °C-os középhőmérsékleti értékeket mértünk. Ennél magasabb értékek az Alföld középső és délkeleti részein jelentkeztek. Hűvösebb területek a magasabb hegységeinkben és a nyugati ország-részben voltak (12–13 °C), az Északi-középhegység legmagasabb pontjain 12 °C alatti értékek is előfordultak. A havi országos átlaghőmérséklet 15,5 °C volt, ami mintegy 0,4 °C-kal maradt el a sokévi átlagtól, ezzel a 69. legmelegebb szeptember múlt el 1901 óta. A Szatmári-síkon, az Északi-középhegység egyes részein, valamint a délkeleti területeken adódott az átlagnál magasabb hőmérséklet, azonban az ország túlnyomó részén negatív irányú eltérést tapasztaltunk. Országos átlagban 6 nyári napot regisztráltunk (napi maximumhőmérséklet, azaz  $t_x \geq 25$  °C), ami 2-vel kevesebb a sokévi átlagnál. Hőségnapból ( $t_x \geq 30$  °C) 1 jelentkezett, amely éppen megegyezik az ilyenkor szokásos értékkel.

*A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:*

**35,4 °C, Békéssámon (Békés megye), szeptember 1.**

*A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:*

**-1,2 °C, Nyírlugos (Szabolcs-Szatmár-Bereg), szeptember 30.**

A szeptember meglehetősen csapadékosnak bizonyult. Az 1981–2010-es, szeptemberi normál több mint másfélszerese hullott le, ezzel a 11. legcsapadékosabb szeptembert tudhattuk magunk mögött 1901 óta. A legcsapadékosabb területek a középső és a nyugati részek voltak, egyes helyeken a havi összeg elérte a 200 mm-t is. A Zalai- és a Gödöllői-dombság egyes részein a szokásos mennyiség 3,5–4-szerese hullott. Országos átlagban 12 csapadékos napot ( $> 0,1$  mm) regisztráltunk, 4 nappal többet a sokévi átlagnál. Több helyről jelentettek 30 mm-t meghaladó csapadékmennyiséget, emellett 50 mm feletti csapadékösszeg is jelentkezett. A legcsapadékosabb nap szeptember 16-a volt, amikor országos átlagban több mint 15 mm csapadék hullott. A zivataros napok száma megegyezett az ilyenkor szokásossal (norma: 1 nap).

*A hónap legnagyobb csapadékösszege:*

**253,7 mm, Felsőzslánkő (Vas megye)**

*A hónap legkisebb csapadékösszege:*

**40,5 mm, Bátorliget (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)**

*24 óra alatt lehullott maximális csapadék:*

**76,9 mm, Körösladány (Békés megye), szeptember 3.**

**Október.** A hónap középhőmérséklete zömmel 10–11 °C között változott hazánk nagy részén, ennél melegebb csak a Tolna-Baranyai dombvidék egyes részein és a Tisza alsó szakaszán fordult elő. Alacsonyabb hőmérsékleti értékek az Északi-középhegység magasabban fekvő részein és a Nyírség területén

jelentkeztek, volt ahol a 6 °C-ot sem érte el a hőmérséklet. A legmagasabb havi átlaghőmérséklet Budapest Állatkert és Szeged belterület állomásokon (13 °C), a legalacsonyabb érték, 7 °C-kal Kékestetőn jelentkezett. Az 1981–2010-es normálhoz hasonlóan alakult az országos havi középhőmérséklet. Az átlagnál alacsonyabb értékek zömmel a Nyírség, a Dráva-mente és a Balaton-felvidék területein adódtak. Az Északi-középhegység egyes részein, a Mecsekben, valamint a Dunántúli-középhegység körzeteiben fordult elő pozitív irányú eltérés, melynek értéke 1–2 °C, azonban előfordultak 2,5 °C-ot meghaladó értékek is. A hónap középhőmérséklete országos átlagban 11 °C-nak adódott, amely 0,5 °C-kal haladta meg a sokévi átlagot, így a 35. helyre került a legmelegebb hónapok sorában. Idén októberben nem jelentkezett nyári nap (norma: 1 nap) és csupán 1 fagyos nap ( $t_n \leq 0$  °C) fordult elő a hónapban, ami 2-vel kevesebb az átlagnál.

