

L É G K Ö R

59. évfolyam

2014. 4. szám



MINISZTERI ELISMERÉS A HATÉKONY MUNKÁÉRT

MINISTERIAL ACKNOWLEDGEMENT OF EFFICIENT WORK



Sebők István, Horváth Gyula, Balogh Tibor és Steib Roland az oklevéllel az átadás után. Varga Bálint külföldi útja miatt később vette át a kitüntetést.



Balogh Tibor részére kiadott miniszteri elismerő oklevél

Fazekas Sándor földművelésügyi miniszter 2014. október 23-án Miniszteri Elismerő Oklevelet adott át az Országos Meteorológiai Szolgálat öt munkatársának a 2014. május 13–16. között jelentős károkat okozó *Yvette ciklon* időszakában a meteorológiai szolgálat területén felmerült kritikus helyzet gyors és szakszerű megoldásában nyújtott kiemelkedő teljesítményükért. A Meteorológiai Szolgálat minden időben igyekszik a maximumot nyújtani. Ebben a rendkívüli időjárási helyzetben azonban a helytállás nem volt akadályoktól mentes. A Szolgálat radarhálózata 2014 tavaszán még csak három nagyteljesítményű időjárási radarból állt. A hálózat legidősebb elemét, a budapesti radart 2013 során az OMSZ saját költségén, hosszú évek takarékoskodása eredményeként felújította. A radarhálózat másik két tagja (Napkor, Pogányvár) több mint tíz éves, elavult, hozzájuk alkatrész már nem szerezhető be. Az OMSZ a radarok felújítására ajánlatot kért a gyártótól. A két radar felújítási költsége, 210 millió forint, jelentősen meghaladja azt az összeget, amit az OMSZ éves költségvetéséből finanszírozni tud. A ciklon megjelenése előtti vasárnap villámcsapás miatt jelentős kárt szenvedett és működésképtelenné vált a napkori radar. Másnap a budapesti radarnál lépett fel motorvezérlési hiba. A radaradatok rendelkezésre állása nélkül a meteorológus munkája napjainkban már elképzelhetetlen. Az OMSZ munkatársai szakmai elhivatottságukat, elkötelezettségüket bizonyítva a megfelelő vezetői döntések meghozatalával, innovatív tevékenységükkel urai lettek a helyzetnek. Tartalék alkatrész hiányában a meglévő hibás alkatrészek felhasználásával, az alkatrész elemek összeforrasztásával, a javított alkatrészek az egyetlen működőképes radaron történő tesztelésével, önfeláldozó, lelkiismeretes, több mint két teljes napig tartó áldozatos munkájukkal működőképes állapotba hozták a teljes rendszert. Megérdemelt kitüntetésükhöz ezúton is gratulálunk!

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

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

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

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

Felelős szerkesztő:
Dunkel Zoltán
a szerkesztőbizottság elnöke

Szerkesztőbizottság:
Bartholy Judit
Bihari Zita
Haszpra László
Hunkár Márta
Sáhó Ágnes
Somfalvi-Tóth Katalin kislexikon
Tóth Róbert főszerkesztő-helyettes

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Radics Kornélia
az OMSZ elnöke

Készült:
HM Zrínyi NKft.
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Dr. Bozsonyi Károly
ügyvezető

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

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT ÉS A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

CÍMLAPON

A nyugalmazott Cambell-Stokes típusú napfénytartammérő munkában az OMSZ pestszentlőrinci obszervatóriumában	
Miniszteri elismerés a hatékony munkáért	142
Szerzőink figyelmébe	142
A Magyar Meteorológiai Társaság XXXV. Vándorgyűlése „A meteorológia aktuális kérdései”	144

TANULMÁNYOK

Anda Angéla és Soós Gábor: A nád (<i>Phragmites Australis</i>) párolgása a Balaton környékén	145
Fricke Cathy, Pongrácz Rita, Dezső Zsuzsanna és Bartholy Judit: A vegetáció szerepe a budapesti városi hősziget jelenségében	150
Dobi Ildikó és Kerényi Judit: Az EUMETSAT éghajlat-megfigyelő munkacsoportjának (CM SAF) tevékenysége és alkalmazásai	154
Lakatos Mónika, Bihari Zita és Szentimrey Tamás: A klímaváltozás magyarországi jelei	158
Hegedűs Adrienn, Breuer Hajnalka, Fodor Zoltán és Seres András Tamás: Labilitási indexek vizsgálata radarmérések és modelleredmények alapján	164
Lázár Dóra, Bájhober Eszter, Weidinger Tamás és Ferenczi Zita: CMAQ (többléptékű közösségi levegőtisztasági) légköri terjedési modell adaptálása Magyarországra	170
Nagy Zoltán: Napfénytartam globálsugárzási adatokból történő számításának módszertana	175

KRÓNIKA

Tóth Róbert: A napfénytartammérő élt 160 évet	178
Fülöp Andrea: 2014 őszeének időjárása	181
Az 59. évfolyam (2014) szerzői	183

LIST OF CONTENTS

COVER PAGE

The 'retired' Cambell-Stokes type sunshine recorder works in Marcell György Main Observatory of OMSZ	
Instructions to authors of LÉGKÖR	142
Ministerial Acknowledgement of Efficient Work	142
The XXXV. Biannual Meeting of Hungarian Meteorological Society, 'The Actual Questions of Meteorology'	144

STUDIES

Angéla Anda and Gábor Soós: Reed (<i>Phragmites Australis</i>) Evapotranspiration in the Surroundings of Lake Balaton	145
Cathy Fricke, Rita Pongrácz, Zsuzsanna Dezső and Judit Bartholy: Impacts of Vegetation on Urban Heat Island of Budapest	150
Ildikó Dobi and Judit Kerényi: Activity and Applications of EUMETSAT SAF on Climate Monitoring (CM SAF)	154
Mónika Lakatos, Zita Bihari and Tamás Szentimrey: Observed Climate Change in Hungary	158
Adrienn Hegedűs, Hajnalka Breuer, Zoltán Fodor and András Tamás Seres: Examination of Instability Indices Based on Radar Measurements and Model Results	164
Dóra Lázár, Eszter Bájhober, Tamás Weidinger and Zita Ferenczi: CMAQ (Community Multi-Scale Air Quality) Atmospheric Distribution Model Adaptation to Region of Hungary	170
Zoltán Nagy: Methodology of Sunshine Duration Calculation from Global Radiation Data	175

CHRONICLE

Róbert Tóth: Campbell-Stokes Sunshine Recorder Lived 160 Years	178
Andrea Fülöp: Weather of Autumn in 2014	181
Authors of Volume 59 (2014)	183

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG XXXV. VÁNDORGYŰLÉSE „A METEOROLÓGIA AKTUÁLIS KÉRDÉSEI”

A Magyar Meteorológiai Társaság 35. Vándorgyűlése Keszthelyen kerül megrendezésre a Pannon Egyetem Georgikon Kar D épületének Konferencia termében 2014. augusztus 28-án és 29-én. A Vándorgyűlésen huszonnégy előadás hangzott el és kilenc poszttert állítottak.

