

L É G K Ö R

57. évfolyam

2012. 4. szám



65 ÉVES
A METEOROLÓGIAI TANSZÉK

Prof. dr. JUSTYÁK JÁNOS (1929 – 2012)

Dunkel Zoltán

Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, Pf. 38, 1525 dunkel.z@met.hu

Justyák János, a Magyar Meteorológiai Társaság tiszteleti tagja, a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem professzor emeritusa, a Meteorológiai Tanszék egykori vezetője, a magyar meteorológiai szakma és a klímakutatás nagy egyénisége, 2012. június 4-én elhunyt. A kanadai *Drumheller*-ben született 1929. február 14-én. Szüleivel 1935-ben tért haza a Bihar megyei Nagylétára. Tanulmányait Debrecenben a Piarista és a Fazekas Gimnáziumban végezte, majd 1949-ben felvételt nyert a Kossuth Lajos Tudományegyetemre, ahol a jeles előmenetelű tanuló Berényi Dénes már harmadéves korában bevonta a Meteorológiai Tanszék munkájába. 1953-ban szerzett *történelem-földrajz szakos* középiskolai tanári oklevelet. A Tanszéken Berényi professzor mellett az agrometeorológiai és mikroklimatológiai kutató-, és oktatómunkát választotta, 1955-től a professzor aspiránsaként. Ekkor főként kertészeti növények mikroklímájával foglalkozott. Ebből a témából írta 1958-ban egyetemi doktori értekezését. Később a Tokaj-hegyaljai szőlők mikroklimatikus vizsgálatával foglalkozott. Eredményeit kandidátusi disszertációjában összegezte 1960-ban. 1964-ben egyetemi docensnek nevezték ki, Berényi nyugdíjba vonulását követően 1968-ban ő lett a Tanszék vezetője.

1972-től bekapcsolódott a „*Síkfőkút Projekt*”-be, ahol az erdő klímájával foglalkozott. Jakucs Pál vezetésével közösen terveztek és hoztak létre egy kutatóállomást *Síkfőkúton* az erdő produktív képességének meghatározására. 1978-ban kapta meg egyetemi tanári kinevezését. Oktató-nevelő munkája során számos egyetemi jegyzetet írt meteorológiai-klimatológiai témájú alapozó- és speciálkollégiumaihoz. Jelentős számú szakdolgozat, TDK munka és doktori értekezés készült a vezetése mellett. Oktató munkájáért kétszer részesült Miniszteri Dicséretben. 1974-ben elnyerte az Oktatásügy Kiváló Dolgozója kitüntetését is. Számos tudományos szervezetnek volt tagja, vezetője. Részt vett az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottság munkájában, társelnöke volt a MTA DAB Meteorológiai Munkabizottságának. Több mint 10 évig volt a Földtudományi Tanszékcsoporthoz, illetve Intézet vezetője és közel 20 éven át volt tagja a Debreceni Egyetem Természettudományi Kar Tanácsának. Hosszú éveken át tagja volt a Magyar Meteorológiai Társaság választmányának, irányította az MMT Debreceni csoportjának munkáját. Munkája elismeréseként a Meteorológiai Társaság tiszteletbeli tagjává választotta. A Magyar Meteorológiai Társaság 1972-ben és 1998-ban szakirodalmi nívódíjat, 1978-ban Steiner Lajos Emlékéremet adományozott számára tudományos és társasági munkája elismeréseként, 1991-ben megkapta a Berényi Díjat.



A Tokaj-hegyaljai szőlőültetvények mezo- és mikroklimatikus jellemzőiről szóló akadémiai doktori értekezésére kapta meg 1990-ben a *Földrajztudományok doktora* – címet. 1992. január elsejétől vonult nyugalományba. 1996-ban kiemelkedő tudományos teljesítményét, hazai és nemzetközi szakmai tekintélyét *Professor Emeritus* címmel ismerték el. A Meteorológiai Tanszék külföldi kapcsolatai Justyák professzor tanszékvezetése alatt voltak a legkiterjedtebbek. A kijevei, a lublini és a brnói egyetem megfelelő tanszékeivel volt szoros együttműködése. 1988-ban a Szlovák Hidrometeorológiai Társaság emlékéremmel

jutalmazta a tanszékvezető együttműködő tevékenységét. 70. születésnapja alkalmából, 1999-ben a Kossuth Lajos Tudományegyetem és a brnói Masaryk Egyetem rektora Egyetemi emlékéremmel tüntette ki. 1999-ben a hazai meteorológusok számára legnagyobb elismerést jelentő *Schenzl Guidó*-díjat vehette át a környezetvédelmi minisztertől. A kilencvenes években még nagyon sokat dolgozott, számos egyetemi jegyzettel bővítette a hazai éghajlati szakirodalmat. Ezek közül kiemelkedő a kontinenseket bemutató jegyzetsorozata: 1994-ben készült el önálló jegyzetként Afrika, Európa, Észak-Amerika és az Északi-sarkvidék éghajlatáról szóló összeállítás. 1995-ben jelent meg a sokat forgatott *Klimatológia* jegyzete, de ekkor írta az Ausztrália és Óceánia éghajlati képét bemutató kötetet is. 1996-ban az Antarktisz éghajlata, 1997-ben Közép- és Dél-Amerika, valamint Ázsia éghajlata jelent meg. A Magyarország éghajlatát bemutató jegyzete 1998-ban látott napvilágot. 2001-ben közös jegyzetet írt Szász Gáborral. Utolsó jelentősebb munkája egy, Szegedi Sándorral és Tókei Lászlóval közösen írt terepklíma jegyzet volt. Közel négy évtizeden keresztül földrajz szakos hallgatóknak az Általános meteorológia, a Föld éghajlata, valamint a Magyarország éghajlata c. tantárgyat tanította.

Derűs, közvetlen egyéniség volt. Tanítványai szerették, tisztelték. Egyik egykori tanítványa így emlékezett róla: „*Justyák János óráin a ciklon borultsága után az anticiklon napfénye jött el.*” Jó hangulatúak és a közösséget összekovácsolóak voltak a nyári földrajzos terepgyakorlatok. Sok évtizedes kiemelkedő oktató és kutató munkáját a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kara 2006-ban Gyémánt Katedra kitüntetéssel jutalmazta. A Debreceni Egyetem rektora méltatásához („*Justyák professzor jegyzeteiből, könyveiből hallgatók generációi tanulhattak*”) azt fűzhetjük hozzá, hogy nemcsak a hallgatók, hanem a magyar meteorológus-társadalom generációi is sokat tanulhattak tőle.

A Magyar Meteorológia Társaság kegyelettel őrzi tiszteleti tagja emlékét!

Felelős szerkesztő:

Dunkel Zoltán

a szerkesztőbizottság elnöke

Szerkesztőbizottság:

Bartholy Judit

Bihari Zita

Haszpra László

Hunkár Márta

Nagy Andrea éghajlati összefoglaló

Sáhó Ágnes technikai szerkesztő

Somfalvi-Tóth Katalin kislexikon

Szudár Béla

Térey János olvasószerkesztő

Tóth Róbert főszerkesztő-helyettes

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:

Dunkel Zoltán

az OMSZ elnöke

Készült:

HM Zrínyi Nonprofit Kft.

nyomdájában

800 példányban

Megjelent: 2013. július

Felelős vezető:

Dr. Bozsonyi Károly

üv. igazgató

Évi előfizetési díja 1760 Ft

Megrendelhető az OMSZ

Pénzügyi és Számviteli Osztályán

1525 Budapest Pf. 38.

E-mail: legkor@met.hu

TARTALOM

CÍMLAPON: *Tanszéki kompozit: napfénytartammérő; az ELTE Ludovika tér 2. szám alatti épülete; az új, lánymányosi épület és mérőkertje.*

Dunkel Zoltán: **Megemlékezés Justyák Jánosról**.....134

TANULMÁNYOK

Weidinger Tamás: **Mikrometeorológiai mérések az ELTE Meteorológiai Tanszékén**.....137

Ács Ferenc és Breuer Hajnalka: **A talaj szerepe a meteorológiában és a klimatológiában**.....144

Barcza Zoltán, Haszpra László, Hidy Dóra, Gelybó Györgyi és Dobor Laura: **A légkör és a bioszféra közötti szén-dioxid csere vizsgálata**.....147

Bartholy Judit, Pongrácz Rita, Práger Tamás, Pieczka Ildikó, Torma Csaba és Kelemen Fanni: **Regionális klímamodellek adaptációja, parametrizációs kísérletei a Kárpát-medence térségére**...150

Bartholy Judit, Radics Kornélia és Péliné Németh Csilla: **Hazánk szélklímája, a szélenergia hasznosítása: múlt, jelen, jövő**.....153

Havasi Ágnes és Faragó István: **Alkalmazott matematika a meteorológiában**.....156

Matyasovszky István: **Néhány statisztikus módszer az elméleti és alkalmazott klimatológiai vizsgálatokban**.....159

Mészáros Róbert, Lagzi István, Kolozsi-Komjáthy Eszter, Leelőssy Ádám, Steierlein Ákos és Nagy Roland: **Légköri terjedési és ülepedési modellek fejlesztése és alkalmazása**.....162

Pongrácz Rita, Bartholy Judit, Kis Anna, Miklós Erika és Török Orsolya: **Extrém éghajlati indexek várható tendenciái modell-szimulációk eredményei alapján**.....166

Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit, Pongrácz Rita és Lelovics Enikő: **Városi hősziget vizsgálatok műholdas és állomási mérések alapján**.....170

Weidinger Tamás, Horváth László, Kiss Győző, Takács Zita, Pogány Andrea, Bozóki Zoltán, Mohácsi Árpád, Bordás Árpád, Machon Attila,

Istenes Zoltán, Grosz Balázs, Gyöngyösi András Zénó és Eredics Attila: **Mikrometeorológiai mérések az EU FP6 NitroEurope programban – az ELTE Meteorológiai Tanszék részvétele**.....174

Gyöngyösi András Zénó, André Karolina, Horányi András,

Mile Máté, Szépszó Gabriella, Tasnádi Péter és Weidinger Tamás: **Numerikus meteorológiai modellfuttatások az ELTE Meteorológiai Tanszékén**.....177

Kelemen Fanni Dóra, Bartholy Judit, Pongrácz Rita: **A mediterrán ciklonok klimatológiai vizsgálata reanalízis adatok alapján**.....184

Somfalvi-Tóth Katalin: **Kisenciklopédia**.....(173)..(185)...187

Németh Ákos: **A Magyar Meteorológiai Társaság hírei**.....(143)..(152)...188

Rajhonáné Nagy Andrea: **2012 őszeének időjárása**.....189

Térey János: **A fiatal nyár**.....191

LIST OF CONTENTS see next page

Felelős szerkesztő:

Dunkel Zoltán
a szerkesztőbizottság elnöke

Szerkesztőbizottság:

Bartholy Judit
Bihari Zita
Haszpra László
Hunkár Márta

Nagy Andrea éghajlati összefoglaló
Sáhó Ágnes technikai szerkesztő
Somfalvi-Tóth Katalin kislexikon
Szudár Béla
Térey János olvasószerkesztő
Tóth Róbert főszerkesztő-helyettes

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:

Dunkel Zoltán
az OMSZ elnöke

Készült:

HM Zrínyi Nonprofit Kft.
nyomdájában
800 példányban
Megjelent: 2013. július

Felelős vezető:

Dr. Bozsonyi Károly
üv. igazgató

Évi előfizetési díja 1760 Ft
Megrendelhető az OMSZ
Pénzügyi és Számviteli Osztályán
1525 Budapest Pf. 38.
E-mail: legkor@met.hu

LIST OF CONTENTS

COVER PAGE: *Departments's Compoist: A sunshine recorder, ELTE University building, Budapest Ludovika square 2, the new university building in Lagymanyos, observation garden of the Met Department*
Zoltán Dunkel: **Memory of Professor János Justyák**.....134

STUDIES

Tamás Weidinger: Micrometeorological Measurements at the Department of Meteorology of ELTE	137
Ferenc Ács and Hajnalka Breuer: The Role of Soil in Meteorology and Climatology	144
Zoltán Barcza, László Haszpra, Dóra Hidy, Györgyi Gelybó and Laura Dobor: Analysis of Exchange of Carbon Doioxide between Biosphere and Atmosphere	147
Judit Bartholy, Rita Pongrácz, Tamás Práger, Ildikó Pieczka, Csaba Torma, Fanni Kelemen: Adaptation and Simulations of Regional Climate Models for the Carpathian Basin	150
Judit Bartholy, Kornélia Radics and Csilla Péliné Németh: Wind Climate of our Land, Exploitation of Wind Energy: Past, Present, Future	153
Ágnes Havasi and István Faragó: Applied Mathematics in Meteorology ..	156
István Matyasovszky: Some Statistical Methods used in Theoretical and Applied Climatology	159
Róbert Mészáros, István Lagzi, Eszter Kolozsi-Komjáthy, Ádám Leelőssy, Ákos Steierlein and Roland Nagy: Development and Applications of Atmospheric Transport and Deposition Models	162
Rita Pongrácz, Judit Bartholy, Anna Kis, Erika Miklós and Orsolya Török: Projected Trends of Extreme Climate Indices on the Basis of Regional Climate Model Simulations	166
Zsuzsanna Dezső, Judit Bartholy, Rita Pongrácz and Enikő Lelovics: Investigation of Urban Heat Island by Satellites and Surface-based Measurements	170
Tamás Weidinger, László Horváth, Győző Kiss, Zita Takács, Andrea Pogány, Zoltán Bozóki, Árpád Mohácsi, Árpád Bordás, Attila Machon, Zoltán Istenes, Balázs Grosz András Zénó Gyöngyösi and Attila Eredics: Micrometeorological Measurements in the EU FP6 NitroEurope Program – Role of ELTE, Department of Meteorology	174
András Zénó Gyöngyösi, Karolina André, András Horányi, Máté Mile, Gabriella Szépszó, Péter Tasnádi and Tamás Weidinger: Numerical Meteorological Model Integration at the Department of Meteorology of Eötvös Loránd University	177
Fanni Dóra Kelemen, Judit Bartholy and Rita Pongrácz: Climatological analysis of the Cyclones in the Mediterranean Region Based on Reanalysis Data	184
Katalin Somfalvi-Tóth: Pocket Encyclopedia (173)..(185)..	187
Ákos Németh: News of the Hungarian Meteorological Society (143)..(152)..	188
Andrea Rajhonáné Nagy: Weather of Autumn 2012	189
János Térey: The young summer (a poem)	191

MIKROMETEOROLÓGIAI MÉRÉSEK AZ ELTE METEOROLÓGIAI TANSZÉKÉN

MICROMETEOROLOGICAL MEASUREMENTS AT THE DEPARTMENT OF METEOROLOGY OF ELTE

Weidinger Tamás

ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.
weidi@caesar.elte.hu

Összefoglalás: Az ELTE Meteorológiai Tanszék 1945-ös alapításától jelen vannak a meteorológiai mérések és megfigyelések. A kezdetektől fogva kiemelkedő szerepe van a mikro- és az agrometeorológiának. A cikkben a hazai mikrometeorológiai mérések áttekintése után megismerkedünk a Tanszék mérési programjaival az Erdőhátpusztai Mikroklímakutató Állomástól a mai – hazai és nemzetközi együttműködésben folyó – kutatásokig.

Abstract: Measurements, agro- and micrometeorological investigations have been playing an important role at the Department of Meteorology from its establishment in 1945 up to now. After a short overview of the history of the Hungarian micrometeorological research, the main goals of the measurement programs of the Department are presented from the start (Microclimatological Observatory in Erdőhátpuszta) to the present (wide range of national and international collaborations).

Bevezetés. A meteorológia mérésekre alapozó tudomány, amely a Föld-légkör rendszer folyamatait egységes szerkezetben vizsgálja. A föld- és űrbázisú meteorológiai alrendszer elemei a szinoptikus állomásoktól az óceáni bójákon és a repülőgépes méréseken át a kvázipoláris és a geoszinkron műholdakig szolgáltatnak adatokat a háromdimenziós (3D) légkör szerkezetéről meteorológiai, klimatológiai és levegőkörnyezeti feladatokhoz (Trenberth, 2010). A rendszeres állomási mérések mellett kitüntetett szerepe van a műszer- és mérőrendszer fejlesztésnek, a mikrometeorológiai, agrometeorológiai és városklimatológiai méréseknek, amelyeknek nagy hagyományai vannak az ELTE Meteorológiai Tanszékén is. A felszínközeli réteg folyamatainak a megértéséhez i) a meteorológiai állapotváltozók, illetve ii) a légköri nyomanyagok koncentráció adatain kívül fontos iii) a talajbioszféra-légkör kicserélődési folyamatainak leírása, a különböző tulajdonságok (impulzus, energia, anyag) áramának (egységnyi felületen időegység alatt átáramló mennyiség) meghatározása.

Hazai mikrometeorológiai mérések – történeti áttekintés. A hazai mikrometeorológiai mérések – nemzetközi együttműködésekbe ágyazódva – nagy hagyományokkal rendelkeznek. A kezdetek az Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet Ó-gyallai Observatóriumáig nyúlnak vissza (Konkoly-Thege, 1909). Az 1920-as 30-as években Marczell György, Bacsó Nándor, Zólyomi Bálint mikrometeorológiai kutatásait kell megemlíteni (Weidinger, 1988). Az elméleti igényű hazai tankönyvek közül kiemelkedik Száva-Kováts és Berényi (1948); Berényi (1967); Anda és Burucs (1997); Szász és Tőkei (1997); Anda és Dunkel (2000); Rajkai et al. (2004) és Ács (2008) munkája. A kísérleti mikrometeorológia elsősorban agrometeorológiai obszervatóriumokhoz kapcsolódott. Hangsúlyos szerepet kapott a felszín energiamérlege, a párolgás becslése és a meteorológiai állapotváltozók profiljainak a meghatározása.

Az Erdőhátpusztai Mikroklímakutató Állomás – amely az ELTE Meteorológiai Tanszékhez tartozott – az 1970-es évek közepéig működött Száva Kováts József, majd Dobosi Zoltán és Erdős László irányításával.

A Debreceni Egyetem Agrometeorológiai Observatóriuma a XIX. századig visszanyúló hagyományokkal rendelkezik (vezetője Szász Gábor professzor úr), de a síkfőkúti erdei mérőállomás is több mint 40 éves múlttal rendelkezik (Szegedi, 2008). A Pannon Egyetem Keszthelyi Agrometeorológiai Observatóriumában 1972-ben indultak a mérések, ennek vezetője Prof. Anda Angéla. Meg kell említeni a Szarvasi Agrometeorológiai Observatóriumot (korábban az OMSZ, jelenleg a Tessedik Sámuel Egyetemi Központ kezelésében), a soproni Erdészeti Kar (NyME) kísérleti állomását a Soproni-hegyvidéken, vagy a növénytermesztéshez kapcsolódó mosonmagyaróvári agrometeorológiai kutatásokat. A Paksi Atomerőmű 120 m-es mérőtornyán az 1980-as évektől folynak szél-, hőmérséklet- és nedvességprofil mérések (Weidinger et al., 2010b).

A Szegedi Egyetem Éghajlati Tanszéken Prof. Wagner Richárd indította el a mikrometeorológiai méréseket még az 1950-es években (pl. rizs-állomány felett). A karszt felszín feletti mikroklíma mérések Prof. Bárányné Kevei Ilona nevéhez fűződnek. A városklíma kutatásokat Péczely György professzor úr alapozta meg. Ezt az iskolát viszi tovább Makra László és Unger János, a Szegedi Tudományegyetem Éghajlati és Tájföldrajzi Tanszék vezetője (Kiss et al., 2006; Unger, 2010; Weidinger et al., 2010a).

A mikrometeorológia és az ökológia számos ponton kapcsolódik egymáshoz (Bacsó és Zólyomi, 1934). A i) felszín-bioszféra-légkör kölcsönhatások tanulmányozása, ii) a légköri anyagmérlegek (pl. víz, szén, nitrogén, kén) elemzése, iii) az üvegházhatású gázok kibocsátása, iv) a fenntartható mezőgazdaság (optimális táj és ökoszisztéma stratégiák) kialakítása az elmúlt negyed században



1. ábra: Mikrometeorológiai mérések a Martonvásári Meteorológiai Obszervatóriumban. Szélesség, hőmérséklet és nedvesség profilmérések hagyományos műszerekkel (felül), Erdős László kísérletvezető talajmintát vesz (alul).

vált egyre fontosabbá. E témakörök vizsgálata integrált mérési és modellezési munkát követel. Mára létrejött a hazai Ökológiai Kutatóállomások Hálózata, ami a Nemzeti Kutatási Infrastruktúra Regiszter (a Nemzeti Innovációs Hivatal által koordinált program, <https://regiszter.nekifut.hu/>) részét képezi. Hasonló hazai hálózatban működnek az ökológiai bázisterületek is. Mindkét kutatásnak vannak mikrometeorológiai vonatkozásai.

Mikrometeorológiai mérések a Meteorológiai Tanszéken: kezdetektől az Erdőhátpusztai Mikroklímakutató Állomás működéséig. Az agrometeorológiai és így a mikrometeorológiai mérések elindítása Száva-Kováts József professzor úrhoz kötődik. Érdekességként megemlítjük, hogy a paradicsom-állományok mikroklíma módosításával

kapcsolatban (takarás, felszíni albedó változtatása) a budapesti, egyetemi Botanikus Kertben végzett vizsgálatokat már 1947–48-ban (Frenyó, 1951). Az energiamérleg meghatározásáról, a mikrometeorológiai mérések fontosságáról az alábbiakat írta az Időjárás hasábjain (Száva-Kováts, 1948): „Egy önállóan gazdálkodó légtér hőforgalma a világtér és a talaj hőháztartásába van beépítve. ... első helyen kell említenünk a légkörbe és a felszínbe behatoló és onnan távozó energiaáram irányváltozásainak és átalakulásainak pontos megismerését. Ezzel nemcsak új összefüggések felbecsülhetetlenül gazdag kincsesára fog felnyílni számunkra, hanem régóta eredménytelenül vizsgált jelenségek megoldásának lehetősége is. Ilyen például a pontos meghatározás elől eddig mindig kisiklott párolgás problémája.”

A rendszeres mérések az Erdőhátpusztai Mikroklímakutató Állomáson (később Martonvásári Meteorológiai Obszervatórium) kezdődtek. Az obszervatórium az 1950-es évek elejétől 1979-ig működött. A tudományos munka az anyagi támogatás csökkenésével fokozatosan megszűnt. A cikk írójának már csak az a feladat maradt, hogy elvégezze az obszervatórium eszközeinek leltárba vételét az 1980-as évek közepén. Gazdag műszerállomány volt, persze akkor még az adatrögzítést hatszínirő berendezések végezték. Az ELTE évkönyveiben 1965-től a Meteorológiai Tanszékhez tartozó önálló egységként jelent meg. Kezdetben mikrometeorológiai méréseket végeztek (pl. lejtők sugárháztartása), ami agrometeorológiai vizsgálatokkal egészült ki (Rákóczi, 1995). Nagy hangsúlyt helyeztek a csupasz és a művelt talajok hő- és víz-háztartására (1. ábra). 1960-as évek elején indultak a liziméteres mérések, de hosszú talajnedvességi adatsorokkal is rendelkezett az obszervatórium. Ezeket a kutatásokat Erdős László tanár úr irányította. A tudományos eredmények között szerepel 3 kandidátusi értekezés és többek között 16. Időjárás cikk (1. táblázat). A kutatások szoros együttműködésben folytak az OMSZ Martonvásári Agrometeorológiai Obszervatóriumával ahol Pletser János munkáját kell kiemelnünk. A Schenk, illetve a LiCor gyártmányú sugázmérők a mai napig működőképesek. Az obszervatórium tevékenysége, majd megszűnése máig ható tanulsággal szolgált: szükség van a meteorológiai oktatásban és kutatásban a korszerű műszerekre és a mérésekre, de nem vállalkozhatunk erőnket meghaladó fejlesztésekre, olyan beszerzésekre, amelyeknek a fenntartása hosszú távon nem garantált.

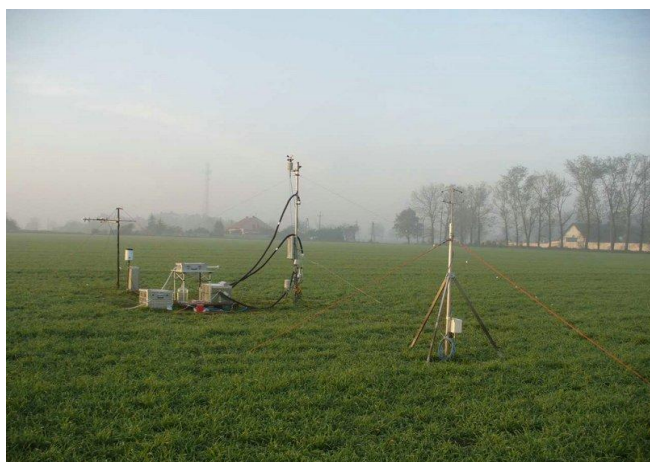
Az önálló obszervatórium helyett az együttműködés, az új mérési eszközök meghonosítása, illetve a felszíni energiaháztartás és a nyomanyag fluxusok meghatározására szolgáló mérő- és adatfeldolgozó rendszerek fejlesztésére helyeződött a hangsúly.

I. táblázat: A Martonvásári Meteorológiai Observatórium az *Időjárás* című folyóiratban megjelent publikációk tükrében.

Szerző	Év	Cím
Felméry László	1955	Kísérlet természetes felszínek párolgásának meghatározására
Dobosi Zoltán	1955	Mikroklimatikus sugárzásmérések fehér-fekete gömbű inszolációs hőmérővel
Dobosi Zoltán	1956	A függőleges hőáram szerepe a léghőmérséklet napi menetének kialakításában
Dobosi Zoltán	1956	Kritérium a függő mikroklíma jelenlétének megállapításához
Dobosi Zoltán	1957	Vizsgálatok egy hazai talajfelszín sugárzási mérlegéről
Dobosi Zoltán	1959	A mikroadvekciónak jelentősége a talajközeli légterben
Dobosi Zoltán	1960	Vizsgálatok a talajközeli légréteg szélsőséges hőmérsékletéről
Erdős László és Papp Béla	1961	A felszíni lefolyás műszeres mérése
Felméry László	1963	Adatok a talajközeli légrétegek nedvességi viszonyaihoz
Erdős László	1964	A csupasz talaj párolgásának mérése liziméterrel
Erdős László	1966	A párolgási képesség mérése
Erdős László	1966	A potenciális párolgás különböző nedves felszínek felett
Erdős László	1967	A potenciális párolgás mérésének főbb hibaforrásai
Erdős László és Huynh Nguyen Lai	1974	A kukorica természetes és potenciális evapotranspirációja
Felméry László	1974	A fotoszintézisben aktív sugárzás mennyisége a tenyészidőszakban

Új mérési programok, együttműködések az 1990-es években. Az 1990-es évek elején indult a felsőoktatási infrastruktúra és műszerfejlesztés hazai és világbanki források bevonásával. A tanszék célja a mikrometeorológiai műszerfejlesztés volt. Az OMSZ-szal együttműködve az általuk beszerzett Campbell gyártmányú Bowen-arány mérő és a GILL szónikus anemométer mellé (21 Hz felbontás) a latens hőáram mérésére szolgáló KH-20 Krypton Hygrométert, sugárzásegyenleg-mérőt, illetve szél- hőmérséklet és nedvesség profil mérésére szolgáló Vaisala műszereket szereztünk be. Fejlesztettük az adatgyűjtő és az adattároló rendszerünket is. *Horváth László* vezetésével, az OMSZ az ERTI (Erdészeti Tudományos Intézet) és az

ELTE együttműködésében 1991-ben indultak és 1998-ig tartottak az alacsony és magas vegetáció feletti energiaháztartási és nyomanyag (O_3 , SO_2 , NO , NO_x) áram mérések. A cél az ülepedési sebesség évszakos változásainak meghatározása volt. 4 mérési expedíciót szerveztünk a Hortobágyon (Nagyiváni puszta), 5 mérési kampányt pedig az ERTI nyírjesi bázis területén (Mátra), fenyőállomány felett (*Horváth et al.*, 1996, 2003). Az egyetemi műszerfejlesztési pályázatnak köszönhetően kapcsolódtunk be 1993-ban a hegyhátsági hosszú távú szénmérleg mérésekbe a 117 m-es TV tornyon folyó CO_2 profilmérésekre szolgáló LiCor műszerrel, a 4 Hz-es Gill szónikus anemométerrel, a talajhőmérséklet, hőáram és sugárzási mérésekkel (*Haszpra et*



2. ábra: Mikrometeorológiai mérés (Turew, Lengyelország 2008) EU FP6 NitroEurope program SzE Optikai és Kvantumelektronikai Tsz. Fotoakusztikus Kut.cso. Metek USA-1 szónikus anemométer, középen gradien oszlop szegedi fotoakusztikus ammóniamérő, sugárzásmérők (Pogány et al., 2010).



3. ábra: A várhegy alagút szellőzésének mérése levegőminőségi vizsgálatokhoz, 1999 (Salma Imre felvétele).

al., 1996). A cikk szerzője a 2000-es évek elejéig vett részt a munkában (Haszpra et al., 2001). A folyamatos módszerfejlesztésért és adatfeldolgozásért tanszéki kollégáinké, Barcza Zoltáné az érdem (Barcza, 2001; Barcza et al., 2009, Haszpra, 2011).

Mikrometeorológiai „expedíciós” mérések. A hallgatók bevonásával végzett expedíciós méréseknek szintén régi hagyománya van a Meteorológiai Tanszéken. Az 1960-as években Felméry László vezetésével tanulmányozták a Bakony éghajlatát (Felméry et al., 1971). Mérték többek között a Koloska-völgy (Balatonfüred mellett) mikrometeorológiai sajátosságait, áramlási képét. Az 1980-as években az OMSZ állomások látogatása, a Siófoki Viharjelző Observatórium és a Szarvasi Agrometeorológiai Observatórium munkájának a megismerése jelentette a meteorológiai nyári gyakorlatot. Az 1990-es évektől – a régi tanszéki műszerekre alapozva – létrejött egy folyamatosan fejlődő expedíciós mérésekre (beltéri és terepi) alkalmas műszerpark, ami mára magába foglalja a sugárzási és energiaháztartási méréseket, a CO₂/H₂O talajfluxus meghatározását, az ózon fluxus, illetve az ammónia gradiens méréseket. Nagy utat tettünk meg a kézi műszerek leolvasásától a Campbell gyártmányú adatgyűjtőkig (CR10, 21X, 23X, CR1000), a terepi mikroszámítógépek alkalmazásáig és fejlesztéséig együttműködve az ELTE Informatikai Karán Istenes Zoltánnal és az egi Nagy Józseffel (EWS Bt.), aki meteorológiai mű-

szereket és adatgyűjtőket is gyárt. 1994-ben a svédországi Uppsala mellett vettünk részt a NOPEX mérési programban nagyrészt saját műszereinkkel (Weidinger et al., 1999), illetve a kiskunsági homokdűnék felett mértük az 1999-es napfogyatkozás meteorológiai jellemzőit a berlini Frei Universitát hallgatóival a nyári terepgyakorlaton (Foken et al., 2001; Weidinger et al., 2001).

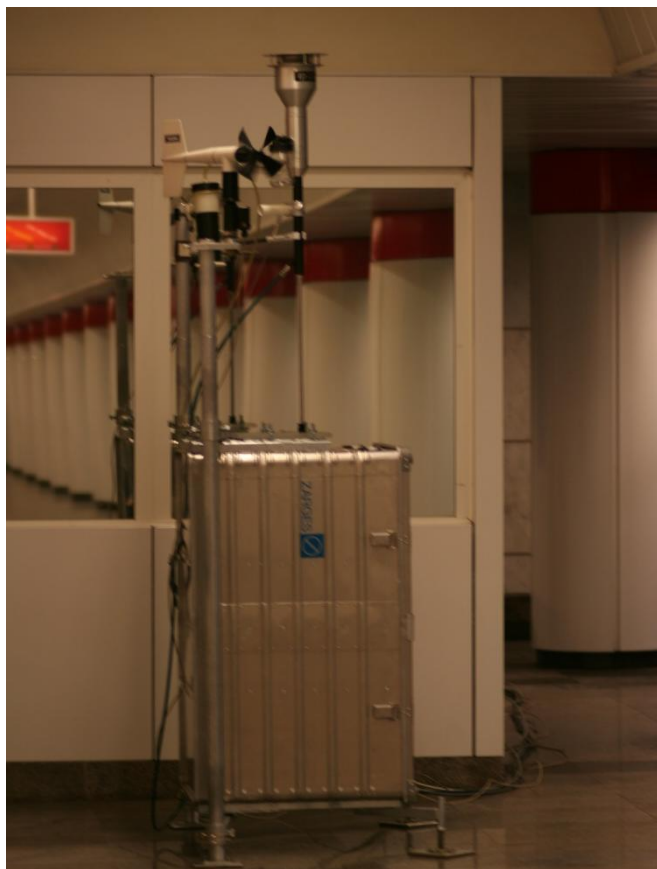
Az EU FP4 GRAMINAE program keretében (hazai támavezető Horváth László, OMSZ) Braunschweigben (Németország) mértük az ammónia és az ózon turbulens áramát a 2000-es év kora nyarán (Mészáros et al., 2009). Végeztünk méréseket vízfelszín felett is Kelemenszéken a Kiskunsági Nemzeti Parkban. Ebben az esetben az energiamérleg komponensek meghatározására és a párolgás számítására koncentráltunk (Weidinger et al., 2009).

Az EU FP6 NitroEurope program keretében 2008-ban Lengyelországban (Turew, Poznantól 30 km-re), 2009-ben pedig a dániai Aarhus mellett (Bjerringbro) folytatunk energiaháztartási és ammónia fluxus méréseket a Szegedi Tudományegyetem és a Nyugat-magyarországi Egyetem munkatársaival együttműködve (Weidinger et al., 2012). Számos mérést végeztünk a zárt terek mikroklímájával kapcsolatban is az elmúlt két évtizedben. Emlékeztetek az aggteleki karszton a hallgatókkal végzett mikroklímamérések (Fehér et al., 1999; Pintér és Tarczay, 2000), a Cserszegtomaji kútbarlangban, a Baradla barlangban, illetve a budapesti Szemlőhegyi barlangban (Fehér et al., 1999; Mika és Mészáros, 1999), vagy a váci fehérek templomában végzett kutatások. Ez utóbbi esetben azt vizsgáltuk, hogy milyen mikroklimatikus hatások járulhattak hozzá a mumifikálódáshoz (Bartholy et al., 1995). Részt vettünk az ELTE Természetföldrajzi Tanszéken kialakított esőztető berendezés üzembe helyezésében is. Egy 0,5 x 1 m-es karszt talaj monoliton vizsgáltuk a beszivárgás és a lefolyás arányát a lejtőszög és a csapadékintenzitás függvényében. A vízcseppek egy mozgó „tálcáról” hullanak alá 9 m magasból (Zámbó és Weidinger, 2006). Érdekes volt a Várhegy Alagút levegőminőségének a mérése is az 1990-es és a 2000-es években (3. ábra).

A Tanszék a meteorológiai mérési hátteret biztosította. A levegőkémiai méréseket Haszpra László (OMSZ), illetve Salma Imre (ELTE Kémiai Intézet) végezte (Haszpra, 1994; Haszpra et al., 1998; Salma et al., 2000).

Speciális kérdéseket vetett fel a metró levegőminőségének a meghatározása is. Itt az aeroszol részecskék összetétele mellett azt vizsgáltuk, hogy a szerelvények áthaladása során hogyan változik a koncentráció. Az Astoria állomáson elhelyezett részecske detektort (TEOM) és a Young-féle szélmonitort a 4. ábra szemlélteti. A metró levegőjét összehasonlítva más európai nagyvárosok metróival nincs szégyenkezni valónk (Kovács et al., 2007; Salma et al., 2007).

2000-es évek: Új fejlesztések, EU-s kutatási programok. A meteorológiai mérési és a szorosan hozzákapcsolódó modellezési tevékenységet négy nagy téma terület köré csoportosíthatjuk az ELTE Meteorológiai Tanszéken.



4 ábra: Az aeroszol koncentráció gyors (20 s-os) mérésére szolgáló műszer a Young-féle szélmonitonnal a metró Astoria állomásán (TEOM -Tapered Element Oscillating Microbalance: kúpos elemű oszcilláló mikromérleg, Salma Imre felvétele).

1) *Folyamatos mérések az egyetemen: városklíma állomás és műholdvevő berendezés:* az ELTE TTK légymányosi épületének átadása után, 1999-ben indult a Vaisala QLC50 automata mérőállomás, aminek az elhelyezését, műszerezettségét az OMSZ szakembereivel közösen alakítottuk ki a mérőkertben, illetve a 43 m magas épület tetején. (<http://nimbus.elte.hu/klima/allomas/index.html>, 2002.) A telepítéssel kapcsolatos előkészítési feladatokat Bartholy Judit és a cikk szerzője végezte (Bartholy és Weidinger, 1999). Az állomás folyamatos működtetésével kapcsolatos feladatokat Mészáros Róbert, Kern Anikó és Kovács Richárd látja el. Ezúton is köszönet illeti az OMSZ munkatársait (Nagy Józsefet és Nagy Zoltánt) a folyamatos karbantartásért, a minőségbiztosított adatokért.

2002-től működik az ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézetében a műholdvevő állomás, amely alkalmas a TERRA és AQUA erőforráskutató műholdak 250 méter felszíni felbontású MODIS képeinek vételére is. Nemcsak hazánkban, de régiókban is ez az egyetlen ilyen kapacitású vevő, a legközelebbi hasonló állomás Berlinben üzemel. (<http://sas2.elte.hu/allomas.htm>). A Tanszéken a városi hősziget detektálására, a kihullható víztartalom számítására, profilszámításokra és az úrfelvételek meteorológiai célú kiértékelésére használják a méréseket, de alkalmazzák meteorológiai modellek inicializációjában is. (<http://nimbus.elte.hu/kutatas/sat/dbcras.html>)

E kutatásokban Bartholy Judit, Barcza Zoltán, Soósné Dezső Zsuzsa, Kern Anikó, Kovács Richárd és Pongrácz Rita vesznek részt hallgatók bevonásával (Kern et al., 2005; Soósné Dezső Zs. et al., 2012, a jelen számban).

2) *Energiaháztartási és üvegházhatású gázok koncentráció és fluxus-mérései, szénmérleg-számítások:* ez a mérési és modellezési munka a hegyhátsági TV-tornyon folyó mérésekre alapul. A tanszéki kutatások irányítója Barcza Zoltán. A vizsgálatok hazai és nemzetközi együttműködésben folynak. A támogatások közül kiemelkedik az OMFB műszerfejlesztése, az OTKA és az EU FP6 CarboEurope programja. (Bővebben lásd Barcza et al. (2012) cikkét a Léggör jelen számában.)

3) Egyre hangsúlyosabb szerepet kap a *különböző skálájú terjedési modellek* futtatása is. E terület egyik meghatározó tanszéki munkatársa Mészáros Róbert (Vincze et al., 2006; Mészáros et al., 2012a, Mészáros et al., 2012b). A Paksi Atomerőmű számára kifejlesztett terjedési modell meteorológiai ellenőrzéséhez a paksi toronymérések mellett egy nemrég (2010) beszerzett mobil meteorológiai állomás adatait is felhasználják.

4) *Energiaháztartási és nyomanyag fluxus mérések, terepi mérőrendszer fejlesztése:* Az elmúlt közel két évtizedes műszerfejlesztés és az OMSZ, illetve az ERTI szakembereivel, Horváth Lászlóval és Führer Ernővel kialakított együttműködésnek köszönhetően kapcsolódtunk be az 1990-es évek végén az európai kutatási együttműködésekbe.

• EU FP4 GRAMINAE, 1999–2002, Püspökladány – ammónia üledék számítása (a mérőhelyet lásd Mészáros Róbert cikkében Léggör 2012. évf. 3 sz.)

- EU FP5 GreenGrass, 2002–2005, Bugacpuszta – energiaháztartás és szénmérleg,
- EU FP6 NitroEurope, 2006–2011, Bugacpuszta – energiaháztartási és nitrogén mérleg komponensek mérése (részletesebben lásd Weidinger et al. cikkét a Léggör jelen számában),
- EU FP7 ÉCLAIRE, 2011–2015, Bugacpuszta – energiaháztartási és nyomanyag (elsősorban CO₂, O₃, NO, NO_x) fluxus mérése és modellezése.

A programok több intézet együttműködésében valósultak meg.

Összefoglaló megjegyzések. A cikk áttekintést adott az ELTE Meteorológiai Tanszékén folyó műszeres megfigyelésekről. A munkához biztos alapokat és máig ható tanulságokat szolgáltatott az Erdőhátpusztai Mikroklimakutató Állomás. Felhívta a figyelmet a mérési együttműködések fontosságára, a mikrometeorológiai mérőpark fejlesztésére. A cél az elmúlt 15–20 év fejlesztési eredményeinek megőrzése, a mérőrendszerek működőképességének fenntartása, a kutatás élvonalába tartozó további műszerek beszerzése (pl. nyomanyag árammérés).