*A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:*

**27,6 °C, Dombegyház (Békés megye), október 18.**

*A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:*

**-6,0 °C, Zabar (Nógrád megye), október 31.**

Az októberi csapadékmennyiség leginkább a Dunántúli területekre koncentrálódott, 120–150 mm közötti értékekkel. Az ország keleti részén, a Tiszántúlon, valamint a Kőszegi-hegység területén jelentkezett a legkisebb csapadékösszeg. Előfordultak olyan területek, ahol 20 mm alatt maradt a havi csapadékösszeg. Az 1981–2010-es sokévi átlaghoz viszonyítva, mintegy 27%-kal hullott több csapadék októberben, azonban térben és időben nem egyenletesen oszlott el. A legnagyobb csapadéktöbblet (a sokévi átlag 160–200%-a) a középső ország-részre koncentrálódott, a legkisebb pedig a nyugati határszélre (30–40%). Szűk területen azonban a sokévi átlag 20%-át sem érte el a havi csapadékösszeg. 8 csapadékos nap fordult elő országos átlagban, amely megegyezik az ilyenkor szokásos értékkel. Emellett 30 mm-t meghaladó csapadékösszeg is jelentkezett egyes helyeken.

*A hónap legnagyobb csapadékösszege:*

**134,6 mm, Bakonybél Somhegypuszta (Veszprém megye)**

*A hónap legkisebb csapadékösszege:*

**19,3 mm, Kőszeg (Vas megye)**

*24 óra alatt lehullott maximális csapadék:*

**67,6 mm, Bakonybél Somhegypuszta (Veszprém), október 23.**

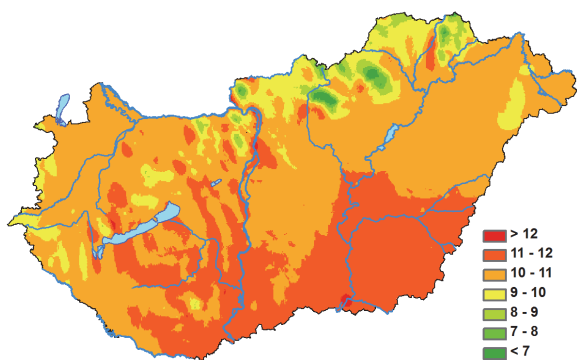
**November.** A hónap középhőmérséklete 5–6 °C között alakult. Hűvösebb körzetek az Északi-középhegység magasabban fekvő részein jelentkeztek, azonban ezeken a területeken sem csökkent a hőmérséklet 0 °C alá. Melegebb területek leginkább az ország déli

területein adódtak. Országos átlagban a legmagasabb havi átlaghőmérséklet Szeged Belterület állomáson (7,3 °C), a legalacsonyabb érték Kékestetőn jelentkezett, 1,4 °C-kal. Az 1981–2010-es normálnál mintegy 0,9 °C-kal adódott melegebbnek a november országos átlagban. Nagyobb pozitív irányú eltérés a Duna középső és a Tisza alsó szakaszán volt, azonban Budapest és Szeged környékén az anomália értéke elérte a 2 °C-ot is. Átlagos hőmérsékletű területek a Marcal-medence és az Északi-középhegység egyes részei voltak, szűk területen azonban előfordult az átlagosnál alacsonyabb érték is. Az idei november összességében az elmúlt 117 év 45. legmelegebb novembere lett. 2017. novemberében a megszokott téli nap (napi maximumhőmérséklet,  $t_x \leq 0$  °C) nem jelentkezett (normál: 1 nap), fagyos naptól pedig négyvel kevesebbet jegyeztünk, mint a sokévi átlag (11 nap).