Az előadások:

Megemlékezés Ambrózy Pálról, az MMT egykori elnökéről (*Dunkel Zoltán*)

A nemzeti meteorológiai szolgálat feladatai (*Radics Kornélia*)

A klímamodellezés egy évtizede az ELTE Meteorológiai Tanszéken (*Bartholy Judit, Pongrácz Rita*)

A meteorológiai kutatások irányai az elmúlt 20 év COST akciói tükrében (*Dunkel Zoltán*)

A határtalan automatizálás hatásai (*Nagy József*)

Kihívások, válaszok a radarmeteorológia területén (*Dombai Ferenc*)

Mit csinálnak a viharvadászok? (*Molnár "Storman" Ákos*)

Tudomány és gyakorlat: A Kis-Balaton párolgására vonatkozó vizsgálatok (*Anda Angéla, Soós Gábor*)

A klímamodellezés aktuális kérdései és legújabb eredményei (*Szabó Péter, Krüzselyi Ilona, Szépszó Gabriella, Zsebeházi Gabriella*)

A klímamodell-eredmények felhasználásának új irányzata: helyi hatásvizsgálatok végzése; dinamikus városklimatológiai vizsgálatok a SURFEX/TEB modellel (*Zsebeházi Gabriella, Krüzselyi Ilona, Szépszó Gabriella*)

A városi hősziget nemzetközi pályázat eredményei (*Baranka Györgyi*)

Klimaváltozás itt és most (*Lakatos Mónka, Bihari Zita, Szentimrey Tamás*)

Műholdas vegetációs indexek alkalmazása a klímakutatásban (*Hunkár Márta, Szenyán Ildikó, Kerényi Judit*)

Az IPCC 5. jelentés-folyamának újdonságai (*Mika János*)

EUMETSAT CLIMA-SAF eszközök és alkalmazások (*Dobi Ildikó, Kerényi Judit*)

A humán biometeorológia aktuális kérdései (*Fülöp Andrea*)

Turisztikai klimatológia napjainkban (*Németh Ákos*)

Piranométer színtezési hibájának detektálása a mért adatsorból (*Menyhárt László, Anda Angéla, Nagy Zoltán*), A napfénytartam és globálsugárzás térbeli eloszlásának vizsgálata (*Bihari Zita, Lakatos Mónika, Kovács Tamás, Szentimrey Tamás*)

Szupercellák, tornádók Magyarországon (*Molnár "Storman" Ákos*)

UAV repülések meteorológiai támogatása (*Wantuch Ferenc*)

CMAQ (Többléptékű Közösségi Levegőminőségi) légköri terjedési modell adaptálása Magyarországra (*Lázár Dóra, Bájhóber Eszter Lilla, Weidinger Tamás*)

Meteorológiai térképszerverek újrahazsnosítása-Nyílt programozói hozzáférés (*Busznyák János*)

Az OMSZ új informatikai alkalmazásai: MET-ÉSZ, Meteora (*Tölgyesi László*)

Mit tudnak a Magyar Meteorológiai Társaság működéséről a földrajz szakos hallgatók Szombathelyen? (*Puskás János*)

A posztterek:

Nádállomány evapotranszpirációjának meghatározása a Kis-Balatonon (*Soós Gábor, Anda Angéla, Martin Gizella, Kozma-Bognár Veronika, Illés Bernadett*)

A csapadékváltozási becslések módosulása hibakorrekció alkalmazása esetén (*Kis Anna, Pongrácz Rita, Bartholy Judit*)

Az éghajlati hatások megjelenése Európa peremén található gleccserek anyagmérlegében (*Lehoczky Annamária, Pongrácz Rita, Kern Zoltán*)

Éghajlatváltozás hatása hazánk vízellátására (*Dohány Rita, Pongrácz Rita, Bogárdi István, Simonffy Zoltán, Ács Tamás*)

Környezeti mérések a Kőszegi-hegység szőlőterületein (*Németh László, Puskás János, Zentai Zoltán*)

Az ózon száraz ülepedésének és a talaj nitrogén-monoxid kibocsátásának mérése Bugacon az ÉCLAIRE FP7 programban, 2012–2013-ban (*Horváth László, Weidinger Tamás, Pintér Krisztina, Nagy Zoltán, Istenes Zoltán, Eredics Attila, Pávó Gyula*)

Városklimatológiai elemzések Budapest IX. és XI. kerületére (*Dian Csenge, Molnár Gergely, Zádeczki Tibor, Fricke Cathy, Dezső Zsuzsanna, Pongrácz Rita, Bartholy Judit*)

A 2012-13-as tél szinoptikus klimatológiai elemzése NAO és AO távkapcsolati vizsgálatok alkalmazásával (*Zsilinszki Anna, Bartholy Judit, Dezső Zsuzsanna*)

Az OpenIFS alkalmazása Kárpát-medencei hideg légpárnás helyzet vizsgálatára (*André Karolina, Gyöngyösi András Zénó, Bozók István*).

A Vándorgyűlés szervezésében és lebonyolításában az MMT mellett a Pannon Egyetem Georgikon Kara, az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársai és az MTA MTB Agrometeorológiai Albizottsága is közreműködtek. A Vándorgyűlés 70 regisztrált résztvevője mellett az ELTE Nyári Iskolájának mintegy 20 hallgatója is részt vett. A szakmai programokat egy kellemes kirándulás egészítette ki a Balaton-felvidéki Nemzeti Park területének meglátogatásával. A töltésen közlekedve az élővilággal és a területen folyó be-ruházással megismerkedve, olyan helyekre is eljutottak a résztvevők, amelyek a nagyközönség számára zárva vannak. A gyűlés első estéjén a résztvevők egy jó hangulatú baráti vacsorán vettek részt a Halászsárdó étteremben.



*A Magyar Meteorológiai Társaság XXXV. Vándorgyűlésének résztvevői
a Pannon Egyetem Georgikon Kar D épülete előtt, 2014. augusztus 29.*

A NÁD (*PHRAGMITES AUSTRALIS*) PÁROLGÁSA A BALATON KÖRNYÉKÉN*REED (PHRAGMITES AUSTRALIS) EVAPOTRANSPIRATION
IN THE SURROUNDINGS OF LAKE BALATON*

Anda Angéla, Soós Gábor

Pannon Egyetem Georgikon Kar Meteorológia és Vizgazdálkodás Tanszék, 8361 Keszthely Pf. 71.

anda-a@georgikon.hu; anda@keszthelynet.hu

Összefoglalás. A Balaton környéki nád párolgásának meghatározására vonatkozó megfigyeléseinket Keszthelyen, az Agrometeorológiai Kutatóállomáson elhelyezett Thornthwaite típusú kompenzációs evapotranspirométerben végeztük, 2005-2011 között. A növényi jellemzők közül a növénymagasságot és a levélfelület-indexet hetente mértük. Az evapotranspirométer tenyészedényeiben mért értékeket évente háromszor összehasonlítottuk a természetes állományok mutatóival is. Az éveket időjárásuk alapján kategorizáltuk (normál, meleg és hűvös évek) a Thornthwaite index alapján. A növénykonstanszt a mért és a referencia evapotranspiráció hányadosaként állítottuk elő. A referencia evapotranspirációt a Penman-Monteith (FAO-56) egyenlettel számoltuk. Mind a növénykonstans, mind a mért párolgás évjáratonként jelentős eltérést mutatott. A mocsárvidékek vízellátási sajátosságai miatt a nedves évek mért párolgása nem érte el a referencia evapotranspirációt, az összes többi viszont jelentősen felülmúlta azt. A hűvös év párolgásösszege mindössze 385 mm volt, melynek csaknem duplája a normál év vízvesztése (785,5 mm). Meleg szezonzokban az évi átlagos párolgás tovább növekszik 857,4 mm-re. A későbbiekben a mért növénykonstansok ismeretében a Balaton környéki nádas párolgás meghatározása csupán meteorológiai adatok alapján is lehetséges.

Abstract. Investigations in reed evapotranspiration using Thornthwaite type compensation lysimeter were carried out in Agrometeorological Research Station of Keszthely, during the growing seasons of 2005-2011. Plant height and leaf-area-index were measured in weekly intervals. The characteristics of reed grown in evapotranspirometer's growing tank were compared to those reeds grown on natural habitats three times in each vegetation period. Growing season's weather was classified using Thornthwaite Index (warm, normal and cool growing seasons). The crop coefficient was evaluated as the ratio of measured and calculated reference evapotranspiration. To get the reference evapotranspiration the widely known Penman-Monteith formula (FAO-56 equation) was applied. There was significant difference in both crop coefficient and measured evapotranspiration by the different types of growing seasons. The measured evapotranspiration was below the reference evapotranspiration during the cool growing season (2005). Due to special water relations of wetlands, all the rest of the growing seasons just the opposite was observed; the measured evapotranspiration exceeded the reference one. The seasonal total reed evapotranspiration was 385 mm in cool weather, while about twice was measured during normal summers (785.5 mm). The evapotranspiration totals increased further in warm growing seasons reaching 857.4 mm in the average of four years. Later on, on-site measured crop coefficients allow the estimation of reed evapotranspiration using meteorological elements only.