Köszönetnyilvánítás

Ezúton mondunk köszönetet dr. Horváth Lászlónak, dr. Haszpra Lászlónak és Nagy Zoltánnak, az OMSZ munkatársainak a közel negyed százados mérési és kutatási együttműködésért. Sok hasznos tapasztalattal járt a Szent István Egyetemen való közös munka is. Köszönet illeti dr. Kiss Ádám és dr. Salma Imre professzor urat, továbbá dr. Horváth Ákos és dr. Istenes Zoltán egyetemi docentot a több mint egy évtizedes műszerfejlesztési és mérési együttműködésért. A külföldi kollégák közül különösen Prof. Thomas Fokennek (Bayreuthi Egyetem) Prof. Mark Suttonnak (CEH Edinburgh), Prof. Sven Halldinnak (Uppsalai Egyetem) és dr. Joseph Pintonak (US EPA) mond köszönetet a cikk szerzője.

A munka a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR kutatóegyetemi projekt és a COST ES0804 támogatásával készült.

Irodalom

- Ács F., 2008: A talaj-növény-léggör rendszer meteorológiai alkalmazású modellezése. Alkalmazások a tudományban és az oktatásban. *ELTE Eötvös Kiadó*, Budapest, 249 oldal.
- Anda A. és Burucs, Z., 1997: A növény és víz kapcsolata a talaj-növény-léggör rendszerben. *PATE GMK Nyomdája, Keszthely*, 141 oldal.
- Anda A. és Dunkel Z., 2000: Agrometeorológia. *PATE Nyomdája, Keszthely*.
- Bacsó N. és Zólyomi, B., 1934: Mikroklima és növényzet a Bükkfennsíkon. *Időjárás* 38, 9–10. szám.
- Barcza, Z., 2001: Long term atmosphere/biosphere exchange of CO₂ in Hungary. *PhD Thesis*, Budapest, Department of Meteorology Eötvös Loránd University, 115 pp.
- Barcza, Z., Kern, A., Haszpra, L., and Kljun, N., 2009. Spatial representativeness of tall tower eddy covariance measurements using remote sensing and footprint analysis. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 795–807.

- Barcza Z., Haszpra L., Hidy D., Gelybó Gy. és Dobor L., 2012: A légkör és a bioszféra közötti szén-dioxid csere vizsgálata. *Légkör*, jelen lapszámában.
- Bartholy J., Mészáros R., Weidinger T. és Barcza Z., 1995: Mitől mumifikálódtak a váci kriptába temetett holttestek? *Légkör* XL(2), 28–33.
- Bartholy, J. és Weidinger T., 1999: Városklíma-, szélenergetikai és mikrometeorológiai mérési programok az ELTE Meteorológiai Tanszékén. *Városklíma és levegőkörnyezet: új városklíma-állomás az ELTE-n, Szimpózium a Magyar Tudomány Napja rendezvénysorozat, Budapest, 1999. november 4.*
- Berényi, D.: 1967: Mikroklimatologie. *Stuttgart, Gustav Fischer Verlag*, 328 p.
- Fehér, K., Hakl, J., Janata, K., Bognár, Cs., Nagy, F. and Weidinger, T., 1999: Cave-human interactions in two Hungarian caves. *Essays in the ecology and conservation of karst (Edited by Bárányi-Kevei, I. and Gunn, J.), International Geographical Union, Commission Sustainable Development and Management of Karst Terrains, Szeged, Budapest, Miskolc*, 112–117.
- Felméry, L., Péczely, Gy. and Ruthner-Zách, M., 1971: Tanulmány a Bakony éghajlatáról. *ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest*.
- Foken, Th., Wichura, B., Klemm, O., Gerchau, J., Winterhalter, M. and Weidinger, T., 2001: Micrometeorological conditions during the total solar eclipse of August 11, 1999. *Meteorol. Zeitschrift* 10, 171–178.
- Frenyó, V., 1951: A mikroklima növényélettani vonatkozásai. *Időjárás* 55, 3–4. szám, 72–78.
- Haszpra, L., 1994: Egy nap az Alagútban. *Légkör* 39, 1, 18–21.
- Haszpra, L., Barcza Z. és Weidinger T., 1996: Mérőrendszer a bioszféra és a légkör közötti szén-dioxid csere vizsgálatára. *Légkör* XLI (2), 10–13.
- Haszpra, L., Szigeti, A., Szilágyi, I., Fábri, Á. and Weidinger, T., 1998: Roadway-tunnel experiment for the determination of the characteristic emission of the Hungarian car-fleet. *Proceedings of 11th World Clean Air and Environment Congress, Duran, South Africa, 13–18. September 1998.*
- Haszpra, L., Barcza, Z., Bakwin, P.S., Berger, B.W., Davies, K.J. and Weidinger, T., 2001: Measuring system for the long-term monitoring of biosphere/atmosphere exchange of carbon dioxide. *J. Geophys. Res.* 106D, 3057–3070.
- Haszpra, L., (ed.), 2011: Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective. 1st Edition., *Springer Verlag*, 393 p.
- Horváth, L., Weidinger, T., Nagy, Z. and Führer, E., 1996: Measurement of dry deposition velocity of ozone, sulfur dioxide and nitrogen oxides above pine forest and low vegetation in different seasons by the gradient method. *In: Biosphere-Atmosphere Exchange of Pollutants and Trace Substances, (Edited by Slanina, J.), Springer, Heidelberg, Vol. 4.*
- Horváth, L., Pinto, J. and Weidinger, T., 2003: Estimate of the dry deposition of atmospheric nitrogen and sulfur species to spruce forest. *Időjárás* 107, 249–255.
- Kern, A., Bartholy J. és Pongrácz R., 2005: Az ELTE Környezetfizikai Tanszékcsoport műholdvevő állomása. *Légkör* 50, 1. szám 18–20.
- Kiss, A., Mezősi G. és Sümeghy Z., 2006 (szerkesztők): Táj, környezet és társadalom. Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárányi Ilona professzor asszony tiszteletére, *Szeged*, 785 oldal.
- Konkoly-Thege, M. 1909: Kísérletek a hőmérő felállítások tökéletesítésére. *Magyar Királyi Országos Meteorológiai és Földmágnességügyi Intézet Kiadványa* 8.
- Kovács A., Ocskay R., Weidinger T. és Salma I., 2007: Egy nap a budapesti metróban. *Természet Világa, Természettudományi Közlöny* 138, 10. füzet, 449–452.
- Mészáros, R., Horváth, L., Weidinger, T., Neftel, A., Nemitz, E., Dämmgen, U., Cellier, P. and Loubet, B., 2009: Measurement and modelling ozone fluxes over a cut and fertilized grassland. *Biogeosciences* 6, 1987–1999.
- Mészáros, R., Lagzi I., Kolozsi-Komjáthy E., Leelőssy Á., Steierlein Á. és Nagy R., 2012a: Légköri terjedési és ülepedési modellek fejlesztése és alkalmazása. *Légkör*, jelen lapszámában.
- Mészáros, R., Leelőssy, Á., Vincze, Cs., Szűcs, M., Kovács. T. and Lagzi, I., 2012b: Estimation of the dispersion of an accidental release of radionuclides and toxic materials based on weather type classification. *Theor. Appl. Climatol.* 107, 375–387.
- Mika Á. és Mészáros R., 1999: Mikrometeorológiai mérések a Cserszegtomaji-kútbarlangban. *Légkör* XLIV, 7–11.
- Pintér K. és Tarczay K., (Gyakorlatvezető tanárok: Mészáros R., Pongrácz R. és Weidinger T.), 2000: Mikrometeorológiai mérési gyakorlat meteorológus hallgatóknak. A meteorológia alkalmazásai. *A Meteorológus TDK Nyári Iskolája. Balatonalmádi, 2000. szeptember 4-7, Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 13. (Szerk.: Pongrácz R., Weidinger T., Bartholy J. és Mészáros R.), *ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest*, 88–91.
- Pogány, A., Mohácsi, Á., Jones, S.K., Nemitz, E., Varga, A., Bozóki, Z., Galbács, Z., Weidinger, T., Horváth, L. and Szabó, G., 2010: Evaluation of a diode laser based photoacoustic instrument combined with preconcentration sampling for measuring surface-atmosphere exchange of ammonia with the aerodynamic gradient method. *Atmos. Environ.* 44, 1490–1496.
- Rajkai K., Szász G. és Huzsvai L. (szerk.), 2004: Agroökológiai modellek. *Egyetemi jegyzet, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar*, 230. oldal.
- Rákóczi, F., 1995: A meteorológia oktatása, Eötvös Loránd Tudományegyetem. Fejezetek a magyar meteorológia történetéből 1971–1995 (Szerkesztette: Simon A. és Tünczer T.), *Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest*, 403–408.
- Salma, I., Maenhaut, W., Weidinger, T., Záray, Gy. and Zemlén-Papp, É., 2000: Elemental size distributions in the urban atmospheric aerosol. *J. Aerosol Sci.* 31, S747–S748.
- Salma, I., Weidinger, T. and Maenhaut, W., 2007: Time-resolved mass concentration, composition and sources of aerosol particles in a metropolitan underground railway station. *Atmos. Environ.* 41 (37), 8391–8405.
- Soósné Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R. és Lelovics E., 2011: Városi hősziget vizsgálatok műholdas és állomási adatok alapján. *Légkör*, jelen lapszámában.
- Szász G. és Tőkei L., (szerk.) 1997: Meteorológia mezőgazdák-nak, kertészeknek, erdészeknek. *Egyetemi tankönyv. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 722 oldal.
- Száva-Kovács J., 1948: A hőháztartási mérések jelentősége. *Időjárás* 52, 4–6. szám, 55–62.
- Száva-Kovács J. és Berényi D., 1948: A talajmenti légréteg éghajlata. Mikroklima és növényklíma. *Országos Meteorológiai és Földmágnességügyi Intézet*.
- Szegedi, S., 2008: History of the meteorological observations in Debrecen. *Acta Geographica Debrecina Landscape and Environment Series* 2(1), 1–5.
- Unger J., 2010: A városi hősziget-jelenség néhány aspektusa. *Disszertáció az MTA doktora cím megszerzéséhez, Szeged*, 107 oldal.
- Trenberth, K.E. (ed.), 2010: Climate System Modeling. *Cambridge Univ. Press*, 820 p.

- Vincze, Cs., Lagzi I. és Mészáros, R., 2006: Húsz éve történt a csernobili katasztrófa: baleseti kibocsátás modellezése. *Léggör* 51, 2. szám, 11–14.
- Weidinger, T., 1988: A talajközeli légréteg hazai kutatásának fejlődése. *Léggör* XXXIII (2), 19–22.
- Weidinger, T., Ács, F., Mészáros, R. and Barcza, Z., 1999: Energy budget components in a forest clearcut: analysis of measurement results. *Időjárás* 103, 145–160.
- Weidinger, T., Pintér, K., Hirsch, T. és Mészáros, R., 2001: Az időjárási helyzet és a meteorológiai elemek változása az 1999. augusztus 11-i magyarországi teljes napfogyatkozás során. *Állattani Közlemények* 86, 59–74.
- Weidinger, T., Simon, Sz., Mádlné Szőnyi, J., and Bordás, Á., 2009: Uncertainties in the estimation of a shallow lake water budget. *Environmental Health and Humanity Issues in Down Danubian Region: Multidisciplinary Approach* (Edited by Mihailovic, D.T. and Miloradov, M.), World Scientific, New York, London, Singapore, 265–276.
- Weidinger, T., Baranka, Gy., Makra, L. and Gyöngyösi, A.Z., 2010a: Urban air quality and road traffic air pollution modelling of Szeged. Urban transport and hybrid vehicles (ed. Soyly, S.) Published by Sciyo. ISBN 987/953-307-100-8, 60–102.
- Weidinger, T., Horváth, L., Nagy, Z. and Gyöngyösi, A.Z., 2010b: Long-term measurements of energy budget and trace gas fluxes between the atmosphere and different types of ecosystems in Hungary. Advances in environmental fluid mechanics (Mihailovic, D.T. and Gualtieri, C. Editors) Publisher: World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Beijing, Shanghai, Hong Kong, Taipei, Chennai, 185–208.
- Zámbó, L. és Weidinger, T., 2006: A karsztkorróziós talaj-hatás néhány tényezőjének vizsgálata esőszimulációs kísérletek alapján. *Táj, környezet és társadalom. Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére. Szeged, 757–765.*

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI NEWS OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SOCIETY

folytatás a 152. oldalról

November 27. Tatai-Szabó Miklós: A szél mindig fű? A szélenergia otthoni hasznosítási lehetőségei (a Szombathelyi Területi Csoport rendezvénye)

November 28. Fövényi Attila: Sandy: Egy hurrikán New Yorkban (a Róna Zsigmond Ifjúsági Kör rendezvénye)

December 4. Hamza István: Kenuval a Duna forrásától a torkolatáig (a Szombathelyi Területi Csoport rendezvénye)

December 11. Nagy Katalin: A Kis-Balaton csodálatos világa (a Szombathelyi Területi Csoport rendezvénye)

Az MMT **2012. december 11-én** tartotta meg szokásos év végi **közgyűlését**. A közgyűlésen szakmai előadást tartott **Weidinger Tamás** tagtársunk, aki 2012-ben kapta meg a Steiner Lajos Emlékérmét. Előadásának címe: A felszínközeli réteg turbulens kicserélődési folyamatai: mérés, modellezés, speciális alkalmazások. A szakmai előadást követően **Szentimrey Tamás** számolt be az Európai Meteorológiai Társaság (EMS) lodz-i üléséről. Őt követte **Dombai Ferenc** képes beszámolója az Ógyallán tett látogatásról.

A közgyűlés egyik legfontosabb napirendi pontja a Hille Alfréd Ifjúsági Pályadíj átadása volt. A pályázatra 9, magas színvonalú pályamű érkezett. A 2012-es díjazott **Leelőssy Ádám** lett, „Baleseti



Baksa Csaba az MFT és Dunkel Zoltán az MMT elnöke az együttműködési megállapodás aláírása után. 2012. július 3.

kibocsátásból származó szennyezőanyagok lokális skálájú terjedésének modellezése” című dolgozatával.

A közgyűlés ezt követően jóváhagyta a Nyíregyházi Területi Csoport megalakulását, ezzel vidéki csoportjaink száma ötre emelkedett. A Csoport elnöke **dr. Tar Károly**, Társaságunk társelnöke, titkára **dr. Dobány Zoltán**, a Nyíregyházi Főiskola docense lett.

A közgyűlés tisztségében megerősítette a Róna Zsigmond Ifjúsági Kör november 28-i ülésén megválasztott új titkárát, **Leelőssy Ádámot**.

A TALAJ SZEREPE A METEOROLÓGIÁBAN ÉS A KLIMATOLÓGIÁBAN

THE ROLE OF SOIL IN METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY

Ács Ferenc és Breuer Hajnalka

ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest Pázmány Péter sétány 1/A.
acs@caesar.elte.hu, breuer.hajni@gmail.com

Összefoglalás: A szerzők röviden ismertetik a talaj és a légkör közötti kapcsolatrendszerhez fűződő legfontosabb eredményeiket: az evapotranszpiráció és a talaj fizikai félesége közötti kapcsolatot, valamint a konvektív csapadék, a planetáris határreteg magassága és a különböző talaj adatbázisok közötti összefüggéseket.

Abstract: The authors have briefly presented their most important results referring to soil/atmosphere relationships. It is separately discussed the evapotranspiration/soil texture relationship as well as the sensitivity of convective precipitation and planetary boundary layer height to soil dataset use.

Bevezetés. A szerzők már évek, évtizedek óta a talaj és a növényzet meteorológiában és klimatológiában betöltött szerepével foglalkoznak. E témakör nemcsak a természettudományok, hanem a társadalomtudományok szempontjából is meghatározó fontosságú, elsősorban az ember és egyes kiválasztott növényeinek szimbiotikus kapcsolata miatt. E szimbiotikus kapcsolat következményeképpen a Föld arculata jelentős átalakulásban van, ez a „modern idők” (XXI. század) egyik legfontosabb jellemzője. A talaj és a növényzet elválaszthatatlan egységet alkotnak; nincs talaj növényzet nélkül, és fordítva, növényzet talaj nélkül. Így van ez a mi szakmánkban is a meteorológiai és/vagy klimatológiai szempontoktól (ezen túl röviden meteorológiai) függetlenül.

Szétválaszthatatlanságuk ellenére azonban különbözően működnek: a növényzet gyors, míg a talaj lassú rendszer a tulajdonságok (energia, tömeg, momentum) átvitele szempontjából. Az átviteli folyamatok jellegét illetően is markáns eltérések vannak. E folyamatok közül sok a növényzet önszabályozó képességétől is függ.

Szembesülve e különbségekkel a szakmai élet úgy hozta, hogy valamelyest többet foglalkoztunk a talaj/légkör, mintsem a növényzet/légkör kapcsolatrendszerének tanulmányozásával. Ezért úgy döntöttünk, hogy – bemutatásként – az előbbi kapcsolatrendszer kutatása során elért érdekesebb eredményeinket ismertetjük. Előtte azonban röviden foglalkozunk az alkalmazott módszerekkel és adatokkal. Írásunk végén pedig levonjuk a legfontosabb következtetéseket.

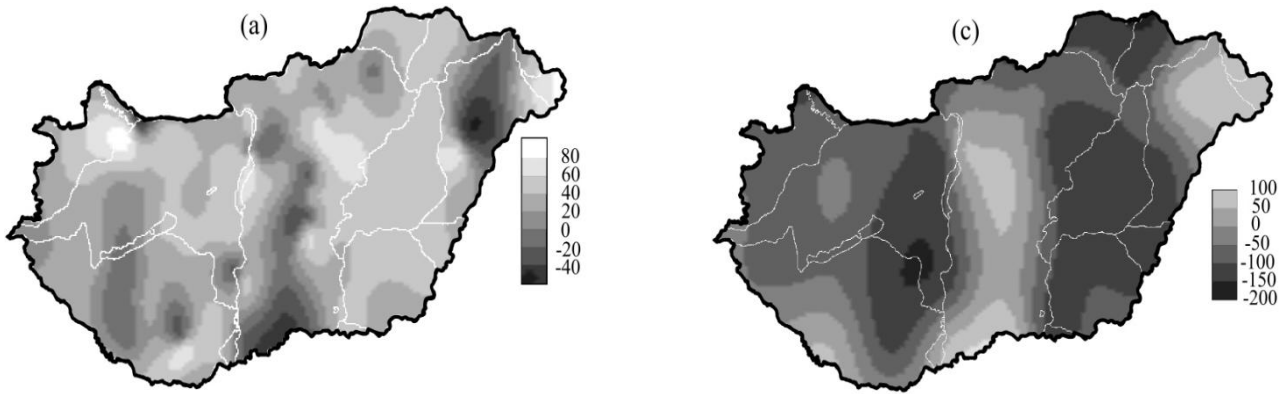
Anyag és módszer. Modellezői munkánkban mind egyszerű, mind összetett modelleket használtunk. Az egyszerű modelleket kizárólag off-line módon alkalmaztuk, vagyis a talajnedvesség előrejelzésére szolgáló modell (ezen túl röviden talaj-modell) és a légköri előrejelző modellt (ezen túl röviden légköri modell) nem csatoltuk egymáshoz. Ez azt jelenti, hogy a talaj-modell mért légköri határfeltételeket használt, míg az összetett modell-futtatások esetén mind off-, mind on-line módon futtat-

tuk. Ez utóbbi azt jelenti, hogy a talaj- és a légköri modellek csatoltak, így a talaj-modell szimulált légköri határfeltételeket használt a futtatások során.

Az egyszerű talaj-modellek közül a legegyszerűbbek egyike az ún. csöbör- vagy kanna modell. Mi a saját fejlesztésű ún. módosított Thornthwaite-féle modellt [M-BIO-TH (Modified **B**iophysical **T**hornthwaite model)] használtuk, melynek részletes leírása *Drucza és Ács* (2006), valamint *Ács et al.* (2007) tanulmányaiban található meg. Az összetett modellek közül az ún. Noah LSM (Land Surface Model) földfelszíni sémát használtuk az MM5 (Mesoscale Model **F**ifth Generation) mezoskálájú légköri modellhez csatoltan, azaz, az online-os vizsgálatokban. A Noah LSM részletesebb leírásával *Chen és Dudhia* (2001) munkájában találkozhatunk; a legfontosabb karakterisztikáinak bemutatása *Horváth et al.* (2007, 2009) cikkeiben is megtalálható.

Az M-BIO-TH modellt *Kakas* (1960) klíma és *Nemes* (2003) talaj-hidraulikai adatai segítségével futtattuk. Futtatásainkban a talaj fizikai féleségének területi eloszlását *Várallyay et al.* (1980) térképei alapján modelleztük. Az MM5 rendszer modell kezdeti és határfeltételeit az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast) reanalízis mezőiből vettük. Összehasonlító vizsgálatainkban az Egyesült Államok (ezen túl US) és Magyarország (ezen túl HU) talajainak hidraulikus paramétereit használtuk. E paraméter-értékek egyes fizikai féleségek, így pl. az agyag esetében, markánsan eltérnek. Ezen eltérések részletesebb ismertetése és elemzése *Ács et al.* (2010) munkájában található meg.

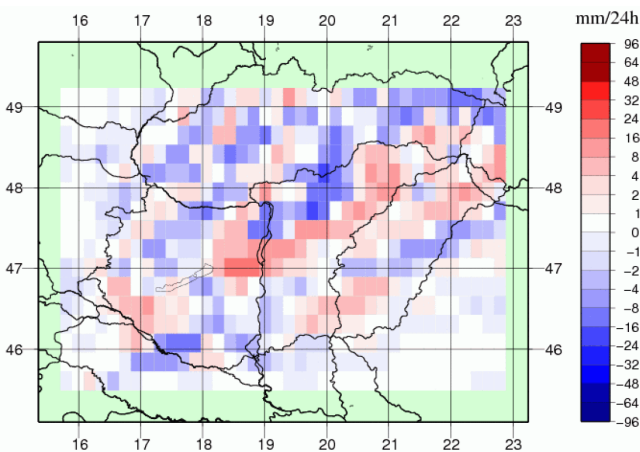
Eredmények. A meteorológiában a talaj fizikai tulajdonságai közül a talaj hidraulikus tulajdonságai a legfontosabbak. Ezeket leginkább a talaj fizikai félesége és a talaj-adatbázis jellemzői (a minták vételének helyszíne, ideje és módszertana, a mérés és a kiértékelés módszertana stb.) határozzák meg. Numerikus vizsgálataink egyes eredményeivel e két talajtényező légkörre gyakorolt hatását szemléltettük.



1. ábra: A területileg változó és állandó $[100 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}]$ hasznos vízkészlet esetén számított a) tényleges evapotranszpiráció $[\text{mm} \cdot \text{év}^{-1}]$ és b) szenzibilis hőáram $[\text{MJ m}^{-2} \cdot \text{év}^{-1}]$ évi értékeire vonatkozó különbségek területi eloszlása.

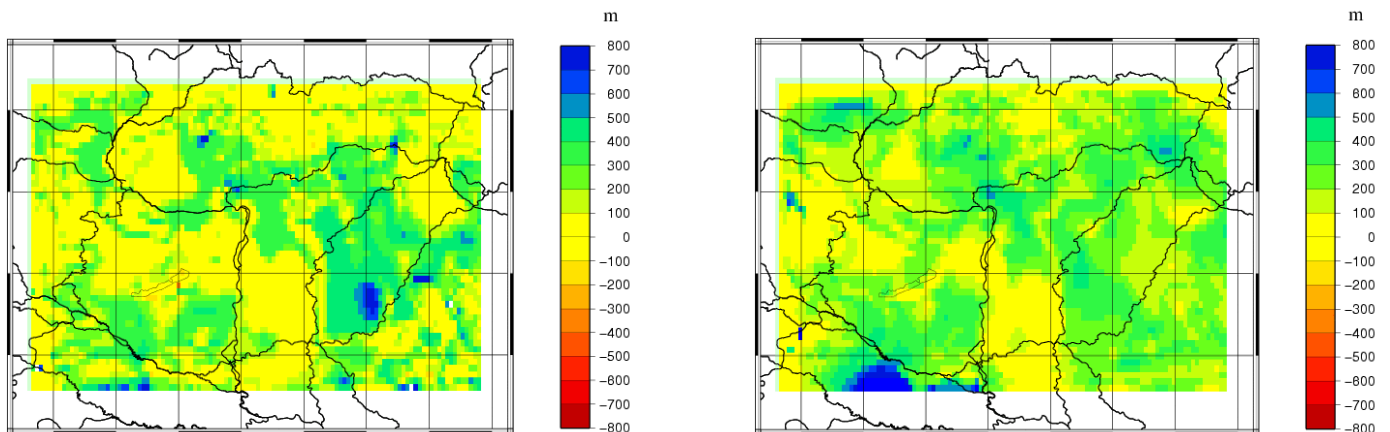
A talaj hasznos vízkészletének a felszín közeli turbulens áramok területi eloszlására és nagyságára gyakorolt hatását az 1. ábra szemlélteti. Mivel a hasznos vízkészlet $[a (\Theta_f - \Theta_w)$ különbség; Θ_f a szabadföldi vízkapacitáshoz tartozó vízkészlet $[\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}]$, Θ_w a hervadásponthoz tartozó vízkészlet $[\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}]$ függ a talaj fizikai féleségétől,

a talaj fizikai féleségének területi változásával a hasznos vízkészlet is területileg változik. Így, az kisebb, mint $100 [\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}]$ a homokos területeink (Somogy, Nyírség, Duna-Tisza köze) fölött, ugyanakkor nagyobb, mint $100 [\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}]$ az inkább agyagos talajú területeink (pl. Nagykunság) fölött. E jellegzetes eloszlás – az evapotranszpiráció és a szenzibilis hőáram területi eloszlásán keresztül – megfigyelhető az 1. ábrán is.



2. ábra: A HU- és az US-talaj paraméter-értékekkel számított konvektív csapadék napi összege különbségének területi eloszlása 2006. augusztus 1-jén.

A talajhatásokkal okozott felszín közeli turbulens áramok közötti különbségek időjárásbeli különbségeket is okozhatnak. Ezt meg is mutattuk az ún. konvektív típusú időjárási helyzetekben, amikor az adott térségben a konvekció folyamata a domináns időjárás-alakító jelenség. A hatás kimutatható nem csak a mély (Cb és konvektív csapadék képződés), hanem a sekély konvekció (többnyire derült időjárás Cu humilis-ek képződésével) esetében is. Ilyen eseteket szemléltet a 2. és a 3. ábra. Ezúttal a talajhatást az Egyesült Államokra és a Magyarországra vonatkozó talaj paraméter-értékek közötti különbségek jelentették. A mély konvekció esetében (2. ábra) a napi konvektív csapadékokat, míg a sekély konvekció esetében (3. ábra) a planetáris határreteg magasságát (PHR) vizsgáltuk. A PHR esetén két fizikai



3. ábra: A HU- és az US-talaj paraméter-értékekkel számított planetáris határreteg magasság-különbségek területi eloszlása a) az MRF és b) az Eta PBL határreteg almodellek alapján 2007. július 18-án.

parametizációra is elvégeztük a vizsgálatot. Az MRF (Medium Research Forecast) (Hong és Pan, 1996) sémben a K-elmélet alapján történik a turbulencia meghatározása, a PHR tetejét pedig a bulk Richardson szám alapján becsülik. A Eta PBL (Janjic, 1990, 1994) ezzel szemben vertikális szintenként a turbulens kinetikus energia számításának segítségével történik a turbulens átkeveredés meghatározása és a PHR tetejének becslése.

Mindkét esetben a különbségek markánsak. A csapadékbeli különbségek +20 és -20 mm/nap között változtak, ami az adott helyen a napi csapadék 50%-át is jelenthette. A kétféleképpen számított határreteg magasságok közötti különbségek egyes esetekben elérték a 400–500 m-t is. Az ilyen eltérések főleg az agyagos területek fölött jelentkeztek, ahol a legnagyobbak a paraméter-értékek közötti különbségek. Említsük meg azt is, a $PHR^{HU} - PHR^{US}$ különbségek mindig pozitívak. Ez annak köszönhető, hogy a HU-talajoknak az US-talajokénál nagyobb a hasznos vízkészletük, ezért a relatív vízkészletük (a tényleges és a hasznos vízkészlet aránya) kisebb lesz az US-talajokéhoz képest, s ennek eredményeképpen a HU-talajok feletti szenzibilis hőáram, s így a PHR is, nagyobb lesz, mint az US-talajok felett. Az ábráról láthatjuk azt is, hogy a PHR különbségek függnek a planetáris határreteg szimulálására szolgáló almodellektől is.

Konklúzió. E rövid áttekintésben csak a fizikai és biofizikai jellegű folyamatokkal (evapotranszpiráció, sekély és mély konvekció) foglalkoztunk. A biogeokémiai jellegű folyamatok (pl. üvegházhatású gázok kibocsátása) ismertetése ezúttal elmaradt, elsősorban terjedelmi okok miatt, habár érintőlegesen ezzel is foglalkoztunk (pl. Ács és Breuer, 2006). Meggyőződésünk szerint a biogeokémiai folyamatok jövőbeni tanulmányozása mindinkább nőni fog. Számunkra nyilvánvaló az is, hogy jövőben az off-line kísérletek helyett a csatolt (on-line) modellkísérletek kerülnek majd túlsúlyba. E váltás gyorsaságát alapvetően a rendelkezésre álló számítógép-kapacitás fogja meghatározni.

Köszönetnyilvánítás

E tanulmány az OTKA K-81432 számú pályázat, valamint az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával az „Európai Léptékekkel a Tudásért,

ELTE-TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003, pályázat támogatásával készült.

Irodalom

- Ács, F., és Breuer, H., 2006: Modelling of soil respiration in Hungary. *Agrokémia és Talajtan* 55, 1, 59–68.
- Ács, F., Breuer, H., és Szász, G., 2007: A tényleges párolgás és a talaj vízkészlet becslése tenyészidőszakban. *Agrokémia és Talajtan* 56, 217–236.
- Ács, F., Horváth, Á., Breuer, H., and Rubel, F., 2010: Effect of soil hydraulic parameters on the local convective precipitation. *Meteorol. Z.* 19 No. 2, 143–153.
- Chen, F., and Dudhia, J., 2001: Coupling an Advanced Land Surface-Hydrology Model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Implementation and Sensitivity. *Mon. Weather Rev.* 129, 569–585.
- Drucza, M., and Ács, F., 2006: Relationship between soil texture and near surface climate in Hungary. *Időjárás* 110, 135–153.
- Hong, S. Y. and Pan, H. L., 1996: Nonlocal Boundary Layer Vertical Diffusion in a Medium-Range Forecast Model. *Mon. Weather Rev.* 124, 2322–2339.
- Horváth, Á., Ács, F., and Geresdi, I., 2007: Sensitivity of severe convective storms to soil hydraulic characteristics: A case study for 18 April, 2005. *Időjárás* 111, No. 4, 221–237.
- Horváth, Á., Ács, F., and Breuer, H., 2009: On the relationship between soil, vegetation and severe convective storms: Hungarian case studies. *Atmospheric Res.* 93, 66–81.
- Janjic, Z. J., 1990: The step-mountain coordinate–physical package. *Mon. Weather Rev.* 118, 1429–1443.
- Janjic, Z. J., 1994: The step-mountain Eta coordinate model. Further developments of the convection, viscous sublayer and turbulent closure schemes. *Mon. Weather Rev.* 112, 927–945.
- Kakas, J., 1960: A potenciális evapotranszpiráció évi értékei, vízhiány és víztöbblet. Magyarország éghajlati atlasza. *Akadémiai Kiadó*, Budapest, 46/2–4 térképek.
- Nemes, A., 2003: Multi-scale Hydraulic Pedotransfer Functions for Hungarian Soils. *PhD Dissertation, Wageningen Universiteit*, ISBN 90-5808-804-9, 143 pp.
- Várallyay, Gy, Szűcs, L., Rajkai, K., Zilahy, P., and Murányi, A., 1980: Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategória rendszere és 1:100 000 méretarányú térképe. *Agrokémia és Talajtan* 29, 77–112.

A LÉGKÖR ÉS A BIOSZFÉRA KÖZÖTTI SZÉN-DIOXID CSERE VIZSGÁLATA

ANALYSIS OF CARBON DIOXIDE EXCHANGE BETWEEN BIOSPHERE AND ATMOSPHERE

Barcza Zoltán¹, Haszpra László^{2,3}, Hidy Dóra⁴, Gelybó Györgyi⁵, Dobor Laura¹

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

²Országos Meteorológiai Szolgálat, 1675 Budapest, Pf. 39.

³MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézete, 9401 Sopron, Pf. 5.

⁴SZIE Növénytan és Ökofiziológiai Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1..

⁵MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15.
bzoli@elte.hu, haszpra.l@met.hu, dori.hidy@gmail.com, gyoresz@elte.hu, doborl@nimbus.elte.hu

Összefoglalás: Rövid tanulmányunkban a légkör és a bioszféra közötti szén-dioxid kicserélődés becslésével kapcsolatos eredményeinkről számolunk be. A kutatások szorosan kapcsolódnak a Hegyhátsálon (Vas megye) folyó mérésekhez, amelyeket az Eötvös Loránd Tudományegyetem és az Országos Meteorológiai Szolgálat együtt tart fenn. Az eredmények térbeli általánosítása kapcsán szót ejtünk egy biogeokémiai modellhez kapcsolódó munkánkról, valamint a bioszféra szén-dioxid mérlegének műholdas távérzékeléssel történő becslésének lehetőségeiről is.

Abstract: In this short communication we present our results about the estimation of carbon dioxide exchange between the biosphere and the atmosphere. Our research activities are closely related to the measurements at Hegyhátsál (Vas county) operated jointly by the Eötvös Loránd University and the Hungarian Meteorological Service. In order to provide spatially explicit estimations of carbon dioxide exchange we discuss our biogeochemical model related activities and the possibilities of estimating carbon dioxide balance components based on satellite remote sensing.

Bevezetés. Mind a mai napig nem ismerjük kellő pontossággal a szén globális körforgalmát, azon belül a szárazföldi bioszféra biogeokémiai folyamatait. A szárazföldi növényzet-talaj rendszer megközelítőleg 2300 milliárd tonna (IPCC, 2007; 7. fejezet) szenet tárol. Ez a mennyiség mintegy háromszorosa a jelenlegi (szén-dioxid formájában jelen lévő) légköri szénmennyiségnek, ezért kiemelten fontos ennek a tárolási kapacitásnak és esetleges változásainak felmérése. A globális szénkörforgalom folyamatai szoros kapcsolatban állnak bolygónk éghajlatával. Míg a szénmérleg elsősorban a szén-dioxid (CO₂) és a metán (CH₄) üvegházhatása révén befolyásolja az éghajlatot, az éghajlat is visszahat a szén körforgalmára, főként a bioszférán keresztül. Az éghajlat jövőbeli alakulásának előrejelzéséhez elengedhetetlen a globális szén-ciklus folyamatainak és visszacsatolásainak megértése (Friedlingstein and Prentice, 2010).

A szárazföldi bioszféra működésének megértése céljából világszerte intenzív kutatások folynak. Globálisan a FLUXNET program koordinálja az ökológiai rendszerek szén-dioxid háztartásával kapcsolatos méréseket (Baldocchi et al., 2001).

Az európai erőfeszítéseket a CARBOEUROPE klaszter fogja össze (<http://www.carboeurope.org>; <http://www.ghg-europe.eu>). Elsődleges céljuk, hogy a rendelkezésre álló mérési adatok és modelleredmények alapján megbecsüljék, illetve pontosítsák a szárazföldi bioszféra szén-dioxid mérlegét (Schulze et al., 2009).

A bioszféra szén-dioxid forgalmának megismerésében közvetlen felszíni és távérzékelte mérések, valamint a matematikai modellek eszköztára lehet a segítségünkre.

A növényzet-légkör közötti gázcsere mikrometeorológiai módszerekkel, főképp az ún. eddy-kovariancia (EK) módszerrel vizsgálják (Baldocchi, 2003). Műholdas távérzékeléssel nagyobb térségekre nyerhetünk mérés alapú információt a vegetáció állapotáról, és így becsülhető annak szén-dioxid forgalma. Az eredmények nagyobb térségre történő kiterjesztésében és a teljes szén-dioxid háztartás becslésében pedig korszerű biogeokémiai modellek lehetnek segítségünkre.

Regionális skálájú monitoring rendszer. Magyarországon a Vas megyei Hegyhátsál település közelében létesült az első olyan mérőállomás, ahol lehetőség nyílt a bioszféra és a légkör közötti szén-dioxid kicserélődés mérésére. Az Antenna Hungária TV-adótoronyának felműszerezésével 1994 óta üzemel egy, a légköri szén-dioxid koncentráció monitorozását végző mérőállomás (Haszpra, 1999). 1997 óta egy 82 m magasságban elhelyezett EK mérőrendszer jóvoltából a koncentráció-mérések kiegészültek a torony körül elterülő vegyes mezőgazdasági terület szén-dioxid forgalmának mérésével (Haszpra et al., 2005). 1999-2000-ben, majd 2006-tól folyamatosan mérjük a toronyt övező gyepek szén-dioxid forgalmát ugyancsak EK módszerrel (1. ábra).

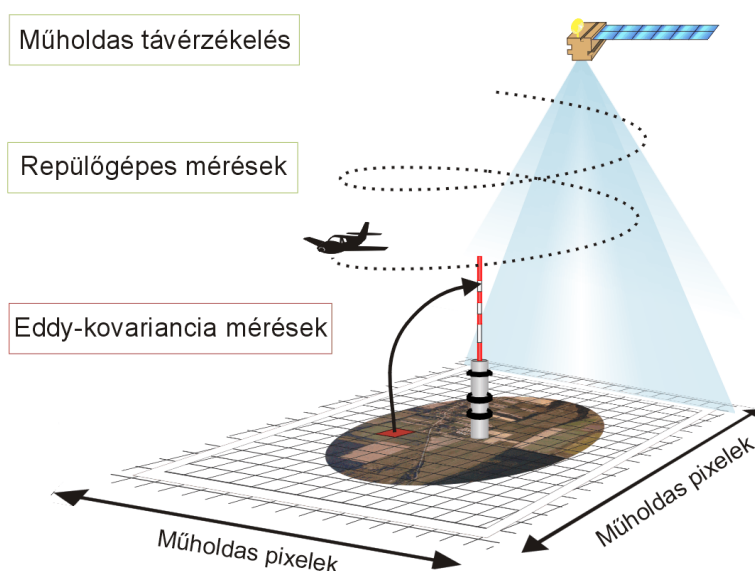
A 82 m magasságban elhelyezett EK rendszer mérései a toronyt körülvevő körülbelül 1 km-es távolságon belül eső térségre reprezentatívak. A forrásterület pontos elhelyezkedését és kiterjedését adott pillanatban a légköri viszonyok határozzák meg, ebből fakadóan a forrásterület térben és időben folyamatosan változik, hosszú távon pedig kirajzolja a toronymérések által mintavételezett területet (Barcza et al., 2009a).

Az említett toronyméréseken kívül repülőgépes méréseket is indítottunk a torony közvetlen környezetében, így nem csupán a légkör alsó kb. 100 m-es tartományából, hanem egészen 3000 m magasságig végezhattünk méréseket. Így képet kaptunk a határréteg, illetve a határréteg feletti légkör szén-dioxid koncentráció profiljáról, ami a szén-dioxid légköri transzportfolyamataiba enged betekintést.

2006 januárjában olyan további gázok (metán, dinitrogén-oxid, kén-hexafluorid) légköri koncentráció-

tók a hegyhátsáli mérésekkel, a Biome-BGC adaptálása során a toronymérések eredményeit használtuk fel a modell validálására és kalibrálására (Haszpra, 2011). A modell alapvetően természetes vegetáció szén-dioxid háztartásának szimulálására képes, emiatt módosításokat végeztünk annak érdekében, hogy mezőgazdasági növények szén-dioxid mérlegéről is megbízható információt kapjunk (Hidy *et al.*, 2012).

Fontosabb eredmények, folyamatban lévő kutatások. A hegyhátsáli mérőrendszer sokéves adatai alapján elmond-



1. ábra: A Hegyhátsálon folytatott mérések sematikus rajza.

méréseit kezdtük meg, amelyek üvegházhatásuk révén szintén éghajlatváltozást okozhatnak (Haszpra *et al.*, 2008). Megfigyelési munkánk eredményeképpen egy olyan egyedülálló adatbázissal rendelkezünk, amely nem csak hazai vagy európai, de világviszonylatban is egyedi, és nagyon sok különböző kutatási iránynak szolgálhat és szolgál háttérül.

A növényzet szén-dioxid háztartásának műholdas távérzékelésen alapuló vizsgálatai 2007 óta folynak, különös tekintettel a hegyhátsáli mérőrendszert körülvevő mezőgazdasági területre. A kisparcellás mezőgazdasági művelés alatt álló terület sajátosságait figyelembe vevő módszertan kidolgozásával sikerült az EK mérőrendszer adataival összhangban becsülni a környező növényzet produktivitását (Barcza *et al.*, 2009a; Haszpra, 2011; Gelybó *et al.*, 2013).

Sokéves mérési tapasztalat alapján kezdtünk bele a növényzet szén-dioxid háztartásának modellezésébe a Biome-BGC nevű korszerű biogeokémiai modell segítségével (Running *et al.*, 1993). A modell a növényi szén-, víz- és nitrogénforgalmat szimulálja, és ez alapján becsli a talaj-növény rendszer különböző tározóiban lévő szén és nitrogén mennyiségét, a tározók közti anyagáramokat, illetve a légkör és az ökológiai rendszer közötti anyagáramot is. Mivel a modell eredményei összevethe-

hatjuk, hogy a környező mezőgazdasági terület éves szinten a légkör szempontjából általában nettó szén-dioxid nyelőként viselkedett, kivéve az átlagosnál melegebb és szárazabb 2001-2003-as időszakban, amikor nettó szén-dioxid kibocsátó volt (Haszpra *et al.*, 2005; Haszpra, 2011).