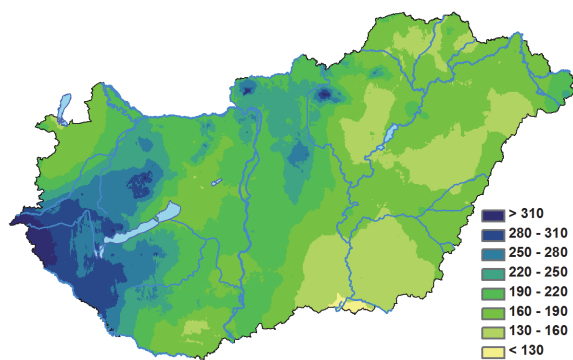
A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:  
**17,8 °C, Sopronhőpács (Győr-Moson-Sopron), november 5.**  
 A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:  
**-9,8 °C, Zabar (Nógrád megye), november 28.**

Idén novemberben átlag körüli csapadékösszeget jegyeztünk. A havi csapadék leginkább a Zalai-dombság és a Mátra területére koncentrálódott, 90–100 mm körül értékekkel. A legkisebb összegek a Baranyai-dombság és a Nagykunság egyes részein jelentkeztek, 25–30 mm-rel. A legnagyobb havi összeget Mátraszentimrén regisztráltuk 107,2 mm-rel, míg a legkisebb Sátorhely állomáson fordult elő 22,4 mm-rel. A sokévi átlagtól leginkább elmaradó értékek (40–50%) zömmel a Baranyai-dombság területén adódtak, míg a legnagyobb csapadéktöbblet (140–160%) a Zalai-dombság és a Szatmári-Tiszahát területein volt. Novemberben 2-vel több csapadékos napot jegyeztünk az átlagnál (10 nap). Emellett előfordult 20 és 30 mm-t meghaladó csapadékösszeg is.

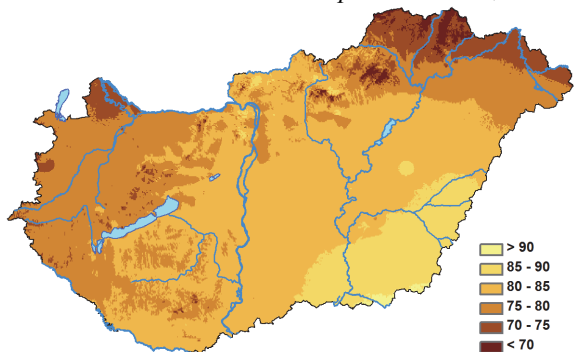
A hónap legnagyobb csapadékösszege:  
**107,2 mm, Mátraszentimre (Heves megye)**  
 A hónap legkisebb csapadékösszege:  
**22,4 mm, Sátorhely (Baranya megye)**  
 24 óra alatt lehullott maximális csapadék:  
**31,6 mm, Nagy-Hideg-hegy (Pest megye), november 29.**



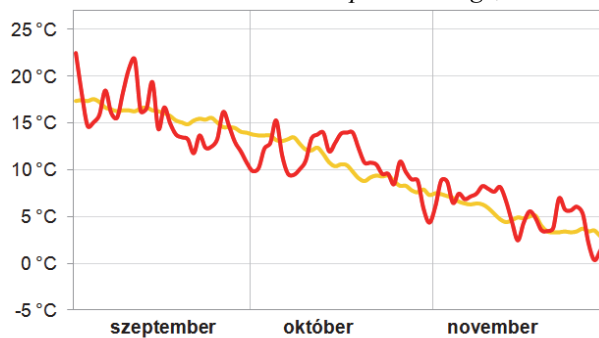
1. ábra: A 2017-es ősz középhőmérséklete, °C



2. ábra: A 2017-es ősz csapadékösszege, mm



3. ábra: A 2017-es ősz globálsugárzás összege, kJcm<sup>-2</sup>



4. ábra: A 2017-es ősz napi középhőmérsékleteinek eltérése a sokévi (1981–2010-es) átlagtól, °C