Bevezetés. Közép-Európa legnagyobb tava a Balaton, melyet sekély vízmélysége és ebből adódó gyors felmelegedése a tavat a látogatók számára kedvelt turisztikai célponttá teszik, viszont a tó sekélyisége miatt rendkívül sérülékeny is egyben ez a vízfelület. A tó vízgyűjtőjéről bekerülő vízmennyiség tekintélyes része, csaknem a fele a Zalán keresztül kerül a tóba, melyet a Kis-Balaton előzetesen megszűr, s ez a tisztítás a tó vízminőségének záloga. A Zala szűrése önmagában is jelentős, mivel a tóba érkező tápanyagok mintegy 30-40%-a várható a legnagyobb vízfolyásból (Kovács *et al.*, 2012).

A Kis-Balaton története nem mentes az antropogén beavatkozásoktól, melyek némelyike nem sorolható a sikertörténetek közé (az 1800-as évek második felének balatoni vízszintcsökkentése, melynek következménye a mocsarak kiszáradása, a szűrőrendszer kiesése volt). A korábbi negatív beavatkozások ellensúlyozására (Tátrai *et al.*, 2000) született a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) kiépítésének két ütemben megvalósítandó terve, melyből az I. ütem, az eutróf Hídvégi-tó kialakítása 1985-ben befejeződött. A II. ütemből a Fenéki-tó Ingói berek részét (wetland) 1992-ben sikerült átadni, s a további élőhely rekonstrukció remélhetően hamarosan be-

fejeződik (eredeti határidő: 2014). A lápterület átalakításának szükségességét a múlt század 70-es éveinek jelentősen megromlott vízminősége tette nyilvánvalóvá (Pomogyi, 1991).

A nád a Kis-Balaton és a tó partvidékének is domináns makrofita növénye. A KBVR esetében mintegy 2000 ha-ra, a Balaton partján pedig 1000 ha-ra becsülhető az összefüggő nádállomány területe. Struyf *et al.* (2007) szerint a *wetland* jellegű élőhelyek nemcsak hazánkban, hanem az egész földön elképzelhetetlenek kisebb-nagyobb összefüggő nádállomány jelenléte nélkül. Vizsgálatunk fő célkitűzése a Balaton környéki nádállomány párolgásbecslésének újragondolása volt, melyben elsődleges szerepet kaptak a helyben mért növényi mutatók. Hazai vonatkozású előzményt a nád párolgásáról Walkowszky (1973) publikációjában találhatunk, melyben a vizsgálatok helyszíne a Fertő-tó volt, s a párolgás meghatározás számos nehézsége miatt csak egy-egy igen rövid időszakra tudott használható növénykonstans adatokat szolgáltatni. A szerző esetében a legnagyobb gondot a nád evapotranspirométer tenyészedényeiben való „életben tartása” jelentette. A megfigyelések szerint 1 hónapról tovább nem bírták ki a növények, ezért állandó újratele-

pítésekre volt szükség, mely a származtatott folyamatos párolgás eredmények pontosságát erősen megkérdőjelezi. Méréseinket a keszthelyi Agrometeorológiai Kutatóállomáson végeztük, amely a mért párolgás értékekből származtatott növénykonstans további alkalmazhatóságát mind a Balaton partvidéki nádra, mind a Kis-Balaton mocsárvilágában élő nád állományokra alkalmazhatóvá teszi. A növénykonstans ismeretében a továbbiakban kizárólag meteorológiai elemek ismeretében is meghatározható a nád(állomány) párolgása, ha szükséges akár napi szinten is. A nád evapotranspirációjának ismerete a vízháztartási mérleg felírásához szükséges, mely a vizes élőhelyek kezelésének alapegyenlete.

Anyag és módszer

A helyszín bemutatása. A vizsgálatok helyszíne a keszthelyi Agrometeorológiai Kutatóállomás volt (szélesség: 46°44' É, hosszúság: 17°14' K, tengerszint feletti magasság: 124 m), ahol Thornthwaite típusú kompenzációs liziméter szolgált a növény párolgás-meghatározásához (ET_{opt}) szükséges alapadatok gyűjtésére. A hagyományos két részből álló berendezés; szabadföldön elhelyezett tenyészedény a növényeknek, ill. egy csövön keresztül összekötött távolabb telepített vízellátást szolgáló „mérőpince”. A tenyészedények térfogata 4 m³, felülete 4 m², mélysége 1 m, melyekbe a talajt a természetes rétegződésnek megfelelően helyezzük el, egy az edény aljában lerakott kavicsrétegre, mely a víz gyökerekhez történő eljuttatásához szükséges (kapilláris vízemelés). A berendezés a közlekedőedények működési elvén alapul, melyben a vizet a pincéből csövön keresztül vezetjük a legnagyobb gyökértömeget tartalmazó talajszinthez. A számításnál a vízháztartási mérleg tagjait követjük nyomon, s a párolgást maradék tagként fejezzük ki. Vizsgálatunkban napi felbontással dolgoztunk. Ezt a hagyományos működtetést a nád (*Phragmites australis*) esetében módosítanunk kellett. 2003 őszén telepítettük a nádat a tenyészedényekbe, vízszintesen, azonos korú és egészséges rizómákkal, melyet Balaton parti nádállományból gyűjtöttünk. Az eredés megfelelő volt, tavasszal a növények kihajtottak, de a fejlődésük rendkívül vontatott maradt, s nemcsak a vegetációs ciklus elején. A sátnya állományt csak felülről történt, szigorúan mért kiegészítő vízellátással tudtuk a természetben élő állományokhoz hasonló fejlettségűvé alakítani. Ennek irodalmi analógiáját megtaláltuk *Pauliukonis és Schneider* (2001) közleményében. Valószínűleg csak így lehetett kezelni *Walkowszky* (1973) korábbi, zárt tenyészedényben tartott nád nevelési problémáját, s ez lehet az oka a szakirodalom nádra vonatkozó meglehetősen rövid párolgásmérési megfigyeléseinek is.

A megváltoztatott vízellátás 2005-re eredményezett elfogadható referenciájú növényeket. A 2004-es év párolgás és egyéb eredményeit a továbbiakban nem használtuk. 2006-ban anyagi forráshiány miatt nem volt biztosított a folyamatos megfigyelés, ezért ezt az évjáratot is ki kellett hagynunk. A mérési sorozatnak 2012-ben szakadt vége, mégpedig növényi okokból. Késő tavasszal észrevettük, hogy túl magasak a vízfogyasztási értékek, melyek oka a kádak kilyukadása volt. A természetben is igen agresszív nád rizómái szétnyomták az evapotranspirométer te-

nyészedényeit, s ezzel a növénykonstansra vonatkozó méréseket le kellett zárunk. Végül összesen 6 vegetációs ciklus állt rendelkezésünkre; 2005, 2007, 2008, 2009, 2010 és 2011.

A meteorológiai elemeket helyben mértük QLC-50 típusú klímaállomással (Vaisala, Helsinki, Finland), mely CM-3 típusú globálsugárzás mérővel (Kipp & Zonen Corp., Delft, The Netherlands) is fel volt szerelve.

A növényi jellemzők és párolgás meghatározás. A növényi jellemzők közül az állománymagasságot és a levél-felület-indexet (LAI) hetente mértük LI-COR 3000 típusú automata planiméterrel. A tenyészedényben nevelt növények értékeit évente három alkalommal (június, július és augusztus) összehasonlítottuk a természetben növő nádállomány értékeivel.