A mezőgazdasági művelésbe vont területek szén-dioxid mérlegének becslésénél azonban figyelembe kell venni, hogy az aratást követően a levágott növényi részek egy részét vagy egészét elszállítják a vizsgált területről. A teljes szén-dioxid mérleg megfelelő pontosságú becsléséhez legalább megközelítőleg ismernünk kell e horizontális transzport mértékét. A megfigyelt területről kikerült szerves anyag az elszállítás után máshol elbomlik, vagyis bekerül a légkörbe. Következésképp hiába tűnik a hegyhátsáli mezőgazdasági terület nettó szén-dioxid nyelőnek a légkör szempontjából, az elszállított szerves anyag mennyiségének figyelembevételével a térség összességében valószínűleg nettó szén-dioxid kibocsátóként viselkedik (Haszpra, 2011).

A mérési eredmények országos szintű kiterjesztéséhez a Biome-BGC modellt használtuk, mely képes kezelni az egyes területekre jellemző eltérő éghajlati és talaj szerkezeti sajátosságokat. Az országos szintű modellezés során felhasználtuk az MTA ATK Talajtani és Agrokémiai

Intézet, a Földmérési és Távérzékelési Intézet, illetve az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisait. Négy alapvető növényborítottság-kategóriát definiáltunk (gyepek, szántóföldek, lombhullató, illetve tűlevelű erdők), melyek esetén a szén-dioxid áramok lényegesen eltérnek egymástól. Szántóföldek és gyepek esetén a hegyhátsági mérések alapján kalibrált modellt használtuk (Barcza et al., 2009b). A modellszámítások eredménye szerint a hazai bioszféra nettó szén-dioxid kibocsátó, ami elsősorban az aktív művelés alatt álló területeknek köszönhető.

A hazai szén-dioxid mérleg pontosabb leírása érdekében tervezzük a Biome-BGC további fejlesztését, elsősorban a szántóföldi növényekhez kapcsolódó biogeokémiai folyamatok leírásának pontosítása érdekében. A modellezéssel kapcsolatos munkánk során vizsgálni fogjuk az éghajlatváltozás szén-dioxid mérlegre gyakorolt lehetséges hatásait is, valamint választ keresünk arra a kérdésre, vajon vannak-e olyan alternatív mezőgazdasági művelési módok, melyekkel többlet szén-dioxid megkötés érhető el. A fentiekben túl továbbfejlesztett műholdas technikák alkalmazásával is becsülni fogjuk a mezőgazdasági növények szén-dioxid mérlegét.

A Springer kiadó felkérésére 2010-ben elkészült egy, a magyarországi üvegházhatású gázokkal kapcsolatos kutatási eredményeket összefoglaló kötet (Haszpra, 2011). A könyv 13. fejezetében a hegyhátsági mérések tapasztalataira építve a bioszférára vonatkozó teljes országos üvegházgáz mérleget becsültünk több különböző módszer (köztük távérzékelésen és a Biome-BGC modellen alapuló becslések) szintézisével.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmányban ismertetett mérések anyagi támogatást kaptak az Országos Tudományos Kutatási Alaptól (KTIA-OTKA-A08-CK77550, K104816), továbbá az Európai Unió 7 K+F Keretprogramjától (EU contract No. 244122). A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg (a támogatás száma TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003).

Irodalom

Baldocchi, D.D., Falge, E., Gu, L., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, Ch., Davis, K., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee, X., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, J.W., Oechel, W., Pilegaard, K., Schmid, H.P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K. and Wofsy, S., 2001. FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82, 2415–2435.

Baldocchi, D.D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology* 9, 479–492.

Barcza, Z., Kern, A., Haszpra, L., Kljun, N., 2009a. Spatial representativeness of tall tower eddy covariance measurements using remote sensing and footprint analysis. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 795–807. doi: 10.1016/j.agrformet.2008.10.021

Barcza, Z., Haszpra, L., Somogyi, Z., Hidy, D., Lovas, K., Churkina, G. and Horváth, L., 2009b. Estimation of the biospheric carbon dioxide balance of Hungary using the BIOME-BGC model. *Időjárás* 113, 203–219.

Friedlingstein, P., Prentice, I., 2010. Carbon–climate feedbacks: a review of model and observation based estimates. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2, 251–257. doi: 10.1016/j.cosust.2010.06.002

Gelybó, Gy., Barcza, Z., Kern, A. and Kljun, N., 2013. Effect of spatial heterogeneity on the validation of remote sensing based GPP estimations. *Agricultural and Forest Meteorology* 174–175, 43–53. doi: 10.1016/j.cosust.2010.06.002.

Haszpra, L., 1999. Measurement of atmospheric carbon dioxide at a low elevation rural site in Central Europe. *Időjárás* 103, 93–106.

Haszpra, L., Barcza, Z., Davis, K. J. and Tarczay, K., 2005. Long-term tall tower carbon dioxide flux monitoring over an area of mixed vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology* 132, 58–77. doi: 10.1016/j.agrformet.2005.07.002

Haszpra, L., Barcza, Z., Hidy, D., Szilágyi, I., Dlugokencky, E. and Tans, P., 2008. Trends and temporal variations of major greenhouse gases at a rural site in Central Europe. *Atmospheric Environment* 42, 8707–8716. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.012

Haszpra, L. (ed.), 2011. Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective. *Springer, Dordrecht - Heidelberg - London - New York*. ISBN 978-90-481-9949-5, e-ISBN 978-90-481-9950-1, doi: 10.1007/978-90-481-9950-1

Hidy, D., Barcza, Z., Haszpra, L., Churkina, G., Pintér, K., and Nagy, Z., 2012. Development of the Biome-BGC model for simulation of managed herbaceous ecosystems. *Ecological Modelling* 226, 99–119. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2011.11.008

IPCC, 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds.: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Cambridge, United Kingdom and New York. Cambridge University Press*, NY, USA.

Running, S.W. and Hunt, E.R.J., 1993. Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, Biome-BGC, and an application for global-scale models. In: Scaling physiological processes: leaf to globe (Eds.: Ehleringer, J. R., Field, C. B.). San Diego (CA): *Academic Press*. pp. 141–158.

Schulze, E.D., Luyssaert, S., Ciais, P., Freibauer, A., Janssens, I.A., Soussana, J.F., Smith, P., Grace, J., Levin, I., Thiruchittampalam, B., Heimann, M., Dolman, A.J., Valentini, R., Bousquet, P., Peylin, P., Peters, W., Rödenbeck, C., Etiope, G., Vuichard, N., Wattenbach, M., Nabuurs, G.J., Poussi, Z., Nieschulze, J., Gash, J.H. and CarboEurope Team, 2009. Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance. *Nature Geoscience* 2, 842–850. doi: 10.1038/ngeo686

REGIONÁLIS KLÍMAMODELLEK ADAPTÁCIÓJA, PARAMETRIZÁCIÓS KÍSÉRLETEI A KÁRPÁT-MEDENCE TÉRSÉGÉRE

ADAPTATION AND SIMULATIONS OF REGIONAL CLIMATE MODELS FOR THE CARPATHIAN BASIN

Bartholy Judit, Pongrácz Rita, Práger Tamás, Pieczka Ildikó, Torma Csaba, Kelemen Fanni

ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.
 bartholy@elte.hu, prita@elte.hu, prager@nimbus.elte.hu, pieczka@nimbus.elte.hu, csabi_t@hotmail.com,
 fannikelemen@hotmail.com

Összefoglalás: Az elmúlt évtized során a PRECIS (25 km felbontású) és a RegCM (10 km felbontású) regionális klíma-modell adaptációját és szimulációit végeztük el. Az eredmények alapján lehetőség van térségünk XXI. századra várható klímaváltozásának részletes elemzésére, mely alapvető kiindulási információként segíti a hatásvizsgálatok kutatóit.

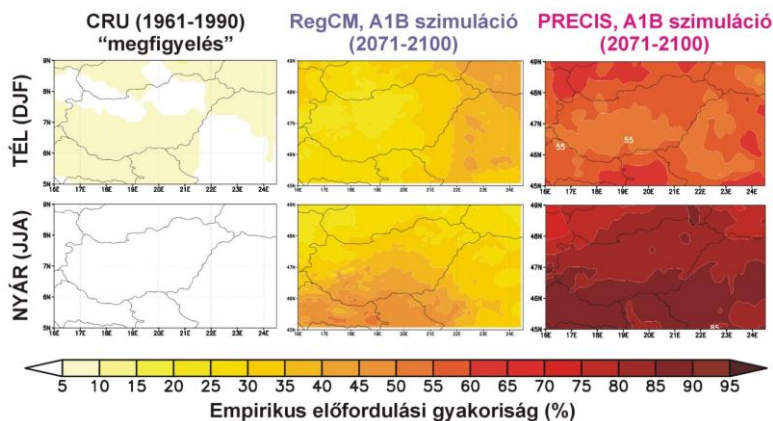
Abstract: During the past decade, regional climate models PRECIS and RegCM were adapted and several simulation experiments were accomplished using 25 km and 10 km horizontal resolution, respectively. Our results are used for analyzing the 21st century climate change projected for the Carpathian Basin, and provide essential input information for impact studies.

A meteorológiai mérések egyértelműen bizonyítják, hogy a földi klíma melegebb az elmúlt másfél évszázadban. Ennek hátterében valószínűsíthető, hogy az üvegházhatású gázok antropogén eredetű kibocsátásának növekedése áll. A 2007-es IPCC-jelentésben közölt modell-szimulációk szerint több fokos globális melegedésre számíthatunk az évszázad végére. A jelenlegi globális modellekkel lehetetlen regionális térszálán is megfelelő pontosságú becsléseket készíteni. Egyrészt azért, mert e modellek területi felbontása általában durva, gyakran 150–250 km, ami azt jelenti, hogy egész Magyarországra mindössze néhány rácspont esik. Másrészt e közelítés nem tartalmazza a felszín s a domborzat külön részletes adatait. A dinamikus közelítés keretein belül elsőként *Giorgi* (1990) és munkatársai fejlesztették ki az ún. beágyazott modellel való szimulációt. Ennek lényege, hogy a globális modellek eredményeit bemenő paraméterként felhasználva korlátos tartományú regionális modelleket futtatunk, melyek felbontása akár 10–25 km is lehet, s ez lehetővé teszi kisebb régiók pontosabb éghajlati leírását is.

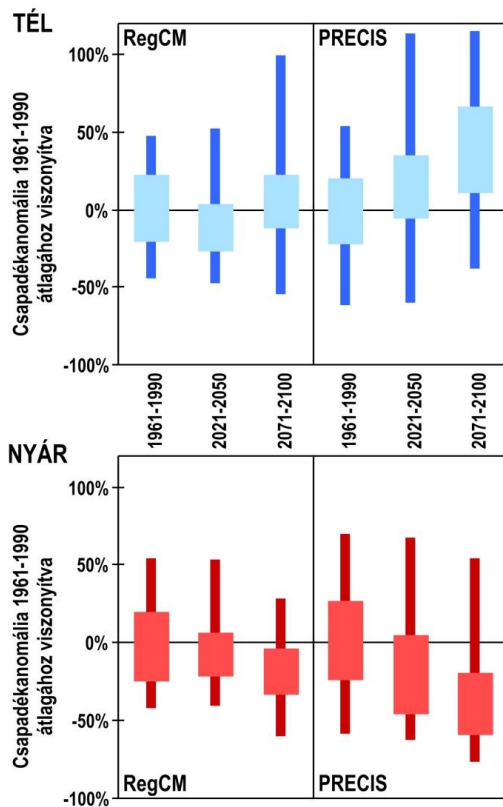
Az elmúlt évtized során két regionális klíma-modellt adaptáltunk az ELTE Meteorológiai Tanszéken (*Pongrácz et al.*, 2011), melyekkel számos modellszimulációt végeztünk. (Ezzel párhuzamosan az Országos Meteorológiai Szolgálatnál is folytak hasonló kísérletek, melyek közös értékelése folyamatban van.) Az eredmények felhasználásával lehetőség nyílik, hogy becslést adjunk a XXI. századra várható éghajlatváltozás tendenciáira és számszerűsítsük azok bizonytalanságát a Kárpát-medence térségében.

Az egyik adaptált modellt a RegCM hidrosztatikus modellt, mely jelenleg a trieszti Elméleti Fizikai Kutatóintézetben (ICTP) keresztül hozzáférhető. A tanszéki kutatásokra a CECILIA (Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment) Európai Unió projekt keretében került sor, melynek során 18 vertikális szint alkalmazásával 10 km-es horizontális felbontású futtatásokat végeztünk a Kárpát-medence térségére (*Torma et al.*, 2008, 2011). A RegCM modell felhasználásával az A1B szcenáriót vizsgáltuk az 1961–1990, 2021–2050 és 2071–2100 közötti időszakok alapján, melyekhez a hamburgi ECHAM5 globális modell szolgáltatja a kezdeti- és a peremfeltételeket.

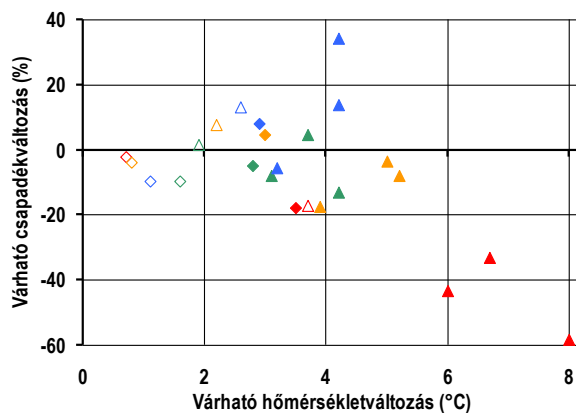
A másik tanszéki modellt a PRECIS regionális klíma-modell (*Wilson et al.*, 2007), melyet a Brit Meteorológiai Szolgálat Hadley Központjában fejlesztettek ki a HadCM3 globális klíma-modellbe beágyazva. Az általunk alkalmazott horizontális rácspont 25 km, s vertikáli-



1. ábra: A 4 °C-nál nagyobb havi hőmérsékleti anomáliák előfordulási gyakorisága télen és nyáron.



2. ábra: A téli és a nyári csapadék várható változása a 2021–2050 és a 2071–2100 időszakokra (az 1961–1990 referéncia időszakhoz viszonyítva). A vastag vonalak végpontjai az adott 30 éves időszakban valószínűsíthető szélsőségeket jelzik, a dobozok fedlapjai pedig az alsó és felső kvartiliseket mutatják.



3. ábra: A XXI. századra Magyarországra várható éghajlatváltozás (referéncia időszak: 1961–1990). A RegCM-szimulációk eredményeit rombuszok, a PRECIS-szimulációk eredményeit háromszögek mutatják. Üres szimbólumokkal jelöltük a 2021–2050-re, s beszínezett szimbólumokkal a 2071–2100-ra várható változásokat. A tavaszra, nyárra, ősze és télre valószínűsíthető regionális klímaváltozást rendre zöld, piros, sárga és kék szín jelzi.

san 19 szinttel számoltunk (Bartholy et al., 2006). A 2071–2100 időszakokra két futtatást végeztünk el (Bartholy et al., 2009a, Pieczka et al., 2009): az A2, illetve a B2 forgatókönyv figyelembevételével. Ezeken kívül elkészült az A1B scenárió vizsgálata egy 1951–2100 időszakra vonatkozó tranziens szimuláció alapján. A vizsgált scenáriók közül az A2 scenárióhoz társul a legmagasabb

becsült századvégi CO₂-koncentráció (856 ppm), ezt követi az A1B (717 ppm), s végül a legalacsonyabb koncentráció szint (621 ppm) a B2 esetén várható.

A RegCM, illetve a PRECIS eredményei alapján készített elemzéseink számos korábbi publikációkban (pl.: Bartholy et al., 2009b) részletesen megtalálhatók, itt csupán néhány példát mutatunk be, amelyek a téli, illetve a nyári hónapokra várható változásokat emelik ki. A vizsgálat során minden rácspontra meghatároztuk, hogy a szimulált hőmérsékleti idősorok alapján a referéncia-időszak (1961–1990) havi átlagaitól vett eltérés milyen gyakorisággal fog meghaladni bizonyos küszöbértékeket a jövőben. A kapott eredményeket évszakos bontásban, térképes formában ábrázoltuk. A szimulált mezőkből meghatározott információt kiegészítettük a referéncia időszak havi anomáliáit figyelembe vevő évszakos térbeli eloszlást illusztráló térképekkel. Itt most területi okokból csak egy kiválasztott küszöbérték elemzését mutatjuk be a téli és a nyári hónapokra. Az 1. ábra tartalmazza a +4 °C-nál nagyobb hőmérsékleti anomáliák előfordulási valószínűségének évszakos területi eloszlását a közelmúlt (1961–1990) klimatikus viszonyai mellett, valamint a 2071–2100 jövőbeli időszakra az A1B scenárió figyelembevételével.

A XX. század végén a téli hónapokban a +4 °C-ot meghaladó pozitív anomáliák a teljes időszak 5–10%-ában fordultak csupán elő, nyáron pedig egyáltalán nem. A szimulációk alapján mind télen, mind nyáron egyértelmű a pozitív hőmérsékleti anomáliák XXI. század végére várható gyakoriságnövekedése mindkét modell esetén. Kisebbséget várható a RegCM-szimuláció szerint: télen 20–35%, nyáron 25–45% az 1961–1990 időszak átlagát +4 °C-kal meghaladó anomáliák valószínűsíthető gyakorisága. A PRECIS modell szerint a század végére jelentősebb lesz a múltbeli átlagos hőmérsékletnél legalább +4 °C-kal magasabb havi átlaghőmérsékletek előfordulási gyakorisága (télen 50–60%, nyáron 75–90%).

A 2. ábrán a XXI. század közepére és végére várható csapadékváltozást foglaljuk össze az 1961–1990 referéncia időszakhoz viszonyítva. Kékkel a téli csapadék, pirossal a nyári csapadék becsült változását jelenítjük meg Box-Whisker diagramok formájában. Mindkét modellszimuláció esetén egyértelműen megjelenik a nyári szárazodó tendencia, mely nagyobb mértékű a PRECIS modell esetén. Ugyancsak a PRECIS-szimulációnál jelentkezik a téli csapadék várható növekedése.

A 3. ábrán együttesen mutatjuk be a hőmérséklet és a csapadék valószínűsíthető évszakos változásait, melyet a magyarországi rácsponatok átlagával reprezentálunk. Az ábra jobb alsó sarkában megjelenő nagymértékű melegedést és szárazodást jelző szimulációk a századvégi nyarakra vonatkoznak. Eredményeink alapján összességében véve enyhébb, csapadékosabb telekre

számíthatunk. A többi évszakra is melegebb trend várható, ám a csapadéokra vonatkozó becslések legnagyobb hányada statisztikailag nem szignifikáns.

Az itt bemutatott szimulációk eredményeit már széles körben alkalmazzák a felhasználók a hazai hatásvizsgálatokhoz. Ezzel párhuzamosan a tanszéken folyamatosan bekapcsolódunk a nemzetközi modellfejlesztésekbe, elvégezzük az újabb modellverziók hazai adaptációját és a régiókra vonatkozó modellszimulációkat.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával az „Európai Léptékkkel a Tudásért, ELTE-TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003. A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül” pályázat, az OTKA K-78125 számú pályázata, a FuturCT.hu TÁMOP 4.2.2.C-11/KONV-2012-0013, a KMR_12-1-2012 és a GOP-1.1.1-11-2012-0164 kutatási pályázatok, valamint az EU VI. keretprogram CECILIA projektje (GOCE-037005).

Irodalom

Bartholy J., Pongrácz R., Torma Cs., Hunyady A., 2006: A PRECIS regionális klímamodellel és adaptálása az ELTE Meteorológiai Tanszékén. In: 31. Meteorológiai Tudományos Napok – Az éghajlat regionális módosulásának objektív becslését megalapozó klímadinamikai kutatások. (Szerk.: Weid-

inger T.) Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 99–114.

Bartholy, J., Pongrácz, R., Pieczka, I., Kardos, P., Hunyady, A., 2009a: Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using a dynamical climate model. *Lecture Notes in Computer Science* 5434, 176–183.

Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., Pieczka, I., Kardos, P., Hunyady, A., 2009b: Analysis of regional climate change modelling experiments for the Carpathian Basin. *International Journal of Global Warming* 1, 238–252.

Giorgi, F., 1990: Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model. *Journal of Climate* 3, 941–963.

Pieczka, I., Bartholy, J., Pongrácz, R., Hunyady, A., 2009: Climate change scenarios for Hungary based on numerical simulations with a dynamical climate model. *Lecture Notes in Computer Science* 5910, 613–620.

Torma, Cs., Bartholy, J., Pongrácz, R., Barcza, Z., Coppola, E., Giorgi, F., 2008: Adaptation and validation of the RegCM3 climate model for the Carpathian Basin. *Időjárás* 112, 233–247.

Torma, Cs., Coppola, E., Giorgi, F., Bartholy, J., 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.

Wilson, S., Hassell, D., Hein, D., Jones, R., Taylor, R., 2007: *Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS. Version 1.5.1.* Exeter:UK Met Office Hadley Centre.

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI NEWS OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SOCIETY *folytatás a 188. oldalról*

Június 29. Bodó Barna: Local values and local communities in Temesvár (Timișoara) region; **Ioana Ionel:** Air quality in Timișoara – a continuous challenge; **Makra László:** Diurnal, weekly and annual cycles of air pollutant levels in Szeged (a Szegedi Csoport rendezvénye)

2012. július 3-án együttműködési megállapodást írt alá a Magyar Meteorológiai Társaság és a Magyarhoni Földtani Társulat. Az együttműködés hosszú távú célja a földtudományi szakterületeken önállóan működő tudományos egyesületek és civil szervezetek új szövetségének létrehozása, „Földtudományi Szövetség” néven.

Október 18. Ötvös Pál: A vízenergia hasznosításának helyzete és lehetőségei Magyarországon (a Nap- és Szélergia Szakosztály rendezvénye); **Németh Ákos:** Turisztikai klimatológia: Az időjárás és az éghajlat, mint a turizmus kulcstényezője? (a Nyíregyházi Területi Csoport rendezvénye)

November 6. Hérics Dávid: Zivatarok megfigyelése Egyházaskörösi és környékén (a Szombathelyi Területi Csoport rendezvénye)

November 12. Tuba Zoltán: Repülésmeteorológiai klíma adatok felhasználásának lehetséges aspektusai pilóta nélküli repülőeszközök (UAV-k) meteorológiai támogatásában (a Repülésmeteorológiai Szakosztály rendezvénye)

November 13. Tóth Zsombor: Az ismeretlen „szomszéd” (a Szombathelyi Területi Csoport rendezvénye)

November 14. Németh Ákos: Az időjárás és az éghajlat jelentősége az idegenforgalomban (a Pécsi Területi Csoport rendezvénye)

November 20. Lakotár Katalin: A Muszától az Aranyszarv-öbölhöz (a Szombathelyi Területi Csoport rendezvénye)

befejezés a 143. oldalon

HAZÁNK SZÉLKLÍMÁJA, A SZÉLENERGIA HASZNOSÍTÁSA: MÚLT, JELEN, JÖVŐ

WIND CLIMATE OF OUR LAND, EXPLOITATION OF WIND ENERGY: PAST, PRESENT, FUTURE

Bartholy Judit¹, Radics Kornélia^{1,2}, Péliné Németh Csilla^{1,2}

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

²MH Geoinformációs Szolgálat, 1024 Budapest, Szilágyi E. fasor 7–9.

bartholy@elte.hu, radics.kornelia@mil.hu, pelinenemeth.csilla@mhtehi.gov.hu

Összefoglalás: Napjainkban, amikor már elfogadott ténynek tekinthető, hogy az emberi tevékenység befolyásolja a Föld éghajlatának alakulását, megnövekedett az igény a klímaváltozás globális és regionális hatásainak elemzésére, következményeinek becslésére. Az egyes meteorológiai paraméterek átlagos értékeinek elmozdulása mellett kiemelt figyelmet igényel a szélsőséges időjárási és éghajlati események esetleges gyakoriságváltozása is. Az 1990-es években megkezdett hazai szélenergetikai vizsgálatokból még hiányozó szélsőérték-vizsgálatok és tendenciaelemzések (melyek a szélerőművek optimális elhelyezését szolgálják) is nélkülözhetetlenek a várható energiatermelés becsléséhez. Ezért az ELTE Meteorológiai Tanszékén közel húsz éve elindult szélklimatológiai kutatások egyik fő célja a regionális szélklíma átlagos értékeinek, szélsőségeinek és tendenciáinak részletes elemzése volt.

Abstract: One of the most important effects of climate variability and climate change may come from changes in the intensity and frequency of climatic extremes. As a respond to the need of new climatologic analyses complex wind field research was carried out on clarifying the possible changes of wind characteristics in the country. The aim of the research started at the Meteorological Department, Eötvös Loránd University almost two decades ago was to study and provide reliable information about the state and variability of wind climate in Hungary.

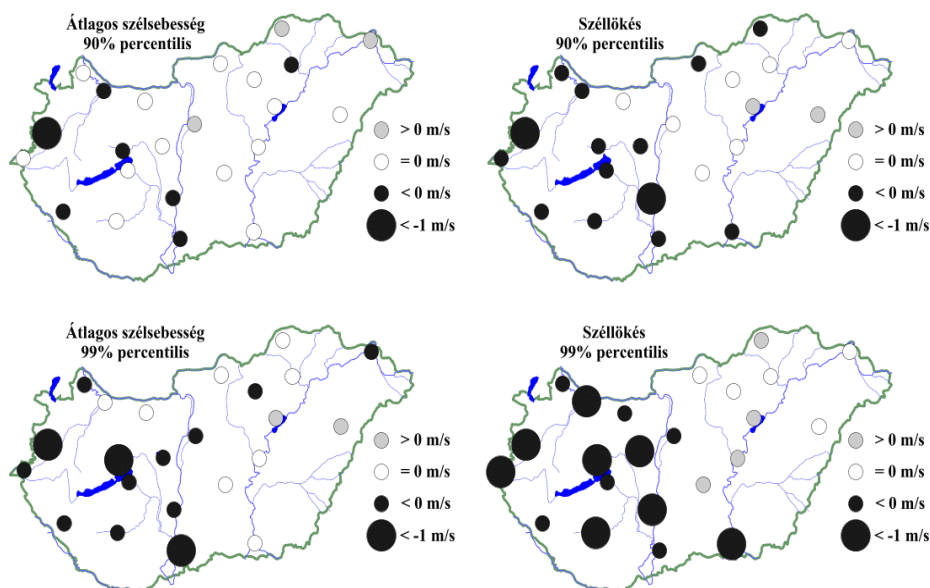
Az elmúlt évszázadok során robbanásszerűen megnövekedett energiafelhasználás minden igényt kielégítő biztosítása napjainkban jelentős környezetterhelést okoz. A folyamatos gazdasági növekedést és – ezzel párhuzamosan – a környezetünkre gyakorolt káros hatások mérséklését jelenlegi tudásunk szerint csupán az egy főre jutó energiafelhasználás jelentős csökkentésével és a megújuló energiaforrások (így például a szélenergia) egyre nagyobb mértékű felhasználásával érhetjük el.

A potenciális szélenergia regionális változékonyságának becslése során a természetes felszínnek, így a domborzat és az érdesség áramlómódosító hatásának becslését a dán fejlesztésű Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) felhasználásával végeztük. A WASP a mért széladatak horizontális és vertikális extrapolációjára szolgáló, Jackson és Hunt elméletére alapozott, lineáris, spektrális modell (*Mortensen et al.*, 1993), melynek alkalmazásával készült az Európai szélatlasz (*Troen és Petersen*, 1989) is. Svédországi mérési adatsorok felhasználásával feltártuk a WASP modellezési korlátjait (*Bartholy és Radics*, 2001; *Radics*, 2004), majd a hegyhátsági toronymérés négy szinten (10 m-en, 48 m-en, 82 m-en és 115 m-en) mért széladatainak segítségével igazoltuk a WASP modell hazai adaptálhatóságát. Így lehetőség nyílt a modellezési eredmények verifikálására. A széladatok horizontális és vertikális extrapolációjára esettanulmányokat végeztünk (*Radics és Bartholy*, 2002; *Bartholy et al.*, 2003), továbbá a domborzat és az érdesség áramlómódosító hatását ele-

meztük azzal a céllal, hogy megismerjük a rendelkezésre álló szélmező legfontosabb sajátosságait. A szélenergetikai kutatások befejező részében az ország egész területére modelleztük és megszerkesztettük az átlagos szélsébséget és a rendelkezésre álló szélenergiát ábrázoló térképeket (*Radics*, 2004).

Magyarországon a potenciális készletek megbízható becsléseinek hiánya is nehezíti a szélenergia hasznosítását. E becslések csupán abban az esetben készíthetők el, ha megfelelő minőségű, egységes, homogenizált mérési adatsor áll rendelkezésre. Kutatásaink során a hazai szinoptikus meteorológiai állomások (36 mérőhely) jelenleg 36 éves (1975–2010) adatsorainak szélenergetikai szempontú komplex statisztikai elemzését végeztük el. Az adatsorokra vonatkozó minőségi és mennyiségi ellenőrzés, majd a homogenizációs és adatkorrekciós feladatok megoldása után – a globális klímaváltozás regionális hatásainak becslése céljából – átfogóan elemeztük a szélmező klimatológiai szempontból lényeges átlagos és szélsőértékeit (*Radics és Bartholy*, 2008). Az óras szélsébség, szélirány és szélhőkés adatokat tartalmazó idősor felhasználásával becsültük a szélklíma legfontosabb paramétereinek és szélsőértékeinek évek közötti változékonyságát, azok térbeli és időbeli tendenciáit (*Radics et al.*, 2010).

A regionális skálán várható éghajlatváltozás is befolyásolhatja hazánk szélklímáját, illetve az extrémumok előfordulásának gyakoriságait. Ezért kutatásaink következő szak-



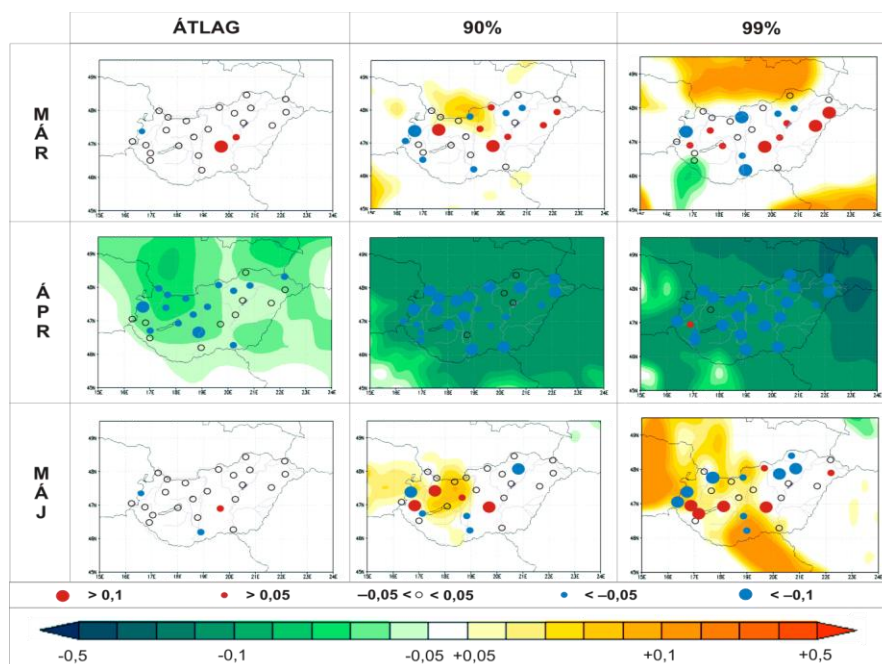
1. ábra: Az átlagos szélsébségre és a széllökésre vonatkozó percentilis értékek (90%, 99%) tendenciájának (1997–2007) területi eloszlása hazánkban.

szában a sem térben, sem időben nem homogén, pontszerűen mért állomásadatok és az ERA40, valamint az ERA Interim adatbázis által rendelkezésre álló homogén reanalízis mezők összehasonlítását végeztük el. Vizsgálataink során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a térben és időben hiányos szélmérési adatsorokat helyettesíthetjük-e a hiánymentesen rendelkezésre álló, s számos nemzetközi forrás által minőséginek értékelt reanalízis idősorokkal (Radics et al., 2010; Péliné et al., 2011). Ennek ismeretében meghatározható, hogy a XXI. század közepére, végére készült modellszimulációk mennyire alkalmazhatóak a regionális szélklíma tendenciáinak, illetve a – változó klimatikus viszonyokkal együttesen módosuló – megújuló energiaforrások potenciáljának becslésére.

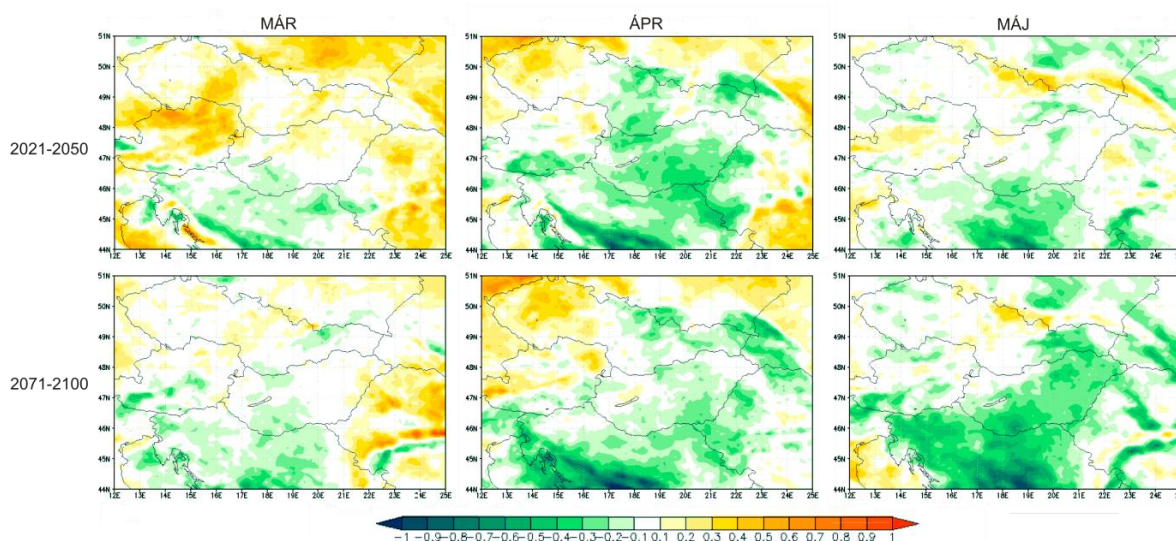
Kutatásunk befejező részében az ECHAM regionális klímamodell segítségével elemeztük a Kárpát-medence szélklímájának XXI. század során várható változásait. A közeli és távoli jövőre (2021–2050 és 2071–2100) vonatkozóan becsltük a szélmező átlagos és extrém értékeit. A terjedelmi korlátok miatt az alábbiakban csupán néhány példát kiragadva mutatjuk be a közel két évtizede folyó kutatás legfontosabb eredményeit.

- Hazánk az európai szélosztályozás kategóriáit követve mérsékelt szeles tartományba sorolható, s az átlagos és maximális szélsébség nagy térbeli változékonyságot mutat. Az uralkodó szélirány relatív gyakorisága alacsony. A szélesendes időszakok aránya néhány térségben kifejezetten magas értéket vesz fel.
- Szélklímánk az év során kiegyenlítettnek mondható. Az ország területén belül viszont jelentős eltérések mutatkoznak a szélsőértékek előfordulásának gyakoriságában, azok területi eloszlása azonban jól követi az átlagos szélsébségi mezőt.

- Az átlagos szélsébség 90%-os percentilise az ország jelentős részén időben (1997–2007) változatlan értéket vesz fel (1. ábra). A vizsgált percentilis értékének növelésével (99%) az ország egyre nagyobb területén jelenik meg csökkenő tendencia. A percentilis érték növelésével a csökkenés mértéke is jelentősen nő. Minden esetben kirajzolódik a Dunántúlra és az alföldi régiókra jellemző eltérő viselkedés. Míg a dunántúli területeken a szélsőértékek általában csökkenő tendenciát mutatnak, addig az Alföld jelentős részén nem mutatható ki a percentilis értékek időbeli változása, vagy azok növekedése jelenik meg.
- Az ERA Interim és a meteorológiai állomások szélsébség-adataiból meghatározott havi átlag- és szélsőértékek időbeli változásának (1997–2010) területi eloszlása jó egyezést mutat (2. ábra). Mindkét adatbázis esetén szinte az ország teljes területét lefedő jelentős mértékű csökkenés jellemzi – hazánk korábbi klímavizsgálataiban az egyik legszelesebbnek ítélt hónapot – áprilist.
- A potenciális szélenergia becsléséhez a magyarországi mért állomási adatok mellett eredményesen alkalmazható a pontosabb területi lefedettséget biztosító ERA-40 és ERA Interim reanalízis adatbázis is (Radics et al, 2010; Péliné et al., 2011).
- Az ECHAM regionális klímamodell szimulációi alapján a tavaszi hónapok átlagos szélsébségértékeinek közeljövőben (2021–2050) várható területi eloszlása emlékeztet az elmúlt évtizedben már megfigyelt tendenciákra (3. ábra). Míg a dunántúli területeken a szélsébség nagymértékű csökkenése valószínűsíthető márciusban, addig az Alföld jelentős részén az átlagos szélértékek növekedése várható a modellfuttatások értelmében. Áprilisban a csökkenő tendencia dominál



2. ábra: A szélesség évenkénti havi átlagaira és percentiliseire (90% és 99%) illesztett lineáris trend együttható alakulása 1997-2010 időszakban. A területi színezés az ERA Interim reanalízis szélességmezőkből számított tendenciákat, a körök hazai szinoptikus állomások szélesség idősorainak tendenciáit mutatják.



3. ábra: Az ECHAM regionális klímamodell alapján a medián értékek várható változásai [m/s] a tavaszi hónapokban a referencia időszakhoz képest (1961-1990).

Irodalom

- Bartholy, J., Radics, K., 2001: Selected wind characteristics and potential use of wind energy in Hungary. Part I. *Időjárás* 105, 109–126.
- Bartholy, J., Radics, K., Bohoczky, F., 2003: Present state of wind energy utilisation in Hungary: policy, wind climate, and modelling studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7, 175–186.
- Mortensen, N.G., Landsberg, L., Troen, I., Petersen, E.L., 1993: *Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP)*. Risø Nat. Labs, Roskilde, Denmark, 126p.
- Péliné, N. Cs., Radics, K., Bartholy, J., 2011: Seasonal variability of wind climate in Hungary. *Acta Silv. Lign. Hung.* 7, 39–48.
- Radics K., 2004: A szélenergia hasznosításának lehetőségei Magyarországon: hazánk szélklimája, a rendelkezésre álló szél-

energia becslése és modellezése. *Doktori értekezés*, ELTE Meteorológiai Tanszék, 137p.

Radics, K., Bartholy, J., 2002: Selected wind characteristics and potential use of wind energy in Hungary. Part II. *Időjárás* 106, 59–74.

Radics, K., Bartholy, J., 2008: Estimating and modelling the wind resource of Hungary. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 874–882.

Radics K., Bartholy J., Péliné N. Cs., 2008: A szélmező átlagos és extrém értékeinek térbeli és időbeli változása hazánkban. *EU Szélnap kötet*, Debrecen.

Radics, K., Bartholy, J., Péliné, N.Cs., 2010: Regional tendencies of extreme wind characteristics in Hungary. *Advances in Science and Research* 4, 43–46.

Troen, I., Petersen, L., 1989: *European Wind Atlas*. Risø Nat. Labs, Roskilde, Denmark, 656p.

ALKALMAZOTT MATEMATIKA A METEOROLÓGIÁBAN

APPLIED MATHEMATICS IN METEOROLOGY

Havasi Ágnes¹, Faragó István²

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

²ELTE TTK Matematika Intézet, Alkalmazott Analízis és Számításmatematikai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C.
hagi@nimbus.elte.hu, faragois@cs.elte.hu

Összefoglalás: A meteorológiai folyamatok előrejelzése során gyakran nagyméretű és bonyolult parciális differenciálegyenlet-rendszerek megoldása a feladat. Erre kínál hatékony eszközt az operátorszeletelés módszere. A dolgozatban ismertetjük az operátorszeletelés elvét és összefoglaljuk az alkalmazásában elért legfontosabb eredményeinket.

Abstract: Weather forecast is usually based on the solution of huge and complicated systems of partial differential equations. Operator splitting methods are efficient tools to solve such problems. In this paper we present the principle of operator splitting and summarize our major results achieved during its applications.