**2017. ősz időjárási adatainak összesítője**

Állomás	Napsütés (óra)		Sugárzás (kJcm <sup>-2</sup> )	Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél viharos nap $f_x > 15 \text{ ms}^{-1}$
	évszak összes	eltérés		évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %- ában	$r \geq 1 \text{ mm}$ napok	
Szombathely	385	2	75	10,2	0,2	26,4	09.01	-4,2	11.15	200	130	22	10
Nagykanizsa	-	-	77	10,2	0,2	26,9	09.01	-6,0	11.28	273	134	26	9
Pér	-	-	-	10,7	-	28,7	09.10	-4,9	11.28	213	156	24	13
Siófok	-	-	79	11,8	0,5	29,3	09.10	-2,0	11.28	154	108	18	18
Pécs	472	23	85	11,5	0,3	28,9	09.01	-2,7	11.28	148	87	20	14
Budapest	423	1	77	11,2	0,3	32,5	09.01	-4,4	11.28	206	160	21	5
Miskolc	402	5	73	10,5	0,7	31,7	09.01	-5,3	11.28	191	150	25	3
Kékestető	459	39	81	6,4	0,2	23,2	09.01	-5,4	11.27	275	147	27	33
Szolnok	182	246	85	11,2	0,4	33,6	09.01	-4,4	11.28	162	134	22	6
Szeged	526	87	88	11,8	0,9	34,4	09.01	-3,7	11.28	125	104	16	8
Nyíregyháza	-	-	78	10,6	0,7	31,1	09.01	-3,2	11.28	156	122	27	10
Debrecen	511	85	83	10,8	0,5	31,8	09.01	-5,1	11.28	154	122	19	3
Békéscsaba	-	-	89	11,2	0,5	34,3	09.01	-4,9	11.28	179	142	17	6

## FÖLDTUDOMÁNYOS FORGATAG – 2017

### EARTH SCIENCE 'WHIRL' – 2017

**Cserny Tibor**

Magyarhoni Földtani Társulat, [cserny.tibor@gmail.com](mailto:cserny.tibor@gmail.com)

Idén immár kilencedik alkalommal rendezték meg a Földtudományos forgatagot, ez alkalommal is a Magyar Természettudományi Múzeumban, november 11–12-én. Szombat délelőtt a Forgatag látogatóit és résztvevőit a kupolacsarnokban, a házigazda nevében Medzihradszky Zsófia főigazgató-helyettes köszöntötte, majd Baksa Csaba az MFT elnöke megnyitotta a rendezvényt. A kiállítócsarnok hamarosan megtelt étellel, miközben a Múzeum pénztára előtt szinte állandósult a látogatók hosszú sora. A korábbi évekhez képest jóval nagyobb alapterületen, és nagyobb számban voltak jelen a kiállító civil szervezetek, állami és magán intézmények, cégek, egyetemek, akadémiai kutatóintézetek, múzeumok. A kiállítók végtelen türelemmel és lelkesedéssel foglalkoztak az óvodás korú gyerekektől a tanulócsoporthoz, a családokkal, az érdeklődő felnőttekkel és a szép korúakkal, egyaránt. Idén, szinte minden kiállító standnál volt interaktív játék, kvíz, mikroszkóp vagy egyéb eszköz, bemutató tárgy, műszer, térkép, poszter, asvány, kőzet, ősmaradvány és sok-sok ajándék. A látogatók ismeretterjesztő előadásokat hallgathattak meg a Múzeum Semsey-termében:

kísértek. A témától függően, a teremben egyszerre akár százan is jelen voltak, majd később sok-sok kérdéssel folytatták a diskurzust a kupolacsarnokban. Nagy sikere volt az Utazó Planetárium új filmjeinek is, melyet a nagyobb befogadóképességű kupolateremben mutattak be, többször is vetítve a felsorolt filmeket:

*A Cassini küldetés és a Szaturnusz kutatása*

*A Földtől az Univerzum határáig – utazás a végtelenbe és még tovább*

*Két kis üveglencse – A távcsövek csodálatos világa*

*Kozmikus eredetünk felfedezése! – (Cosmic Origins)*

*Napszúrás – Életet adó csillagunk és az űridőjárás rejtelméi*

*Utazás a bolygók csodálatos világába*

*Utazás a Marsra - specifikus műsor a Marsról, Mars-kutatásról*

Mindkét napon vetítettünk ismeretterjesztő rövidfilmeket is, bemutatván hazánk 10 nemzeti parkjának csodáit, valamint a Bükkábrányi ősciprusokat és az iharkúti dinoszauruszok feltárásának, kutatásának és megőrzésének történetét:

*Korhadó múlt, porladó jövő? – A Bükkábrányi ősciprusok*

*Az első – A Hortobágyi Nemzeti Park*

*Találkozások térben és időben – A Duna-Ipoly Nemzeti Park*



A „meteorológia” kiállítás (MH GEOSZ, OMSZ, ELTE Meteorológiai Tanszék, MMT) és a kiállítók: Németh Akos (OMSZ-MMT), Fejes Edina (OMSZ-MMT), és Fricke Cathy (ELTE) doktorandusz valamint a képen nem szereplő Kalmár Timea, Kovács Attila és Szabó Amanda doktoranduszok.