A növénykonstans meghatározásához a Penman-Monteith referencia evapotranspirációt (ET_0) (FAO-56 egyenlet; *Allen et al.* 1998) számoltuk a keszthelyi mért és származtatott meteorológiai adatokból:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta[1 + \gamma(1 + 0,34u_2)]} \quad (1)$$

ahol R_n : nettó sugárzás az állomány felszínén [MJm⁻²day⁻¹], G : a talaj hőfluxus [MJ m⁻² day⁻¹], T : napi középhőmérséklet 2 m-en mérve [°C], u_2 : szélesség 10.5 m magasan mérve [m s⁻¹], e_s : telítési vízgőznyomás [kPa], e_a : tényleges vízgőznyomás [kPa], Δ : telítési görbe hőmérséklet függésének meredeksége [kPa °C⁻¹], γ : a pszichrometrikus konstans [kPa °C⁻¹], 0,408: konverziós faktor MJm⁻²nap⁻¹-ről mmnap⁻¹-ra.

Részletesebb információt *Anda et al.* (2014) korábbi közleményében olvashatunk. Végül a növénykonstans, K_c a két párolgás, a mért (ET_{opt}) és a számolt evapotranspiráció hányadosa:

$$K_c = \frac{ET_{opt}}{ET_0} \quad (2)$$

A növénykonstans a biológiai tulajdonságok párolgásra kifejtett hatását összegzi a (2)-es egyenlet segítségével. A későbbiekben a K_c ismeretében a tényleges párolgás (ET_c) egyszerűen számolható, kizárólag meteorológiai adatok ismeretében:

$$ET_c = K_c ET_0 \quad (3)$$

Mivel a K_c -t napi bontásban határoztuk meg, a továbbiakban a tényleges párolgást is napi értékekkel közelíthetjük. A tenyészidőszakokat az egyes hónapok időjárása alapján kategorizáltuk a Thornthwaite Index, TI alapján:

$$TI = 1,65 \left(\frac{P}{T_a} + 12,2 \right)^2 \quad (4)$$

ahol P a havi csapadékösszeg, a T_a a havi átlaghőmérséklet.

A meteorológiai elemek párolgásra gyakorolt hatásának számszerűsítésében többváltozós regresszió analízist alkalmaztunk az SPSS 17.0 programcsomag segítségével (IBM Corp., New York, USA). Az idősorok összehasonlító analízisében a normalitásvizsgálatot követően párosított (kétszélű) t -próbát használtunk, az előbb bemutatott programcsomaggal. A meteorológiai elemek alapján becsült párolgási modell ellenőrzésére az Akaike Informá-

ciós Kritériumot (*AIC*) határoztuk meg (*Motulsky és Christopoulos, 2004*):

$$AIC = N \cdot \ln \left(\frac{SS}{N} \right) + 2K \quad (5)$$

ahol *N*: a pontpárok száma, *K*: a regressziós paraméterek száma plusz egy, *SS*: *ANOVA* maradék tag (regressziós).

A legjobb becslést a legkisebb *AIC* értékkel rendelkező közelítés jelenti. A számoláshoz Excel táblázatot használtunk.

1. táblázat. Az eltérő időjárású évszakok nád párolgásának (ET_{opt}) regressziós egyenletei (meteorológiai elemek és *LAI* alapján) a modell ellenőrzésére szolgáló Akaike Információs Együtthatókkal (*AIC*). A legjobb becslést **vastag** betűvel jelölt egyenletek adták

Hűvös évszak (2005)		AIC
Lineáris (R_n)	$ET_{opt} = 0,061R_n + 0,995$	-302,5
Logaritmus (R_n)	$ET_{opt} = 0,768 \ln(R_n) - 0,032$	-316,7
Exponenciális (R_n)	$ET_{opt} = 1,049 e^{(0,033R_n)}$	-532,7
Lineáris (T_a)	$ET_{opt} = 0,079T_a + 0,772$	-375,7
Logaritmus (T_a)	$ET_{opt} = 1,057 \ln(T_a) - 0,83$	-405,3
Exponenciális (T_a)	$ET_{opt} = 0,984 e^{(0,039T_a)}$	-635,4
Lineáris (R_n, T_a)	$ET_{opt} = 0,05R_n + 0,052T_a + 0,322$	-258,6
Lineáris (R_n, T_a, RH, e, LAI)	$ET_{opt} = 0,024R_n + 0,07T_a - 0,026RH + 2,427$	-230,4
Normál évszak (2007)		AIC
Lineáris (R_n)	$ET_{opt} = 0,286R_n + 1,359$	191,7
Logaritmus (R_n)	$ET_{opt} = 3,405 \ln(R_n) - 5,64$	136,0
Exponenciális (R_n)	$ET_{opt} = 0,779 e^{(0,078R_n)}$	-282,6
Lineáris (T_a)	$ET_{opt} = 0,36T_a - 2,163$	191,7
Logaritmus (T_a)	$ET_{opt} = 5,769 \ln(T_a) - 12,144$	171,9
Exponenciális (T_a)	$ET_{opt} = 0,769 e^{(0,087T_a)}$	-328,2
Lineáris (R_n, T_a)	$ET_{opt} = 0,188R_n + 0,238T_a - 3,685$	244,3
Lineáris (R_n, T_a, RH, e, LAI)	$ET_{opt} = 0,134R_n + 0,48T_a - 0,26e - 3,254$	254,8
Meleg évszak (2008-2011)		AIC
Lineáris (R_n)	$ET_{opt} = 0,24R_n + 0,188$	732,4
Logaritmus (R_n)	$ET_{opt} = 3,164 \ln(R_n) - 4,268$	607,5
Exponenciális (R_n)	$ET_{opt} = 1,366 e^{0,059R_n}$	-1324,3
Lineáris (T_a)	$ET_{opt} = 0,356T_a - 1,476$	670,4
Logaritmus (T_a)	$ET_{opt} = 5,402 \ln(T_a) - 10,505$	597,7
Exponenciális (T_a)	$ET_{opt} = 0,986 e^{(0,083T_a)}$	-1467,3
Lineáris (R_n, T_a)	$ET_{opt} = 0,166R_n + 0,226T_a - 2,372$	912,6
Lineáris (R_n, T_a, RH, e, LAI)	$ET_{opt} = 0,142R_n + 0,211T_a - 0,042RH + 0,134LAI + 1,082$	937,9

Eredmények és értékelésük.

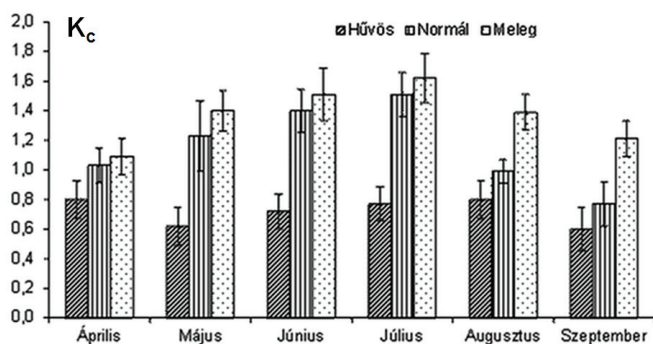
A tenyészidőszakok besorolása. Az egyes évszakok jellemzéséhez azért a Thornthwaite-indexet (*TI*) használtuk, mert az evapotranspirométereink is Thornthwaite típusú kompenzációs evapotranspirométerek. A sokéves átlagos index meghatározásához az 1971-2000 klímanormál szolgált alapként. A havi indexek ismeretében az egyes

kategóriák közti eltérést 20%-ban határoztuk meg. Amennyiben az adott hónap *TI*-e a klíma normálnál 20%-al alacsonyabb, akkor a hűvös, ha ennnyivel magasabb, akkor a meleg évszak kategóriába sorolható. A sokéves átlaghoz közeli hónapok lettek az átlagos időjárású hónapok. Egy-egy szezon abba az évszak csoportba került, amelybe a legtöbb hónapja került. A fentiek alapján 2005 az átlagnál hűvösebb és csapadékosabb évszak volt. A sokéves átlaghoz legközelebb 2007 tenyészidőszaka esett. A maradék négy szezon (2008, 2009, 2010 és 2011) az átlagosnál melegebb és szárazabb időjárással rendelkezett.