Bevezetés. A légköri folyamatok megismeréséhez és a légkörben lezajló változások előrejelzéséhez elengedhetetlenül fontosak a matematikai modellek, azon belül a dinamikai légkörmodellek. Ezek olyan egyenletek megoldásán alapulnak, amelyek a légkör viselkedését meghatározó fizikai törvényeket fejezik ki matematikai formában, elsősorban parciális differenciálegyenletek alakjában (Práger, 1992). Természetesen ezek az egyenletek – mint a modellek általában – mindig valamilyen egyszerűsítést hordoznak magukban. Ezért, ha meg is tudnánk oldani őket tökéletes pontossággal, akkor sem adnák vissza pontosan és minden részletre kiterjedően a légköri állapotváltozók értékeit. Az egyenletek megoldását azonban (kevés, erősen leegyszerűsített modelltől eltekintve) nem is tudjuk pontosan meghatározni. A differenciálegyenletek pontos megoldásai a térkoordinátáktól és az időtől függő, skalár- vagy vektorértékű folytonos függvények, amelyek egyértelmű megoldhatóságához kiegészítő (kezdeti és perem-) feltételek megadása is szükséges. A kiegészítő feltételeket általában csak véges számú pontban ismerjük, azonban még ha minden pontban adva volnának, akkor sem tudnánk a differenciálegyenletek megoldását képlettel (zárt alakban) előállítani. Ezért szükségünk van olyan eszközökre, amelyek segítségével közelítő megoldást tudunk adni a kitűzött feladatra. A közelítő megoldás előállításához a feladatot először diszkrétizáljuk, azaz a modelltartományon definiálunk egy tér- és időbeli rácshálósorozatot, majd a folytonos feladatot diszkrét feladatok sorozatával helyettesítjük. A diszkrét feladatok megoldásai olyan függvények, amelyek a rácsháló pontjaiban vannak értelmezve. Célunk az, hogy elegendően finom rácsháló esetén a diszkrét feladat megoldása megfelelően közel kerüljön a folytonos feladat megoldásához. Ebben a rövid írásunkban a nyomanyagszállítási egyenletrendszer példáján sorra vesszük a numerikus megoldás során felmerülő főbb nehézségeket, és bemutatunk egy hatékony eszközt ezek megoldására: az operátorszeletelés módszert.

A légköri folyamatok numerikus modellezésének nehézségei. Annak illusztrálására, hogy milyen nehézségekkel állunk szemben, tekintsük a szennyezőanyagok légköri terjedési és átalakulási folyamatait leíró egyenletrendszert:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = -\nabla(\bar{u}c_i) + \nabla(K\nabla c_i) - \sigma_i c_i + R_i(c_1, \dots, c_m) + E_i.$$

Itt $i = 1, 2, \dots, m$, ahol m jelöli az anyagfajták számát, \bar{u} a szélességvektor, K a turbulens diffúziós együttható, σ_i az ülepedési sebesség, R_i a kémiai reakciók során bekövetkező koncentrációváltozás, és E_i a kibocsátás (Zlatev, 1995). Ez az egyenletrendszer azt fejezi ki, hogy egy kiválasztott anyagfajta koncentrációjának lokális időbeli megváltozását alapvetően öt, egyszerre végbemenő fizikai folyamat határozza meg: a széllel való szállítódás (advekción), a turbulens átkeveredés, a kiülepedés, a kémiai reakciók, valamint a kibocsátás. Az ismeretlenek a c_i koncentrációk, amelyek a helytől és az időtől függenek. Számos légszennyeződési modell ezen egyenletek megoldásán alapul (Bozó et al., 2006). Példaként említjük a Dániai Euleri Modellt (DEM), amelynek térbeli tartománya egész Európát lefedi (1. ábra), és hosszabb, akár több éves futtatásokat is végezhetünk vele. A modellel jelenleg $m = 56$ anyagfajta koncentrációja tanulmányozható, de a továbbfejlesztett változattal (UNI-DEM) már 168 különböző anyag koncentrációját modellezhetjük. Egy, a DEM-hez hasonló felépítésű modell alkalmazhatósága több matematikai problémát is felvet. A modell térbeli rácshálója $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ -es horizontális felbontás és 10 vertikális szint esetén több millió rácspontból áll, és két és fél másodperces időlépcsővel dolgozva egy évi futtatáshoz több mint kétszáz ezer időlépcső szükséges. Ilyen felbontás mellett a szennyezőanyagterjedési feladat diszkrétizációja igen nagy méretű (és ráadásul nemlineáris) egyenletrendszer megoldására vezet, emellett fontos, hogy a megoldás reális időn belül rendelkezésre álljon. Nehézséget jelent továbbá az, hogy a megoldandó differenciálegyenletek alakja igen bonyolult, ugyanis az egyenletek jobb oldalán különböző matematikai tulajdonságú tagok szerepelnek. Ilyen esetben valamely ismert numerikus módszert alkalmazva nem garantálható, hogy a numerikus megoldás rendelkezni fog bizonyos a priori elvárt tulajdonságokkal, pl. stabil (konvergens) lesz, illetve megőrzi a koncentrációk nemnegativitását.

Ezért nem javasolható, hogy valamely kiválasztott numerikus módszerrel közvetlenül diszkretizáljuk az egyenleteket.

A főbb problémák felvázolása után áttekintünk egy számítási eljárást, nevezetesen az operátorszeletelést, amely hasonló méretű és bonyolultságú feladatok megoldásában sikerrel alkalmazható. Megemlítjük az alkalmazás során felmerülő főbb problémákat, és összefoglaljuk a szeletelési módszerek vizsgálatában elért legfontosabb eredményeinket.

Az operátorszeletelés módszere. Az operátorszeletelés olyan numerikus eljárás, amelynek segítségével bonyolult időfüggő egyenletrendszerek megoldását egyszerűbb részfeladatok egymás utáni megoldására vezethetjük vissza (Faragó és Havasi, 2009b). Legegyszerűbb fajtája az ún. szekvenciális szeletelés, amelynek során az egyenletrendszer jobb oldalát egyszerűbb tagokra bontjuk, és az ezekhez tartozó feladatokat időben egymás után oldjuk meg, minden egyes időlépcsőben a korábbi részfeladat megoldását használva kezdeti feltételként. Természetesen a jobb oldalt többféleképpen is részekre bonthatjuk. Itt csak egy lehetőséget említünk: a fizikai elven való szétbontást, amelynek során az alábbi részfeladatokat oldjuk meg:

$$\frac{\partial c_i^{[1]}}{\partial t} = -\nabla(\bar{u}c_i^{[1]}) , \quad \frac{\partial c_i^{[2]}}{\partial t} = \nabla(K\nabla c_i^{[2]}) ,$$

$$\frac{\partial c_i^{[3]}}{\partial t} = -\sigma_i c_i^{[3]} ,$$

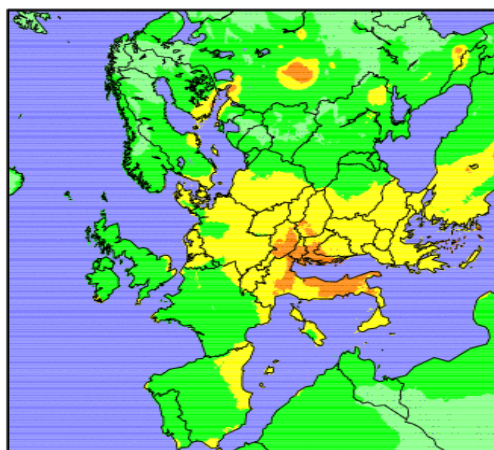
$$\frac{\partial c_i^{[4]}}{\partial t} = R_i(c_1^{[4]}, \dots, c_m^{[4]}) , \quad \frac{\partial c_i^{[5]}}{\partial t} = E_i .$$

Világos, hogy a kapott részfeladatok mindegyike jóval egyszerűbb struktúrájú, mint az eredeti feladat, és előnyös, hogy mindegyik részfeladatot a legmegfelelőbb numerikus módszerrel oldhatjuk meg. Hátrány azonban, hogy az eredeti folyamatot, amelyben az öt részfolyamat egyszerre fejti ki a hatását, olyan feladatok sorozatára cseréltük, amelyben a szóban forgó részfolyamatok minden időlépcsőben egymás után hatnak. Az ebből adódó hibát szeletelési hibának nevezzük. Ez többnyire akkor is fellép, ha az összes részfeladatot pontosan oldjuk meg, de kis időlépcső esetén már várhatóan kicsi lesz ez a hiba, azaz nem lesz lényeges eltérés a szeleteléssel kapott megoldás és a pontos megoldás között.

A szeletelés elméletének egyik fontos kérdése: milyen szeletelési módszert alkalmazunk ahhoz, hogy a lehető legkisebb szeletelési hiba terhelje a numerikus megoldást? A fenti szekvenciális módszeren kívül léteznek kisebb szeletelési hibával dolgozó módszerek is, pl. a Marcsuk–Strang-féle vagy a súlyozott szekvenciális módszer. A szeletelés elmélete a korlátos lineáris operátorokra részletesen ki van dolgozva (Bartholy et al., 2001), de ezen eredmények egy részét sikerült általánosítanunk szélesebb feladatosztályokra is (Faragó és Havasi, 2007a). Megvizsgáltuk ezen kívül a szeletelési hiba eltűnésének feltételeit a hagyományos szeletelési eljárások esetében, ezek azonban

a gyakorlati feladatokban ritkán teljesülnek (Faragó és Havasi, 2007b). A szeletelési módszereket számos tesztfeladaton tanulmányoztuk: közönséges differenciálegyenlet-rendszereken, egy egyszerűsített légköri oszlopmodellen (Botchev et al., 2004), valamint a linearizált sekélyvíz egyenletrendszeren (Havasi, 2007 és 2008), és az elméletben elvárt hibarendeket kaptuk.

Magas ózonkoncentrációjú napok száma Európában, 2003-as futtatás alapján

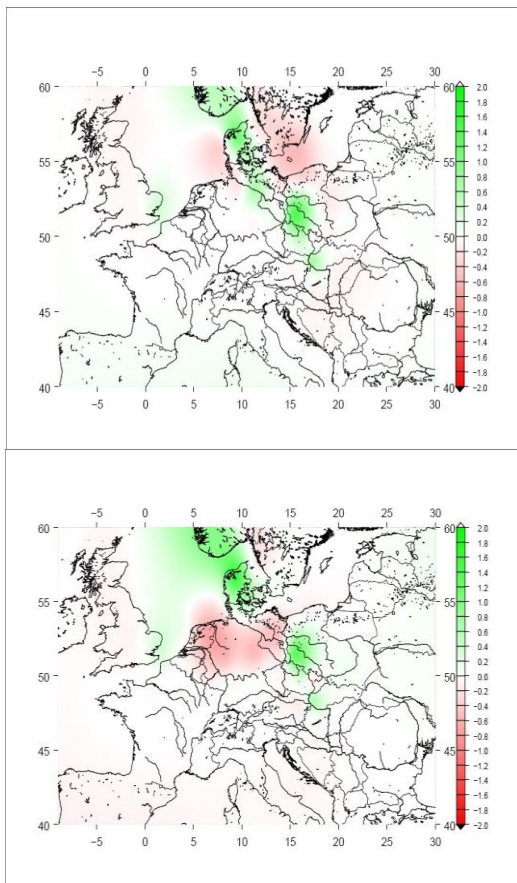


1. ábra. Ózonszennyezettség Európában a DEM alapján.

A szeletelési módszereket sikerrel alkalmaztuk valós feladatban is. Munkánkban (Kocsis et al., 2009) megvizsgáltuk a különböző szeletelési módszerek (szekvenciális, Strang–Marcsuk-féle, additív és módosított additív szeletelés) alkalmazhatóságát az Országos Meteorológiai Szolgálatnál futtatott FLEXPART modellben. A FLEXPART egy Lagrange-féle trajektóriamodell, amely pontforrás által kibocsátott szennyezőanyag közép- és hosszú távú terjedésének előrejelzésére alkalmas. A szeleteléssel kapott eredményeket az ETEX (European Tracer Experiment) mérési program keretében gyűjtött adatokkal is összevetettük többféle statisztikai indikátor vizsgálatával. Azt tapasztaltuk, hogy a szeletelési módszerek többnyire felülbecslik a koncentrációkat. A mérésekhez legközelebb álló eredményeket a szeletelés nélküli modellváltozat és a módosított additív szeletelés adta, a legkevésbé megbízhatónak pedig a Marcsuk–Strang-féle szeletelés bizonyult (2. ábra).

A gyakorlatban előforduló modellfeladatok megoldása során a pontosság mellett a hatékonyság is alapvető követelmény. A Csomós et al. (2007) közleményben a szekvenciális, a Marcsuk–Strang-féle, a súlyozott szekvenciális és a súlyozott Marcsuk–Strang-féle szeletelés gépigényét vizsgáltuk szekvenciális és párhuzamosított számítás esetén, a Dániai Euleri Modell egyszerűsítésével kapott tesztfeladatokon. A súlyozott módszerek párhuzamosítása jelentősen csökkentheti a számítási időt.

A szeleteléssel kapott numerikus megoldás pontossága növelhető az ún. Richardson-extrapoláció módszerével, amelynek során különböző hosszúságú időlépcsővel elvégzett fut-



2. ábra: Az ETEX kísérletben mért és a különböző szeletelési módszerekkel számított koncentrációk különbsége 54 órával a kibocsátást követően (ng/m^3 értékben). (a) módosított additív szeletelés, (b) Marcsuk–Strang-féle szeletelés.

tatások eredményeit kombináljuk. Ezt az eljárást sikeresen alkalmaztuk a szekvenciális szeletelési módszerre (Faragó és Havasi, 2009a). Mivel a szekvenciális szeletelés elsőrendű módszer, a Richardson-extrapolációval kombinálva másodrendű megoldó módszert kapunk, függetlenül attól, hogy a részfeladatokra hányadrendű numerikus módszert alkalmazunk. Megállapítottuk, hogy a Richardson-extrapolációval kombinált szekvenciális szeletelés pontosságban felveszi a versenyt az olyan hagyományos másodrendű szeletelési módszerekkel, mint a Marcsuk–Strang-féle és a szimmetrikusan súlyozott szekvenciális szeletelés. Fontos kiemelni, hogy a másodrendű konvergencia akkor is megőrződik, ha a részfeladatokat elsőrendű numerikus módszerrel oldjuk meg, ellentétben az említett másodrendű szeletelési technikákkal. A módszert az UNI-DEM légszennyezés-terjedési modell kémiai almodelljén teszteltük, amely összesen 56 anyagfajttal számol. Az eredmények azt mutatják, hogy a Richardson-extrapolációval kombinált szekvenciális szeletelést alacsonyabb rendű numerikus módszerekkel érdemes kombinálni. Megfelelő módszerrel (pl. implicit Euler-módszer) sikerült másodrendű konvergenciát elérnünk.

A Richardson-extrapolációt egydimenziós advekción feladaton is tanulmányoztuk (Zlatev et al., 2011). Az advekción egyenletek a meteorológiai modellek kulcsfontosságú részei, megoldásukhoz tehát hatékony algoritmusokra van szükség.

A tanulmányban megmutatjuk, hogy a Crank–Nicolson-sémával kapott numerikus megoldás hatékonyan javítható a Richardson-extrapoláció alkalmazásával.

A szeletelési módszerek időjárás-előrejelző modellekben is használhatók. Napjainkban az operatív modellekben talán a szemi-implicit szemi-Lagrange-féle (SISL) módszer alkalmazása a legelterjedtebb, amely ugyan nem tartozik az operátorszeletelési módszerek közé, de szintén a különböző tulajdonságú (lineáris, valamint a nemlineáris advekción) tagok eltérő kezelésén alapul. Érdemes lehet azonban az operátorszeletelési módszerek alkalmazási lehetőségeit is fontolóra venni az operatív időjárás-előrejelző modellekben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg, a támogatási szerződés száma TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003.

Irodalom

- Bartholy, J., Faragó, I., Havasi, Á., 2001: Splitting method and its application in air pollution modeling. *Időjárás* 105, 39–58.
- Botchev, M., Faragó, I., Havasi, Á., 2004: Testing weighted splitting schemes on a one-column transport-chemistry model. *Int. J. Env. Pol.* 22, Nos. 1/2, 3–16.
- Bozó, L., Mészáros, E., Molnár, Á., 2006: Levegőkörnyezet. *Akadémiai Kiadó*, Budapest, 252 p.
- Csomós, P., Dimov, I., Faragó, I., Havasi, Á., Ostromsky, Tz., 2007: Computational complexity of weighted splitting schemes on parallel computers. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems* 22, No. 3, p. 137.
- Faragó, I., Havasi, Á., 2007a: Consistency analysis of operator splitting methods for C_0 -semigroups. *Semigroup Forum* 74, 125–139.
- Faragó, I., Havasi, Á., 2007b: Relationship between vanishing splitting errors and pairwise commutativity. *Applied Mathematics Letters*, megjelent elektronikusán: DOI: 10.1016/j.aml.2007.02.008.
- Faragó, I., Havasi, Á., 2009a: Richardson-extrapolated sequential splitting and its application. *Journal of Computational and Applied Mathematics* 226, 218–227, DOI: 10.1016/j.cam.2008.08.003.
- Faragó, I., Havasi, Á., 2009b: Operator Splitting and their Applications, Mathematics Research Development Series, Nova Science Publishers, Inc., New York, 108 p.
- Havasi, Á., 2007: Wave analysis of different splitting methods in the linearized shallow water equations. *International Journal of Computational Science and Engineering* 3, No. 4, 264–270.
- Havasi, Á., 2008: Wave analysis for different splittings of the shallow water equations on the β -plane. *Computers and Mathematics with Applications* 55, 2295–2305.
- Kocsis, Zs., Ferenczi, Z., Havasi, Á., Faragó, I., 2009: Operator splitting in the Lagrangian air pollution transport model FLEXPART. *Időjárás* 113, 189–202.
- Práger, T., 1992: Numerikus prognosztika I. *Tankönyvkiadó*, Budapest, p. 327.
- Zlatev, Z., 1995: Computer treatment of large air pollution models. *Kluwer, Academic Publishers*, Dordrecht-Boston-London.
- Zlatev, Z., Dimov, I., Faragó, I., Georgiev, K., Havasi, Á., Ostromsky, Tz., 2011: Richardson Extrapolated Numerical Methods for Treatment of One-Dimensional Advection Equations, *Springer-Verlag*, LNCS 6046, Berlin, Heidelberg, 7th International Conference, NMA 2010 Borovets, Bulgaria, August 20–24, 2010, Revised Papers, 198–206.

NÉHÁNY STATISZTIKUS MÓDSZER AZ ELMÉLETI ÉS ALKALMAZOTT KLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATOKBAN

SOME STATISTICAL METHODS USED IN THEORETICAL AND APPLIED CLIMATOLOGY

Matyasovszky István

ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.
matya@caesar.elte.hu

Összefoglalás: Az alábbiakban áttekintünk néhány, a hagyományos statisztikai módszereken túlmutató eljárást, melyek részben az elméleti, részben az alkalmazott klimatológiában hasznosíthatók. Ezek az elmúlt évek, illetve a jelen és a közeli jövőben tervezett munkáinkat érintik.

Abstract: The study presents some statistical methods going beyond traditional techniques and useful in theoretical or applied climatology. These procedures were used in last years, are in progress at present or will be used in the near future.

Bevezetés. Mivel az éghajlat alapvetően statisztikus természetű, így vizsgálata a valószínűségszámítás és matematikai statisztika eszközeit igényli. Ezekkel a kérdésekkel foglalkozik a statisztikus klimatológia. Az éghajlat lényegének megismerése szempontjából vethető fel a különböző éghajlati elemek memóriája. Ilyenkor a rendelkezésre álló idősorok alapján próbáljuk becsülni, hogy az adott idősor aktuális értékeinek optimális statisztikai előrejelzéséhez a múltbeli értékek időben milyen hosszú szakaszára van szükség. Némiképp hasonló kérdés az ún. embedding dimenzió becslése. Ennek lényege, hogy az adott idősort egy zajjal terhelt dinamikai rendszer megfigyelésének tekintjük, és a feladat a dinamikai rendszer dimenziójának megadása. Számos statisztikai módszer igényli az embedding dimenzió ismeretét, így például az elmúlt két évtizedben rohamosan fejlődő szinguláris spektrum analízis (Vautard and Ghil, 1989), ám megbízható becslése tudomásunk szerint elmaradt a klimatológiai irodalomban. A megoldás iránt érdeklődők számára Fueda and Yaganawa (2001) munkáját ajánljuk.

Részben az általános megismerés, részben a jövő éghajlatának becslési lehetőségeinek megismerése szempontjából fontos a már lezajlott, illetve zajló éghajlatváltozás detektálása és becslése. Az éghajlatváltozást legegyszerűbben a várható érték időbeli változásával szokás leírni, vagyis a trend-elemzéssel. Manapság, alapvető fontosságú gyakorlati hatásai folytán, egyre inkább előtérbe kerülnek az extrém események, amelyek például a kvantilis regresszió segítségével vizsgálhatók. Az egyik legrégebbi statisztikus klimatológiai eszköz a spektrálanalízis, amikor egy szóban forgó idősor mögött meghúzódó sztochasztikus folyamatot véges sok (diszkrét spektrum) és megszámlálhatatlanul sok (folytonos spektrum) periodikus összetevő szuperpozíciójaként tekintjük. Adott idősor esetében a diszkrét spektrum trigonometrikus trendként jelentkezik. Végezetül meg kell említeni, hogy mivel az éghajlat nagyszámú nem-lineáris kölcsönhatás eredményeként jön létre, célszerű az éghajlati idősorokat

a jól ismert lineáris idősor modellek helyett nem-lineáris idősor modellek segítségével elemezni.

Trend-elemzés. A trendet ma is leggyakrabban az idő lineáris függvényének tekintik. Ezt a legkisebb négyzetek (least squares: LS) módszerével végzik, tehát az aktuális megfigyelések és becslésük négyzetes hibaösszegének minimalizálásával. A valóságos trend azonban rendszerint eltér a lineáristól. Lényegesen pontosabb becslés nyerhető az ún. súlyozott lokális regresszió (weighted local regression: WLR) segítségével. Mivel a trend az idő sima függvénye, minden időpont egy környezetében lokálisan illesztünk lineáris trendet úgy, hogy a négyzetes hibákat súlyozzuk. Az aktuális időponthoz tartozó hiba rendelkezik a legnagyobb súllyal, és az időponttól távolodva valamilyen ütem szerint csökkennek a súlyok. A súlyokat egy magfüggvény generálja, aminek megválasztása nincs túl komoly hatással a becslés pontosságára. A környezet, melyet sáv szélességnek nevezünk, azonban igen fontos szerepet játszik. Szerencsére ennek szubjektív megválasztása helyett van mód a becslésére is.

Ismeretes, hogy az északi hemiszféra átlaghőmérséklete az 1850-2010 közötti periódusban a lineáris trend szerint összességében $0,73\text{ °C}$ emelkedést mutat, ami $0,045\text{ °C}/10\text{ év}$ növekedési rátának felel meg. A WLR eljárás azonban az 1914–1942 időszakra összességében $0,133\text{ °C}/10\text{ év}$, sőt az 1975–2010 periódusra ennél nagyobb, $0,183\text{ °C}/10\text{ év}$ emelkedő rátát nyújt úgy, hogy közben az 1942–1975 évek során $0,057\text{ °C}/10\text{ év}$ ütemű csökkenést jelez (Matyasovszky, 2011).

Az említett évszámok, illetve időszakok nem véletlenül lettek kiválasztva. Az utóbbi időben ugyanis növekvő figyelem fordul az ún. hirtelen éghajlatváltozások (abrupt climate changes) felé. A hirtelen változást mutató időpontok azonosítása tradicionálisan azon alapszik, hogy a trendfüggvényt szakaszonként konstansnak tekintik, mely szakaszokat a trend ugrásai határolják. Ez a megközelítés fizikailag tarthatatlan, hiszen nem képzelhető el

az a helyzet, hogy az éghajlat valameddig változatlan, majd azonnal egy másik éghajlatba megy át. Ezért a trendfüggvény deriváltjának ugrásait tekintjük hirtelen változásnak (Matyasovszky, 2011). A feladat a WLR módszer általánosításával oldható meg. A definíció persze egy kompromisszum, mert a trend ugrásainak megengedése elfogadhatatlan, míg a második vagy magasabb deriváltjai ugrásának értelmezése túl sima trendet adna ahhoz, hogy hirtelen változásról beszélhessünk. A módszer az 1901, 1914, 1942, 1963 és 1975 éveket adta az északi hemiszféra hőmérsékletének hirtelen változásaira. A távolabbi múltba nyúló rekonstruált hőmérsékleti adatokra alkalmazva eljárásunkat be lehetett határolni egyebek mellett a Középkori Meleg Periódust (Viking-kor) és a Középkori Kis Jégkorszakot, vagy a Holocén Klíma Optimumot is.

Regresszió, kvantilis regresszió. A WLR azokban az esetekben is alkalmazható, amikor a független változó (prediktor) értékei nem időpontok vagy egyéb determinisztikus mennyiségek, hanem maga is valószínűségi változó, sőt változók realizációi. Ilyenkor a becslendő változó (prediktandusz) adott prediktorok melletti feltételes várható értékének becslése a cél. Példaként említjük a hazánkban nagyon elterjedt parlagfű erősen allergén pollenjének koncentráció becslését. *Makra et al.* (2011) Szeged, Legnano és Lyon napi parlagfű pollen-koncentrációit hozta kapcsolatba a megelőző napi koncentrációval és meteorológiai paraméterekkel, mivel a Kárpát-medencén kívül még a Pó-alföld és a Rajna völgye Európa erősen parlagfüves területei. A becslés által megmagyarázott relatív variancia Szegedre a legnagyobb és Legnanora a legkisebb, tehát a legpontosabban Szeged napi parlagfű pollen-koncentrációja becsülhető a három hely közül. A legfontosabb meteorológiai változónak a napi középhőmérséklet (Szeged és Legnano) és a napi csapadékösszeg (Lyon) bizonyult.

A hagyományos regressziós feladat helyett gyakran célszerű a medián regressziót elvégezni, amikor a prediktorok melletti feltételes medián becsléséről van szó. Ilyenkor a becslési hibák négyzetösszegének minimalizálása helyett a becslési hibák abszolút összegének minimalizálása történik. Különösen előnyös ez, ha a prediktandusz valószínűségi eloszlása erősen nem normális és esetenként nagyon kiugró értékek fordulhatnak elő. Jó példa erre ismét a szegedi napi parlagfű pollen-koncentráció. *Makra és Matyasovszky* (2010) ezúttal az esős és száraz napokat szétválasztva külön-külön oldotta meg a feladatot. Az előző napi koncentráción kívül az esős napokon a napi globálisugárzás, a száraz napokon a napi középhőmérséklet bizonyult fontos prediktornak. Részben a napok csapadék szerinti szétválasztásának, de főként a medián regresszióknak köszönhetően az előző vizsgálathoz képest lényegesen kisebb átlagos abszolút hibákat, azaz lényegesen pontosabb becslést nyertünk.

Mivel a medián a $p = 0,5$ valószínűségi értékhez tartozó kvantilis, a medián regresszió általánosításával bármely zérus és egy közötti p -re értelmezhető a kvantilis regresszió. Ez a prediktandusznak a prediktorok adott értéke

melletti feltételes kvantilis becslését végzi. Megjegyezzük, hogy a p -kvantilis az a szám, amelynél kisebb értéket a szóban forgó valószínűségi változó p valószínűséggel vesz fel. A számítások szerint a napi parlagfű pollen-koncentráció kvantilisei általában kisebbek az esős, mint a száraz napokon, továbbá a napi koncentráció valószínűségi eloszlása sokkal elnyújtottabb a magas koncentrációk felé a száraz napokon. Az esős napokhoz tartozó kvantilisek azt jelzik, hogy a pollen-koncentrációk jóval kisebb változékonyságúak a csapadékos napokon.

Spektrálanalízis. A spektrálanalízis rendkívül kiterjedt módszertana döntően az ekvidisztáns időpontokban megfigyelt adatsorokra vonatkozik. Az éghajlati idősorok azonban olykor nem ekvidisztáns időpontokban állnak rendelkezésre. Tipikus példa erre a paleoklíma adatok. Ilyenkor a spektrálanalízis kiindulásaként szolgáló hagyományos periodogram helyett a Lomb–Scargle (LS) periodogramot (Lomb, 1976) szokás alkalmazni. Igen gyakran egy elsőrendű autoregresszív (AR(1)) folyamatot illesztnek az idősorhoz, és a feladat annak eldöntése, hogy az AR(1) modell által generált vörös zaj spektrumtól mely periódusidőknél különbözik szignifikánsan a periodogram. A nem ekvidisztáns idősorok esetében azonban az autoregresszív modell LS becslése igen pontatlan lehet. Ezért egy súlyozott LS módszert javasolunk, továbbá a Lomb–Scargle periodogramban szintén fellépő pontatlanságok csökkentése érdekében egy új periodogramot vezetünk be, mely az ún. totális legkisebb négyzetek módszerén alapul (Matyasovszky, 2012). A GISP2 oxigén izotóp adatok (Kr. e. 58000–13000 évek) és Vostok deutérium tartalom adatok (Kr. e. 420766 - i. sz. 2000 évek) elemzése a korábbi eredményekhez képest több fontos különbséget hozott (Matyasovszky, 2012). Az összehasonlítás során az AR(1) spektrális sűrűségeen kívül felhasználtuk a periodogram robusztus simitását is (Matyasovszky, 2010a).

Nem-lineáris idősor modellezés. Egy AR folyamat tipikus lineáris modell, mert a szóban forgó idősor aktuális értékét az idősor megelőző értékeinek lineáris kombinációja és egy zaj összege adja. Több idősor együttes modellezésekor vektor értékű AR folyamathoz jutunk. Ez nem-lineárisra például úgy tehető, hogy a lineáris kombinációt definiáló AR paraméterek függenek valamelyik idősor valahány lépéssel korábbi értékétől, vagyis a küszöbváltozó értékétől.

A grönlandi és az antarktisi jégfuratok izotópösszetételének tanulmányozása során egyebek mellett fáziskülönbséget találtak a két terület éghajlatváltozásainak időbeli lefolyásában. Felvetődött ezért a kérdés, hogy a változások a két félteke közül vajon melyiken indulnak el és terjednek át a másikra. Mindkét lehetőségre születtek fizikailag alátámasztott elképzelések, amelyek közül azonban nem lehetett egyértelműen, statisztikailag igazoltan választani (Steig and Alley, 2002). Ennek oka minden bizonnyal az, hogy a statisztikai vizsgálatok megmaradtak a lineáris idősor elemzés keretein belül. Kidolgoztunk ezért a grönlandi NGRIP és az

antarktiszi Vostok adatsor együttesére egy egyszerű nem-lineáris AR modellt, egy ún. küszöbmodell (Matyasovszky, 2010b). Mivel a küszöbváltozó – mely a nem-linearitást beviszi a modellbe – a grönlandi, azt mondhatjuk, hogy Grönland képviseli az elsődleges szerepet a Grönland–Antarktisz éghajlatváltozási kapcsolatban. A küszöbváltozó választásának helyességét természetesen statisztikai teszttel igazoltuk.

Irodalom

- Fueda, K., Yanagawa, T., 2001: Estimating the embedding dimension and delay time from chaotic time series with dynamic noise. *J. Japan Statist. Soc.* 31, 27–38.
- Lomb, N.R., 1976: Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophys. Space Sci.* 39, 447–462.
- Makra, L. and Matyasovszky, I., 2010: Assessment of daily ragweed pollen concentration with previous-day meteorological variables using regression and quantile regression analysis for Szeged, Hungary. *Aerobiologia* 27, 247–259.
- Makra, L., Matyasovszky, I., Thibaudon, M. and Bonini, M., 2011: Forecasting ragweed pollen characteristics with non-parametric regression methods over the most polluted areas of Europe. *Int. J. Biometeorol.* 55, 361–371.
- Matyasovszky, I., 2010a: Improving the methodology for spectral analysis of climatic time series. *Theor. Appl. Climatol.* 101, 281–287.
- Matyasovszky, I., 2010b: Trends, time-dependent and nonlinear time series models for NGRIP and VOSTOK paleoclimate data. *Theor. Appl. Climatol.* 101, 433–443.
- Matyasovszky, I., 2011: Detecting abrupt climate changes on different time scales. *Theor. Appl. Climatol.* 105, 445–454.
- Matyasovszky, I., 2012: Spectral analysis of unevenly spaced climatological time series. *Theor. Appl. Climatol.*, Submitted.
- Steig, E.J. and Alley, R.B., 2002: Phase relationships between Antarctic and Greenland climate records. *Ann. Glaciol.* 35, 451–456.
- Vautard, R. and Ghil, M., 1989: Singular spectrum analysis in nonlinear dynamics, with applications to paleoclimatic time series. *Physica D* 35, 395–424.

KISLEXIKON

POCKET ENCYCLOPAEDIA

Folytatás a 173. oldalról

szabadföldi vízkapacitás, szántóföldi vízkapacitás, talaj hidrofizikai paraméter. Az a vízmennyiség a talajban, rendszerint a felső 1 méteres rétege megadva, amelyet a talaj maximálisan meg tud tartani a nehézségi erő ellenében. Az agrometeorológiai gyakorlatban vízoszlop mm-ben adják meg a mennyiségét. (Acs F., Breuer H.: *A talaj szerepe a meteorológiában és klimatológiában*)

sztochasztikus folyamat időben végbemenő véletlenszerű folyamat, amit valószínűségi változók írnak le. (Matyasovszky I.: *Néhány statisztikus módszer az elméleti és alkalmazott klimatológiai vizsgálatokban*)

turbulens diffúzió a turbulens áramlásban a különböző anyagoknak az örvényes légmozgás által okozott szóródása. A légkörben a ~ sokkal hatékonyabb, mint a molekuláris diffúzió. (Havasi Á., Faragó I.: *Alkalmazott matematika a meteorológiában*)

sekélykonvekció a légréteg rendezett vertikális mozgása, amely a hó, a vízgőz és az impulzus függőleges átvitelét eredményezi egy meghatározott vastagságú, a mélykonvekcióhoz képest szűkebb légrétegen belül. A benne képződő, csapadékot nem okozó gomolyfelhők vertikális kiterjedése kicsi. (Acs F., Breuer H.: *A talaj szerepe a meteorológiában és klimatológiában*)

spektrálanalízis a sztochasztikus folyamatok elemzésére szolgáló módszer, aminek alapja, hogy minden periodikus függvény felbontható különböző frekvenciájú és amplitúdójú szinusz-, és koszinuszfüggvények végtelen sok elemből álló kombinációjára. (Matyasovszky I.: *Néhány statisztikus módszer az elméleti és alkalmazott klimatológiai vizsgálatokban*)

vörös zaj, *Brown zaj* az átlagostól való véletlenszerű eltérés. A meteorológiai folyamatok és mezők vizsgálatakor gyakran jelentkező zajtípus, amit a hosszuhullámú összetevők túlsúlya jellemez. (Matyasovszky I.: *Néhány statisztikus módszer az elméleti és alkalmazott klimatológiai vizsgálatokban*)

LÉGKÖRI TERJEDÉSI ÉS ÜLEPEDÉSI MODELLEK FEJLESZTÉSE ÉS ALKALMAZÁSA

DEVELOPMENT AND APPLICATIONS OF ATMOSPHERIC TRANSPORT AND DEPOSITION MODELS

Mészáros Róbert¹, Lagzi István², Kolozsi-Komjáthy Eszter¹, Leelőssy Ádám¹, Steierlein Ákos¹, Nagy Roland¹

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

²BMGE Fizika Tanszék, 1111 Budapest, Budafoki út 8, F épület.

mrobi@nimbus.elte.hu, lagzi@nimbus.elte.hu, komjathyeszter@gmail.com, leelossyadam@gmail.com, akos0109@gmail.com, duncy89@gmail.com

Összefoglalás: Kutatásaink során folyamatos, vagy baleseti kibocsátások révén a légkörbe kerülő szennyezőanyagok terjedését, kémiai reakcióit, és légkörből való kikerülését vizsgáljuk különböző szemléletű és skálájú modellekkel.

Abstract: Investigations of the atmospheric dispersion of pollutants originated from both accidental and continuous releases, their chemical reactions and depositions are carried out by environmental models using different approaches and scales.

Bevezetés. Az elmúlt évtizedekben történt ipari katasztrófák és egyéb eseti kibocsátások, valamint a folyamatosan a légkörbe juttatott szennyezők emissziójának – a nemzetközi kibocsátást csökkentő intézkedések ellenére tapasztalható – növekvő tendenciái ráirányították a figyelmet a légköri szennyezőanyagok terjedésének és az általuk okozott környezeti károknak a megbízható, pontos becslésére. A számítástechnikai háttér rohamos fejlődése, valamint a számítási idő csökkentését eredményező korszerű módszerek megjelenése egyben megeremtetette a lehetőséget az egyre finomabb tér- és időbeli felbontású modellszimulációk elvégzésére. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén több mint egy évtizede végzünk különböző skálájú szennyezőanyag terjedési és ülepedési modellszimulációkat. A modellezés során nyert tapasztalatok alapján folyamatosan fejlesztjük a szennyezőanyagok légköri terjedésének és az általuk okozott környezeti terhelésnek a szimulálására alkalmas TREX (TRansport-EXchange) terjedési-kicserélődési modellcsomagot. Az elmúlt években különböző szimulációkat végeztünk lokális, regionális és kontinentális skálán.

Baleseti kibocsátások szimulálása különböző skálán.

A szennyezőanyagok terjedésének modellezése során az adott probléma méretskálájától és a konkrét feladattól függően különböző szemléletmód alkalmazása szükséges. A TREX modellel ún. lagrangei és euleri szemléletben (trajektóriák mentén, illetve rácshálózaton) végeztünk terjedési számításokat. A fentiekén túl más típusú modellek adaptálását, fejlesztését és alkalmazását is végezzük. Ilyenek például az egyszerű, de épp ezért nagyszámú szimulációra alkalmas gaussi, vagy a jóval bonyolultabb, de pontosabb CFD (Computational Fluid Dynamics) modellek. A modellszimulációkkal széles körű érzékenységi, és statisztikai vizsgálatokra is lehetőség nyílik.

Az atomerőművek és más nukleáris létesítmények üzemeltetése során nem kerülhető el bizonyos mennyiségű radioaktív anyag környezetbe, elsősorban a légkörbe

és a felszíni vizekbe kerülése (ún. normál üzemi kibocsátások). Ezen túlmenően a biztonságos üzemeltetés ellenére fel kell készülni olyan veszélyhelyzetekre, balesetekre, melyek során nagy aktivitású radioaktív anyagok is a környezetbe kerülhetnek (baleseti kibocsátások). Az 1986-os csernobili katasztrófa súlyos következményei ösztönzően hatottak a baleseti kibocsátási modellek fejlesztésére. Ezt a tendenciát felerősítette a 2011 márciusában történt fukushimai atomerőmű baleset. A szigorú hatósági követelmények mellett ezért mind a társadalom, mind a tudományos közélet részéről egyre nagyobb az igény, hogy pontosan ismerjük, és hatékonyan előre is tudjuk jelezni egy nukleáris, vagy más ipari baleseti kibocsátás hatását a környezetre, különösen a lakosságra.

A hatósági előírásoknak megfelelően a Paksi Atomerőműből történő feltételezett baleseti kibocsátások szimulálására is rendelkezésre állnak különböző típusú és eltérő térszálajú modellek. Ugyanakkor a számítástechnika rohamos fejlődése, valamint az új tudományos eredmények megeremtetették a lehetőségét, ezzel egyidejűleg a megváltozott felhasználói igények pedig megkövetelik az egyre kifinomultabb modellek fejlesztését és tesztelését. Ennek érdekében az ELTE Meteorológiai Tanszéke is bekapcsolódott e modellfejlesztési feladatokba.

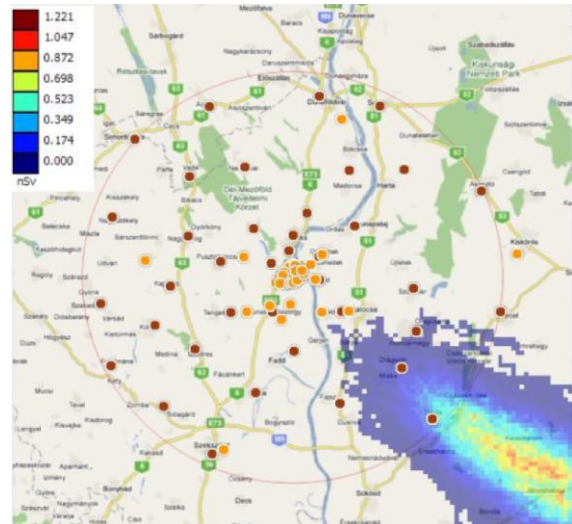
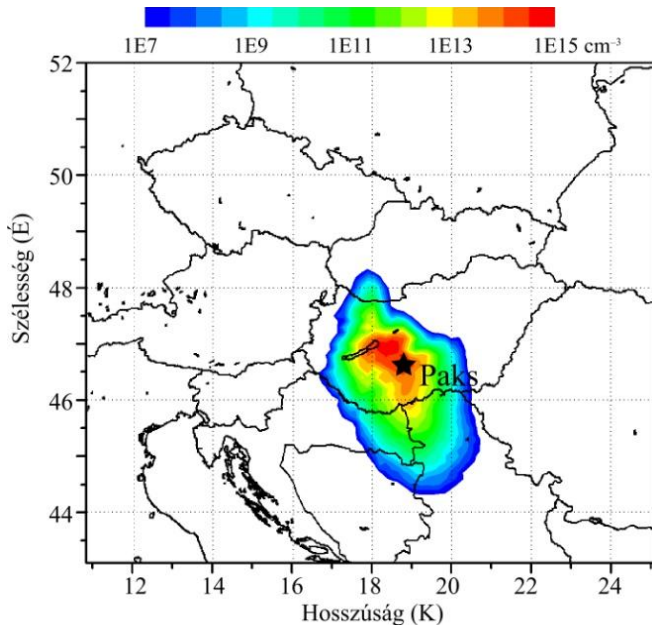
Első lépésben egy háromdimenziós *Euler-típusú* terjedési modellt fejlesztettünk ki, amely alkalmas különböző szennyezőanyagok terjedésének és kémiai reakcióinak leírására (Lagzi et al., 2006; Mészáros et al., 2006).