*Főzy István: A Kárpátok sárkánya a barlangi medve*

*Hir János: Óslénytani kutatótáborok középiskolás fiatalokkal*

*Kakas Kristóf: Atombomba kísérletek és geofizika*

*Kercsmár Zsolt: Csodálatos földtörténet*

*Kiss László: Földön kívüli földek: a csillagászat és a földtudományok találkozása más csillagok körül*

*Kovács István János: Tenger a Pannon-medence alatt – avagy hogyan születik vízből a tűz?*

*Leél Össy Szabolcs: Keresztül Ausztrálián*

*Ósi Attila: Őshűlő-kutatás Magyarországon: új lelőhelyek és új leletek*

*Pálffy József: Nagy kihalások a földtörténetben*

*Papp Gábor: Ismeretlen ismerős – az év asványja, a kvarc, és Zeolit – mindezen a kőbányából*

*Prafalvi Péter: Rejtélyes süllyedéssel lyukak Nógrád megyében.*

*Mélyművelésű bányászat, földalatti atomrobbantások, természetes kinyílások?*

*Siposs Tamás: Felszínalatti vízáramlások, földalatti szállítószalagok*

*Szarka László: Paradigmaváltás a környezettudományban*

*Takács József: A drágakövek világa – avagy miért szeretjük a zafírt?*

A két napon összesen 200 érdeklődő hallgatta meg az előadások egyikét-másikat, de sokan 4–5 előadást is figyelemmel



Az MH GEOSZ térképészei: Köhgyei Zoltán őrnagy, Mrsan József zászlós és Kovács Zoltán őrnagy először szerepeltek a Forgatagon, mellettük Baksa Csaba az MFT elnöke. A kép előterében a ma használatos térképező robotrepülő

*A gyöngyszem – Az Aggteleki Nemzeti Park*

*Vízjárta puszták vidékén – A Körös-Maros Nemzeti Park*

*Fennsík az ország tetején – Bükki Nemzeti Park*

*Dinoszauruszok és vadászai*

*A magyar tenger mellékén – A Balaton-felvidéki Nemzeti Park*

*A vadludak útján – A Fertő-Hanság Nemzeti Park*

*Táj és ember – Az Őrségi Nemzeti Park*

*Az élő vizek partja – A Duna-Dráva Nemzeti Park*

*A homok és a szik birodalma – Kiskunsági Nemzeti Park*

A megfáradt és megéhezett kiállítóinkról a társulati büfében szorgoskodó titkársági dolgozóink gondoskodtak szendvicsekkel, kávéval, teával, ásványvízzel, gyümölcslével és édességgel, nagy szorgalommal és szeretetteljes lelkesedéssel.

A kétnapos rendezvény látogatottsága a tavalyihoz hasonló volt. 2550 fizetett belépővel rendelkező, kb. 150–200 meghívott vendég, továbbá a kiállító standokat működtetők legalább 150 főre tehető csapata járta körbe a Forgatagot. A rendezvény létrejöttét támogatta a MOL NyRT és a 2017. júliusában megalakult Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat. A Földtudományi Civil Szervezetek Közösségének szinte minden taggyesülete képviseltette magát az idei forgatagon.