A nád néhány növekedési jellemzőjének alakulása. A nád tenyészidőszak hosszúsága a hat évben lényegesen nem változott ($198 \pm 5-7$ nap), április elején kezdődött a hajtások föld feletti megjelenésével, s október közepe táján, esetleg a hónap végén száradtak el teljesen a növények. Ehhez hasonlóan a nád magassága sem tért el lényegesen egymástól az eltérő időjárású években. A növény átlagos maximális magasságát júliusban érte el, 260 ± 13 cm-es értékkel az evapotranspirométer tenyészédegyeiben. A természetes élőhelyen növő nád ennél mintegy 20-30 cm-el bizonyult magasabbnak. A *LAI* is meglehetősen állandónak mutatkozott, szignifikáns eltérést az egyes évszakok zöldfelület alakulásában nem tapasztaltunk. A hat év *LAI* átlaga $2,1 \pm 0,19$ volt az evapotranspirométer tenyészédegyeiben. A természetes élőhelyen ennél az értéknél mintegy 10%-al magasabb értéket értek el a növények.

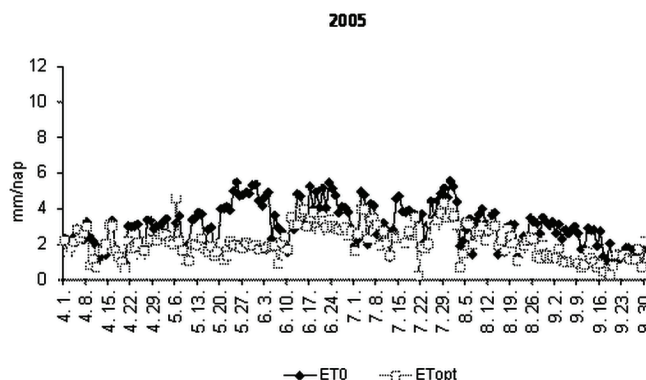
Az időjárás hatása a nád mért párolgására (ET_{opt}). A vizsgálat 6 évében a figyelembe vett időjárási elemek (T_a, R, RH, e, P) közül a legszorosabb kapcsolatot a sugárzás (R) és a mért párolgás (ET_{opt}) között volt ($r=0,65$), melyet a légköri hőmérséklet (T_a) követett ($r=0,63$). A csapadékot (P) a kapcsolat hiánya kizárta a vizsgálat köréből, mely ismerve a mocsarak környezeti feltételeit, nem volt meglepő. A relatív légnedvesség (RH) korrelációs koefficiense is alacsony, mindössze -0,43 volt. Gyenge kapcsolatot találtunk az A nád párolgása és az ET_{opt} között is ($r=0,43$), mely arra utal, hogy a mocsári növények párolgás meghatározására az A nád nem javasolható. A korrelációs koefficiensek ismeretében a mért párolgás regressziós egyenleteit évszakonként is felírtuk (1. táblázat). A regressziós egyenlet alkalmazhatóságát az *AIC*-nal ellenőriztük, mely minél alacsonyabb értékű, az egyenlet ET_{opt} becslése annál kedvezőbb. Az *AIC* alapján a legjobb egyváltozós nád párolgás előrejelzést a hőmérséklet exponenciális jellegű összefüggése adta, melyet a sugárzás követett, mégpedig évszaktól függetlenül. A többváltozós regresszió analízis egyenlete a 1. táblázat alsó sorában látható, melybe évszaktól függetlenül a légnedvesség is szerepel (RH vagy e). A többváltozós analízisbe a *LAI*-et is beépítettük, mely csak a meleg évszakokban került be a párolgásra hatással lévő változók közé. Átlagos és hűvös években a *LAI* nem volt hatással a nád párolgásra. Az eredmények értékelésekor azonban nem szabad megfeledkezni arról, hogy a hat évből négy meleg, s mindössze egy-egy átlagos és hűvös időjárású volt, amely az eredményekre befolyással lehetett.

Növénykonstansok változásai. A növénykonstansok alakulását a párolgáshoz hasonlóan napi bontásban határoztuk meg. A K_c évi változása a szakirodalomban közölt eredményekkel analóg; a vegetációs periódus elején és végén alacsonyabb, csúcsertékét júliusban, a legmagasabb LAI elérése idején éri el. A K_c az evapotranspiráció alakulását követi; amikor a napsugárzás és a párologtató zöldfelület alacsony, a K_c értéke is az, amely egyben az alacsony növényi vízigényt is jelöli. A csúc vízigény egybeesik a legnagyobb K_c megjelenése idejével, mely a helyszínen júliusra esett (1. ábra). A meleg években a júliusi havi átlagos K_c 1,5-1,6 körül alakult; s ha figyelembe vesszük az eltérő időjárású éveket is, a júliusi havi átlag még mindig magas, $1,46 \pm 0,46$. A legalacsonyabb K_c

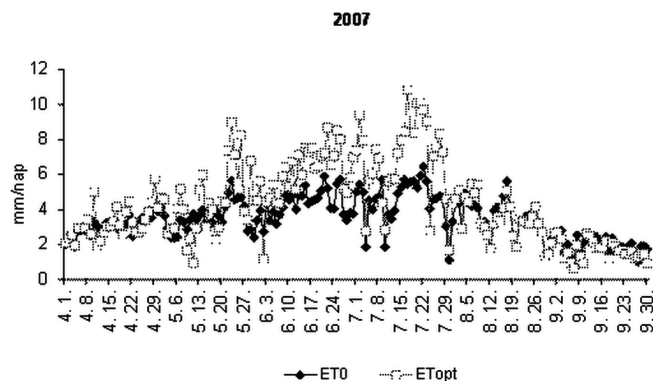


1. ábra: A növénykonstans havi átlagai és szórása az eltérő időjárású tenyészidőszakokban

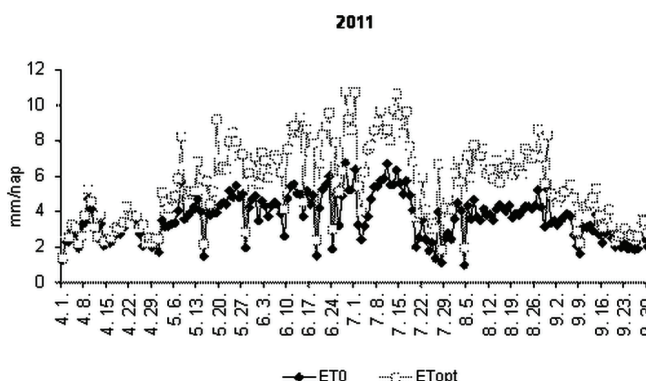
A nádpárolgás jellemzői. A növények párolgásának meghatározására több lehetőség áll rendelkezésre, melyek közül a növénykonstans, K_c alkalmazásával szám-szerűsített tényleges vagy aktuális evapotranspiráció, ET_c alkalmazása széles körben elterjedt, s nemcsak a mocsári növények esetében. A becslés pontossága az időjárási jelenségeken túl erősen függ a felhasznált K_c értékétől. Több szerző szerint pontos becslést a helyben meghatározott K_c esetében várhatunk (Drexler et al. 2004). A kétféle közelítésből (mérés és modellezés) jelen tanulmány a FAO-56 egyenlettel a mindenkorai időjárás alakulást modellezéssel, míg a K_c esetében helyben mért értékekkel közelítette. A Penman-Monteith féle ET_o számítás széles körben alkalmazott eljárás mocsári növényekre,



2. ábra: A mért (ET_{opt}) és a referencia (ET_o) evapotranspiráció napi értékei 2005 hűvös vegetációs ciklusában



3. ábra: A mért (ET_{opt}) és a referencia (ET_o) evapotranspiráció napi értékei 2007-ben átlagos időjárás esetén



4. ábra: A mért (ET_{opt}) és a referencia (ET_o) evapotranspiráció napi értékei 2011 rendkívül meleg és száraz vegetációs ciklusában

megjelenési ideje a vizsgálat helyszínén április és szeptember, mely az eltérő időjárású évek átlagában bár csekély mértékben, de még ekkor is meghaladja az 1-et.