E modellben a Kárpát-medence térségét egy rácshálózattal lefedve, a terjedés leírásához használt légköri transzport-egyenletekben az advekción, a függőleges és vízszintes diffúzió, az ülepedés, a kémiai reakció és az emisszió hatását vettük figyelembe.

A bemenő meteorológiai adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálatnál operatíván futtatott *ALADIN* előre-

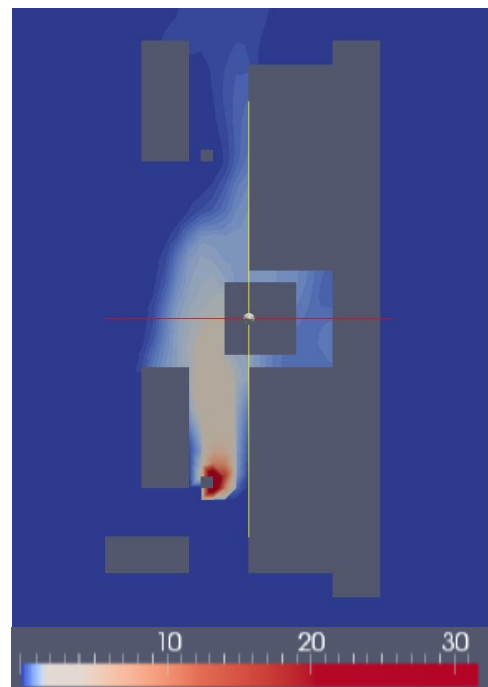
jelzési modell 0–48 órás előrejelzései szolgáltatták. Különböző időjárási helyzetekre végzett esettanulmányok (Mészáros *et al.*, 2010) és részletes érzékenységi vizsgálatok mellett egy hosszabb időszakra (1 év) folyamatosan végeztünk szimulációkat (az év minden egyes napján egy baleseti kibocsátást feltételezve és a diszperziót szimulálva), ami már statisztikai elemzéseket is lehetővé tett

(Mészáros *et al.*, 2011). Ennek keretében a Péczy-féle makroszinoptikus helyzetek szerint rendszereztük a modellfuttatásokat. E módszernek köszönhetően lehetőség nyílik arra, hogy már a nagy pontosságú baleseti modellek lefuttatása előtt is egy elsődleges közelítést adhassunk a szennyeződés várható terjedésére és a baleset következményeire. Ez természetesen nem helyettesíti a



Példa a TREX-Euler terjedésszámító modell alkalmazására: ^{131}I koncentráció eloszlása egy Közép-Európát lefedő rácson, 6 órával egy feltételezett baleset után, folyamatos kibocsátás mellett, az Aladin modell meteorológiai mezőinek felhasználásával.

Példa a TREX-Lagrange terjedésszámító modell alkalmazására: a lakosságot ért pajzsmirigy dózis megjelenítése a Paksi Atomerőmű környezetében egy feltételezett baleset után, Lagrange részecskemoddellel történt terjedésszimuláció alapján.



Példa az ALOHA (egyszerű Gauss-típusú modell) alkalmazására: egy feltételezett baleset során 100 kg ammóniát bocsátottunk ki egy perc alatt az atomerőmű bejáratához vezető útszakaszon. Az egyes színek az ammóniára vonatkozó különböző határérték túllépéseket jelentik.

Példa az OpenFOAM CFD modell alkalmazására: délnyugati szélirány esetén kialakuló ^{131}I koncentrációmező egy feltételezett jódtó kibocsátás kezdete után 5 perccel a Paksi Atomerőmű területén, 10 m magasságban. Az értékek cm^{-3} -ben megadva.

1. ábra: A Paksi Atomerőmű területéről kibocsátott szennyezőanyagok terjedésének szimulálása különböző szemléletű és skálájú modellekkel.

dinamikus modelleket, de hasznos segítség lehet olyan szituációban, amikor minden pillanat számít a lakosság védelme érdekében meghozott döntéseknél.

Az erőmű térségére elkészítettünk egy háromdimenziós *Lagrange-típusú* terjedési modellt is, amely alkalmas különböző szennyezőanyagok terjedésének a leírására és képes gyorsan és pontosan előrejelezni a légszennyezési és dózis szinteket. A modell két különböző tartományon számol: az egyik a Paksi Atomerőmű 30 km-es körzete, a másik az erőmű közvetlen (10×10 km-es) környezete. A kisebb tartományra vonatkozó számítások részletesebb felbontású rácson történnek. A programcsomaggal különböző célokra alkalmas szimulációk végezhetőek (operatív használat, éles baleseti helyzet modellezése, gyakorlatok, tesztek végzése). A programcsomag operatív és baleseti helyzetben történő használatok az azt vizsgáljuk, hogy az adott pillanatban bekövetkező balesetnek milyen következményei lennének. Ebben az esetben nagyon fontos, hogy a modell minél rövidebb idő alatt lefusson és az eredmények alapján megalapozott döntéseket lehessen hozni. Ennek érdekében elkészítettünk egy párhuzamosított modellváltozatot a szimuláció sebességét nagyban megnövelve (*Molnár et al.*, 2010).

A fenti vizsgálatokon túl felmerült az igény az atomerőmű üzemi területére végzett szennyezőanyag terjedés modellezésére is. Ehhez első lépésként az A2C modell CFD szimulációra alkalmas próbaverziójával készítettünk szimulációkat a Paksi Atomerőmű környezetére, az épületek egyszerűsített geometriáját beépítve, lokális skálán (*Leelőssy*, 2010). Feltételezett baleseteket követően vizsgáltuk a szennyezőanyag térbeli eloszlását a szélirány függvényében. Később egy egyszerű gaussi megközelítést használó terjedési modellt, az ALOHA-t alkalmaztuk statisztikai vizsgálatokra és baleseti esettanulmányokra (*Mészáros et al.*, 2011). Az elsődleges eredmények hozzájárulnak az egyes modellparaméterek érzékenységének vizsgálatához, és a részletesebb, finomabb felbontású modellszimulációk fejlesztéséhez is. A tapasztalatok alapján az OpenFOAM áramlási modellt alkalmaztuk a Paksi Atomerőmű területére, amely képes az épületek áramlasmódosító hatásának figyelembevételével az üzem területén, a kibocsátás néhány száz méteres környezetében kialakuló szélviszonyok és a terjedés szimulációjára (*Leelőssy et al.*, 2012).

A különböző célú és eltérő jellegű modellekkel végzett szimulációkra az 1. ábrán mutatunk be példákat.

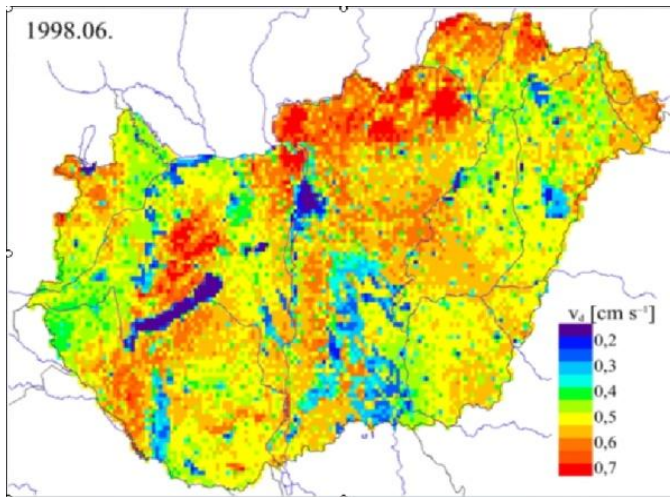
Folyamatos szennyezőanyag terhelés meghatározása.

A baleseti kibocsátások szimulálása mellett modellfejlesztéseink egy másik fontos iránya a légszennyező anyagok ülepedésének becslése (*Lagzi et al.*, 2004; *Mészáros et al.*, 2009a). Eddig elsősorban az ózon különböző felszínek feletti ülepedési sebességét vizsgáltuk adott pontokban, illetve Magyarországot, valamint Európát lefedő rácson (*2. ábra*). A különböző növényállományok feletti ülepedés becslése összetett feladat, mértéke egyaránt függ az időjárási helyzettől, a növény fajtájától és fiziológiai tulajdonságai-

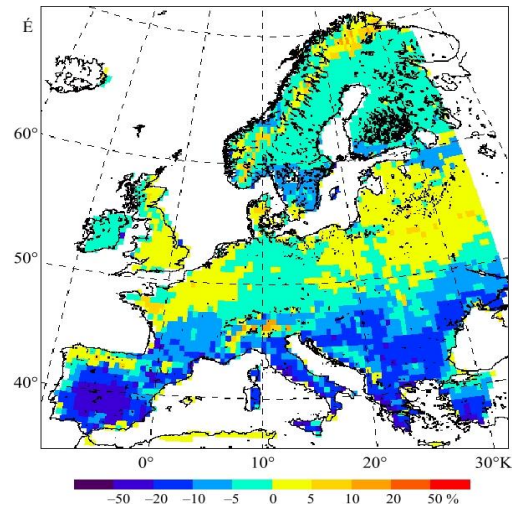
tól, a talajnedvességtől és közvetve a talaj fizikai féleségétől is. Az ülepedési sebesség és a felszínközeli koncentráció alapján meghatározható a felfogó közeget érő tényleges terhelés, a nyomgázáram (fluxus) mértéke. A szennyezőanyagok koncentrációját pontbeli mérések, vagy diszperziós modellek segítségével határozhatjuk meg. A TREX terjedési-kicserélődési modellt is abba az irányba fejlesztjük, hogy a különböző emisszió mezők, a részletes kémiai reakciómechanizmus és a terjedési folyamatok leírása alapján pontosan tudjuk becsülni az immiszió mezőket. Az ülepedési sebesség értékét pedig egyre kifinomultabb módszerekkel, a felszín-légkör kölcsönhatások részletes parametrizációja alapján adjuk meg.

A modellfejlesztés eredményeként eddig a növényállományokat ért terhelést koncentráció- és fluxus alapú mérőszámokkal jellemeztük különböző időszakokra. A bemenő meteorológiai mezőket az Aladin numerikus előrejelzési modell szolgáltatta. Az eredmények során azt tapasztaltuk, hogy az ülepedési sebesség értéke nagy eltéréseket mutat az egyes növényállományokra, és az eltérő időjárási helyzetek miatt még azonos hónapokban is jelentős különbségek alakulhatnak ki az egyes évek között. Az elemzések és a részletes érzékenységi vizsgálatok azt is alátámasztották, hogy hazánk területén a felszín-légkör közti kölcsönhatásokban kiemelt szerepet játszik a talajnedvesség (*Mészáros et al.*, 2009b, c). Emiatt a modell legújabb verziójában finomítottuk a talajnedvesség-becslő rutint.

A múltbeli és jelenlegi állapotokra végzett elemzések mellett célul tűztük ki a környezeti terhelés várható mértékének a becslését is (*Kolozsi-Komjáthy et al.*, 2011). A légköri szennyezőanyagok kibocsátására vonatkozó hosszú távú előrejelzések alapján az ózon ún. prekursor vegyületeinek értékeiben is jelentős változások várhatók. Ez jelentősen befolyásolja az ózon koncentrációjának és ezen keresztül ülepedésének a tér- és időbeli eloszlását. A meteorológiai állapotathatározók (hőmérséklet, csapadék, légnedvesség, talajnedvesség) következő évtizedekre prognosztizált változásai – közvetlenül és közvetve – szintén hatnak a felszín és a légkör között végbemenő kölcsönhatásokra, így az ózon ülepedésére is. A globális klímaváltozás következményeként ugyanakkor az is valószínűsíthető, hogy megváltoznak a felszínre és a növényzetre jellemző paraméterek (pl. levélfelületi-index, albedó) értékei, valamint a növények fokozatosan alkalmazkodnak az eltérő éghajlati körülményekhez, esetleg új állományok jelennek meg. Az így megváltozott fiziológiai tulajdonságok révén más lesz a növények ózonnal szembeni ellenálló képessége. A fentiekben vázolt összetett, nemlineáris folyamatok eredőjeként a növényzetet károsító ózonülepedés mértékében bekövetkező változások befolyásolják a felszín és a légkör közötti szén-dioxid forgalmat, ezáltal visszahatnak a klímaváltozásra is. E bonyolult és sok bizonytalanságot hordozó mechanizmusok mértékének és következményeinek feltárása érdekében fejlesztettük a TREX modellt. A szimulációk lehetőséget nyújtanak az ózon koncentráció és a különböző növényállományokat



Példa az TREX-üledési modell alkalmazására: Az ózon átlagos napi száraz üledésének eloszlása egy nyári hónapban.



Példa az TREX-üledési modell alkalmazására: Az ózon üledési sebesség várható változása Európában, nyáron a 2071–2100 közötti időszakra az 1961–1990 időszakhoz képest, klímamodellek eredményei alapján.

2. ábra: Példák a TREX üledési modell alkalmazási területeire.

érő ózontérhelés, valamint azok hatásainak becslésére, hosszabb időszakra, Magyarország, illetve Európa területére, különböző scenáriók alapján.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak mindazon volt és jelenlegi hallgatóinknak, akik a számos tudományos diákköri munka, szakdolgozat és diplomamunka keretében bekapcsolódtak a modellek fejlesztésébe, tesztelésébe és alkalmazásába, s nagymértékben hozzájárultak a kutatások sikeréhez. Ugyancsak köszönet illeti azokat a kollégákat is, akik hasznos tanácsokkal, valamint az adatbázisok kezelésében és feldolgozásában nyújtottak segítséget a kutatásokhoz. A kutatásokat az OTKA K81933 és K81975 kutatási pályázatok támogatták. A projekt az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg (TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR).

Irodalom

Kolozsi-Komjáthy, E., Mészáros, R. and Lagzi, I., 2011: Effects of the climate change on regional ozone dry deposition. *Advances in Science and Research* 6, 103–107. (doi: 10.5194/asr-6-103-2011).

Lagzi, I., Mészáros, R., Horváth, L., Tomlin, A., Weidinger, T., Turányi, T., Ács, F. and Haszpra, L., 2004: Modelling ozone fluxes over Hungary. *Atmospheric Environment* 38, 6111–6222.

Lagzi, I., Mészáros, R., Ács, F., Tomlin, A.S., Haszpra, L. and Turányi, T., 2006: Description and evaluation of a coupled Eulerian transport-exchange model: Part I: model development, *Időjárás* 110, 3–4, 349–363.

Leelőssy, Á., 2010: Lokális szennyezőanyag-terjedés modellezése, *BSc szakdolgozat, ELTE Meteorológiai Tanszék.*

Leelőssy, Á., Lagzi, I. and Mészáros, R., 2012: Sensitivity study of OpenFOAM model for local scale atmospheric dispersion simulations. *Geophysical Research Abstracts* 14, EGU2012-11925.

Mészáros, R., Lagzi, I., Juhász, Á., Szinyei, D., Vincze, Cs., Horányi, A., Kullmann, L. and Tomlin, A.S., 2006: Description and evaluation of a coupled Eulerian transport-exchange model: Part II: sensitivity analysis and application. *Időjárás* 110, 3–4, 365–377.

Mészáros, R., Horváth, L., Weidinger, T., Neftel, A., Nemitz, E., Dämmgen, U., Cellier, P. and Loubet, B., 2009a: Measurement and modelling ozone fluxes over a cut and fertilized grassland. *Biogeosciences* 6, 1069–1089.

Mészáros, R., Szinyei, D., Vincze, Cs., Lagzi, I., Turányi, T., Haszpra, L. and Tomlin A.S., 2009b: Effect of the soil wetness state on the stomatal ozone fluxes over Hungary. *Int. J. Environment and Pollution* 36, 180–194.

Mészáros, R., Zsély, I.Gy., Szinyei, D., Vincze, Cs. and Lagzi, I., 2009c: Sensitivity analysis of an ozone deposition model. *Atmospheric Environment* 43, 663–672.

Mészáros, R., Vincze, Cs. and Lagzi, I., 2010: Simulation of accidental release using a coupled transport (TRES) and numerical weather prediction (ALADIN) model. *Időjárás* 114, 1–2, 101–120.

Mészáros, R., Leelőssy, Á., Vincze, Cs., Szűcs, M., Kovács, T. and Lagzi, I., 2011: Estimation of the dispersion of an accidental release of radionuclides and toxic materials based on weather type classification. *Theoretical and Applied Climatology* 107, 3–4, 375–387.

Molnár, F. Jr., Szakály, T., Mészáros, R. and Lagzi, I., 2010: Air pollution modelling using a Graphics Processing Unit with CUDA. *Computer Physics Communications* 181, 1, 105–112.

EXTRÉM ÉGHAJLATI INDEXEK VÁRHATÓ TENDENCIÁI MODELLSZIMULÁCIÓK EREDMÉNYEI ALAPJÁN

PROJECTED TRENDS OF EXTREME CLIMATE INDICES ON THE BASIS OF REGIONAL CLIMATE MODEL SIMULATIONS

Pongrácz Rita, Bartholy Judit, Kis Anna, Miklós Erika, Törék Orsolya

ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.
prita@elte.hu, bartholy@elte.hu, kisanna0610@gmail.com, mikloserika.elte@gmail.com, orsitorrek@gmail.com

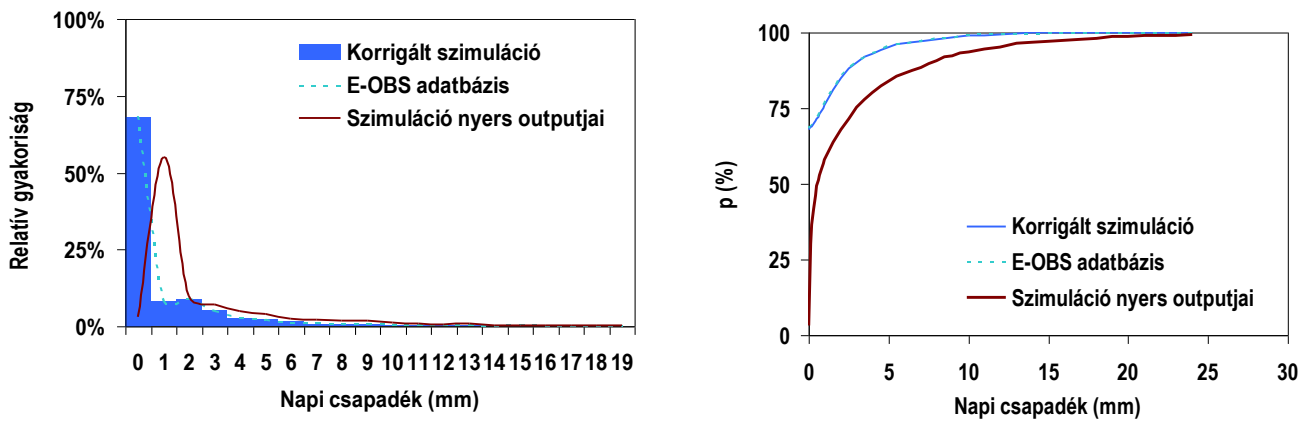
Összefoglalás: A regionális klímamodellek napi hőmérséklet- és csapadékmezője alapján definiálható éghajlati indexek XXI. századra becsült változásai közül az egymást követő száraz napok maximális évi és évszakos számára vonatkozó kvantitatív elemzést mutatjuk be részletesebben. Ez alapján levonható legfontosabb következtetés, hogy 2071–2100-ra a nyári időszakban egyértelműen növekvő indexértékekre számíthatunk hazánk térségében, mely éghajlatunk szárazabbá válását valószínűsíti.

Abstract: Several climate indices may be defined using daily temperature and precipitation outputs of regional climate model simulations. Among them annual and seasonal numbers of consecutive dry days (CDD) are selected, and detailed analysis of their projected changes for the 21st century is discussed here. The main conclusion of the paper is that significant summer increase is very likely by 2071–2100 in Hungary, which highlights the projected summer drying trend of the region.

Az 1990-es évek végén nemzetközi összefogással alakult WMO-CCI/CLIVAR munkacsoport ajánlásai alapján definiált extrém éghajlati indexeket (Karl *et al.*, 1999) használtuk a hazai szélsőségek tendenciáinak elemzéséhez. Vizsgálataink során meghatároztuk számos extrém hőmérsékleti és csapadékindex XX. század második felére vonatkozó tendenciáit a Kárpát-medence térségére (Bartholy és Pongrácz, 2005; 2007). E számításokhoz a hazai és szomszédos országokbeli meteorológiai állomások mért adatait használtuk fel. Ugyanezen indexek idősorait előállítottuk számos regionális klímamodell szimulációit felhasználva is, például a PRUDENCE és az ENSEMBLES projekt keretében kapott szimulációknak a Kárpát-medence kivágatára vonatkozó mezősorai alapján (Bartholy *et al.*, 2008a; 2008b; Pongrácz *et al.*, 2009). E cikkben az ENSEMBLES-szimulációk (Van der Linden és Mitchell, 2009) alapján kapott eredményeket mutatjuk be.

A klímamodellek validációja során a szimulációkból származó éghajlati változók (pl. a hőmérséklet és a csapadék) outputmezőire meghatároztuk az évi, évszakos és havi átlagos értékeket az 1951–2000 időszakra. Ezeket az átlagmezőket összevetettük a mérések alapján összeállított E-OBS adatbázis (Haylock *et al.*, 2008) alapján számított átlagos mezőkkel. Az így kapott hibák azt jelzik, hogy mind a hőmérséklet, mind a csapadék esetén általában felülbecslés jellemző. A szimulált hőmérsékleti mezők térségünkben elsősorban a nyári félévben haladják meg a mérésekből származtatott átlaghőmérsékletet. Ezzel ellentétben a szimulált csapadékmezők nyáron jellemzően alulbecslik az E-OBS adatbázisból meghatározott havi átlagos csapadékot (Pongrácz *et al.*, 2011).

Tehát a különféle küszöbértékeket felhasználó éghajlati indexek számításához mindenképpen szükséges a szimulált idősorok statisztikai módszeren alapuló korrigálása. A hibakorrekciós eljárással megfelelő mértékben csökkentjük a meteorológiai mezősor hibáit. Erre a célra például egy olyan módszert alkalmazhatunk, mely a meteorológiai változók percentilis értékeinek kiszámításán és a szimulációból meghatározott eloszlásnak a megfigyelt eloszláshoz való illesztésén alapul (Formayer és Haas, 2009). A módszer lényege, hogy két adathalmaz statisztikai szempontból közel egyezőnek tekinthető, amennyiben eloszlásuk megegyezik (Déqué, 2007). Az eloszlásfüggvény alakjára nézve a módszer semmilyen előzetes feltételezést nem követel meg. Az eloszlások illesztéséhez használt függvényt többféle módon definiálhatjuk – jelen vizsgálataink során a hőmérséklet esetén additív, a csapadék esetén pedig multiplikatív összefüggést alkalmaztunk. A korrekciós faktorokat minden rácspontra, az év 12 hónapjára külön-külön meghatároztuk. Példaként az 1. ábrán mutatjuk be egy kiválasztott rácspont (47,625 É; 19,625 K) januári napi csapadék adataira vonatkozó hibakorrekció eredményességét. A bal oldali grafikonon az empirikus sűrűségfüggvényeket hasonlítjuk össze, a jobb oldalin pedig az ezekből származtatott empirikus eloszlásfüggvényeket. Jól látható, hogy a megfigyeléseken alapuló adatsor és a modell által szimulált eredeti idősor eloszlása jelentősen eltér egymástól. A hibakorrekció során a modell-szimuláció nyers outputjai alapján meghatározott empirikus eloszlásfüggvényt rásimítjuk az E-OBS-adatok empirikus eloszlásfüggvényére. Így az alkalmazott eljárást követően kapott korrigált szimulációs időorból származtatott eloszlás már jó egyezést mutat a megfigyelt értékek



1. ábra: A megfigyelt (E-OBS), a szimulált és a korrigált adatsorok empirikus sűrűség- és eloszlásfüggvényei a (47,625 É; 19,625 K) földrajzi koordinátájú rácspont esetén, 1951–2000. januári napi csapadékmennyiségek alapján.

alapján megadható eloszlással, s az empirikus eloszlásfüggvények tökéletesen fedik egymást.

A korrigált hőmérsékleti idősorok alapján lehetőség van több hőmérsékleti éghajlati indexben valószínűsíthető változás becslésére. A hazánk térségében a jövőben várható egyértelmű melegebb tendencia az alacsonyabb hőmérséklettel kapcsolatos indexek (például a fagyos vagy a zord napok száma, azaz amikor $T_{min} < 0\text{ °C}$, illetve -10 °C) esetén csökkenő trendet prognosztizál. A melegebb éghajlati viszonyokat jellemző hőmérsékleti indexek (például a nyári vagy a hőség napok száma, azaz amikor $T_{max} \geq 25\text{ °C}$, illetve 30 °C) esetén pedig jelentős növekedésre számíthatunk (Piecza et al., 2011).

A korrigált napi csapadék idősorokból meghatározhatjuk az extrém csapadék indexek évi és évszakos idősorát, s ez alapján becsülhetjük a várható jövőbeli változások tendenciáját. Az 1. táblázatban foglaljuk össze a magyarországi rácspontok átlagára vonatkozó szignifikáns trendeket, melyeket 11 regionális klímamodell-szimuláció elemzésével kaptunk öt éghajlati indexre. A felfelé, illetve lefelé mutató nyilak

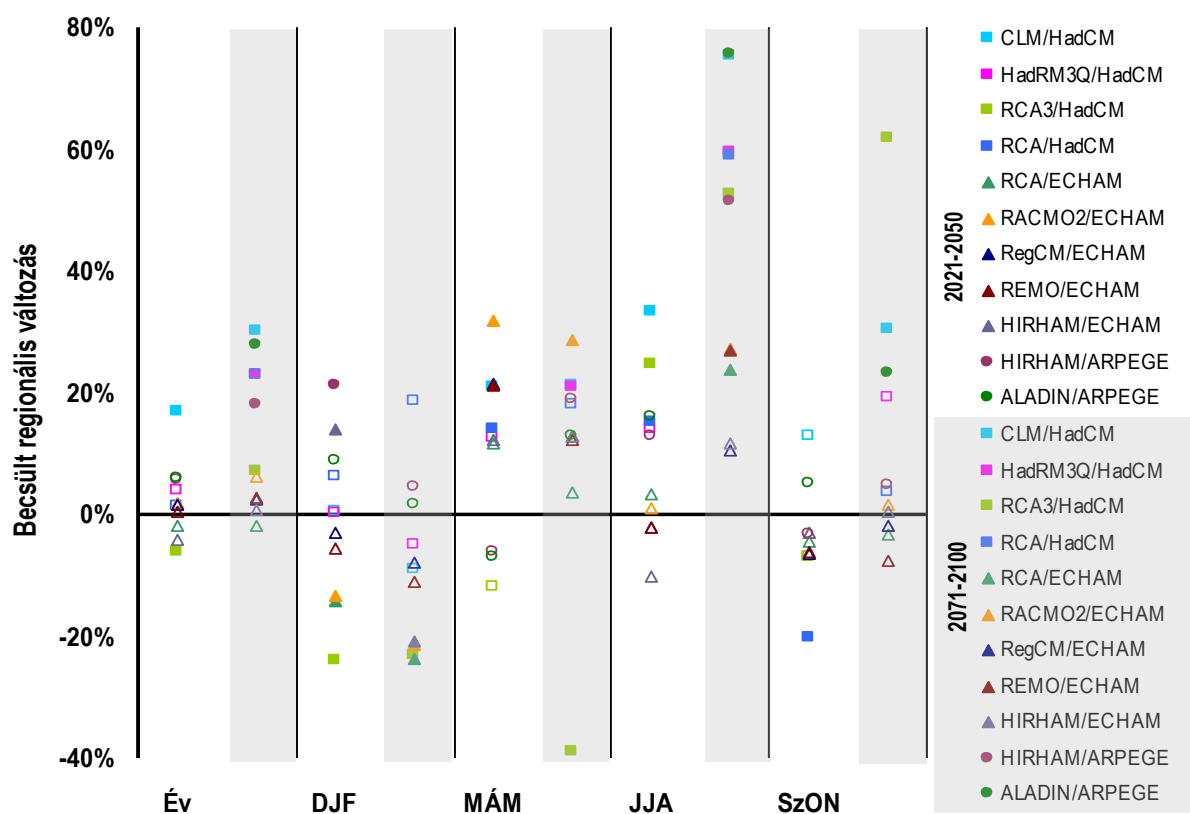
rendre a szignifikáns növekedést, illetve a szignifikáns csökkenést jelzik. A zöld nyilak az éghajlat nedvesebbé, a barnák pedig az éghajlat szárazabbá válására utalnak.

Az eredmények arra a következtetésre vezetnek, hogy hazánkban a XXI. század végére nyáron (továbbá kisebb mértékben ősszel és tavasszal) jellemzően szárazodásra számíthatunk, ugyanakkor a csapadékesemények valószínűsíthetően nagyobb intenzitásúak lesznek (főként ősszel). Télén szintén várhatóan intenzívebb lesz a csapadék hullás, de ebben az időszakban összességében is a csapadék növekedése prognosztizálható

A csapadékkal kapcsolatos vizsgált éghajlati indexek közül a csapadékmentes időszak hosszát jellemző CDD-re, vagyis az egymást követő száraz napok (amikor a napi csapadékösszeg nem éri el az 1 mm-t) maximális évi, évszakos számára vonatkozó kvantitatív elemzést mutatjuk be részletesebben. A 2. ábrán a magyarországi rácspontok értékei alapján az egyes szimulációkból meghatározott átlagos várható változások láthatók a XXI. század közepére és végére az 1961–1990 referencia időszakhoz viszonyítva. A 2071–2100

1. táblázat: Néhány csapadék index várható változása 2071–2100 időszakra 11 regionális klímamodell szimulációi alapján (a nyilak a szignifikáns változást adó modelleket jelzik, a referenciaidőszak: 1961–1990).

Index	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
CDD: Az egymást követő száraz napok maximális száma (amikor $R_{nap} < 1\text{ mm}$)	↑↑↑↓	↑↑↑↑↑ ↑↑↑↑	↑↑↑	↓↓↓↓↓
RR1: Csapadékos napok száma (amikor $R_{nap} \geq 1\text{ mm}$)	↓↓↓↓↓ ↓↓↓↑	↓↓↓↓↓ ↓↓↓↓↓ ↓	↓↓↓↓↓	↑↑↑↑
RR10: Nagy csapadéku napok száma (amikor $R_{nap} \geq 10\text{ mm}$)	↑	↓↓↓↓↓ ↓↓↓	↑↑↑↑↑ ↑↑	↑↑↑↑↑ ↑↑↑↑↑
RX1: 1 nap alatt lehullott max. csapadékösszeg ($R_{max,1nap}$)	↑↑↑	↑↑	↑↑↑↑↑ ↑↑	↑↑↑↑↑ ↑↑↑↑↑
SDII: Csapadékintenzitás, a csapadékos napok átlagos csapadéka ($R_{sim}/RR1$)	↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↓	↑↑↑↑↑ ↑↑↑↑↑	↑↑↑↑↑ ↑↑↑↑↑



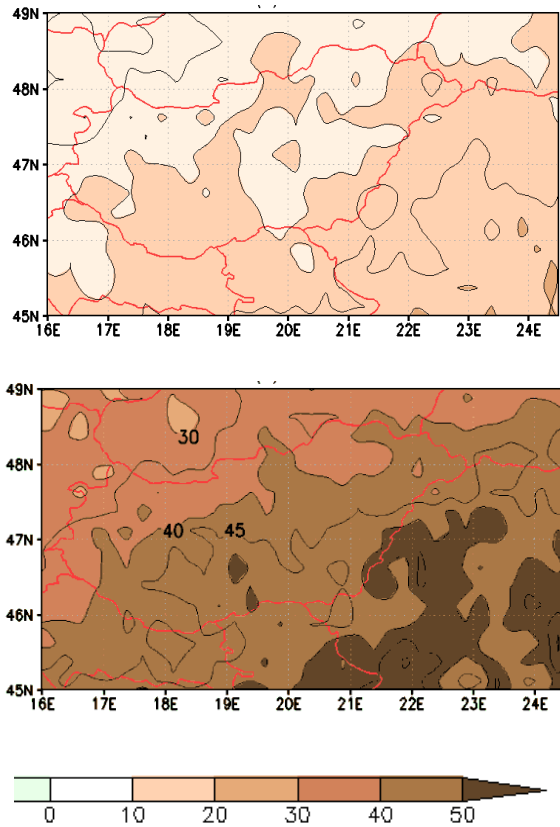
2. ábra: A maximális száraz időszak hossza (CDD) index évi és évszakos értékeinek várható átlagos változása Magyarország területén 2021–2050 és 2071–2100 közötti időszakokra (referenciaidőszak: 1961–1990).

időszakra vonatkozó eredményeket szürke háttér emeli ki. A t-próba alapján a 95%-os szinten szignifikáns becslült változásokra a beszínezett szimbólumok utalnak.

A regionális klímamodellek kezdeti- és oldalsó peremfeltételeit három különböző globális klímamodell szolgáltatja: a hamburgi ECHAM, a brit HadCM és a francia ARPEGE. A grafikonon ezeket rendre háromszög, négyzet, illetve kör jelöli. A jelmagyarázatban a meghajtó globális modelleket is jelezzük a regionális klímamodell megnevezése után; ebből jól látható, hogy az általunk vizsgált 11 modellszimuláció közül két-két esetben ugyanazt a regionális klímamodellt (az RCA-t és a HIRHAM-ot) más-más globális meghajtó modellel is futtatták.

Az eredmények alapján Magyarországon évi átlagban nagyrészt a CDD növekedésére számíthatunk: a távolabbi jövőben öt modellszimuláció (az ARPEGE és a HadCM által meghajtott regionális klímamodellek többsége) szerint lesz ez a változás szignifikáns, mintegy 10–30%-os. A becslült évszakos változásokat sorra véve, télen a modellszimulációk többsége csökkenő trendet valószínűsít 2071–2100-ra. A HIRHAM/ECHAM, a RACMO2 és az RCA/ECHAM is szignifikáns csökkenést prognosztizál, amelynek mértéke meghaladja a 20%-ot. A 2021–2050-re becslült változás nagyobb bi-

zonytalanságú, a szignifikáns változást jelző modellek eredményei ellentétes előjelűek. Ennek oka az, hogy a csapadék mind térben, mind időben rendkívül változékonny meteorológiai elem, ezért nagy a szórás és az éghajlati becslések bizonytalansága. Tavasszal feltehetőleg mindkét időszakban meg fog növekedni az egymást követő száraz napok maximális száma, a statisztikailag szignifikáns becslések szerint mintegy 20–35%-kal. Ősszel csupán három modellszimuláció feltételez szignifikáns változást: a CLM és az ALADIN 20–25%-os, az RCA3 pedig kb. 60%-os növekedést jelez a XXI. század végére. Nyáron 2021–2050-re még nem szignifikáns a modellek által becslült növekedések többsége, de 2071–2100-ra minden modellszimuláció egyértelműen a CDD értékének növekedését valószínűsíti, s ezek többsége 95%-os szinten szignifikáns. A legnagyobb mértékű (70–80%) növekedést a CLM és az ALADIN szimulációi jelzik. A 11 modellszimuláció alapján a két célidőszakra vonatkozó, nyárra számított átlagos várható változás térbeli szerkezetét hasonlíthatjuk össze a 3. ábra kompozitképein. Az évszázad közepére 10%-os a hazánk területére becslült átlagos növekedés, mely az évszázad végére mintegy 43%-ká fokozódik. Láthatjuk, hogy az index értékeiben prognosztizált változások mértéke északnyugatról délkeletre haladva nő.



3. ábra: A maximális száraz időszak hossza (CDD) index várható átlagos változása (%) nyáron 2021–2050 (fent) és 2071–2100 (lent) időszakra 11 regionális modellszimuláció alapján (referencia-időszak: 1961–1990).

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával az „Európai Léptékel a Tudásért, ELTE-TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003. A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül” pályázat, az OTKA K-78125 számú pályázata, az Európai Regionális Fejlesztési Alap által támogatott CCWATERS projekt (SEE/A/022/2.1/X), az SH/2/1 számú svájci-magyar közös kutatási program keretében megvalósuló Felső-Tisza árvízmezgelőzési rendszer fejlesztési projektje, a FuturICT.hu TÁMOP 4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0013, a KMR_12-1-2012-0206 és a GOP-1.1.1.1.-11-2012-0164 kutatási pályázatok valamint az EU VI. keretprogram CECILIA projektje (GOCE-037005).

Irodalom

- Bartholy, J. és Pongrácz, R., 2005: Néhány extrém éghajlati paraméter globális és a Kárpát-medencére számított tendenciája a XX. században. *AGRO-21 Füzetek* 40, 70–93.
- Bartholy, J. and Pongrácz, R., 2007: Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change* 57, 83–95
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy. and Szabó, P., 2008a: Analysis of expected climate change in the Carpathian basin using the PRUDENCE results. *Időjárás* 112, 249–264.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy. és Szabó, P., 2008b: Milyen mértékű változás várható a Kárpát-medence éghajlati szélsőségeiben a XXI. század végére? *Léggör* 53/3, 19–23.
- Déqué, M., 2007: Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change* 57, 16–26.
- Formayer, H. and Haas, P., 2009: Correction of RegCM3 model output data using a rank matching approach applied on various meteorological parameters. In: Deliverable D3.2 RCM output localization methods (BOKU-contribution of the FP 6 CECILIA project). <http://www.cecilia-eu.org/>
- Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones, P.D. and New, M., 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res (Atmospheres)* 113, D20119, DOI:10.1029/2008JD10201
- Karl, T.R., Nicholls, N. and Ghazi, A., 1999: Cli-var/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. *Climatic Change* 42, 3–7.
- Van der Linden, P. and Mitchell, J.F.B., 2009: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. 164p.
- Pieczka, I., Pongrácz, R., Bartholy, J., Kis A. és Miklós, E., 2011: A szélsőségek várható alakulása a Kárpát-medence térségében az ENSEMBLES projekt eredményei alapján. In: *36. Meteorológiai Tudományos Napok - Változó éghajlat és következményei a Kárpát-medencében*. (Szerk.: Lakatos M.) Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 77–87. CD ROM <http://www.met.hu/pages/seminars/metnap36/MetNapok2010.pdf>
- Pongrácz, R., Bartholy, J., Szabó, P. and Gelybó, Gy., 2009: A comparison of observed trends and simulated changes in extreme climate indices in the Carpathian basin by the end of this century. *International Journal of Global Warming* 1, 336–355.
- Pongrácz, R., Bartholy, J. and Miklós, E., 2011: Analysis of projected climate change for Hungary using ENSEMBLES simulations. *Applied Ecology and Environmental Research* 9, 387–398.

2021–2050

2071–2100

VÁROSI HŐSZIGET VIZSGÁLATOK MŰHOLDAS ÉS ÁLLOMÁSI MÉRÉSEK ALAPJÁN

INVESTIGATION OF URBAN HEAT ISLAND BY SATELLITE AND SURFACE-BASED MEASUREMENTS

Dezső Zsuzsanna¹, Bartholy Judit¹, Pongrácz Rita¹, Lelovics Enikő^{1,2}

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

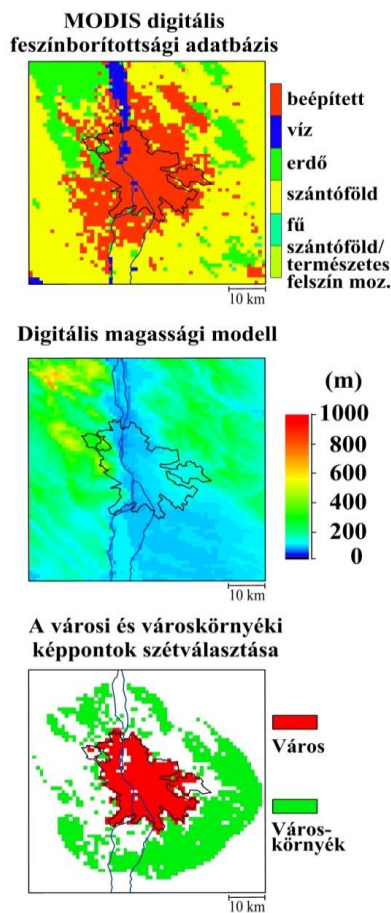
²Szegedi Tudományegyetem TTK Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, 6701 Szeged, Pf.: 653.

tante@ludens.elte.hu, bartholy@elte.hu, prita@elte.hu, lelovics@geo.u-szeged.hu

Összefoglalás: A budapesti agglomerációra vonatkozóan két különböző technika alkalmazását hasonlítjuk össze a városi hősziget-hatás jellemzésére. A vizsgálatok során egyrészt műholdas MODIS mérésekből származtatott felszínhőmérsékletet, másrészt az áthaladások idejére az Országos Meteorológiai Szolgálat automata méréseiből leválasztott léghőmérsékletet alkalmazunk. Eredményeink azt mutatják, hogy nappal a műholdas adatok figyelembevételével meghatározott városi hősziget-hatás intenzívebb, mint az állomási mérések alapján számított; éjszaka viszont nincs jelentős különbség a kétféle módszerrel kapott intenzitásértékek között.