## A 62. ÉVFOLYAM (2017) SZERZŐI

## AUTHORS OF VOLUME 62 (2017)

Ács Ferenc és Szabó László: Köppen-től Prentice-ig	67	Mucsy Endre: Szélgépek jelene és jövője, egy magyar szabadalom bemutatása. Miért legyen pneumatikus szélgép?	87
Andor Csaba: Meteorológiai jelenségek Madách korában	93	Németh Ákos: A Magyar Meteorológiai Társaság tevékenysége 2016-ban	38
Baranka Györgyi: Történelmi arcképek: Thomas Jefferson	215	Nyitrai László és Tóth Róbert: Globális aerológiai adatbázis és ami mögötte van	188
Baranka Györgyi: Városiasodás és a klímaváltozás	152	Ollé János: Köszöntés a Meteorológiai Társaság XXXVI. Vándorgyűlésén	106
Bihari Zita, Lakatos Mónika és Szentimrey Tamás: Felszíni megfigyelésekből készített rácspon-ti adatbázisok az Országos Meteorológiai Szolgálatnál	148	Panayotis Maheras, Konstantina Tolika, Ioannis Tegoulis, Christina Anagnostopoulou, Klicasz Szpirosz és Károssy Csaba: Cirkulációs típusok automatikus és empirikus osztályozásának összehasonlítása magyarországi adatok alapján	60
Bíróné Kircsi Andrea: 2016/2017 telének időjárása	53	Pieczka Ildikó, Szabóné André Karolina, Pongrácz Rita és Bartholy Judit: Regionális klímamodell-szimulációk eredményei az új RCP-szenáriók figyelembevételével	175
Bíróné Kircsi Andrea: 2017 nyarának időjárása	142	Pongrácz Rita, Dian Csenge, Incze Dóra, Kurcsics Máté, Dezső Zsuzsanna, és Bartholy Judit: Budapesti városklimatológiai helyszíni mérések elemzése	126
Bíróné Kircsi Andrea: A 2016. év időjárása	49	Putsay Mária Gróbné Szenyán Ildikó és Diószeghy Márta: Gerhátné dr. Kerényi Judit 1966-2017	104
Bonta Imre: Több, mint 10 éves az OMSZ veszélyjelző rendszere 2017. augusztus	107	Sáhó Ágnes: Elhunyt Szücs Lajos	4
Cserny Tibor: Földtudományos Forgatag – 2017	207	Sáhó Ágnes: Meteorológiai Világnap – 2017. március 23.	41
Csirmaz Kálmán: Kislexikon	48	Szabóné André Karolina, Bartholy Judit és Pongrácz Rita: Hideg légpárna helyzet vizsgálata esettanulmány alapján	183
Dunkel Zoltán: A magyarországi klímaváltozás nyomon követése a hőmérsékleti térképek alapján	194	Szerkesztői előszó tematikus számok elé	105
Dunkel Zoltán: Beszélgetések Czelnai Rudolf-fal	17	Szerkesztői üzenet (címlapkép): Az Országos Meteorológiai Szolgálat soproni főállomása	57
Fülöp Andrea: Beszámoló a IV. Orvosmeteorológiai konferenciáról	139	Szerkesztői üzenet (címlapkép): Czelnai Rudolf (az OMSZ elnöke 1974-1981)	1
Göndöcs Júlia, Breuer Hajnalka, Pongrácz Rita és Bartholy Judit: Városi hősziget meghatározásának lehetőségei a WRF modell felhasználásával	165	Szerkesztői üzenet: A 62. évfolyam (2017) szerzői	214