A három évjárat-csoport K_c értékei szignifikánsan eltérőek voltak. A legalacsonyabb konstansok a hűvös-nedves 2005-ben jelentkeztek, melynek évi átlaga mindössze $0,73 \pm 0,09$. A normál időjárású évben ennél magasabb K_c -t mértünk, évi átlaga $1,16 \pm 0,28$ volt. A legmagasabb a K_c -t a meleg-száraz években mértük, értéke 4 év átlagában $1,37 \pm 0,23$. A vizsgálat hat évének átlaga $1,23 \pm 0,19$, mely 23%-kal magasabb, mint a referencia evapotranspiráció, előrejelezve a mocsaras élőhelyek makrofitaiknak rendkívül magas párologtatás értékeit.

így a nádra is (Irmak et al., 2013, Allen et al., 1998).

A legalacsonyabb évi mért párolgás összeget, 385 mm-t a nedves-hűvös évjáratban, 2005-ben mértük. Ez volt az egyetlen olyan év, amikor az ET_o értékei meghaladták a mért nád párolgást (2. ábra). Hűvös évben átlagosan a tényleges párolgás az ET_o -nak mindössze 68,4%-a volt. Az átlagos időjárású 2007-ben a mért evapotranspiráció felülmúlta az ET_o -t, a 785,5 mm-es összeg 22,8%-kal volt magasabb a referencia ET -nél (3. ábra). Az átlagos időjárású szezon értéke jóval közelebb állt a négy meleg év párolgásának átlagához, a $857,4 \pm 100,3$ mm-es víz-vesztés összeghez, mely az ET_o -nál 42,1%-kal magasabb mért párolgást jelentett. A meleg éveket az extrém forró

2011-es nyár magas napi párolgásadataival szemléltetjük (4. ábra). Ebben az évben a mért párolgás összege meghaladta még az 1000 mm-t is. Eredményeink a mért és a referencia ET egymáshoz való viszonyának több évtizedes múltra visszatekintő vitájának kérdésére (Borin et al., 2011, Goulden et al., 2007, Herbst and Kappen, 1999) konkrét válasz adtak; hűvös évjáratban az ET_{opt} az alacsonyabb, míg meleg és átlagos években az ET_o az alacsonyabb párolgás érték. A normál és meleg időjárásnál tapasztalt nem megszokott ET_{opt}/ET_o kapcsolat oka a mocsárvilág sajátos nedvesség ellátottságában keresendő, mely hazánkban még a legmelegebb évben (2011) sem jelentett vízhiányt az ott élő makrofita növényeknek.

A teljes megfigyelési időszak hat évének átlagos ET_o értéke $778,6 \pm 212,7$ mm/év volt, igen jelentős mértékű, még a 200 mm-t is meghaladó szórással, vagyis a vízvesztés évi változékonysága a nedves élőhelyeinken is várhatóan nagyon magas.

A napi mért nádpárolgás évi változásában a szokásos trendet tapasztaltuk; alacsonyabb értékek a vegetációs ciklus elején jelentkeztek (0,1–0,3 mm/nap), s a szezon végére is csökkenő tendenciájú a nád napi párolgása (0,5–1 mm/nap alatt). A magasabb ET_{opt} július (esetleg augusztus) hónapban várható. Az évi maximumot 2005-ben korábban, május 6.-án mértük 4,6 mm/nap értékkel. A normál (2007. július 17.) és meleg évjáratok (2011. július 1.) abszolút maximum ET_{opt} értékei megegyeztek, mindkét esetben 10,8 mm/nap max. párolgást regisztráltunk. A hat év napi átlagos nád (ET_{opt}) Keszthelyen 4,3 mm/nap, mely hűvös években 2,1 mm/napra csökken. Érdekes módon az átlag a 2007-es évben pontosan megegyezett a hat év napi ET_{opt} átlagával. Meleg években némi növekedés tapasztalható a nád vízvesztésében, s a meleg tenyészidőszak ET_{opt} átlaga 4,7 mm/napra emelkedik.

Következtetések. A mocsári növények korábbinál pontosabb ET meghatározásához elengedhetetlenek a helyben mért K_c értékek. A növénykonstansról elnevezésével ellentétesen régóta ismert, hogy éven belüli változása markáns, mely ismeret mellé az évek közti változékonyságot is szükséges beiktatnunk.

Nemcsak a K_c értékei mutatnak jelentős évjáráthatást, hanem vele együtt a párolgások is. A vizsgálat hat évében a hűvös 2005-ben mindössze 385 mm volt az ET összege, míg a kimagaslóan meleg 2011-ben 1000 mm fölé emelkedett az évi összes mért ET. Hazánkban a csapadékellátás nem befolyásolta a makrofita nád párolgását, főképpen a sugárzás és a léghőmérséklet volt hatással a nád párolgására. Általában megállapítható, hogy nálunk a hűvös évjáratok egyben csapadékosabbak, s a meleg évjáratok pedig szárazabbak a klíma normál értékeinél. Meglepő volt, hogy a LAI csak meleg években került be a mért párolgásra szignifikánsan ható tényezők közé.

Köszönetnyilvánítás. A publikáció a TÁMOP-4.2.2. A-11/1/KONV-2012-0064 számú „Az éghajlatváltozástól eredő időjárási szélsőségek regionális hatásai és a kár-enyhítés lehetőségei a következő évtizedekben” című projekt támogatásával készült.

Irodalom

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56* FAO, Rome, Italy.
- Anda, A., da Silva, J.A.T., Soós, G., 2014. Evapotranspiration and crop coefficient of common reed at the surroundings of Lake Balaton, Hungary. *Aquat. Bot.* 116: 53–59.
- Borin, M., Milani, M., Salvato, M., Toscano, A., 2011. Evaluation of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. evapotranspiration in northern and southern Italy. *Ecol. Engineer.* 37, 721–728.
- Drexler, J.Z., Snyder, R.L., Spano, D., Paw, K.T.U., 2004. A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. *Hydrol. Processes* 18, 2071–2101.
- Goulden, M.L., Litvak, M., Miller, S.D., 2007. Factors that control *Typha* marsh evapotranspiration. *Aquat. Bot.* 86, 97–106.
- Herbst, M., Kappen, L., 1999. The ratio of transpiration versus evaporation in a reed belt as influenced by weather conditions. *Aquat. Bot.* 63, 113–125.
- Irmak, S., Kabenge, I., Rudnicka, D., Knezevic, S., Woodward, D., Moravek, M., 2013. Evapotranspiration crop coefficients for mixed riparian plant community and transpiration crop coefficients for common reed, cottonwood and peach-leaf willow in the Platte River Basin, Nebraska-USA. *J Hydrology* 481, 177–190.
- Kovács, J., Korponai, J., Kovácsné, Sz.I., Hatvani, I.G., 2012. Introducing sampling frequency estimation using variograms in water research with the example of nutrient loads in the Kis-Balaton Water Protection System (W Hungary). *Ecological Engineering* 42: 237–243.
- Motulsky, H., Christopoulos, A., 2004. Fitting models to biological data using linear and non-linear regression. *Oxford University Press*, Oxford.
- Pauliukonis, N., Schneider, R., 2001. Temporal patterns in evapotranspiration from lysimeters with three common wetland plant species in the Eastern United States. *Aquat. Bot.* 71, 35–46.
- Pomogyi, P.(szerk.), 1991: A Kis-Balaton Védőrendszer kémiai, biológiai, anyagforgalmi vizsgálatai, *Összefoglaló jelentés az 1985-1990 közötti kutatásokról.* – Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Szombathely-Keszthely, 258 p.
- Struyf, E., Van Damme, S., Gribsholt, B., Bal, K., Beauchard, O., Middelburg, J.J., Meire, P., 2007. *Phragmites australis* and silica cycling in tidal wetlands. *Aquat. Bot.* 87, 134–140.
- Tátrai, I., Matyás, K., Korponai, J., Paulovits, G., Pomogyi, P., 2000. The role of the Kis-Balaton Water Protection System in the control of water quality of Lake Balaton. *Ecological Engineering*. 16, 73–78.
- Walkovszky, A., 1973. Experiments to determine reed transpiration. *OMSZ Hivatalos Kiadványai*, Budapest 43, 145–150.