Abstract: Urban heat island (UHI) is analyzed and compared for the Budapest agglomeration area using two different techniques, which focus on satellite-based surface temperature available from MODIS measurements and ground-based air temperature gained from six automatically operating climatological stations of the Hungarian Meteorological Service. The results conclude that during day-time UHI intensity values are larger when the satellite-based method is used than the ground-based measurements; during night-time the difference between the two approaches is very small.

Bevezetés. A városokban az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hatása koncentráltan érvényesül: nagymértékben megváltozik a felszín arculata, módosul a légkör összetétele, s ezek következtében a helyi klíma is jelentősen eltér a természetes viszonyoktól. Az elmúlt évtizedben a városi népesség növekedésén túl a települések szerkezete is jelentősen megváltozott. Sok helyen új lakónegyedek, bevásárlóközpontok, ipari üzemek épültek, ami a mesterséges felszínek növekedését vonta maga után. E mesterséges felszínek sugárzási tulajdonságai, valamint az antropogén tevékenységek által kibocsátott többlet energia miatt a városi térség hőmérséklete számottevően nagyobb környezeténél. Ezt a városi hősziget-jelenséget leggyakrabban a városi és városkörnyéki hőmérséklet különbségeként definiálható intenzitással jellemezhetjük. A meghatározásához világszerte többféle mérési módszert alkalmaznak, pl. hagyományos, 2 méteres magasságban végzett léghőmérsékleti méréseket, műholdas felszínhőmérsékleti méréseket, gépkocsival végzett méréseket, illetve repülőgépes méréseket. Fontos hangsúlyozni,



1. ábra: A városi és városkörnyéki képpontok szétválasztásának menete Budapest példáján.

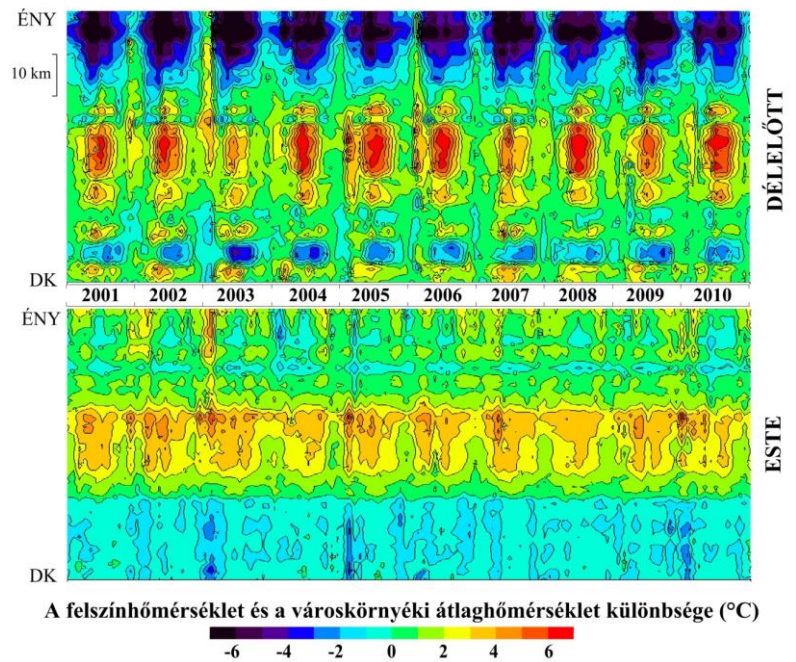
hogy a különböző módszerekkel végzett mérésekből meghatározott városi hősziget intenzitása lényegesen eltér egymástól (Voogt és Oke, 2003). A hősziget-intenzitás maximuma a földfelszíni mérések esetében napnyugta után néhány órával következnek be, míg a műholdas mérések esetében ez a déli, kora délutáni órákra tehető. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén több mint egy évtizede folyó városklimatológiai kutatások célja elsősorban a városi hősziget szerkezetének, időbeli menetének, s a helyi települési sajátosságoknak a vizsgálata (pl.: Dezső et al., 2005; Bartholy et al., 2009; Pongrácz et al., 2006; 2009; 2010) hazánk tíz legnagyobb városára (Budapest, Debrecen, Miskolc, Szeged, Pécs, Győr, Nyíregyháza, Kecskemét, Székesfehérvár, Szombathely), valamint Közép-Európa kilenc nagyvárosára (Bukarest, Varsó, Bécs, Milánó, München, Prága, Szófia, Belgrád, Zágráb) vonatkozóan. Vizsgálatainkhoz elsősorban finom felbontású műholdas felszínhőmérsékleti adatokat használunk. Budapest esetében

eredményeinket összehasonlítottuk a rendelkezésre álló állomási léghőmérsékleti mérésekkel is (Lelovics *et al.*, 2011).

Adatok és módszerek. Az amerikai NASA Földmegfigyelési programja keretében bocsátották kvázipoláris pályára a Terra (1999), majd az Aqua (2002) nevű műholdat, melyek mindegyikén megtalálható a 36 különböző hullámhossztartományban méréseket végző MODIS szenzor. Elemzéseinkhez az ezekből meghatározott 1 km felbontású felszínhőmérsékleti, felszín-borítottsági és vegetációs index adatsorokat használtuk fel, melyek a Land Processes Distributed Active Archive Center (Földfelszíni folyamatok adatainak aktív archiváló központja) elnevezésű adatközponton keresztül érhetők el. Az itt bemutatott vizsgálataink a Terra/MODIS adatok esetében a 2001. január 1. és 2010. december 31., az Aqua/MODIS adatok esetében a 2003. január 1. és 2010. december 31. közötti időszakra terjedtek ki. Így a 2001–2002 közötti időszakban napi kettő, ezt követően pedig napi négy mérés állt rendelkezésünkre.

A műholdas felszínhőmérsékleti méréseken alapuló városi hősziget-vizsgálatoknál jelentős adathiányt eredményez az, hogy felhős időben a szenzor csak a felhőtető hőmérsékletét tudja érzékelni. Vizsgálataink során csak azokra a napokra vonatkozóan határoztuk meg a városi hősziget intenzitását, melyeken a városi képpontoknak legalább a fele felhőmentes volt a MODIS felvételeken. A magyar városok esetében az összes lehetséges nap 37–47%-án használhatók a műholdas felszínhőmérsékleti adatok a városi hősziget vizsgálatára. A használható adatok éven belüli eloszlása nem egyenletes, a téli hónapokban csupán 5–10, nyáron viszont 15–25 napon áll rendelkezésre használható műholdkép. Bár a hagyományos földfelszíni városklimatológiai mérőállomások mérései minden nap tetszőleges időpontban rendelkezésre állnak, de az állomások sűrűsége soha nem lesz olyan nagy, mint a műholdfelvételek térbeli felbontása. A repülőgépes illetve földfelszíni mobil mérések jó térbeli felbontásúak, de nagy költségigényük miatt hosszú távon nem lehet azokat megfelelő gyakorisággal végezni. A műholdas adatok felhasználhatóságát alátámasztja az is, hogy a hősziget kialakulásának kedvez a szélsőséges, derült időjárás, így az intenzív hősziget-jelenségek jól tanulmányozhatók e módszerrel.

Vizsgálataink során az adatgyűjtést, a hibás, felhős képek kiszűrését követően meghatároztuk, hogy az egyes városok a műholdfelvételeken pontosan hol helyezkednek el, majd a teljes adatbázisból leválasztottuk



2. ábra: A havi átlagos városi hősziget ÉNY-DK-i keresztmetszeti képe Budapest esetén (a Terra/MODIS 2001–2010 közötti felszínhőmérsékleti mérései alapján).

a városokat és azok környékét tartalmazó kivágatokat. A kivágat mérete Budapest esetében 65x65 pixel.

Az adatfeldolgozás következő lépése a városi és városkörnyéki képpontok meghatározása (1. ábra). Ehhez felhasználtuk a MODIS felszín típusok adatbázisát, a Google Earth műholdkép-adatbázist, valamint a GTOPO30 Digitális Terepmodellt. A Google Earth adatbázis műholdfelvételei lehetővé teszik a beépített és nem beépített területek vizuális elkülönítését. Ezek felhasználásával minden egyes városra lehatároltuk azt a területet, ami a város közigazgatási határán belül ténylegesen beépített. Ezt a kontúrt illesztettük rá az 1 km-es térbeli felbontású rácsra, és megszámloltuk, összesen hány képpont található e kontúrban belül. Ezután meghatároztuk a város „átlagos sugarát”, amit a város határán belüli képpontok száma és π hányadosának négyzetgyökeként definiáltunk. Ez a mennyiség azt fejezi ki, hogy mekkora lenne a város sugara, ha a város pontosan kör alakú lenne. A GTOPO30 adatbázist a jelentős magassági különbségek kiszűrésére használtuk.

A városi képpontok közé azok a pontok tartoznak, melyek a következő három feltétel mindegyikének megfelelnek:

- a Google Earth adatbázis alapján meghatározott beépítettség határán belül található,
- a MODIS felszín típus adatbázisban a beépített terület kategóriába esnek,
- tengerszint feletti magasságuknak az előző két feltételnek megfelelő képpontok átlagos tengerszint feletti magasságától való eltérése nem nagyobb, mint ± 50 m.

A városkörnyéki képpontokhoz való tartozás feltételei:

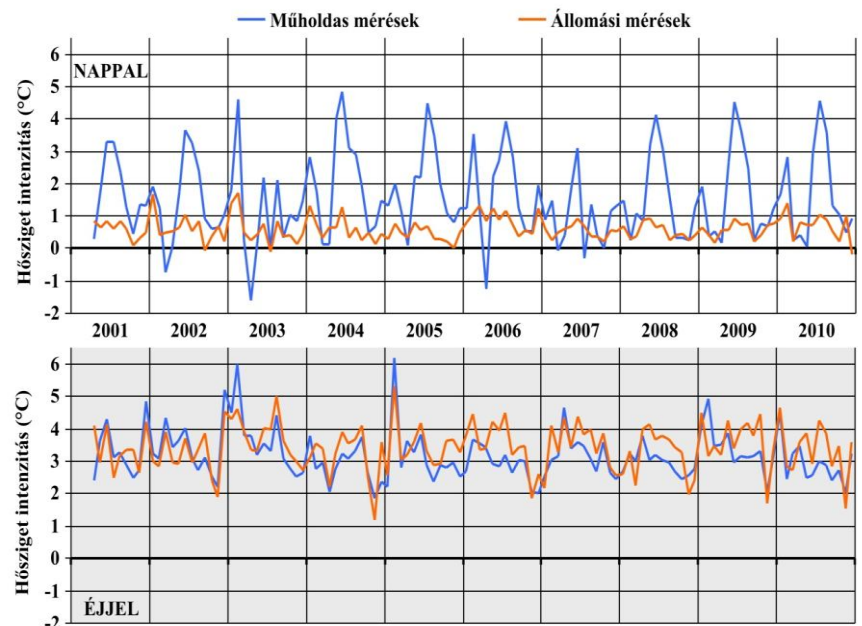
- távolságuk a Google Earth adatbázis alapján meghatározott beépítettségi határtól nem nagyobb, mint a város „átlagos sugara”,
- felszín típusuk nem tartozik a beépített terület és a víz típusához,
- tengerszint feletti magasságuknak a város átlagos tengerszint feletti magasságától vett eltérése nem nagyobb, mint ± 100 m.

Az így kapott pontok felszínhőmérsékleti adatainak felhasználásával minden városra és időpontra meghatároztuk a városi és városkörnyéki átlaghőmérsékletet, melyek különbsége adja a városi hősziget intenzitását. E paraméterek felhasználásával tanulmányozható a hősziget, valamint a különböző felszíni és meteorológiai paraméterek kapcsolata, a hősziget napszaktól, évszaktól és városmérettől való függése, továbbá annak szerkezete és keresztmetszete.

Eredmények. A műholdas felszínhőmérsékleti mérések egyedülálló lehetőséget nyújtanak a városi hősziget térbeli szerkezetének és időbeli menetének együttes elemzésére. A 2. ábra Budapest ÉNY-DK-i keresztmetszete mentén mutatja be a felszínhőmérsékletnek a városkörnyéki átlaghőmérséklettől vett eltérését, illetve ennek időbeli alakulását. A délelőtti képen (az ábra felső részén) megfigyelhető a városi hősziget intenzitásának nyári maximuma, aminek értéke az egyes években különböző volt. A legtöbb évben, a belvárosban a felszínhőmérséklet városkörnyéki átlaghőmérséklettől vett eltérése havi átlaga bizonyos nyári hónapokban a $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot is meghaladta. Ez az állapot 2005-ben, 2008-ban és 2010-ben állt fenn a leghosszabb ideig, ekkor három hónapon keresztül haladta meg a $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot a városi hősziget havi átlagos intenzitása a centrumban.

Két olyan év is volt, amikor a műholdas felszínhőmérsékleti mérések alapján a többi évhez viszonyítva kisebb hősziget-intenzitást detektáltunk: 2003-ban és 2007-ben. Ekkor a belvárosban a városkörnyéki átlaghőmérséklet-hoz viszonyított anomália nyáron is csak $4\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül alakult, és ez az intenzitás kisebb területen, rövidebb ideig állt fenn.

Ennek hátterében az akkori időjárási viszonyok állnak: a nyári hónapokban a hőmérséklet jóval az átlag felett, a csapadék mennyisége pedig az alatt alakult. Ez azt eredményezte, hogy a városon kívül sem állt rendelkezésre megfelelő mennyiségű nedvesség a párolgáshoz, így a városkörnyéki területek az átlagosnál jobban felmelegedtek. Tehát valójában nem a város volt hűvösebb, hanem a



3. ábra: Budapest nappali és éjszakai havi átlagos városi hősziget intenzitási idősorainak összehasonlítása a műholdas felszínhőmérsékleti és az állomási léghőmérsékleti mérések felhasználásával, 2001–2010.

környék volt melegebb, ami e két térség átlaghőmérséklet-különbségének csökkenéséhez vezetett. Az esti időszak (az ábra alsó részén) kiegyenlítettebb képet mutat. Itt is megfigyelhető, hogy a hősziget a téli félévben némileg visszahúzódik, de a téli és a nyári időszak között kisebb a különbség, mint nappal.

A tanszéki kutatások keretében elvégeztük a műholdas felszínhőmérsékleti mérések és az állomási léghőmérsékleti idősorok közötti összehasonlító elemzést Budapestre (Lelovics et al., 2011). Számításainkhoz az Országos Meteorológiai Szolgálat által 2001–2010 időszakban végzett óránkénti méréseket használtuk fel, melyek négy budapesti mérőállomásról (Újpest, Kitaibel Pál utca, Lágymányos, Pestszentlőrinc), valamint a Pest megye délkeleti, illetve északkeleti részén található Kakucsról és Pencről állnak rendelkezésre. Általánosságban elmondhatjuk, hogy a műholdas felszínhőmérsékleti mérések nappal meghaladják az állomási léghőmérséklet értékeit, éjszaka viszont fordított a helyzet (Lelovics et al., 2011) – s ez egyértelműen a két mérési módszer közötti különbség eredménye.

Vizsgálataink alapján a fővárostól valamelyest távolabb fekvő két mérőállomás idősorából képzett átlag jól reprezentálja a városkörnyéki térség hőmérsékleti viszonyait. Ezért a városi hősziget intenzitásának jellemzésére alkalmazott definícióban a négy budapesti mérőpont hőmérsékleti értékének átlaga, valamint Kakucs és Penc hőmérsékleti értékének átlaga közötti különbséget tekintettük. A műholdas felszínhőmérséklet esetén a hat felszíni mérőállomáshoz legközelebb eső egy-egy rácsponthoz tartozó távérzékelési méréseket vettük

figyelembe a számítások során. A két módszerrel kapott havi átlagos intenzitás-idősorok összehasonlítása a 3. ábrán látható. A felső grafikonnál leolvasható, hogy nappal az állomási mérésekből meghatározott intenzitás értékek 0 °C és 2 °C között mozognak, a teljes 2001–2010 időszakra vonatkozó átlagos érték 0,6 °C. A legnagyobb értékek télen és nyáron fordulnak elő. A műholdas mérések felhasználásával kapott hősziget-intenzitás változékonysága nagyobb, a nyári hónapokban az intenzitás értéke meghaladhatja akár a 3–4 °C-ot, míg a teljes 10 éves időszakra vonatkozó átlagérték 1,6 °C. A legkisebb intenzitás értékek tavasszal és ősszel jelentek meg, olyan évek (pl.: 2002, 2003, 2006) is előfordultak, amikor az intenzitás negatív volt ezekben a hónapokban, mely a városkörnyéki felszín gyorsabb melegedésére utal. A 3. ábra alsó grafikonja azt jelzi, hogy az éjszakai időszakra vonatkozóan a két módszer közötti eltérések sokkal kisebbek, mint a nappali időszakban. A korrelációs együtthatók is ezt igazolják (0,7 az éjszakai idősorok esetén, s 0,5 nappalra). A teljes 2001–2010 időszakra számított átlagos intenzitás a műholdas mérések alapján 3,2 °C, az állomási mérések alapján 3,4 °C – vagyis a hagyományosnak tekinthető, léghőmérsékletből számított hősziget valamelyest nagyobb intenzitású, mint a távérzékelte felszínhőmérséklet által meghatározott hősziget.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat támogatta az Európai Unió és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával az „Európai Léptékel a Tudásért, ELTE-TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0003. A felsőoktatás minőségének javítása a kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás fejlesztésén keresztül” pályázat, az OTKA T-034867, K-67626, K-78125 számú pályázata, FuturICT.hu TÁMOP 4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0013, a KMR_12-1-2012-0206 és a GOP-1.1.1.1-

11-2012-0164 kutatási pályázatok, valamint a Magyar Űrkutatási Iroda TP-241, TP-258, TP-287, TP-338 számú pályázatai. A felhasznált műholdas adatokat az Amerikai Egyesült Államok Geológiai Hivatalának „Land Processes Distributed Active Archive Center” (LP DAAC) adatközpontja bocsátotta rendelkezésünkre (lpdaac.usgs.gov).

Irodalom

- Aqua, 2002: *Science writers' guide to Aqua*. NASA Goddard Space Flight Center, Earth Observing System Project Science Office, Greenbelt, 40p.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Lelovics, E. and Dezső, Zs., 2009: Comparison of urban heat island effect using ground-based and satellite measurements. *Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis* 42–43, 7–15.
- Dezső, Zs., Bartholy, J. and Pongrácz, R., 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás* 109, 217–232.
- Lelovics E., Pongrácz R., Bartholy J. és Dezső Zs., 2011: Budapesti városi hősziget elemzése: műholdas és felszíni mérések összehasonlítása. *Légekör* 56, 55–59.
- Pongrácz, R., Bartholy, J. and Dezső, Zs., 2006: Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis. *Advances in Space Research* 37, 2191–2196.
- Pongrácz R., Bartholy J., Dezső Zs. and Lelovics E., 2009: Urban heat island effect of large Central European cities using satellite measurements of surface temperature. 89th AMS Annual Meeting/8th Symposium on the Urban Environment. <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/147113.pdf>. Phoenix, AZ. Paper 1.5, 3p.
- Pongrácz, R., Bartholy, J. and Dezső, Zs., 2010: Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities. *Physics and Chemistry of Earth* 35, 95–99.
- Terra, 1999: *Science writers' guide to Terra*. NASA Goddard Space Flight Center, Earth Observing System Project Science Office, Greenbelt, 27p.
- Voogt, J.A. and Oke, T.R., 2003: Thermal remote sensing of urban climate. *Remote Sensing of Environment* 86, 370–384.

KISLEXIKON POCKET ENCYCLOPAEDIA

Folytatás a 187. oldalról

kvázipoláris műhold, *napszinkron műhold* olyan mesterséges égitest, amelynek pályája az Északi-, és Déli-sark fölött halad el. Egy adott terület fölött naponta kétszer halad át. Területi felbontása nagy, valamennyi sávban közel 1 km. (Weidinger T.: *Mikrometeorológiai mérések az ELTE Meteorológia Tanszékén*)

liziméter, *evapotranszpirométer*, *evapotranszpirométer*, a csupasz vagy növényzettel borított talaj vízforgalmának mérésére szolgáló eszköz. (Weidinger T.: *Mikrometeorológiai mérések az ELTE Meteorológia Tanszékén*)

mélykonvekció a légréteg rendezett vertikális mozgása, amely a hő, a vízgőz és az impulzus függőleges átvitelét eredményezi a talajtól az 500 hPa-t meghaladó magasságig. Nagy vertikális

kiterjedésű, akár csapadékot is okozó gomolyfelhők, zivatarfelhők jellemzik. (Ács F., Breuer H.: *A talaj szerepe a meteorológiában és a klimatológiában*)

periodogram a megfigyelt adatok idősorában talált különböző hosszúságú amplitúdók grafikus ábrázolása. Az abszcissza tengelyen a periódusok frekvenciája, az ordináta tengelyen a periódusok amplitúdója szerepel. (Matyasovszky I.: *Néhány statisztikus módszer az elméleti és alkalmazott klimatológiai vizsgálatokban*)

folytatás a 161. oldalon

MIKROMETEOROLÓGIAI MÉRÉSEK AZ EU FP6 NITROEUROPE PROGRAMBAN – AZ ELTE METEOROLÓGIAI TANSZÉK RÉSZVÉTELE

MICROMETEOROLOGICAL MEASUREMENTS IN THE EU FP6 NITROEUROPE PROGRAM – ROLE OF ELTE, DEPARTMENT OF METEOROLOGY

Weidinger Tamás¹, Horváth László², Kiss Győző¹, Takács Zita¹, Pogány Andrea³, Bozóki Zoltán³, Mohácsi Árpád³, Bordás Árpád¹, Machon Attila⁴, Istenes Zoltán⁵, Grosz Balázs¹, Gyöngyösi András Zénó¹, Eredics Attila⁶

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.

²Országos Meteorológiai Szolgálat, H-1181 Budapest, Gilice tér 39.

³Szegedi Egyetem Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék, 6720 Szeged, Dóm tér 9.

⁴ELTE Környezettudományi Centrum, 1117 Budapest Pázmány Péter s. 1/A.

⁵ELTE Informatikai Kar, Programozásmélet és Szoftvertudományi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter s. 1/C.,

⁶Nyugatmagyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Földtudományi Intézet, 9400 Sopron, Cházár András tér 1.

weidi@ludens.elte.hu, horvath.l@met.hu, kiss.sprinter@gmail.com, tazit86@gmail.com, andrea@titan.physx.u-szeged.hu, zbozoki@physx.u-szeged.hu, mohacsi@titan.physx.u-szeged.hu, abordas@caesar.elte.hu, machon@caesar.elte.hu, istenes@inf.elte.hu, grosz@mail.datanet.hu, zeno@nimbus.elte.hu, aeredics@yahoo.com

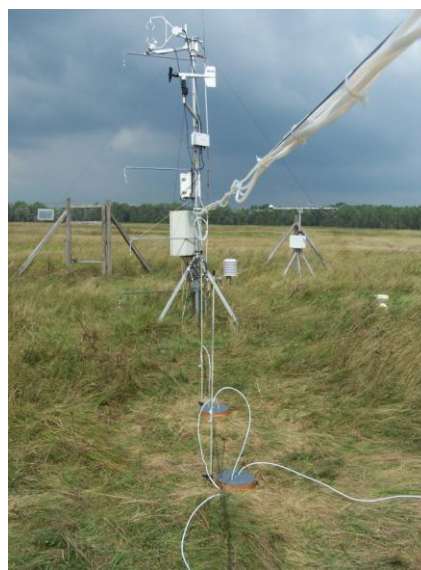
Összefoglalás: A mikrometeorológiai kutatások fontos eleme a felszín energia-háztartásának, illetve a nyomanyagok turbulens kicserélődési folyamatainak meghatározása, az ökológiai rendszerek anyagmérlegeinek a számítása. Az ELTE Meteorológiai Tanszékének közreműködésével kialakított hazai mérőrendszer az ilyen kutatásokban való részvételt segíti, amit az EU FP6 NitroEurope programhoz (2006–2011) kapcsolódó hazai mérések és a 2009-es dániai mérési expedíció bemutatásán keresztül szemléltetünk.

Abstract: Investigations of surface energy budget components, turbulence exchange processes of trace gases and material budgets of different types of ecological systems play important role in micrometeorology. A micrometeorological measurement system developed by contribution of Department of Meteorology facilitates participation in such researches, which are illustrated by a few results from the EU FP6 NitroEurope project (2006–2011).

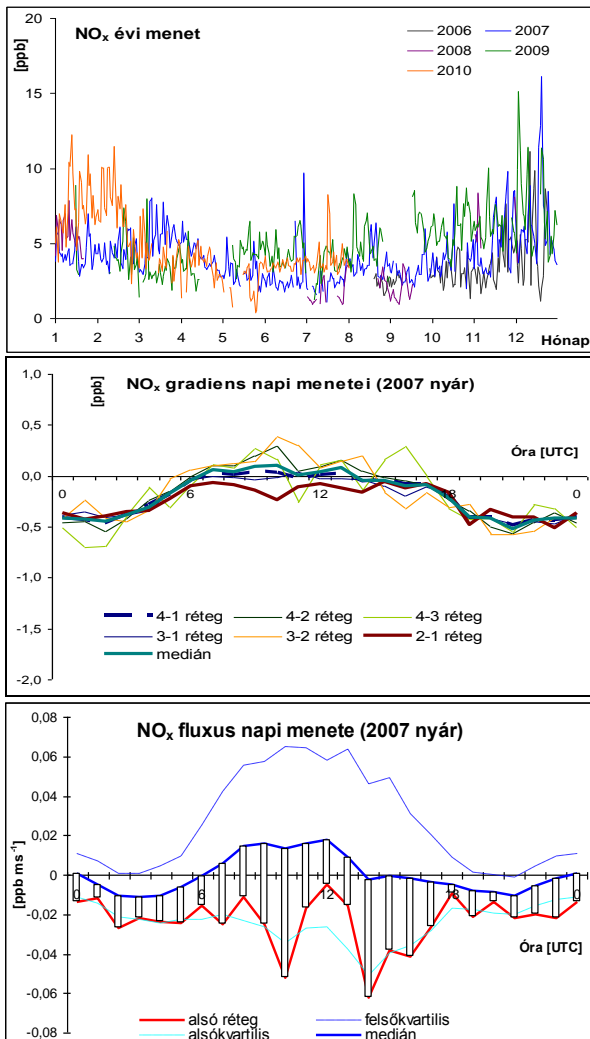
Bevezetés. Az EU FP6 NitroEurope (2006–2011) programban 69 intézmény vett részt. A cél a különböző ökoszisztémák (mezőgazdasági területek, legelők, vizes élőhelyek, erdők) nitrogénforgalmának meghatározása volt európai léptékben (Sutton *et al.*, 2011). Magyarországról négy intézmény: az Erdészeti Tudományos Intézet (ERTI), a Szegedi Tudományegyetem (SZTE), a Szent István Egyetem (SZIE) és az ELTE Meteorológiai Tanszéke kapott meghívást a programba. Az ELTE Meteorológiai Tanszék részt vett a bugaci mérőhely kialakításában és a nyomanyag mérések feldolgozásában. Elsőként a bugacpusztai NO_x mérések kiértékelésével foglalkozunk, majd a NitroEurope program keretében végzett dániai expedíciós mérések eredményeiről számolunk be.

Nyomanyag gradiensek és fluxusok. Tizenhárom európai mérőhelyen folytak a nitrogén-mérleg minden komponensére kiterjedő mérések. Ezek közül az egyik mérőhely a természetközeli gazdálkodást reprezentáló bugaci homokpuszta gyepe volt. A légköri nyomgázok közül az ammónia mellett folyamatosan mértük az O₃, NO és az NO_x koncentráció profilját. Az O₃, NO, NO_x mérése a 0,4–3,5 m-es rétegben történt 2006 és 2010 között (az 1. ábrán a levegőminta beszívócsöveit látjuk). A HORIBA gyártmányú mérőműszerek egy zárt – mobil klímával ellátott – faházban voltak elhelyezve. Az egyforma hosszúságú tefloncsöveket a logaritmi-

kushoz közeli koncentráció-profil feltételezésével helyeztük el 0,4 m; 1,1 m; 2,1 m és 3,5 m magasságban. Az egyes mérési szinteket 5 perces időközönként váltotta egy szeleprendszer órás ciklusban, amit egy Campbell 21X mérésadatgyűjtő vezérelt. A felszíni



1. ábra: A bugaci mérőhely. Előtérben a két dinamikus mérőkamra, a mikrometeorológiai mérőoszlop és háttérben a sugárzási egyenleg komponenseinek meghatározására szolgáló oszlop (Horváth László felvétele).



2. ábra: Az NO_x koncentrációk évi menete (fent), az egyes alrétegekben mért NO_x logaritmusos koncentráció gradiensek ($\Delta c/\Delta h$) átlagos napi menete (középen) és az NO_x turbulens áramának átlagos napi menete (lent) 2007 nyarán (JJA) a bugacpusztai gradiensemérések alapján. Alsó réteg: 0,4–1,1 m (Takács, 2011).

A medián, az alsó és a felső kvartilis kiszámításánál mind a 6 alréteg alapján számított fluxust figyelembe vettük az adott órában (0,4–1,1 m; 0,4–2,1 m; 0,4–3,5 m; 1,1–2,1 m; 1,1–3,5 m; 2,1–3,5 m).

energiamérleg komponenseket és a meteorológiai állapothatározókat 30 perces átlagolási idővel mérték a SZIE munkatársai. A turbulencia karakterisztikákat (u_* , T_* , L) a CSAT3 ultrahang (vagy szónikus, még precízebben ultraszónikus) anemométer adataiból nyertük (Nagy et al., 2007). A térfogatáram és az egyforma hosszú tefloncsöveken áthaladó levegő útját figyelembe véve az első két perc mérési adatait nem vettük számításba az egyes szintek koncentráció értékeinek a meghatározásakor (kb. ennyi idő szükséges ahhoz, hogy a rendszer átmosódjon). Az eredmények közül az NO_x koncentrációk, a koncentráció gradiensek, illetve a Monyin–Obuhov-féle hasonlósági elmélet alapján meghatározott fluxusok meneteit mutatjuk be (2. ábra).

Jól látszik i) a koncentrációk jellegzetes évi menete (nyári minimum, téli maximum), ii) az évek közötti változékonyság, illetve iii) a gradiensek és így a fluxusok meghatározásában rejlő bizonytalanság (az egyes alrétegek fluxusaiból számított medián, illetve az alsó (0,4–1,1 m) réteg alapján számított fluxusok közötti nagy eltérés). A legnagyobb NO_x fluxusokat nyáron, illetve nappal mérhetjük. Az interkvartilis félterjedelem nagy értékei a napok közötti változékonyságról, illetve a gradiens módszer alkalmazásának korlátairól tájékoztatnak. Az eredmények csak nagyságrendi becslésekre alkalmazhatók (Weidinger et al., 2011).

A dániai mérési expedíció (Bjerringbro, 2009). A hazai mérések mellett meghívást kaptunk a tájleptéktű nitrogénmérleg modellezéshez kapcsolódó dániai NitroEurope expedíciós mérési programra 2009 tavaszán. A mérés a Bjerringbro várostól délre Sahl községtől nem messze (Közép-Jutland régió) egy mezőgazdasági területen zajlott, ahol nagyrészt repcét, búzát és árpát termesztettek. A cél egy komplex mezőgazdasági terület (szántóterületek, farm, állattartó telepek, kis vízfolyások, rét, erdő) nitrogén-mérlegének vizsgálata volt, figyelembe véve a trágyázás hatását, a talajba és a területen átfolyó patakba jutó nitrogénkomponensek mennyiségét.

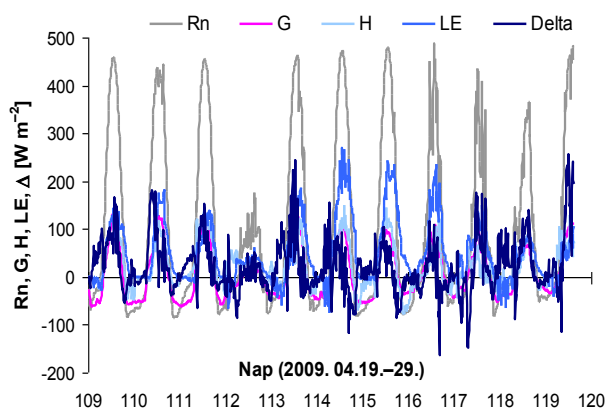
A nemzetközi együttműködésben zajló programban mezőgazdák, ökológusok és környezettudományi szakemberek dolgoztak közösen meteorológusokkal és fizikusokkal. Az ELTE Meteorológiai Tanszékének (Weidinger Tamás, Bordás Árpád PhD hallgató) és a Szegedi Tudományegyetem Optikai és Kvantumelekttronikai Tanszéke Fotoakusztikus Kutatócsoportjának (Bozóki Zoltán és Pogány Andrea) tagjaiból álló magyar csapat egy gabona és egy repcétábla határán mérte a meteorológiai állapotjelzők mellett a sugárzási mérleg komponenseket (rövid és hosszú hullámú és PAR), a talaj energiaforgalmát (talajhőmérséklet, nedvesség, talajba jutó hőáram), továbbá a hőmérséklet, nedvesség és a szélesebbesség értékét 2 szinten, valamint a 3D áramlási mező és a hőmérséklet fluktuációit (10 Hz) egy Metek USA-1 ultrahang anemométerrel (3. ábra). Végeztünk N_2O és CO_2 talajfluxus méréseket is statikus és dinamikus talajkamrákkal (Pogány et al., 2010b, Schelde et al., 2012). Az ammónia koncentrációt 3 szinten mértük a Szegedi Tudományegyetemen kifejlesztett fotoakusztikus berendezéssel. (Pogány et al., 2010a).

Eredményeink közül – a tanszéki részvétel gerincét adó – a felszíni energiamérleg komponensek napi meneteit szemléltetjük (4. ábra). A felszíni energiamérleg egyenlet:

$$R_n = H + LE + G + \Delta,$$

ahol a szokásos jelölések szerint R_n a sugárzási egyenleg, H a szenzibilis hőáram, LE a latens hőáram, G a talajba jutó hőáram, Δ az energiamérleg lezárási bizonytalansága.

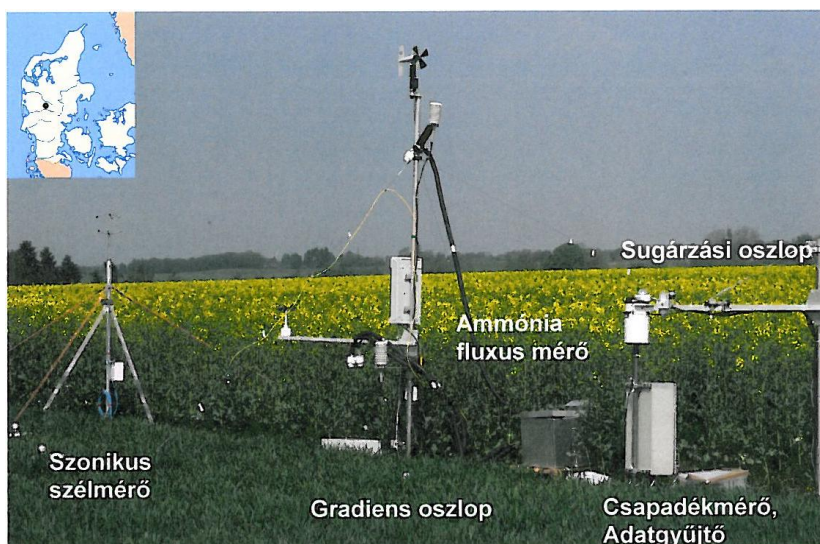
A gradiens módszerrel számított fluxusok meghatározásához (Weidinger et al., 2000) ismernünk kell az egyes szélirányokhoz (szektorokhoz) tartozó kiszorítási rétegvastagságot, hiszen a repce magassága 0,8 m volt, míg a gabonáé 0,1 m, s az állomány az expedíció végén záródott. A 8 szélirányban az ultrahang anemo-méterrel, illetve a gradiens módszerrel meghatározott momentum és szenzibilis hőáram négyzetes hibájának minimalizálásával számítottuk ki a kiszorítási rétegvastagságot. Ennek ismeretében a specifikus nedvesség gradiens felhasználásával határoztuk meg a latens hőáramot, s vizsgáltuk az energiamérleg lezárási tagját. A latens hőáram direkt meghatározására nem állt rendelkezésre mérőműszer. A teljes időszakra a lezárási hiba a szenzibilis és a latens hőáram összegének $\sum(H + LE)$ és a rendelkezésre álló energiának $\sum(Rn - G)$ hányadosa 0,77-nek adódott, ami elfogadható. Az egyes 15 perces időszakokra számított lezárási hiba azonban napközben jelentősen meghaladhatja a 100 W/m^2 értéket is (Kiss, 2010). Mérési eredményeink bekerültek a NitroEurope adatbázisba.



4. ábra. Az energiamérleg komponensek a dániai mérési expedíció során a gradiens és az eddy-kovariancia mérések alapján a kiszorítási rétegvastagság becslésén keresztül.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton mondunk köszönetet az EU FP6 NitroEurope programban részt vevő hazai intézményeknek a közös bugaci mérési program lebonyolításáért a vizsgálatokhoz felhasznált adatok rendelkezésre bocsátásáért. Külön köszönet illeti prof. Mark Suttont (CEH, Edinburgh), az 5 éves kutatási program irányításáért, továbbá Kristen Scheldet és Tommy Dalgaardt (University Aarhus), Pierre Celliert (INRA Versailles-Grignon, France) és Mark Theobaldot (Technical University of Madrid) a dániai mérési expedícióhoz nyújtott segítségért. A munka a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR kutató-



3. ábra. A dániai mérési expedíció (Bjerringbro, 2009. április) műszeregyüttese.

egyetemi projekt, az EU6 NitroEurope program és a és a COST ES0804 támogatásával készült.

Irodalom

- Nagy, Z., Pintér, K., Czóbel, Sz., Balogh, J., Horváth, L., Fóti, Sz., Barcza, Z., Weidinger, T., Csintalan, Zs., Dinh, N.Q., Grosz, B. and Tuba, Z., 2007: The carbon budget of a semiarid grassland in a wet and a dry year in Hungary. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121, 21–29.
- Pogány, A., Mohácsi, Á., Jones, S.K., Nemitz, E., Varga, A., Bozóki, Z., Galbács, Z., Weidinger, T., Horváth, L. and Szabó, G., 2010a: Evaluation of a diode laser based photoacoustic instrument combined with preconcentration sampling for measuring surface-atmosphere exchange of ammonia with the aerodynamic gradient method. *Atmos. Environ.* 44, 1490–1496.
- Pogány, A., Weidinger, T., Theobald, M., Schelde, K., Bienkowski, J., Bordás, Á., Bozóki, Z., Eredics, A., Hensen, A., Janku, K., Kiss, Gy., Kraai, A., Istenes, Z., Mohácsi, Á. and Szabó, G., 2010b: Energy budget components, ammonia concentration and flux measurements on an agricultural landscape near Bjerringbro, Denmark. *Geophys. Res. Abstr.* 12, EGU2010-14742.
- Schelde, K., Cellier, P., Bertolini, T., Dalgaard, T., Weidinger, T., Theobald, M.R. and Olesen, I.E., 2012: Nitrous oxide emissions at the landscape scale: spatial and temporal variability. *Biogeosciences* 9, 2989–3002.
- Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H. and Grizzetti, B. (eds.), 2011: The European Nitrogen Assessment. *Cambridge*, 612 p.
- Takács Z., 2011: A bugacpusztai (2006–2010) légköri nyomonanyag mérések (NO-NO_x-O₃) elemzése. *Dolgozat, készült a XI. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferenciára* (Témavezetők: Weidinger T., Horváth L. és Machon A.) ELTE Meteorológiai Tanszék, 48 oldal.
- Weidinger, T., Horváth, L., Takács, Z., Machon, A., Pogány, A., Bozóki, Z., Pintér, K., Nagy, Z., Istenes, Z., Gyöngyösi, A.Z., Eredics, A. and Bordás Á., 2011: Concentration gradient measurements of trace gases (O₃-NO-NO_x) for flux calculation; results and uncertainties. *Nitrogen & Global Change, Key findings – future challenges. Conference Proceedings, Edinburgh April 11–15, 2011*, S10.

NUMERIKUS METEOROLÓGIAI MODELLFUTTATÁSOK AZ ELTE METEOROLÓGIAI TANSZÉKÉN

NUMERICAL METEOROLOGICAL MODEL INTEGRATIONS AT THE DEPARTMENT OF METEOROLOGY OF EÖTVÖS LORÁND UNIVERSITY

¹Gyöngyösi András Zénó, ¹André Karolina, ²Horányi András, ²Mile Máté,
²Szépszó Gabriella, ¹Weidinger Tamás és ¹Tasnádi Péter

¹ ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.
²Országos Meteorológiai Szolgálat, 1525 Budapest, Pf. 38.

*zeno@nimbus.elte.hu, a.karolin@gmail.com, horanyi.a@met.hu, mile.m@met.hu, szepszo.g@met.hu,
weidi@caesar.elte.hu, tasi@ludens.elte.hu*

Összefoglalás. Az informatikai lehetőségek fejlődésével a légköri modellek elérhetővé váltak az egyetemek hallgatói és kutatói számára is. Nyílt forráskódú szoftverek alkalmazásával a hallgatók bevonhatóak a modellek segítségével folytatott kutatási tevékenységekbe. Közvetlen tapasztalatot szerezhetnek a modellek futtatásáról. Az ELTE Meteorológiai Tanszéken kialakításra került egy olyan hardver-szoftver háttér, amelynek segítségével már két időjárás előrejelző modell (WRF, ALADIN/CHAPEAU) eredményei együttesen is feldolgozhatók. A modell rendszer alkalmazhatóságát egy hideg légpárnás időjárás helyzet vizsgálatával szemléltetjük.