Gulácsi András: Az antropogén klímaváltozás és a természetes klímaoscillációk szerepe a szárazodásban és a szélsőséges időjárásban Magyarországon	72	Szerkesztői üzenet: A meteorológiai mérések kezdetének 300. évfordulója, ünnepség Sopronban	58
Haszpra László: A levegő, az éltető „semmi” – könyvismertetés	95	Szerkesztői üzenet: A Meteorológiai Világnapon (2017. március 23.) kitüntetettek csoportképe	2
Hoffmann Lilla és Lakatos Mónika: Az éghajlatváltozás hatása az intenzív csapadékok alakulására	136	Szerkesztői üzenet: Az Országos Meteorológiai Szolgálat felhívása	146
Hoffmann Lilla: 2017 őszenek időjárása	211	Szerkesztői üzenet: Felhőképek az új atlaszból	55
Hoffmann Lilla: 2017 tavaszának időjárása	98	Szerkesztői üzenet: Szász Gábor az MMT Tiszteletbeli Elnöke 90 éves	102
Horányi András: Vélemény „Jankó Ferenc: Éghajlat, Tudomány, Történetek” című könyvéről	96	Szerkesztői üzenet: Új tanszékvezető az ELTE Meteorológiai Tanszék élén	105
Jenki Szilvia (címlapkép): Cumulus congestus	101	Tarczay Klára és Feiler József: Az éghajlatváltozás kihívásai a méhekre és a méhészetekre	171
Jenki Szilvia (címlapkép): Jégzajlás a Dunán	145	Tóth Róbert és Zsoldos Erzsébet: Jégszakadás Ricsén	89
Kis Anna, Pongrácz Rita, Bartholy Judit és Szabó János Adolf: A Felső-Tisza Vízigyűjtő vizsgálata éghajlati és hidrológiai szimulációk alkalmazásával	179	Tóth Róbert: A „VHZ”	201
Kocsis Tímea, Töröcsvári Zsolt és Anda Angéla: Különböző idősor-elemzési vizsgálatok eredményeinek összehasonlítása egy meteorológiai adatsoron	119	Tóth Róbert: Németh Tibor észlelő világnapi kitüntetése	210
Kolláth Kornél, Simon André, Fejes Edina és Pátkai Zsolt: Felhőatlasz itthon és a nagyvilágban	44	Unger János, Skarbit Nóra és Gál Tamás: Szegedi város klíma mérőállomás-hálózat és információs rendszer	114
Kordás Nóra és Ács Ferenc: A jégreszecskek szerepe a nem-induktív töltésszétválasztási folyamatokban	82	Varga Miklós: Elhunyt Rábai Attila	4
Kun Sándor, Bondor Gyula és Csirmaz Kálmán: A 2015. május 6-i heves konvekció és egy szupercella összeolvadás vizsgálata	5	Zsikla Ágota és Szilágyi Eszter: A 2017. évi balatoni és velencei-tavi viharjelzési szezonról	206
Lakatos Mónika, Weidinger Tamás és Bihari Zita: PannEx – egy formálódó kutatási együttműködés a Kárpát-medencében	192	Zsilinszki Anna, Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit és Pongrácz Rita: A Kárpát-medence magaslégköri szeleinek vizsgálata	185
Lázár Dóra és Weidinger Tamás: Ózonkoncentráció előrejelzés és érzékenységi vizsgálat a WRF-SMOKE-CMAQ modellrendszer felhasználásával a Kárpát-medencére	158		
Molnár Gergely, Gyöngyösi András Zénó és Gál Tamás: A városi hősziget vizsgálata meteorológiai modell segítségével Szegeden	130		