A VEGETÁCIÓ SZEREPE A BUDAPESTI VÁROSI HŐSZIGET JELENSÉGÉBEN

IMPACTS OF VEGETATION ON URBAN HEAT ISLAND OF BUDAPEST

Fricke Cathy, Pongrácz Rita, Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A.
frcsaat@caesar.elte.hu, prita@elte.hu, tante@nimbus.elte.hu, bartholy@caesar.elte.hu

Összefoglalás. Cikkünkben Budapest XII. kerületéről készítettünk részletes termikus elemzést, mivel a kerület sajátos földrajzi adottságait tekintve ideális helyszínül szolgált a vegetáció és a domborzati viszonyok hatásainak megfigyelésére. Vizsgálataink során a *Terra* és az *Aqua* műholdakon elhelyezett MODIS szenzor felszínhőmérsékleti adatait és az ebből származtatott hősziget-intenzitási adatokat használtuk fel. A vizsgálati eredmények alapján megállapítottuk, hogy a növényzet, illetve a domborzat hősziget-módosító hatásai a tavaszi-nyári időszak nappali óráiban voltak a legszembetűnőbbek.

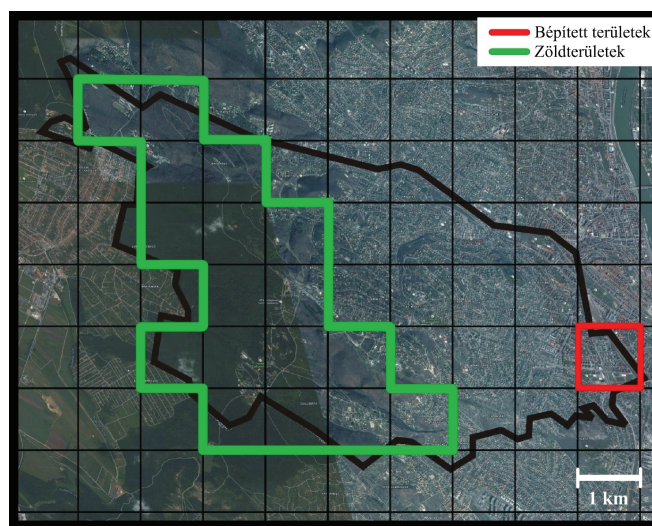
Abstract. We analysed the thermal conditions of district 12 in Budapest since its special geographical features enable us to evaluate the impacts of vegetation and topography. For this purpose we used surface temperature data of sensor MODIS on board of the satellites *Terra* and *Aqua* and urban heat island intensity values calculated from satellite measurements. Our results suggest that the most intense effects of topography and vegetation on the urban heat island can be observed in day-time during the spring-summer period.

Bevezetés. A városi hősziget egy olyan mezoskálájú éghajlati rendszer, melyet a városi környezet által keltett helyi, illetve mikroklimatikus hatások összessége határoz meg; és több szempontból eltérést mutat a várost körülvevő makroskálájú környezet éghajlati viszonyaihoz képest (Probáld, 1974). A mezoklíma ilyen jellegű módosulását az adott térségre jellemző energiaegyenleg összetevőinek lokális megváltozása idézi elő, mely hatással van a különböző klímáparaméterek – így például a felszínhőmérséklet – alakulására. A városi hősziget vizsgálatához kezdetben csak állomási mérések álltak rendelkezésre, majd a műholdas távérzékelés elterjedésével lehetővé vált a városok termikus jellemzőinek átfogó vizsgálata is. Az Eötvös Loránd Tudományegyetem látványos kampuszán 2002-ben létesített műholdvevő állomás nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a Meteorológiai Tanszék is ilyen műholdas méréseken alapuló városklíma-kutatásokat végezzen (Kern *et al.*, 2005).

A műholdas adatok segítségével Közép-Európa nagyvárosairól (Pongrácz *et al.*, 2010), illetve Magyarország tíz legnagyobb városáról (Dezső *et al.*, 2005), köztük Budapestről (Dezső *et al.*, 2012; Pongrácz *et al.*, 2006) is születtek városi hősziget szerkezetét kutató tanulmányok. Jelen vizsgálatainkat Budapest XII. kerületére szűkítettük le, amely sajátos szerepet tölt be fővárosunk éghajlatában. A kerület jelentős részét képezik a Budai-hegyvidék fővárosba ékelődő vonulatai, amelyet összefüggő erdőség borít. A kerületben a növényzet mellett a domborzati viszonyok éghajlatra gyakorolt hatása is számottevő, így ideális helyszínt nyújt a klímamódosító hatások tanulmányozására. A városökológiai szempontból kiemelkedő jelentőséggel bíró erdős területek – amellet, hogy kirándulók kedvelt célpontja – kedvező feltételeket nyújtottak kórházak és szanatóriumok létesítésére. Az erdővel borított hegyvonulatok a hegy-völgyi légáramlásokon keresztül a főváros légcserejéhez is jelentősen hozzájárulnak.

Adatok és módszerek. A XII. kerület városklimatológiai elemzéséhez az amerikai NASA által 1999-ben, illetve 2002-ben pályára állított *Terra* és *Aqua* kvázipoláris ku-

tató műholdakon elhelyezett MODIS szenzor felszínhőmérsékleti adatait és az ebből származtatott hősziget-intenzitási értékeket használtuk fel. A hősziget intenzitás értéke a korábbi kutatásokban alkalmazott módszer alapján (Dezső *et al.*, 2012) a városi képpontok felszínhőmérsékletének és a városkörnyéki átlagos felszínhőmérsékletnek a különbsége. A műholdas megfigyelés során 2001 és 2002 közötti időszakban napi kettő – délelőtt és este –, illetve 2003 és 2013 között napi négy – délelőtt, délután, este és hajnalban készült – mérés állt rendelkezésünkre. Az erre az időszakra vonatkozó felszínhőmérsékleti és intenzitási értékek havi átlagolásával tanulmányozni tudtuk a XII. kerület hőszigetének és az azt módosító hatásoknak a térbeli és időbeli változását.



1. ábra: A XII. kerület megjelenése a Google Earth műholdképen, s az ez alapján a MODIS-rácson definiált beépített és zöldterületek elhelyezkedése

Vizsgálataink során először lehatároltuk a kerülethez tartozó 1 km × 1 km-es rácscellákat, majd a Google Earth nagyfelbontású műholdképei alapján meghatároztuk a kerületen belül az összehasonlítani kívánt, különböző felszíntípushoz tartozó kategóriákat: beépített, illetve

zöldterületek (1. ábra). A sűrűn beépített területekhez a keskeny utcákkal tagolt, több szintes épületekből álló belvárosi részt soroltuk, ahol rendkívül alacsony a növényzettel borítottság aránya. A zöldterületek kategóriájába az olyan összefüggő növényzettel rendelkező területek tartoznak, mint a külterületi rétek, illetve összefüggő erdőségek.