Abstract. Together with the development of information technology, numerical atmospheric models became available for students and researchers at universities and other academic institutes. With the application of open source software, university students can directly participate in research projects dealing with meteorological simulations. During these research studies, students can become familiar with the challenges of meteorological modeling. A hardware software framework has been developed at the Department of Meteorology at Eötvös Loránd University for the joint integration of two open source numerical models (WRF, ALADIN/CHAPEAU) for educational and research purposes. The applicability of the system is demonstrated with the case study of an inversion weather situation.

Bevezetés. A meteorológia, a természettudomány többi ágához hasonlóan, hatalmas lendületet kapott a számítástechnika és az elérhető hardver háttér fejlődésével. Az egyre növekvő kapacitású számítógépekkel új lehetőségek adódnak a légköri jelenségek vizsgálatára: robosztus hardver megoldások segítik a nagy tömegű adatok gyűjtését, s rendkívül gazdag szoftver eszközkészlet áll rendelkezésre a mért és a számítógépes modell adatok feldolgozására.

A meteorológiai modellek lehetőséget adnak a hidrodinamikai egyenletrendszer számszerű megoldása révén a légkörben lejátszódó folyamatok számítógépekkel történő vizsgálatára. Ez az időjárás előrejelzése mellett hozzájárul egy-egy légköri jelenség közelebbi elemzéséhez, módot ad érzékenységvizsgálatra és módszerfejlesztésre. A modell integrálásához elengedhetetlen szoftver és hardver környezet ma már könnyen hozzáférhető és alkalmazható kisebb kutató helyek és oktatási intézmények számára is, valamint elérhetőek olyan bemenő adatok, amelyek legalábbis részben jellemzik a valós meteorológiai viszonyokat. Ez lehetővé teszi a közösségi fejlesztést, a tapasztalatok gyors átadását, a vizsgálatok széles interpretálhatóságát. Ezzel új korszak köszöntött a meteorológia és a hozzá kapcsolódó légköri kutatások világába, hiszen az eddig csak áttételesen, megfigyelések, laboratóriumi vizsgálatok (pl.: ELTE Fizikai Intézet, Kármán Laboratórium, Gyüre et al., 2006a,b; vagy a BME Áramlástan Tanszék szélcsatornája, www.ara.bme.hu) és elméleti

megfontolások segítségével vizsgált légköri folyamatok modellszimulációkkal is megismerhetővé váltak. A meteorológiai modellek – a szűk fejlesztői kör (korábban csak ők foglalkoztak „modellezéssel”) és az előrejelzők (korábban kizárólagos felhasználók) mellett – sokkal szélesebb felhasználói kör számára váltak elérhetővé. Természetesen a fejlesztők a modellezés részleteit sokkal magasabb szinten képesek átlátni, mint a felhasználók, akik a legjobb esetben is csak egy globális képpel rendelkeznek a rendszerről és a folyamatról. A modellezők körén belül egy kiterjedt nemzetközi kapcsolatokkal rendelkező szakembergárda kutatja többek között a kezdeti feltételek minél pontosabb becslésének módszereit, a fizikai folyamatok realisztikus leírásának, vagy az előrejelzési bizonytalanságok számszerűsítésének lehetőségeit. Ezért is kiemelten fontos a kommunikáció a különböző szabadon elérhető modellek alkalmazói és a modellfejlesztő szakemberek között, hiszen így válik elérhetővé, hogy a modell mit és miért jelzett (vagy nem jelzett) előre. Egy numerikus időjárás adatbázis olyan további vizsgálatok számára is alapot szolgáltat, mint például levegőkörnyezeti vagy szennyezőanyag-terjedési számítások (Pielke and Uliasz, 1998; Kondo et al., 2001 vagy Gyöngyösi et al., 2006a), ökológiai modellezés (Eastman et al., 2001 vagy Grosz et al., 2011), szélenergia kutatás (Rife et al., 2004 vagy Weidinger et al., 2008; Gyöngyösi et al., 2009), illetve a repülésmeteorológiai fejlesztések és alkalmazások (Bottyán, 2009; Hadobács, 2011).

Az Egyesült Államokban a nemzeti meteorológiai szolgálat finanszírozása eltérő az európai (és ezenbelül a magyarországi) működési formától, mely lehetővé teszi azt, hogy a szolgálat és más kutatóhelyek tevékenységét teljes egészében az adófizetők pénzéből finanszírozzák (ez csak egy álom marad Európában és Magyarországon is), s ebből az is következik, hogy az USA-ban a közpénzen előállított (mérési) adatok és modellek teljes egészében szabadon elérhetőek és felhasználhatóak. Ezért sem meglepő, hogy elsősorban az amerikai modellek azok, amelyek elérhetőek, hozzáférhetőek a világ bármely részén tevékenykedők részére oktatási vagy kutatási célokra. Ilyen korábbi modellek például az NCEP/Eta (Mesinger et al., 2012) vagy a szintén amerikai PSU/NCAR Mezokálajú Modell, MM4, MM5 modell család (pl.: Miao et al., 2008 vagy Breuer et al., 2012). Az elmúlt években pedig a kifejezetten nyílt forráskóddal, közösségi fejlesztésre szánt modellek létrehozása adott újabb lendületet a munkának (példa erre az ugyancsak amerikai *Weather Research and Forecasting*, azaz a WRF modell, Skamarock et al., 2005, 2008).

Az ELTE Meteorológiai Tanszéken 2005 óta végzünk napi rendszerességű modell futtatásokat időjárás előrejelzési és kutatási célokra, kezdetben az NCEP/Eta modell munkaállomás verziójával, később a WRF-fel, majd 2011 óta az ARPEGE/ALADIN hordozható változata, a CHAPEAU bevonásával.

Elsősorban úrbázisú megfigyelések asszimilálására került kifejlesztésre a DCRAS adatasszimilációs rendszer (Aune et al., 2009), melynek egy nagyobb felbontású (16 x 16 km-es), beágyazott futtatása naponta két alkalommal kerül végrehajtásra a tanszéken. Ezen rendszer adatai többek között a GPS meteorológia támogatására kerülnek hasznosításra. A hazai adaptálás Kern Anikó és Barcza Zoltán munkáját dicséri. E modellel itt nem foglalkozunk részletesebben, (lásd a következő internetes oldalon: <http://nimbus.elte.hu/kutatas/sat/dbcras.html>).

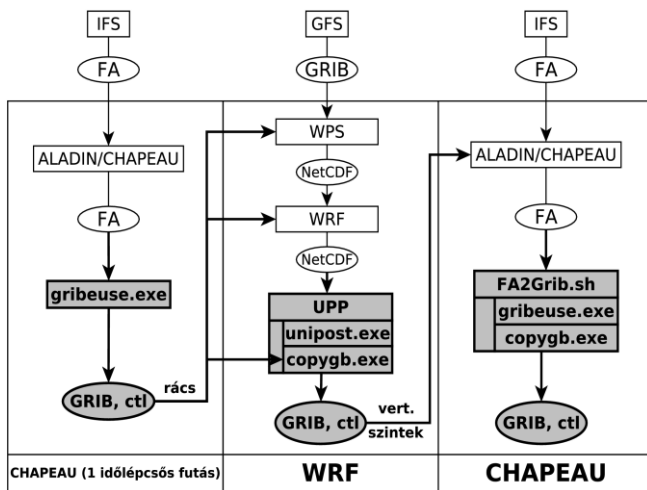
Fontos megjegyezni, hogy ezek a napi alkalmazások nem lehetnek versenytársai – a profi számítógépes és szakmai háttérrel rendelkező – nemzeti meteorológiai szolgálatok által futtatott számszerű előrejelző modelleknek, ugyanis az egyetemi alkalmazások lefedettsége (felbontása), illetve szakmai tartalma (elsősorban az alkalmazott megfigyelések és a modellek kezdeti feltételeinek előállításához szükséges módszertan tekintetében) jelentősen elmarad a szolgálatok által alkalmazott társaitól. Sajnos sok félreértésre ad okot az, ha egy nemzeti meteorológiai szolgálat ingyenesen elérhető (itt az amerikai modellekről van szó) szoftvereket használ operatív előrejelzési célokra, mert azok így „összekeverhetőek” azokkal az egyszerűsített alkalmazásokkal, amelyekről ebben a cikkben is szót ejtünk (sajnos Magyarországon is ez a helyzet, ami alááshatja nemzeti meteorológiai szolgálatunk hitelességébe és szakmai kompetenciájába vett társadalmi hitet).

Előzmények. Az ELTE Meteorológiai Tanszéken folyó numerikus modellezési munka, a rendelkezésre álló informatikai háttér fejlődésével párhuzamosan, folyamatosan bővült az elmúlt évtizedben. Számos egydimenziós, elsősorban határréteg-modell fejlesztés és alkalmazás mellett, Ács Ferenc és munkatársai az MM5 modell felhasználásával vizsgálták a talajtani paraméterek fejlesztésének lehetőségét (Ács et al., 2010; Breuer et al., 2011, 2012).

A vizsgálatokhoz szükséges modellfuttatások az Országos Meteorológiai Szolgálatnál történtek. Szintén fontos helyet foglalnak el a Tanszék kutatásaiban a regionális éghajlati modelleadaptációk, ami Bartholy Judit koordinálásával folyik együttműködve az OMSZ munkatársaival (Bartholy et al., 2011; Pieczka et al., 2011). Ennél a tevékenységnél is fontos a numerikus modellfejlesztőkkel való szoros kapcsolattartás. E tématerülettel itt nem foglalkozunk, habár az egyetemi regionális éghajlati modellfuttatásoknál is érvényes, hogy alapvetően felhasználói és nem fejlesztői tevékenységről van szó. A célunk az elmúlt 10 évben általunk végzett mezokálajú előrejelzési modelleadaptációk bemutatása.

A modelleadaptációk sorát a japán NIRE modell indította, amelyet légköri szennyezőanyag (elsősorban széndioxid) kicserélődés és terjedés kutatására fejlesztettek ki Kondo és munkatársai az 1990-es években (Kondo, 1989; Kondo et al., 2001). A hazai modell-futtatásokat az ELTE Földtudományi Tanszékcsoport SGI gépén (az sgis.elte.hu-n) végeztük 2000-ben (Gyöngyösi, 2000; Gyöngyösi et al., 2006 a,b).

Az NCEP/Eta modell munkaállomás („Workstation”) változatának tanszéki informatikai infrastruktúrára való futtatása egy trieszti nyári iskolai képzés után indult, amit a Nemzetközi Elméleti Fizikai Központ (The Abdus Solam International Centre for Theoretical Physics) szervezett. Az NCEP/Eta modell abban az időben vált elérhetővé, melynek futtatásához FTP-n keresztül, napi frissítésben, valós bemenő adatok (természetesen ezek nem tartalmaztak minden megfigyelést) álltak rendelkezésre. Ezt követte 2007-ben a már tisztán közösségi fejlesztésű WRF modell adaptációja és azóta is tartó rendszeres napi futtatása a Tanszék számítógépein. A WRF modellel szerzett tapasztalatokat, egy az Országos Meteorológiai Szolgálattal való együttműködés keretében, az ALADIN/CHAPEAU (Degrauwe, 2010) használatával is lehetőségünk adódott kamatoztatni (Balogh et al., 2011; Gyöngyösi et al., 2012). Az ALADIN/CHAPEAU a széles nemzetközi együttműködésben kifejlesztett ALADIN modell (Horanyi et al., 1996, 2006) „hordozható” változata, ami az adatasszimiláció kivételével tartalmazza a modell leglényegesebb elemeit. Kialakításra került egy olyan informatikai rendszer, amely lehetővé teszi a két modell (WRF és az ALADIN/CHAPEAU) együttes futtatását és eredményeik könnyen összevethető feldolgozását a numerikus modellezésben viszonylag járatlanabb, elsősorban egyetemi hallgatókból álló felhasználói kör számára.



1. ábra: A Hordozható ALADIN–WRF Egységesítő Modellfutató Környezet (HAWER) működési elve. A programrészek, fájlok elnevezése téglalapokban, a bemenő és kimenő fájlformátumok ellipszisekben kerültek feltüntetésre. A kialakított rendszerre vonatkozó további magyarázat a szövegben található.

A szoftvertelepítések folyamatos hardver beszerzések mellett történtek. A napi futtatási tapasztalatok értelmezése és feldolgozása, valamint az utófeldolgozó, megjelenítő rendszer fejlesztése mind a mai napig tart. A napi előrejelzések és a kutatásokról szóló eredmények bármely érdeklődő számára elérhetőek a világhálón a futtatáshoz használt számítógépek publikus oldalain keresztül (*meteor24.elte.hu*). A modellek elsősorban oktatási és részben kutatási célokra kerültek alkalmazásra. A WRF/Chem, csatolt meteorológiai-levegőkémiai modellrendszer (Grell *et al.*, 2005), valamint a CMAQ (Community Multiscale Air Quality, Wong *et al.*, 2012) modell WRF-fel történő összekapcsolása, telepítése folyamatban van.

A modellek által szolgáltatott adatok felhasználásával számos TDK, BSc és MSc szakdolgozat született, emellett a modelleket alkalmazzuk a graduális képzésben is a numerikus prognosztika informatikai vonatkozásainak laborszerű oktatására, speciális kollégiumi tárgy keretében. Ennek a tárgynak az a szerepe, hogy előkészítse a numerikus prognosztikával részletesen foglalkozó kurzusokat azzal, hogy a hallgatókat megismerteti a számszerű előrejelző modellek alapvető elemeivel és felületet biztosít az előrejelzési infrastruktúra elsajátítására.

A WRF modell előrejelzéseit közvetlenül, illetve a modell adatokból származtatott paramétereket közvetett módon hasznosítják jelenleg is a sportrepülés, a szélenergia termelés, a légköri szennyezőanyag-terjedés számítás, a csatolt bio-geokémiai modell vizsgálatok és a tanszéken folyó oktatás, kutatás igényeinek kielégítésére. Természetesen a korábban már említett hiányosságok

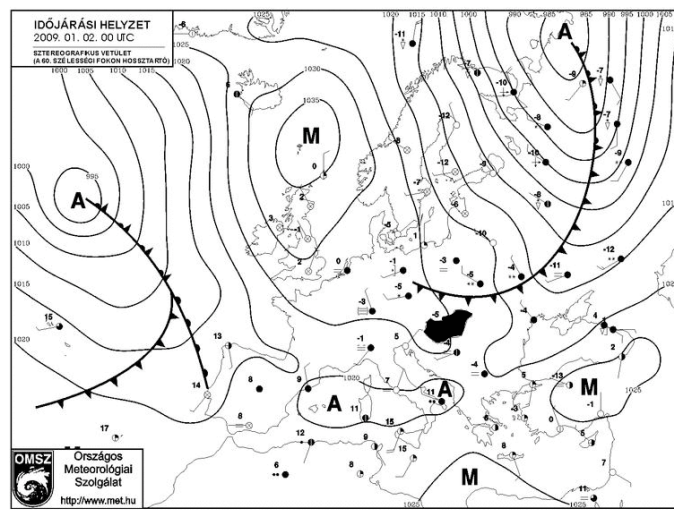
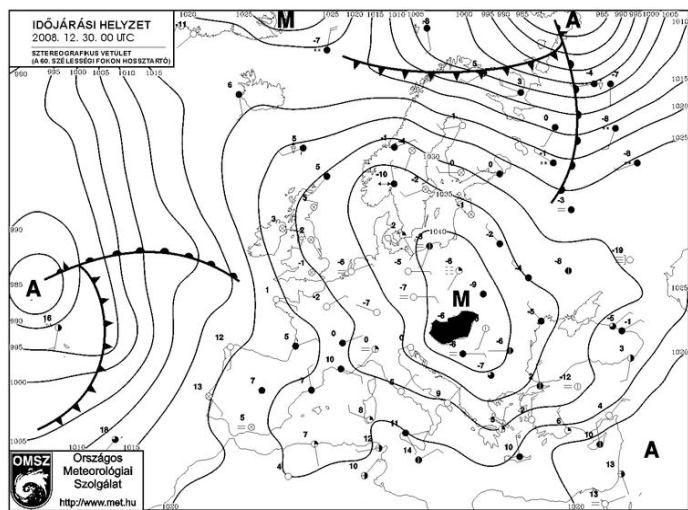
(például a megfelelő kezdeti feltételekhez szükséges adatok hiánya) miatt ezek az eredmények használhatósága csak korlátozott mértékű lehet és ezzel a felhasználóknak tisztában kell lenniük az eredmények interpretálása során.

Az ALADIN projekt fejlesztésében kialakított CHAPEAU modellt napi rendszerességgel futtatjuk az Országos Meteorológiai Szolgálattól kvázi-operatíván (kétnapos késleltetéssel) kapott valós kezdeti- és peremfeltételeken, a Kárpát-medence tartományára, hogy összehaveghessük a WRF modell futtatásokkal (Balogh *et al.*, 2011).

Az ALADIN–WRF Egységes Modellfutató Környezet kialakítása. Két különböző időjárási modell eredményeinek egymással és a mérési eredményekkel történő összevetésével feltárhatók az előrejelzések időjárási helyzettől és a modelltartománytól függő erősségei és hiányosságai. Az alkalmazott modell-beállítások és parametrizációs opciók módosításával, a modellek a vizsgált feladathoz illeszthetők (ne felejtsük el, hogy ezek a modellek csak másolatai a teljes modellrendszernek). A két modell egységes kezelő felületének kialakítása az oktatásban is jól hasznosulhat. Ezért célul tűztük ki egy olyan technikai környezet létrehozását, mely lehetővé teszi a CHAPEAU és a WRF közös futtatását és a modellek eredményeinek minél egyszerűbb, kvantitatív összehasonlítását. Ehhez – a modellek utófeldolgozó rendszerének módosítása mellett – biztosítani kellett egy ekvivalens modell tartomány kialakítását és egy azonos felbontású, horizontális- és vertikális rács használatát. A két modell egységes futtatására és utófeldolgozására létrehozott szoftverkörnyezetnek a Hordozható ALADIN–WRF Egységes Modellfutató Környezet (HAWER) nevet adtuk, melynek működését az 1. ábra szemlélteti.

Megjegyezzük, hogy a CHAPEAU-val ellentétben (melynek a modell számára kezdeti- és peremfeltételek generáló pre-processzora nem áll rendelkezésünkre, a futtatásokhoz szükséges bemenő adatokat az OMSZ szolgáltatja), a WRF bemenő adatainak előkészítéséhez szükséges pre-processzor a felhasználók rendelkezésére áll, ezért sokkal szabadabban konfigurálható a futtatási tartomány.

A közösségi modellek és a HAWER alkalmazása az oktatásban. A közösségi modellek az oktatásban is alkalmazásra kerültek. WRF futtatásokat használtak fel munkájukhoz, többek között Kovács Róbert (2008), Wendl Bernadett (2009), Hadobács Katalin (2011), Bájhóber Eszter Lilla (2012), Décei Anna Borbála (2012), Héver Annamária (2012) és Szabó Andor (2013) tudományos diákköri (TDK), szakdolgozati, illetve diplomamunkájuk során. A HAWER felhasználásával két szakdolgozat is született: André Karolina (2012) és Salavec Péter (2012).



2. ábra: Szinoptikus helyzet: 2008. december 30-án (balra) egy anticiklon alakította Közép-Európa időjárását, majd 2009. január 2-án (jobbra) egy hidegfront érintette a Kárpát-medencét.

Esettanulmány – a hideg légpárna leírása. A HAWER alkalmazásával megvizsgáltunk egy tipikus Kárpát-medencei időjárási helyzetet: a hideg légpárna jelenségét, melyet Bóna Márta 1986-os cikke alapján mutatunk be (Bóna, 1986).

Azt az időjárási helyzetet nevezzük hideg légpárnának, amikor egy hegyekkel körülvett medencét hideg légtömeg tölt ki, amely számottevő horizontális légmozgás hiányában akár napokig sem képes elhagyni az érintett területet. A határrejteget erősen stabil, inverziós légrétegződés jellemzi, azaz a hőmérséklet a magassággal növekszik, nincs számottevő vertikális légmozgás. Hideg légpárna kialakulása leggyakrabban a téli félévben figyelhető meg, abban az esetben, amikor a Kárpát-medence térsége felett anticiklon helyezkedik el. Ekkor az erős kisugárzás hatására az alsó hideg légréteg hőmérséklete a harmatpontig csökken, nedvességtartalma eléri a telítettséget, és köd képződik. Az inverzió fölött az anticiklonra jellemző leszálló légmozgások következtében száraz, akár több mint tíz fokkal magasabb hőmérsékletű a levegő, mint a közvetlenül alatta található rétegben. Erre a légrétegre az alacsony nedvességtartalom a jellemző.

Az inverzió teteje a Kárpát-medencében általában hozzávetőleg 800–1000 m magasan található, tehát a Mátra és a magasabb hegycsúcsok kiemelkednek a ködből. A ködös hideg légpárna feletti száraz levegőben jó látási viszonyok jellemzőek (és ezt használják ki a magasabb hegyek szerelmesei is, akik ilyen időjárási körülmények között az inverziós réteg fölé Kékestetőre, vagy a Csóványosra kirándulnak, ahonnan ilyenkor akár a Magas-Tátraírg is el lehet látni).

A hideg légpárna megszűnése általában egy erős hidegfront vagy egy magassági hideg légörvény hatására következik be, de hideg advekciónak következtében kialakuló labilizálódás vagy az alsó rétegekben végbemenő száraz

levegő beáramlás is megszűnését okozhatja. Ez utóbbiak hatása sokszor nehezen előrejelezhető.

A hideg légpárna időjárási helyzet következményei igen jelentősek lehetnek. A ködös-borús, hideg idő nem csak a lakosság közérzetére van negatív hatással, de a napokig tartó zúzmarás köd okozta lerakódás veszélyezteti az elektromos áramellátást és a közlekedést is. Légmozgás hiányában a szennyező anyagok feldúsulhatnak, rontva a talajközeli légrétegek levegőminőségét.

Esettanulmány – Modellfuttatások. Munkánk során a 2008. december 30. és 2009. január 4. közötti időszakra készítettünk modellfuttatásokat a HAWER-rel a Kárpát-medencére, 7 km-es horizontális rácsfelbontással. A két modell eltérő forrásból kapta a bemenő adatokat, melyeket az integrálás során kezdeti és peremfeltételként használtak: a WRF az amerikai GFS globális modell adataival, míg a CHAPEAU az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) IFS modelljének adataival dolgozott. A modell beállítások tekintetében mindkettőnél igyekeztünk a legegyszerűbb sémáknál maradni. A két modell kimenő adatait összevetettük egymással és a mérési adatokkal.

Esettanulmány – Szinoptikus helyzet. Az OMSZ honlapján (www.met.hu) található Napijelentés kiadványok alapján Magyarország időjárása a vizsgált időszakban a következőképp alakult: 2008. december 30-án Budapesten a tengerszintre átszámított légnyomás 1044 hPa volt és alig változott, stabil anticiklon uralta az időjárást. Az Északi-középhegységben napközben még kisütött a nap, de az ország többi részén egész nap borult, párás időjárás uralkodott. A legmagasabb hőmérséklet -2 és -7 °C között alakult, csak az Északi-középhegységben mértek néhány helyen kevéssel fagypont feletti értékeket. A legerősebb szél Sopron térségében 14 m/s, az ország nagy részén 3–5 m/s körül volt. Az átlagszél ennél

lényegesen gyengébb volt, számottevő horizontális légmozgás nem fordult elő az ország területén. A hónap utolsó napján az egész országban borult, párás időjárás uralkodott, csak a magasabb hegyek emelkedtek a felhőtakaró fölé. A hőmérséklet az előző napinál is alacsonyabb volt. Az időjárásban számottevő változás január 2-án következett be, amikor egy hidegfront haladt át a Kárpát-medence térségén (2. ábra).

Esettanulmány – Eredmények. A modell eredmények is jól szemléltetik a hideg légpárnára jellemző időjárási elemeket: inverzió, köd, felette száraz légtömeg. Amint az a 3.a ábrán is látható, a légrétegződés (tehát a vertikális hőmérsékleti gradiens) határozott inverziót mutat, mely az időszak elején a 850–900 hPa-os rétegben, azaz 1000–1500 m közötti magasságban található. Ez nagyjából megfelel annak, ami az erős anticiklon (1040 hPa fölötti tengerszintre átszámított légnyomás) központi területein ilyenkor jellemző. Ezt mindkét modell azonosan adta meg. December 30-án az esti óráktól a talaj közeli kevésbé stabil rétegben is kialakult az inverzió, ami az év utolsó napján már nem is szűnt meg, hanem egyesülve az anticiklon zsongorodási inverziójával masszív hideg-légpárnát alkotott. A nedvességi ábrákon (3.b. ábra) a talaj fölött pár száz méterrel igen nedves, föllette száraz levegő látható. Az év első napján a légpárna megmozdul, hullámzik, majd a délutáni órákban már egy emelkedő inverzió figyelhető meg, ami január 2-án, az érkező hidegfront hatására megszűnik. A front nedvessége a páratartalom időbeli menetén is kirajzolódik, hiszen a magasabb rétegek nedvességtartalma is megnövekszik. A két modell tehát hasonlóan adta a hideg légpárnára jellemző vertikális szerkezetet, ám a CHAPEAU erősebb inverziót és nagyobb nedvességtartalmat számított a WRF modell adatainál. Ennek oka nyilvánvalóan az eltérő sugárzási és mikrofizikai valamint határreteg parametizációkban rejlik, s nem feledkezhetünk meg a különböző bemenő adatmezőkről sem.

Annak megállapítására, hogy melyik modellszámítás járt közelebb a valósághoz, összehasonlítottuk a modell adatokat a mérési adatokkal. A 4. ábrán látható, hogy jelentős eltérések voltak a 2 m-es hőmérséklet és a harmatpont menetében. Főleg az első két napon (december 30–31.), amikor a hideg légpárna a legintenzívebb volt, a CHAPEAU modell túlbecsülte mind a hőmérsékletet, mind a harmatpontot, továbbá ezek napi menetében sem jelent meg a stabil inverzióra jellemző gyenge napi hőmérsékleti ingás. A WRF modell által adott napi menet szintén gyengébb hideg légpárnát jelez, azzal a különbséggel, hogy a harmatpontot alábecsülte.

Az eltérésnek több oka lehet. Eltérő volt a két modell által használt bemenő adat, és bár törekedtünk arra, hogy a leghasonlóbb sémákat használjuk, mégis eltérőek voltak a modell futtatások során alkalmazott parametizációs eljárások is. Emellett egyik modellnél sem volt

elégően finom a vertikális felbontás a felszín közelében – a legalsó modellszint túl magasan van ahhoz (1000 hPa szemben az 1040 hPa körüli felszíni nyomással), hogy a hideg légpárnában végbemenő folyamatokat kellő részletességgel leírhasssa. A hideg légpárnával kapcsolatos további eredmények megtekinthetők a <http://meteor38.elte.hu/chapeau/eredmenyek/> honlapon.

Összegzés, további tervek. Írásunkban bemutattuk a számszerű időjárás-előrejelző modellek új „generációját”, a közösségi modelleket. Ismertettük saját fejlesztési eredményeinket, melynek során létrehoztunk egy technikai környezetet (HAWER), amely az ALADIN/CHAPEAU és a WRF közösségi modellek egységes futtatását és eredményeik kvantitatív összehasonlítását teszi lehetővé. Hangsúlyoztuk, hogy ezek a modellek nem versenytársai a nemzeti szolgálatoknál futtatott modelleknek, illetve a közösségi modellekkel folytatott oktatói tevékenység nem helyettesíti az alapvető numerikus prognosztikai tudásanyagot és legfőképpen a numerikus előrejelzés oktatását. Ezek után szemléltettük a rendszer alkalmazását egy tipikus Kárpát-medencei időjárási helyzet – a hideg légpárna – rövid bemutatásával és elemzésével. Ennek segítségével rámutattunk az alkalmazott modellek egyes sajátosságára, és arra is, hogy 7 km-es horizontális felbontású, hidrosztatikus modellfuttatásokkal már kimutathatók a hideg légpárna jellegzetességei.

Terveink között szerepel a modellek finomabb vertikális rácsfelbontással való futtatása, illetve további parametizációs sémák alkalmazása, és az így kapott eredmények vizsgálata.

Köszönetnyilvánítás

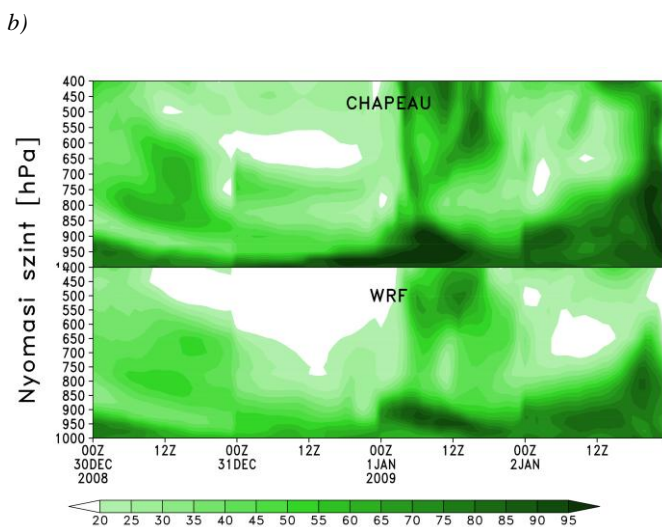
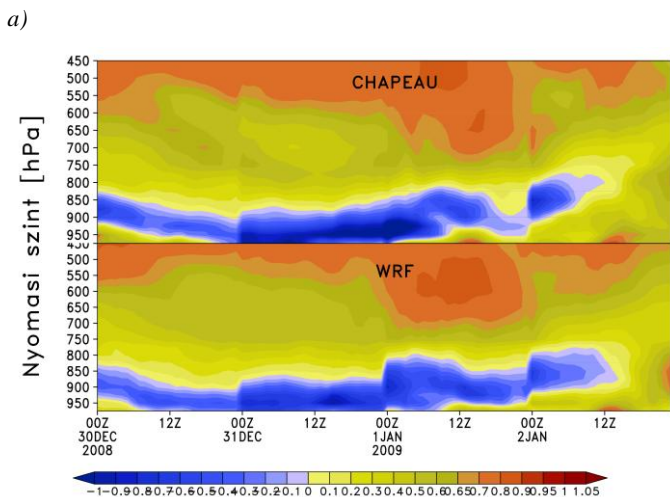
Ezúton szeretnénk megköszönni az Országos Meteorológiai Szolgálat többi munkatársának, elsősorban Bölöni Gergelynek és Kullmann Lászlónak, hogy rendelkezésünkre bocsátották az ALADIN/CHAPEAU modellt, a szükséges bemenő adatokat és értékes technikai segítségükkel, tapasztalataikkal támogatták munkánkat.

A cikkben bemutatott vizsgálat az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.1.B-09/1/KMR-2010-0003 és a TÁMOP 4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001.sz. pályázati programok keretében folyt. A munkát az OTKA K-83909 program is támogatta.

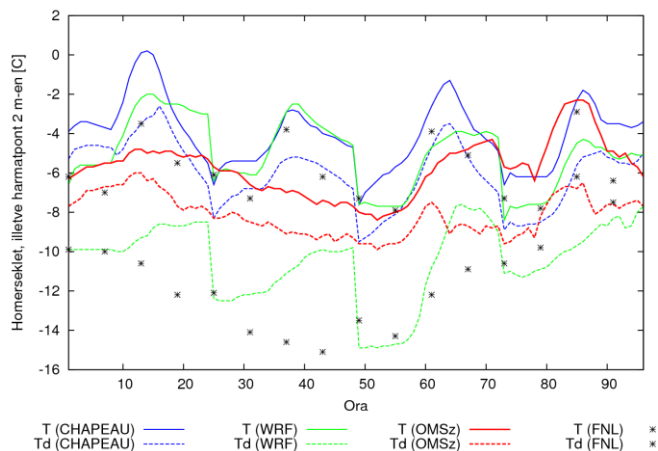
Irodalom

Ács, F., Horváth, Á., Breuer, H. and Rubel, F., 2010: Effect of soil hydraulic parameters on the local convective precipitation. *Meteorol. Z.* 19 (2), 143–153.

Aune, R.M., Strabala, K.I. and Lindstrom, S.S., 2009: A mesoscale prediction system for high latitudes that assimilates Direct Broadcast MODIS. *10th Conference on Polar Meteorology and Oceanography (AMS)*. 2009. May 18–21, Wisconsin, USA.



3. ábra: Modelleredmények: a vertikális hőmérsékleti gradiens [K/100 m] (fent) és a relatív páratartalom [%] (lent) időbeli menete 2008. december 30. és 2009. január 3. 00 UTC között Pestszentlőrincen (12843).



4. ábra: A két méteres hőmérséklet és harmatpont [°C] menete 2008. december 30. 00 UTC és 2009. január 3. 00 UTC között modell- és mérési adatok alapján Pestszentlőrincre (12843). FNL: a WRF bemenő adatai 6 óránként.

Balogh, M., Horányi, A., Gyöngyösi, A.Z., André, K., Mile, M., Weidinger, T. and Tasnádi, P., 2011: The ALADIN/CHAPEAU model as a new tool for education and inter-comparison purposes at the Eötvös Loránd University in Budapest. *HIRLAM Newsletter no 58*, November 2011, 107–112.

Bartholy J., Bozó L. and Haszpra L. (szerk.), 2011: Klímaváltozás – 2011: Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére, Budapest: *Magyar Tudományos Akadémia*, 281 p. (ISBN: 978-963-284-232-5)

Bottyán Zs., 2009: Gondolatok a repülőgép-szimulátorok meteorológiai alrendszerének szerepéről. *Repüléstudományi Közlemények* 21(1), 9p.

Bóna M.H., 1986: Hideg légpárnák aeroszinoptikai vizsgálata a Kárpát-medencében, Országos Meteorológiai Szolgálat, *Meteorológiai Tanulmányok, Budapest*.

Breuer H., Laza B., Ács F., Rajkai K., Horváth Á., Weidinger T., 2011: A planetáris határréteg magasság és a talajtextúrák közötti kapcsolat vizsgálata. *Légkör* 56(3), 103–110.

Breuer, H., Ács, F., Laza, B., Horváth, Á., Matyasovszky, I. and Rajkai, K., 2012: Sensitivity of MM5 simulated planetary boundary layer height to soil dataset: comparison of soil and atmospheric effects. *Theor. Appl. Climatol.* 109 (3–4), 577–590.

Degrauwe, D., 2010: Chapeau/Aladin User Guide. *A Chapeau/Aladin modell felhasználói kézikönyve*.

Eastman, J.L., Coughenour, M.B. and Pielke, R.A., 2001: The regional effects of CO₂ and landscape change using a coupled plant and meteorological model. *Global Change Biol.* 7, 797–815.

Grell, G.A., Peckham, S.E., Schmitz, R., McKeen, S.A., Frost, G., Skamarock, W.C. and Eder, B., 2005: Fully coupled 'online' chemistry in the WRF model. *Atmos. Environ.* 39, 6957–6976.

Grosz, B., Horváth, L., Gyöngyösi, A.Z., Weidinger, T. and Nagy, Z., 2011: Coupling of the DNDC ecological model to the WRF Numerical Weather Prediction System. Edinburgh abstract. *Nitrogen and Global Change Conference*, 11–15 April, Edinburgh, S10.

Gyöngyösi A.Z., 2000: Development of the NRIPR Mesoscale Meteorological Model at Eötvös University. *Diplomamunka*, (Témavezető: Weidinger T.), *ELTE Meteorológiai Tanszék*, 36 oldal.

Gyöngyösi, A.Z., Weidinger, T. and Iványi, Zs., 2006a: Sensitivity study of a coupled dispersion-weather prediction model with case studies. *Geophys. Res. Abstr.* 8, A-08044.

Gyöngyösi, A.Z., Weidinger, T., Haszpra, L., Iványi, Zs. and Kondo, H., 2006b: Sensitivity Study of a Coupled Carbon Dioxide Meteorological Modeling System with Case Studies. International Conference on Mesoscale Processes in Atmosphere, Ocean and Environmental Systems, February 14–17. 2006. *Centre for Atmospheric Sciences Indian Institute of Technology Delhi India*, Programme and abstracts, 31p.

Gyöngyösi, A.Z., Weidinger, T., Kiss, Á. and Bánfalvi, K., 2009: Uncertainties of wind power forecasts for western Transdanubium and for the trade wind region in Brazil from various mesoscale meteorological models. *Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'09)*, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, 2009. September 9–12. Conference Proceedings Volume I. (Edited by Vad, J.) 891–896.

- Gyöngyösi, A.Z., André, K., Salavec, P., Horányi, A., Szépszó, G., Mile, M., Tasnadi, P. and Weidinger, T., 2012: Numerical weather prediction models on Linux boxes as tools in meteorological education in Hungary. EGU General Assembly 2012, *Geophysical Research Abstracts* 14, EGU2012-8361
- Gyüre B., Jánosi I., Szabó K.G. és Tél T., 2006a: Környezeti áramlások. Szemelvények a Kármán Laboratórium kísérleteiből. 1. rész. *Léggör* 51(1), 6–12.
- Gyüre B., Jánosi I., Szabó K.G. és Tél T., 2006b: Környezeti áramlások. Szemelvények a Kármán Laboratórium kísérleteiből. 2. rész. *Léggör* 51(2), 6–10.
- Horányi, A., Ihász, I. and Radnóti, G., 1996: ARPEGE/ALADIN: a numerical weather prediction model for Central-Europe with the participation of the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás*, 100, 277–301.
- Horányi, A., Kertész, S., Kullmann, L. and Radnóti, G., 2006: The ARPEGE/ALADIN mesoscale numerical modelling system and its application at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás* 110, 3–4, 203–227.
- Kondo, H. 1989: Description of NRIPR mesoscale model. *Report of the NRIPR* 44, 75 pp.
- Kondo, H., Sigusa, N., Murayama, S. and Yamamoto, S., 2001: A numerical simulation of the daily variation of CO₂ in the central part of Japan. *J. Meteorol. Soc. Japan* 79(1), 11–21.
- Mesinger, F., Chou, S.C., Gomes, J.L., Jovic, D., Bastos, P., Bustamante, J.F., Lalic, L., Lyra, A.A., Morelli, S., Ristic, I. and Veljovic, K., 2012: An upgraded version of the Eta model. *Meteorol. Atmos. Phys.* 116, 63–79.
- Miao, J.-F., Chen, D., Wyser, K., Borne, K., Lindgren, J., Svensson, M.K., Thorsson, S., Achberger, C. and Almkvist, E., 2008: Evaluation of MM5 mesoscale model at local scale for air quality applications over the Swedish west coast: Influence of PBL and LSM parameterizations. *Meteorol. Atmos. Phys.* 99 (1–2), 77–103.
- Pieczka, I., Pongrácz, R. and Bartholy, J., 2011: Comparison of simulated trends of regional climate change in the Carpathian Basin for the 21st century using three different emission scenarios. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 7, 9–22.
- Pielke, R.A. and Uliasz, M., 1998: Use of meteorological models as input to regional and mesoscale air quality models – limitations and strengths. *Atmos. Environ.* 32(8), 1455–1466.
- Rife, D.L., Davis, D.A., Liu, Y. and Warner, T.T., 2004: Predictability of Low-Level Winds by Mesoscale Meteorological Models. *Mon. Wea. Rev.* 132, 2553–2569.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W. and Powers, J.G., 2005: A description of the Advanced Research WRF Version 2. *NCAR/TN-468 + STR NCAR Technical Note*, 88 pp.
- 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/TN-475 + STR NCAR Technical Note*, 113 pp.
- Weidinger, T., Gyöngyösi, A.Z., Kiss, A. and Bánfalvi, K., 2008: Uncertainties of wind power forecasts for Western Transdanubium from mesoscale NCEP/ETA and WRF models. *Geophys. Res. Abstr.* 10, EGU2008-A-07445.
- Wong, D.C., Pleim, J., Mathur, R., Binkowski, F., Otte, T., Gilliam, R., Pouliot, G., Xiu, A. Young, J.O. and Kang, D., 2012: WRF-CMAQ two-way coupled system with aerosol feedback: software development and preliminary results. *Geo-sci. Model Dev.*, 5, 299–312.