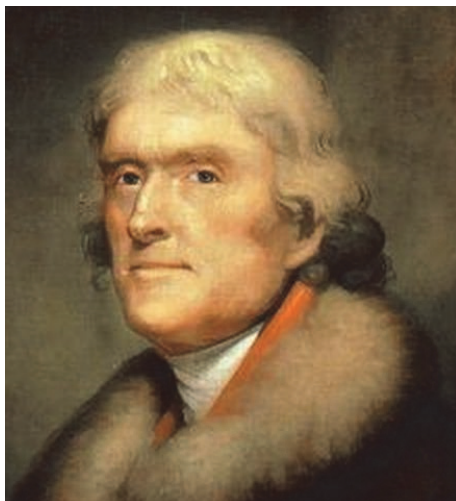
# TÖRTÉNELMI ARCKÉPEK HISTORICAL PORTRAITS

**Baranka Györgyi**

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1525 Budapest Pf. 38., [baranka.gy@met.hu](mailto:baranka.gy@met.hu)

**THOMAS JEFFERSON**

1743–1826



Rembrandt Peale: Thomas Jefferson portréja (1805)

Thomas Jefferson az Egyesült Államok harmadik elnöke (1801–1809) a saját maga által megfogalmazott sírfelirata szerint „a Függetlenségi nyilatkozat alkotója, a virginiai vallástörvény szerzője és a Virginiai Egyetem alapítója” volt. Széles érdeklődési körének – melybe beletartozott a növénytermesztés, az építészet, a törvényalkotás, a politika és az oktatás – csupán csak egy kis része volt a meteorológia tudománya iránti vonzalom és a rendszeres időjárás megfigyelés. 1772-től majdnem egészen haláláig, több mint ötven éven át, napi rendszerességgel végzett meteorológiai méréseket, és a rá jellemző nagy precizitással jegyezte le azokat. Jefferson megfigyeléseit eredetileg az motiválta, hogy ez idő tájt Európában tért hódított az a nézet, hogy az Újvilágban az állatok, sőt még az emberek is fejletlenebbek, mint az Óvilágban. Ennek okát pedig az eltérő éghajlati viszonyokban vélték felfedezni. Jefferson hazafias felindulásból ezen állítások cáfolatára fogott bele nemcsak a szűken értelmezett időjárás megfigyelésébe, hanem fenológiai feljegyzések készítésébe is. Tanulmányozta az éghajlatot, az időjárást és a szezonális ciklusok kapcsolatát a növények és az állatok fejlődési szakaszaival. Bizonyítékot keresett az elmaradott és káros európai tanok cáfolatához, melyek hátrányosan befolyásolhatták volna az Amerikába irányuló bevándorlást és az Európával folytatandó kereskedelmet. Mint nagy földbirtokkal rendelkező ültetvényest az időjárás és növénytermesztés közötti kapcsolat megismerése ösztönözte arra, hogy megfigyeléseket végezzen virginiai birtokán, Monticellon, 1772–78 között. Korán felmerült benne a párhuzamos mérések megszervezésének gondolata is. Már az 1770-es évek elején azt tervezte, hogy Virginia minden megyéjéből egy-egy megbízható embert ellát hőmérővel, valamint a hőmérséklet és a szélirány napi kétszeri észlelésére szolgáló útmutatóval. E tervet, mellyel egy korai időjárás-megfigyelőhálózatot hozhatott volna létre, megíúsította az amerikai függetlenségi háború kitörése 1775-ben. Az elképzelést tovább fejlesztve Jefferson és James Madison – Jefferson jó barátja, szintén virginiai ültetvényes, az Egyesült Államok későbbi negyedik elnöke – közösen hajtották végre az első egyidőben történő, párhuzamos meteorológiai méréseket 1778-ban. Jefferson, mint államférfit a kötelesség gyakran szólította el Philadelphiába és Washingtonba, vagy mint amerikai követet Franciaországba (1785–1789). Ilyenkor új állomáshelyén, de ha kellett, akkor az Atlanti-óceánon, az Amerika és Európa közötti hajóúton végzett megfigyeléseket. Ügyelt rá, hogy távollétében a virginiai mérések is folyamatosak legyenek, ilyenkor megbízható barátját, James Madisont kérte fel az észlelések folytatására. Madison munkájának színvonalára jellemző, hogy az általa végzett hőmérséklet- és csapadékmérések képezik napjainkban az éghajlatváltozással kapcsolatos összehasonlító vizsgálatok kiinduló adatsorát. Több alapító atya életében fontos szerepet játszott az időjárás megfigyelés. Az Egyesült Államok első elnöke, George Washington is rendszeres időjárás megfigyelő volt. Észlelő naplójába az utolsó bejegyzés halála napján került be. Jefferson a rá jellemző nagyfokú pontossággal és hihetetlen kitartással jegyezte le a hőmérséklet, a csapadék, a légköri nyomás és a szélirány adatokat. A hőmérsékletet naponta kétszer mérte; az elsőt korán reggel, a másodikat délután 3 és 4 óra között, ugyanis azt tapasztalta, hogy ezek a leghidegebb és a legmelegebb időszakai a napnak. Kiszámította a havi átlaghőmérsékleteket. Gyűjtötte a csapadékot, és lejegyezte a napi összegét. Nemcsak a megfigyelés módszerére tett javaslatot, hanem a megfelelő mérési eljárások kidolgozására, és a legalkalmasabb műszerek beszerzésére is törekedett. Feljegyezte, hogy amikor a Függetlenségi nyilatkozatot fogalmazta, egy philadelphiai kereskedőtől vásárolt egy léghőmérőt, és néhány nappal a nyilatkozat aláírása után pedig megvette az első barométerét, amely akkor az egyetlen ilyen műszer volt Amerikában. Mérése szerint a Függetlenségi nyilatkozat elfogadásának napján, 1776. július 4-én 76 °F volt a hőmérséklet Philadelphiában. Párizsi tartózkodása idején egyszerre három különböző nedvességmérővel is végzett összehasonlító méréseket. A páratartalom és a szél meghatározására tett kísérletei a megfelelő eszközök hiánya miatt azonban kudarcba fulladtak. Ő volt az első amerikai, aki rendszeres és részletes időjárás megfigyeléseket végzett. Támogatta a módszertani leírások elterjesztését, a megfigyelőhálózat folyamatos bővítését és térbeli kiterjesztést, így módon az egyesült államokbeli meteorológiai szolgálat létrehozásának korai kezdeményezőjét tisztelhetjük személyében.