Szakdolgozatok, diplomamunkák

- André K., 2012: Hideg légpárnás helyzet vizsgálata meteorológiai modellek segítségével. *Szakdolgozat, ELTE Meteorológiai Tanszék.*
- Bájhóber E.L., 2012: Monzun depressziók. *Szakdolgozat, ELTE Meteorológiai Tanszék.*
- Décsei A.B., 2012: Debreceni alapéghajlati mérések adatfeldolgozása. *Szakdolgozat, ELTE Meteorológiai Tanszék.*
- Hadobács K., 2011: Repülésre veszélyes időjárási helyzetek rekonstrukciójának alkalmazási lehetőségei – Felületi jegesedés becslése és a hozzá tartozó szimulációs környezet kialakítása. *Diplomamunka, ELTE Meteorológiai Tanszék.*
- Héver A., 2012: Szubtrópusi ciklonok vizsgálata. *Szakdolgozat, ELTE Meteorológiai Tanszék.*
- Kovács R., 2008: A WRF modell hazai adaptációja a megfelelő fizikai sémák kiválasztásával és összehasonlító elemzésével. *Diplomamunka, ELTE Meteorológiai Tanszék.*
- Salavec P., 2012: Nagy csapadékos időjárási helyzetek vizsgálata az ALADIN/CHAPEAU és a WRF modellfutások alapján. *Szakdolgozat, ELTE Meteorológiai Tanszék.*
- Szabó A., 2013: A légköri konvekció vizsgálata mért és modellezett adatok alapján. *Szakdolgozat, ELTE Meteorológiai Tanszék.*
- Wendl B., 2009: A WRF modellel készített szélenergia becslések Mosonmagyaróvár térségére. *Diplomamunka, ELTE Meteorológiai Tanszék.*

A MEDITERRÁN CIKLONOK KLIMATOLÓGIAI VIZSGÁLATA REANALÍZIS ADATOK ALAPJÁN

CLIMATOLOGICAL ANALYSIS OF THE CYCLONES IN THE MEDITERRANEAN REGION BASED ON REANALYSIS DATA

Kelemen Fanni Dóra, Bartholy Judit, Pongrácz Rita

ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, Budapest, 1117, Pázmány Péter sétány. 1/A.
fannikelemen@hotmail.com, bartholy@elte.hu, prita@elte.hu

Összefoglalás: A dolgozat célja a mediterrán térség ciklonjainak klimatológiai elemzése valós mérési eredményeken alapuló reanalízis adatok felhasználásával. A mediterrán ciklonok jelentősége térségünkben nagy az átvonulásukhoz kapcsolódó heves esőzések, illetve havazások, és más veszélyes időjárási jelenségek miatt. A tanulmányban megvizsgáljuk a ciklonok gyakoriságának éves eloszlását, illetve területi mintázatát. A ciklonazonosításhoz felhasznált reanalízis adatok forrása az ERA Interim, illetve az NCEP-DOE R2 adatbázisok, melyeket az 1981–2010-es időszakra elemeztünk.

Abstract: The aim of the study is to give a climatological analysis of the cyclones in the Mediterranean region based on reanalysis data. The cyclones generated in the Mediterranean are important since they often result in heavy rain and snow events and other hazardous weather. In this study we analysed the annual cycle and the spatial patterns of cyclone frequency. The datasets used for the cyclone identification are from the ERA Interim and the NCEP-DOE R2 reanalysis data for the period between 1981 and 2010.

Bevezetés. A mediterrán térségben kialakuló ciklonok nagy hatással vannak hazánk időjárásának alakulására és ezen keresztül az éghajlati paraméterekre is.

A mérsékelt övi ciklonok jellemzőit sokan, számos módszerrel elemezték (*Serreze, 1995; Hoskins és Hodges, 2002; Pinto et al., 2005*) különböző területeket figyelembe véve. Kifejezetten a mediterrán térség ciklonjait vizsgáló munkák is ismeretesek (*Trigo et al., 1999; Lionello és Giorgi, 2007; Bartholy et al., 2009*). A ciklonok azonosításának módszerét két fő csoportra oszthatjuk. Az euleri módszer egy adott paraméter mezejéből kiválasztott jól azonosítható szinoptikus jel szórását vizsgálja (*Hoskins és Hodges, 2002; Lionello és Giorgi, 2007*). A lagrange-i megközelítés pedig a ciklonokat egy vagy több tulajdonságuk alapján azonosítja a vizsgált mezőben, majd végigköveti fejlődésüket. A dolgozatban az utóbbi módszertan egy változatát alkalmaztuk.

A vizsgálatban definíció szerint mediterrán ciklonnak tekintünk minden olyan mérsékelt övi ciklont, amely a Földközi-tenger térségében képződött. E ciklonok általában kisebbek és nem olyan mélyek, mint a mérsékelt övi ciklonok többsége, és dinamikájukban is kissé eltérnek ezektől. Fejlődésükben jelentős szerepet játszik a Földközi-tenger, mely nedvesség és látens hőforrás számukra.

A munka során első lépésként egy ciklon felismerő algoritmust fejlesztettünk ki, amely a tengerszinti légnyomás (mean sea level pressure, MSLP) mező és a 850 hPa-os izobár szinti örvényesség alapján azonosítja a ciklonközpontokat. A módszer az MSLP mezőben minimumokat, az örvényesség mezőben pedig maximumokat keres, mivel a ciklonok alacsony nyomású vertikális tengelyű örvényeknek tekinthetők.

mokat keres, mivel a ciklonok alacsony nyomású vertikális tengelyű örvényeknek tekinthetők.

A vizsgálatokat a közelmúlta, az 1981-től 2010-ig terjedő időszakra végeztük el. A ciklonazonosításhoz szükséges adatbázis a mediterrán térségre vonatkozóan két reanalízis idősorból: az ERA Interim 2,5°-os felbontású verziójából és az NCEP-DOE második számú reanalízisének 2,5°-os felbontású adataiból állt.

A tanulmány első felében a felhasznált adatok, illetve a módszertan kerül bemutatásra, majd az eddig elért eredmények ismertetése, s egy rövid összefoglaló következik.

Adatok és módszer. A reanalízis adatbázisok a légkör állapotának globális elemzése, melyeket múltbeli mérési adatok felhasználásával egy egységes korszerű adatasszimilációs rendszerrel állítanak elő a nagyobb meteorológiai központok, főként kutatási célokra. Munkánk során a ciklonok előfordulását két különböző felbontású és különböző adatasszimilációs rendszerrel készült reanalízis adatson vizsgáltuk.

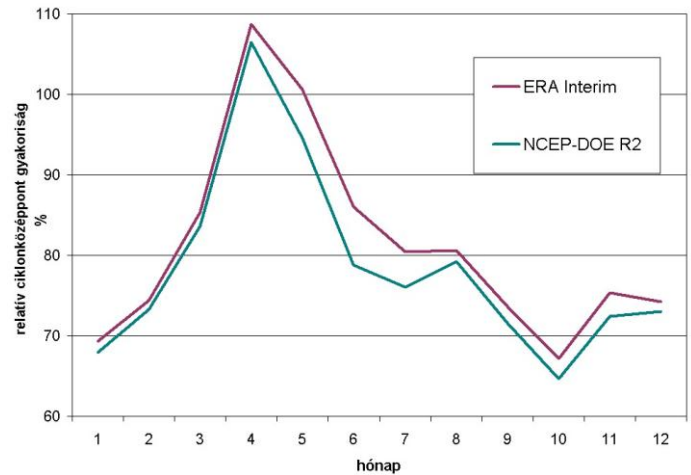
NCEP-DOE Reanalízis 2. Az NCEP-DOE Reanalízis 2 az amerikai Nemzeti Környezeti Előrejelző Központ (National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (*Kanamitsu et al., 2002*) által készített adatbázis, horizontális felbontása 2,5°. A vizsgált terület a ny.h.15°-tól a k.h.45°-ig, illetve az é.sz.27,5°-tól az é.sz.55°-ig terjed. A ciklonok azonosításához az MSLP-t és a 850 hPa-os izobár szint relatív örvényességét használtuk fel. Mivel az örvényesség adatok nem voltak közvetlenül elérhetőek, ezért a 850 hPa-os izobár szint szélkomponens (*u*, keleties és *v*, északias) értékek alapján mi számítottuk az örvényességet.

ERA Interim Reanalízis. Az ERA Interim reanalízis az Európai Középtávú Időjárás Előrejelző Központ (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) által készített reanalízis (Dee et al., 2011). Az adatbázis 1979-től indul, és napjainkig folyamatosan bővül. A reanalízis eredeti felbontása T255, mely körülbelül $0,75^\circ$ horizontális felbontású rácsnak feleltethető meg. A munka során az összehasonlíthatóság érdekében az NCEP-DOE reanalízissel megegyező, $2,5^\circ$ -os horizontális felbontáson használtuk fel az adatokat. A felhasznált változók ugyanazok, mint az előző esetben, és a vizsgált terület is megegyezik az előzővel.

Módszer. A ciklonokat a MSLP és a 850 hPa-os izobár szintű örvényesség mezejének szélsőértékei alapján határoztuk meg. Mérsékeltövi ciklonok azonosításához gyakran használt paraméter az MSLP mező (Hoskins és Hodges, 2002; Lionello és Giorgi, 2007; Bartholy et al., 2009) amelynek minimumai jelölik a ciklonközpontokat. Az MSLP mezőt viszont jelentős mértékben befolyásolja a nagy skálájú folyamatok háttermezeje, illetve az extrapoláció, amivel a földfelszíni légnyomás értékét átszámítjuk a tengerszintre. Az extrapoláció révén megjelenik a domborzat hatása az adatokban. A ciklonok azonosításához általánosan használt paraméter még a szabad légkör alsó szintjének örvényessége is, amelynek maximumai jelölik a ciklonközpontokat. Ez a mező jobban leírja a kisebb skálájú folyamatokat, így a mediterrán térség ciklonjai is jobban beazonosíthatóak (Hoskins és Hodges, 2002). Nagy felbontású adatok esetében viszont zajos lehet, ezért szükséges a simítása (Woollings et al., 2010) vagy kisebb felbontáson való alkalmazása (Hodges et al., 2011). Mindezek figyelembevételével mindkét adatbázis esetében a $2,5^\circ$ -os horizontális felbontást alkalmaztuk. Az örvényesség mezőt alkalmazva a kereső algoritmusok jellemzően több ciklont azonosítanak, mintha a nyomási mezőket használjuk (Hodges et al., 2011). Ezen tulajdonságokat figyelembe véve döntöttünk a két mező együttes használata mellett. Így az örvényességi mező segítségével azonosíthatjuk a kisebb skálán előforduló örvényeket, de a nyomási mező figyelembevételével kiszűrjük a nem ciklonális képződményekhez kapcsolódó örvényeket.

Az algoritmus tehát az MSLP mezőben a minimumokat keresi, míg az örvényesség mezőben a maximumokat. Abban az esetben, ha a két szélsőség egymás közelében található, akkor azt egy lehetséges ciklon-középpontként azonosítja. Ez után megvizsgálja a középpont környezetét, és azon rácsponthoz, ahol a légnyomás $1013,15$ hPa-nál kisebb, és egyben az örvényesség 10^{-6} 1/s-nál nagyobb, a ciklonhoz tartozó területnek tekinti. A küszöbértékeket a szakirodalom (Trigo et al., 1999; Bartholy et al., 2009) és a saját empirikus vizsgálataink alapján határoztuk meg.

Eredmények. Elemzéseink során az adatsorokban azonosított ciklon-középpontok időbeli gyakoriságát vizsgáltuk. Értékeljük az egész térségre a vizsgált 30 évre vo-



1. ábra: A mediterrán térségben beazonosított átlagos havi relatív ciklonközpont gyakoriság értékek az ERA Interim és az NCEP-DOE R2 reanalízis adatsorok alapján (1981-2010 időszak).

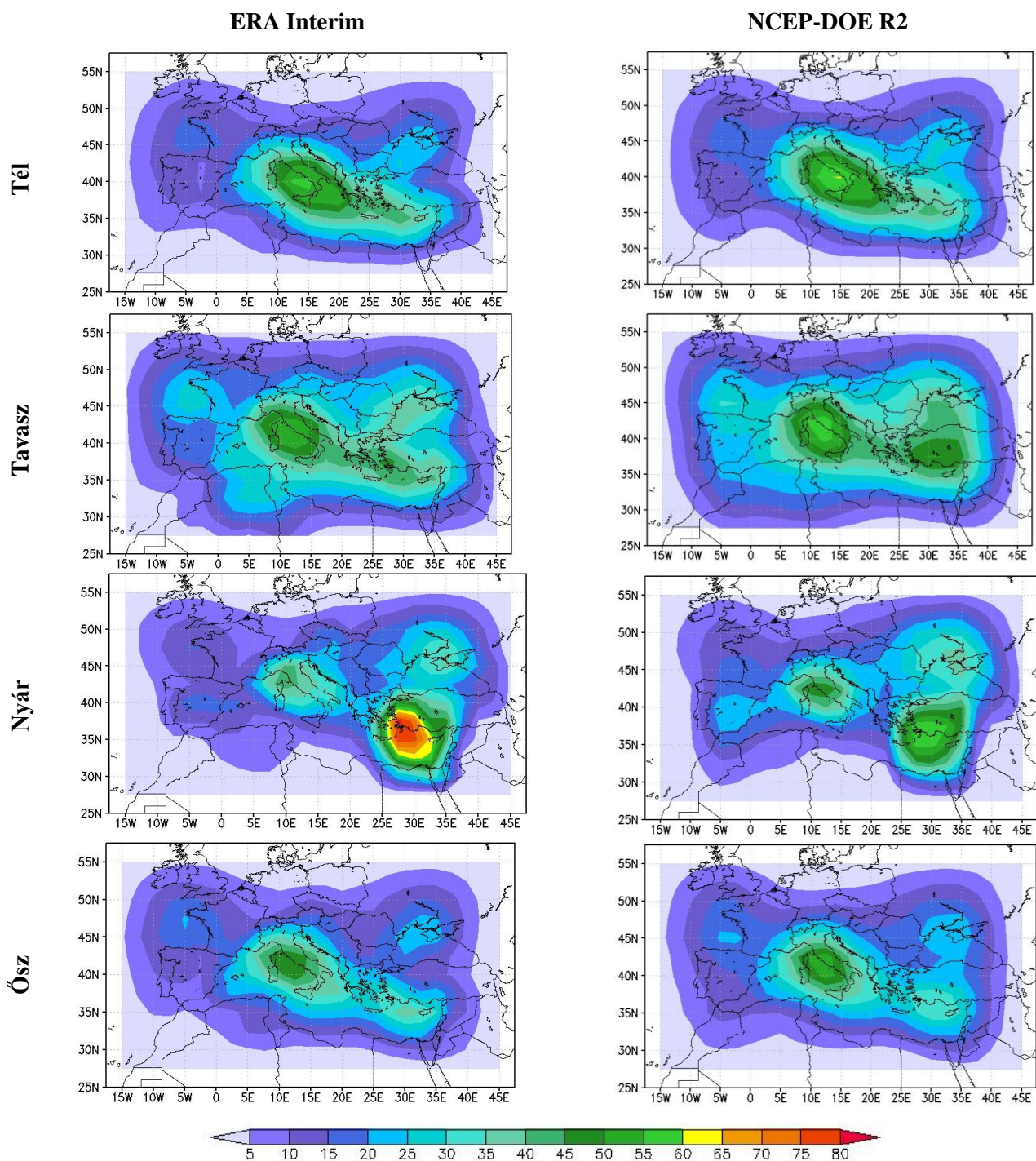
natkozó átlagos havi ciklon gyakoriság adatokat, és az évszakos ciklon gyakoriság értékek területi eloszlását.

Az 1. ábrán látható a havi relatív gyakoriság értékek évi menete, ahol a 100%-nak azt tekintettük, ha a vizsgált hónap minden időlépcsőjében jelen volt a térségben egy ciklon. Természetesen előfordulhat olyan eset is, hogy ezen elméleti maximumon felül bizonyos időlépcsőkben több ciklon is található a térségben, ezért nem ellentmondás, ha a gyakoriság értéke esetleg meghaladja a 100%-ot. A két reanalízis mezősoron végzett elemzésben a gyakoriságok évi menete jó egyezést mutat. Az ERA Interim adatokból valamelyest több ciklon azonosítható, ami összhangban van más, korábbi tanulmányok (pl. Hanson et al. 2004; Trigo, 2006) eredményeivel.

Mindkét reanalízis adatbázis alapján áprilisban fordul elő a térségben a legtöbb ciklon.

A ciklonok területi eloszlását évszakos gyakoriság térképeken mutatjuk be (2. ábra). A térképekről leolvasható, hogy a két különböző reanalízis alapján meghatározott ciklonközpontok gyakoriságának területi elhelyezkedése jó egyezést mutat, csak nyáron Ciprus térségében figyelhető meg eltérés. Tehát a ciklonok leggyakrabban az Appennini-félsziget, Ciprus és a Fekete-tenger területén fordulnak elő. Ezek a térségek jól átfednek a szakirodalomból (Trigo et al., 1999) ismert főbb mediterrán ciklogenezis központok területi elhelyezkedésével.

A téli ciklongyakoriság eloszlás térképeken a fő maximumok az Appennini-félsziget déli térségében jelennek meg. E mellett csökkenő jelentőséggel, az Égei-tenger és Ciprus környékén, illetve a Fekete-tenger nyugati felénél található magas gyakorisági értékek. Tavasszal a legnagyobb ciklongyakoriság értékek szintén az Appennini-félsziget környékén találhatóak, de most kicsit északabbra. Emellett megfigyelhető még egy maximum Ciprus térségében és a Fekete-tengernél.



2. ábra: A ciklonközpontok gyakorisági értékek területi eloszlása a két reanalízis adatbázis alapján (ciklon-középpont / 6h /évszak egységben kifejezve).

A Földközi-tenger térségében megjelenő nyári ciklonközpontok szerint három fő gócpont azonosítható, melyek jól elkülöníthetők egymástól. Ezek a Genovai-öböl, a Földközi-tenger keleti medencéje és a Fekete-tenger északi része, illetve negyedikként még megjelenik egy gyengébb maximum az Ibériai-félszigeten. A legnagyobb különbség a két reanalízis eredményei között ebben az évszakban látható. Az ERA Interim adatok alapján jóval nagyobb a Ciprus térségében képződő és átvonuló ciklonközpontok száma. Az őszi gyakoriság eloszlás térképeken a két adatsor mintázata nagyon hasonló. A legmarkánsabb ciklongyakoriság ebben az évszakban is az Appennini-félsziget környékén található, ami mellett még megjelenik a ciprusi és az észak

fekete-tengeri középpont. Az ERA Interim adatsorban talált több ciklon valószínűleg az adatok nagyobb eredeti felbontásának köszönhető. Tehát a nagyobb felbontáson előállított adat simított mezőjéből több ciklon volt azonosítható, mint az eleve kisebb felbontáson előállítottból. Ennek oka lehet többek között az orográfia eltérő felbontású figyelembevétele, a két adatasszimilációs rendszer eltérései valamint a bemenő megfigyelési adatok és egyéb technikai részletek.

Összegzés. A munka során két reanalízisből azonosított ciklonok átlagos megjelenési gyakoriságának éves menetét, illetve évszakai területi elrendeződését vizsgáltuk. Az elemzett tartomány a Kárpát-medence irányába kibő-

vített mediterrán térség volt, figyelembe véve, hogy a mediterrán ciklonok jelentős hatással vannak hazánk időjárására. A két adatsort egységesen az 1981 és 2010 közötti harminc éves időszakra vonatkozóan alkalmaztuk. A vizsgálatok igazolták, hogy a két különböző reanalízis adatsor alapján azonosított ciklonok gyakoriságának éves menete jó egyezést mutat, és hogy a térségben leggyakrabban áprilisban fordulnak elő ciklonok.

Köszönetnyilvánítás

A munka során felhasznált NCEP-DOE reanalízis adatokat a NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, biztosította, az ERA Interim adatokat, pedig az ECMWF biztosította. A kutatást az OTKA K-78125 számú pályázata támogatta, valamint a FuturICT.hu TÁMOP 4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0013, a KMR_12-1-2012-0206 és a GOP-1.1.1.-11-2012-0164 kutatási pályázatok.

Irodalom

Bartholy, J., Pongrácz, R., Pattantyús-Ábrahám, M., 2009: Analyzing the genesis, intensity, and tracks of western Mediterranean cyclones. *Theor Appl Climatol* 96:133–144.

Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A.C.M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A.J., Haimberger, L., Healy, S.B., Hersbach, H., Hólm, E.V., Isaksen, L., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A.P., Monge-Sanz, B.M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137: 656, 553–597.

Dickinson, R.E., R.M. Errico, F. Giorgi and G.T. Bates, 1989: A regional climate model for the western United States, *Climatic Change*, 15: 383–422.

Hanson, C. E., Palutikof, J. P., Davies, T. D., 2004: Objective cyclone climatologies of the North Atlantic - a comparison between the ECMWF and NCEP Reanalyses. *Climate Dynamics*, 22(6-7), 757–769. doi:10.1007/s00382-004-0415-z

Hodges, K. I., Lee, R. W., Bengtsson, L., 2011: A Comparison of Extratropical Cyclones in Recent Reanalyses ERA-Interim, NASA MERRA, NCEP CFSR, and JRA-25. *J. Clim.*, 24: 4888–4906.

Hoskins, B.J. and Hodges, K.I., 2002: New Perspectives on the Northern Hemisphere Winter Storm Tracks. *J. Atmos. Sci.* 59: 1041–1061.

Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S.-K., Hnilo, J.J., Fiorino, M. and Potter, G.L., 2002: NCEP DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 83 (11): 1631–1643

Lionello, P. and Giorgi, F., 2007: Winter precipitation and cyclones in the Mediterranean region: future climate scenarios in a regional simulation. *Adv. Geosci.* 12 : 153–158.

Pinto, J.G., Spanghel, T., Ulbrich, U. and Speth, P., 2005: Sensitivities of a cyclone detection and tracking algorithm: individual tracks and climatology. *Meteorol Zeitschrift* 14: 823–838.

Serreze, M. C., 1995: Climatological aspects of cyclone development and decay in the Arctic. *Atmosphere-Ocean*, 33(1), 1–23.

Trigo, I. F.: 2006. Climatology and interannual variability of storm-tracks in the Euro-Atlantic sector: a comparison between ERA-40 and NCEP/NCAR reanalyses. *Climate Dynamics*, 26(2-3), 127–143. doi:10.1007/s00382-005-0065-9

Trigo, I.F., Davies and T.D., Bigg, GR, 1999: Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *J Climate* 12: 1685–1696.

Woollings, T., Hoskins, B., Blackburn, M., Hassell, D. and Hodges, K., 2010: Storm track sensitivity to sea surface temperature resolution in a regional atmosphere model. *Climate Dynamics*, 35(2-3), 341–353. doi:10.1007/s00382-009-0554-3

KISLEXIKON POCKET ENCYCLOPAEDIA

Somfalvi-Tóth Katalin

Országos Meteorológiai Szolgálat, H-1525 Budapest Pf. 38, toth.k@met.hu

Bowen arány a szenzibilis és látens hőáram aránya. (*Weidinger T.: Mikrometeorológiai mérések az ELTE Meteorológiai Tanszékén*)

bulk Richardson szám <BRN, ang> *tényleges Richardson szám*, a meteorológiában használt stabilitási (labilitási) index, dimenzió nélküli, Lewis Fry Richardson (1881-1953) matematikus és meteorológusról elnevezett szám, ami a potenciális és a kinetikus energia, a felhajtó erőből származó sebesség és a vertikális szélnyírás hányadosa. Az elméleti Richardson-szám közelítése véges differenci hányadossal. A kritikus Richardson szám (0,25) alatt a konvekció szabad, a légréteg labilis. (*Ács F., Breuer H.: A talaj szerepe a meteorológiában és a klimatológiában*)

eddy-kovariancia módszer, *eddy korreláció*, *örvény-fluxus módszer* a meteorológiai mérési gyakorlatban a függőleges turbulens fluxus meghatározására és mérésére használt eljárás. A fluxus a pillanatnyi szélesség és valamilyen skaláris mennyiség értékeiből, szennyezőanyag koncentráció,

statisztikus módszerrel kiszámított érték. (*Barcza Z., Haszpra L., Hidy D., Gelybó Gy., Dobor L.: A légkör és a bioszféra közötti szén-dioxid csere vizsgálata*)

geoszinkron műhold, *geostacionárius műhold* a Földdel azonos szögsebességgel rendelkező mesterséges égitest. Mindig az Egyenlítő ugyanazon pontja fölött helyezkedik el. (*Weidinger T.: Mikrometeorológiai mérések az ELTE Meteorológiai Tanszékén*)

hervadásponthoz tartozó vízkészlet, *hervadásponthoz tartozó vízkészlet*, talaj hidrofizikai paraméter. Az a vízmennyiség a talajban, rendszerint a felső 1 méteres rétegre megadva, amelyenél a növényen akkor is a hervadás jelei mutatkoznak, ha a növényt telített térbe helyezzük. A növény által már nem hasznosítható vízmennyiség. Az agrometeorológiai gyakorlatban vízszlop mm-ben adják meg a mennyiségét. (*Ács F., Breuer H.: A talaj szerepe a meteorológiában és a klimatológiában*)

folytatás a173. oldalon

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG HÍREI

NEWS OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SOCIETY

Németh Ákos

Magyar Meteorológiai Társaság, 1024 Budapest, Kitaibel P. u. 1., *nemeth.a@met.hu*

Rendezvényeink 2012. április 1. és december 31. között *Our programmes between 1 April and 31 December 2012*

Április 10. Surek György: Újabb eredmények a parlagfű távérzékeléses felderítésében (az Agro- és Biometeorológiai Szakosztály rendezvénye)

Április 11. Kovács Győző: Veszprém időjárása és éghajlata, történeti feljegyzések alapján (a Szombathelyi Csoport rendezvénye)

Április 16. Kovács Mária: Röviden a globális és regionális klíma modellezéséről (a Szegedi Csoport rendezvénye)

Április 17. Kántor Noémi: A termikus viszonyok szubjektív értékelésének vizsgálata városi közterületeken; **Unger János:** Beszámoló a 19. Nemzetközi Biometeorológiai Kongresszusról (az Agro- és Biometeorológiai Szakosztály rendezvénye)

Április 18. Tar Károly: A szélenergia hasznosítás reális lehetősége Magyarországon; **Bíróné Kircsi Andrea:** A szélenergia hasznosítás helyzete nemzetközi kitekintéssel; **Radics Kornélia:** A hazai szélklíma regionális tendenciái a szélenergia-hasznosítás tükrében; **Kádár Péter:** A szélenergia integrálása a hálózatba; **Gertner Orsolya:** Szélenergetikai becslések mérési adatok és modell számítások alapján (a Nap- és Szélenergia Szakosztály rendezvénye)

Április 19. Koppány György: Kihívások a XXI. században (a Szegedi Csoport rendezvénye)

Április 19. Bihari Zita: A magyarországi megfigyelések szélső értékei; **Fövényi Attila:** Meteorológiai világ- és kontinens-rekordok; **Mika János:** SREX - Az IPCC tematikus jelentése (az Éghajlati Szakosztály rendezvénye)

Április 20. Mika János: A sakkjáték földrajza (a Szombathelyi Csoport rendezvénye)

Április 24. Horváth László: Félév a bohémek és morvák földjén (a Szombathelyi Csoport rendezvénye)

Május 8. AZ MMT NYÍREGYHÁZI CSOPORTJÁNAK ALAKULÓULÉSE

Dunkel Zoltán: A jövő erőforrása az időjárás és az éghajlat. A nemzeti meteorológia intézetek szerepe ma és a jövőben;

Tar Károly: A Magyar Meteorológiai Társaság tevékenységének bemutatása (a Nyíregyházi Csoport rendezvénye)

Május 9. Tóth Zsombor: Hurrikánok nyomában (a Szombathelyi Csoport rendezvénye)

Május 17. Szintai Balázs: Az AROME nem-hidrosztatikus időjárás előrejelző modell fizikai parametrizációi (a Légekördinamikai Szakosztály rendezvénye)

Május 18. Rákóczi László: A VITUKI korai áramlás- és üledékdinamikai mérései; **Kiss Melinda:** Határréteg mechanizmus vizsgálata nyílt vízi és nádas vízi jellegzőnák között; **Krűszelyi Ilona:** A városi energia-mérleg modellezése; **Krámer Tamás:** Fertő-tavi vízpótlás csóvájának elkeveredése; **Szilágyi József:** A területi párolgás becslése MODIS képek segítségével (a Légekördinamikai Szakosztály rendezvénye)

Május 21. Csirmaz Kálmán: Mezoskálájú örvények (a Róna Kör rendezvénye)

Május 23. Patkós Csaba: A RUBIRES program tapasztalatai az egri kistérségben; **Tóth Tamás:** A nap- és szélenergia hasznosítás társadalmi támogatottsága a Hernád-völgyben; **Munkácsy Béla:** Szemelvények a VISION 2040 HUNGARY fenntartható energia-forgatókönyv társadalomtudományi összefüggéseiből; **Pálvölgyi Tamás:** A Nemzeti Energiastratégia környezeti és fenntarthatósági értékelése (a Nap- és Szélenergia Szakosztály rendezvénye)

Június 21. Józsa János: Szél keltette sekély tavi áramlások mérése és modellezése; **Szépszó Gabriella:** Nagyfelbontású magassági szélklimatológiai információk dinamikai előállítás; **Szanyi Sándor:** Térbeli struktúraelemzés szél keltette tavi áramlásokban; **Torma Péter:** Egy balatoni hidrodinamikai előrejelző rendszer felé; **Homoródi Krisztián:** Szél keltette hullámzás mérése, becslése és modellezése; **Szűcs Mihály:** Valószínűségi szélelőrejelzések vizsgálata (a Légekördinamikai Szakosztály rendezvénye)

folytatás a 152. oldalon

2012 ŐSZÉNEK IDŐJÁRÁSA WEATHER OF AUTUMN 2012

Rajhonáné Nagy Andrea

Országos Meteorológiai Szolgálat, H-1525 Budapest, Pf. 38., nagy.andrea@met.hu

A 2012-es ősz az 1901 óta mért 4. legmelegebb ősz volt, csapadék szempontjából pedig átlagosnak mondható.

Szeptember. Az ország egész területén az átlagnál melegebb volt. A legkisebb pozitív anomália hazánk nyugati részén volt, itt +1,5-2°C volt a különbség, míg a délkeleti térségben volt a legnagyobb az eltérés, itt a +3°C-ot is meghaladta. A hónap során melegebb és hűvösebb időszakok váltakoztak, bár a 30 napból 21 napon a sokéves átlag felett alakult a napi középhőmérséklet. Szeptember 21-ig hűlő tendencia figyelhető meg az értékekben, míg 21-től a hónap végéig melegedő.

A meleg küszöbnapok száma átlag felett alakult. Országos átlagban 15 nyári napot (napi maximumhőmérséklet $\geq 25^\circ\text{C}$) jegyeztünk, míg a sokévi átlag 8 nap, hőségnapból pedig (napi maximumhőmérséklet $\geq 30^\circ\text{C}$) 5 is előfordult, mely ebben a hónapban már nem jellemző, az 1971-2000-es átlag 1 nap.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

35,2°C, Körösszakál (Hajdú-Bihar megye), szeptember 1.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-0,8°C, Zabar (Nógrád megye), szeptember 22.

Az ország nagyobb részén az 1971-2000-es normál csapadék 60-100%-a hullott, vagyis átlagos és átlag alatti csapadékú területek voltak jellemzőek. Átlag feletti értékeket az Alpokalján és a már említett délnyugat-északkeleti sávban mértünk, a legmagasabb arányok az ország középső területein jelentkeztek, itt 160%-ot is meghaladó, vagyis több mint másfélszeres csapadékösszegek is előfordultak. Ezzel szemben a Körös-vidéken a szokásos csapadéknak csupán a 40-60%-át regisztráltuk.

Országos átlagban 7 csapadékos nap volt, mely eggyel marad el a sokéves átlagtól. A zivataros napok száma a normálnak megfelelően alakult (1 nap).

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

88,6 mm, Alsószentmárton (Baranya megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

18,3 mm, Pocsaj (Hajdú-Bihar megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

50,0 mm, Bükkszentkereszt (Borsod-Abaúj-Zemplén megye), szeptember 19.

Október. Az előző hónapokhoz hasonlóan ismét egységesen pozitív hőmérsékleti anomália jelentkezett hazánk egész területén, 0 és +1,5°C közötti értékek voltak jellemzőek országszerte. Ennél nagyobb eltérés Csongrád megyében, illetve a Bükk térségében fordult elő nagyobb területen. A hónap során, a normálhoz viszonyítva, két melegebb és két hidegebb időszakot tapasztaltunk. A hónap egy kellemesen meleg héttel indult (szeptember első felében szoktak ilyen magas napi középhőmérsékletek jelentkezni), a napi maximumhőmérsékletek általában még 20°C felett alakultak országszerte (sőt egyes napokon jóval meg is haladták azt). A jó időnek a 8-án érkező markáns hidegfront vetett véget,

több mint 5°C-os lehülést okozva egyik napról a másikra. Ez az átlagnál 2-3 fokkal hűvösebb idő 13-áig tartott, innen-től ismét egy melegebb időszak következett, egészen 27-ig, amikor ismét lehülés következett.

Országos átlagban 1 nyári nap fordult elő, ami megegyezett a sokéves átlaggal. A fagyos napok száma azonban átlag alatt alakult, országos átlagban 2 olyan napot regisztráltunk csupán, amikor a napi minimumhőmérséklet nem haladta meg a 0°C-ot (a normál 4 nap).

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

30,8°C, Körösszakál (Hajdú-Bihar megye), október 1.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-5,4°C, Nagy-Hideg-hegy (Pest megye), október 30.

A hónapban hazánk jelentős részén 1,5-2-szeres csapadékösszegeket mértünk (140-200%), sőt Csongrád megye térségében 2-2,5-szeres értékek jelentkeztek. Az ország K-ÉK-i részen viszont nem érte el a normál értéket a csapadékösszeg, annak 60-100%-a hullott. Bár az első havazás átlagos időpontja még hegységeinkben is novemberre esik, 2012-ben országszerte már október végén lehullott az első hó (28-29-én), s néhány helyen – főként az ország nyugati felében – meg is maradt rövid ideig. A maximális hóvastagságot, 17 cm-t Szuha Mátraalmás állomásunkon mértük, október 30-án.

A csapadékos napok száma (10 nap) kevéssel meghaladta a sokévi átlagot (8 nap). Országos átlagban 1-1 havas és hótakarós napot regisztráltunk, sőt a sokévi átlagtól eltérően (0 nap) 2 zivataros napot is észleltünk.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

113,9 mm, Szentgotthárd Farkasfa (Vas megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

17,9 mm, Milota (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

44,8 mm, Fülöpháza (Bács-Kiskun megye), október 2.

November. Az Északi-középhegység legmagasabb pontjait kivéve, az egész országban 5°C feletti havi középhőmérsékletet mértünk a hónapban. Az 1971-2000-es sokéves átlagnál országszerte több fokkal melegebb volt, hazánk keleti felében 2-3°C-os, középső és nyugati részén pedig 3-4°C-os pozitív anomália volt jellemző.

A napi középhőmérsékletek országos átlagai szinte egész novemberben a normál felett alakultak, csupán 7-én és 9-én volt hűvösebb az átlagnál. A legnagyobb pozitív anomáliák a hónap végén jelentkeztek, 29-én 8,3°C-kal volt melegebb a sokéves átlagnál.

A küszöbnapokat tekintve is kitűnik a hónap enyhe időjárása. Fagyos napból (napi minimumhőmérséklet $\leq 0^\circ\text{C}$) ugyanis az átlagos 12 helyett csupán 4-et regisztráltunk országos átlagban, míg téli nap (napi maximumhőmérséklet $\leq 0^\circ\text{C}$) nem fordult elő egy állomásunkon sem (a sokéves országos átlag 1 nap).

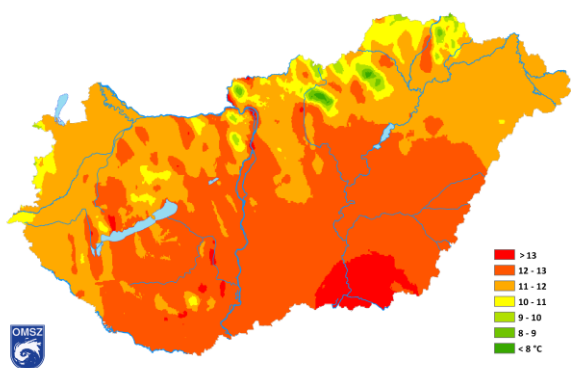
A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:
 22,4°C, Körösszakál (Hajdú-Bihar megye), november 5.
 A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:
 -5,2°C, Zabar (Nógrád megye), november 14.

Az ország legnagyobb részén a normálnál szárazabb hónapot zártunk, a legkevesebb csapadékban részesülő, középső területeken 30% alatti arány adódott, az ország döntő részén pedig 30-70% között alakult. Csak néhány helyen, a határ mentén hullott az átlagnál több csapadék. Havazás vagy hózápor csak egy-egy állomásunkon for-

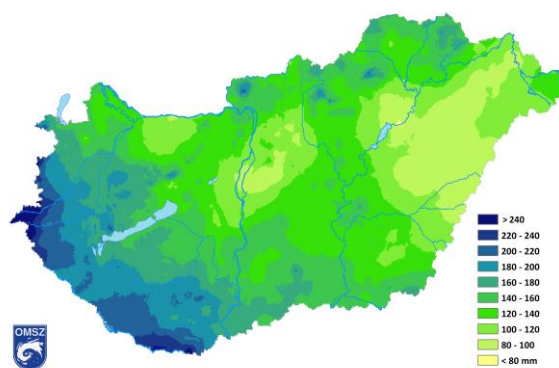
dult elő 7-én, 18-án, 21-én és 29-30-án. A csapadékos napok száma országos átlagban 9 volt, mely eggyel elmarad a 10 napos normáltól.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:
 92,0 mm, Felsőszölnök (Vas megye)
 A hónap legkisebb csapadékösszege:
 5,0 mm, Maglód (Pest megye)

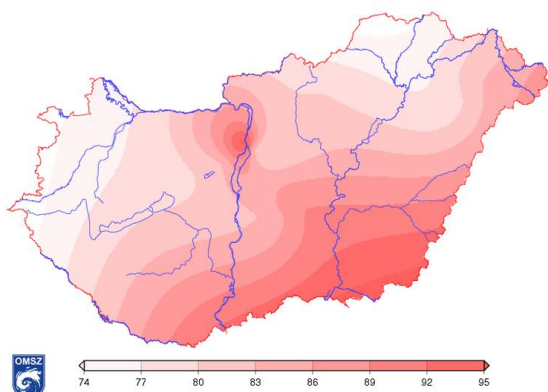
24 óra alatt lehullott maximális csapadék:
 47,8 mm, Felsőszölnök (Vas megye), november 5.



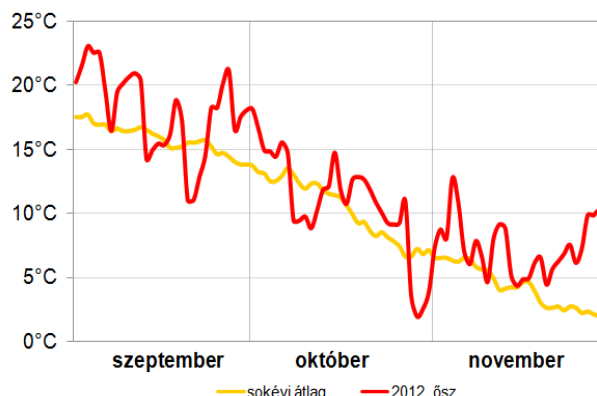
1. ábra: Az őszi középhőmérséklete (°C).



2. ábra: Az őszi csapadékösszege (mm).



3. ábra: Az őszi globálisugárzás összege (kJ/cm²).



4. ábra: Az őszi napi középhőmérsékletei és a sokéves átlag (°C).

2012. őszi időjárási adatainak összesítője

Állomás	Napsütés (óra)		Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél
	Évsz. össz.	Eltérés	Évsz. közép	Eltérés	Max.	Napja	Min.	Napja	Évsz. össz.	Átlag %-ban	> 1mm napok	Viharos napok
Szombathely	383	-9	11,5	1,9	31,2	2012.09.11	-2,5	2012.10.30	193	127	22	11
Nagykanizsa	-	-	11,8	2,0	31,9	2012.09.11	-2,9	2012.10.30	189	103	25	6
Siófok	424	-16	13,0	2,0	30,6	2012.09.11	-0,1	2012.10.31	139	100	17	14
Pécs	444	-9	12,9	1,9	31,6	2012.09.03	-1,9	2012.10.31	197	140	28	7
Budapest	460	39	12,7	1,9	32,9	2012.09.03	-0,7	2012.10.30	106	84	14	1
Miskolc	430	54	11,7	2,3	32,8	2012.09.03	-0,9	2012.11.16	137	116	17	1
Kékestető	380	-79	8,2	2,0	24,7	2012.09.03	-4,7	2012.10.30	192	96	23	23
Szolnok	460	12	12,7	2,1	32,8	2012.09.03	-0,8	2012.11.17	119	109	17	
Szeged	538	78	13,1	2,3	32,9	2012.09.02	-0,5	2012.10.31	140	139	16	5
Nyíregyháza	-	-	11,8	2,1	32,6	2012.09.01	-3,6	2012.11.16	91	79	17	8
Debrecen	492	61	12,4	2,2	33,7	2012.09.01	-2,5	2012.11.21	99	87	15	4
Békéscsaba	542	96	12,8	2,2	33,5	2012.09.01	-2,1	2012.10.31	119	105	15	3

TÉREY JÁNOS

A FIATAL NYÁR

Minden, ami most csupán tehetség,
Holnapután lesz cselekedetté:
Erdőpusztát ér válassza ketté,
Ördög fűtse a kövér kemencét,

S Bóreász a rezgőnyárfa terhét
Változtassa nyári hópehellyé!...
Minden, ami most csupán tehetség,
Holnapután lesz cselekedetté.

Vízagyuk ringása, mint a nemlét.
Jákob heveredjen Lea mellé.
Házuk mintha földrengés emelné.
Sok fiuk lesz, ahogyan szeretnék;
Minden, ami most csupán tehetség,
Holnapután lesz cselekedetté.