Eredmények. A műholdas mérések lehetővé teszik a felszínhőmérsékleten alapuló hősziget térbeli szerkezetének és időbeli változásának részletes elemzését. A hősziget XII. kerületen belüli átlagos évszakos térbeli eloszlását a 2. ábra illusztrálja. A budapesti hősziget magja a pesti oldalon helyezkedik el, így a kerületben a hősziget városperem felé fokozatosan gyengülő intenzitását figyelhetjük meg, melyhez részben hozzájárul még a domborzat hatása és a zöldterületek nagyobb aránya. A tavaszi-nyári délutáni időszakot tekintve a Budai-hegység erdővel borított, hidegebb felszínhőmérsékleti régiói – melyek még a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél is átlagosan 4-5 °C-kal hidegebbek – erőteljesen kirajzolódnak. Ebben az időszakban a kerületen belül a városi és a hegyvidéki jellegű területek között 8 °C átlagos hőmérsékletkülönbség is kialakulhat.

Az éjszakai órákban a hősziget szerkezete jelentősen eltér a nappaltól. A hajnali műholdmérésekből származtatott térképek jóval kisebb mértékű éven belüli ingadozást mutatnak. A legnagyobb átlagos hősziget-intenzitás – mely meghaladja a 3 °C-ot – az esti órákban figyelhető meg a tavaszi hónapokban.

Egész évre jellemző, hogy a délutáni órákban a kerület általában hűvösebb a városkörnyéki területeknél, a hajnali órákban viszont pozitív (kb. 2 °C-os) hőmérsékleti anomália észlelhető, vagyis a Budai-hegyek melegebbek a városkörnyékhez viszonyítva.

A beépített területeken a délutáni órák hősziget-intenzitásának maximuma (2,5 °C) nyáron (júniusban) jelentkezik a városi területeken (3. ábra alsó grafikonja), amely a fokozottabb rövidhullámú besugárzással hozható kapcsolatba. A júniusi maximum mellett a nappali görbék éves menetét tekintve egy alacsonyabb (1,5 °C) mértékű másodmaximum is megfigyelhető februárban. Ebben a hónapban a hajnali órákban mért intenzitásokra is az átlagértékhez képest magasabb anomáliaérték jellemző. A beépített területeken a nappali átlagos intenzitást tekintve áprilisban és az őszi hónapokban (szeptemberben, októberben) városi hőtöbblet nem figyelhető meg, sőt áprilisban a felszínhőmérséklet átlagosan 1 °C-kal

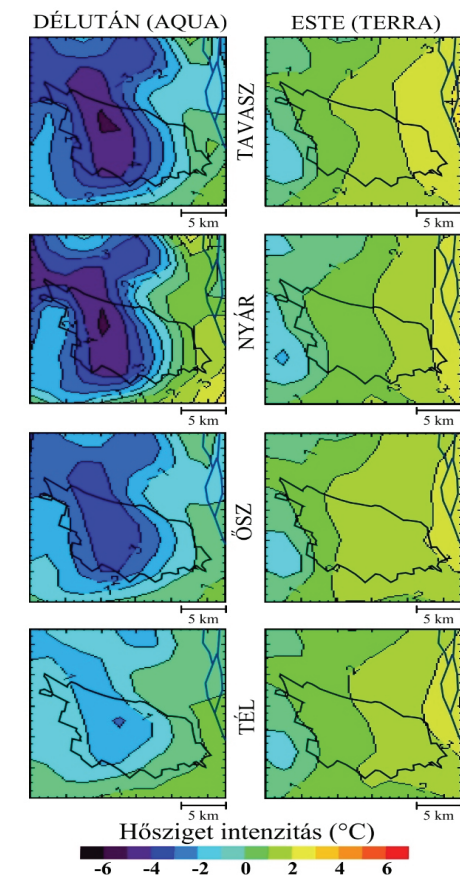
hűvösebb a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél. A beépített területeken egész évben 3 °C körüli intenzitás volt jellemző az esti órákra.

A zöldterületek nappal mért átlagos intenzitásának éves menetében májusi minimum látható (3. ábra alsó grafikonja). Ezt követően a nyári hónapokban – a beépített területekkel szemben – nem figyelhető meg jelentős intenzitás-növekedés. Tehát a beépített területekhez képest egész évben jóval gyengébb intenzitás figyelhető meg, ami arra vezethető vissza, hogy az év jelentős részében a látens hőáram játszik fontos szerepet a terület energia-kicszerelődési folyamataiban. A zöldterületeken a nappali órákban mért átlagos intenzitás értékei tényleg a legmagasabbak – ekkor nem negatív a hősziget-intenzitás –, amely azzal magyarázható, hogy télen, amikor a talaj fagyott vagy hóval borított, az energiaegyenleg összes összetevője szenzibilis hővé alakul át, amely hővezetéssel a fákat vagy konvekcióval a légkört melegíti (Unger és Sümeghy, 2002).

Az éjszakai órákban végzett mérésekből meghatározott hősziget hatás évi ingadozása a nappalihoz képest jóval kisebb mértékű. Ennek oka, hogy az ehhez a nappalhoz tartozó sugárzási egyenleget csak a bejövő és a kimenő hosszuhullámú sugárzás határozza

meg, mely nem olyan változékony, mint a rövidhullámú sugárzás. Ezért éjjel a felszínhőmérsékleti görbék amplitúdója is gyengébb. Az esti órákban mért intenzitások általában meghaladják a hajnali órákét, ám a különbség csekély, nem haladja meg a 0,5 °C-ot. Az éjszakai órákban mért intenzitásértékek a kerület egészére vonatkozóan jóval meghaladták a nappali intenzitásokat. A két nappalra vonatkozó intenzitások legnagyobb eltérése – mely a 3 °C-ot is meghaladta – áprilisban volt megfigyelhető (3. ábra).

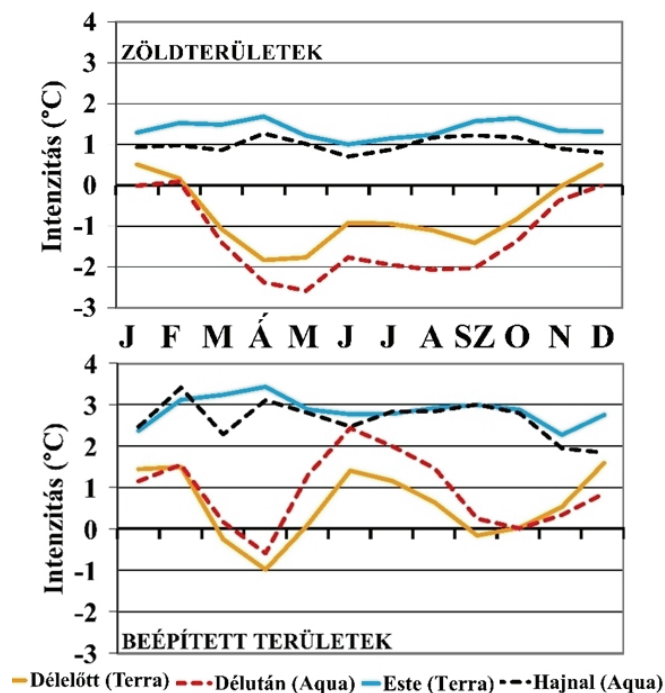
A beépített és az erdős területek átlagos intenzitásai közötti legnagyobb különbség nyáron a délutáni órákban látható (4. ábra), ekkor kb. 4 °C eltérés volt tapasztalható. A zöld területeken a délelőtti intenzitás átlagos értékei 1 °C-kal meghaladták a délutáni átlagos intenzitást, a beépített területen pedig fordított volt a helyzet. Ez részben azzal magyarázható, hogy az erdős területek felmelegedésének az alacsonyabb szögben beérkező rövidhullámú sugárzás, míg a nagyobb beépítettségű városi területeken az összetett, akadályt képező objektumok miatt a felszínhőmérséklet emelkedésének a magasabb napállás kedvez. A kapott eredmények egyben azt is jelzik, hogy a rövid-



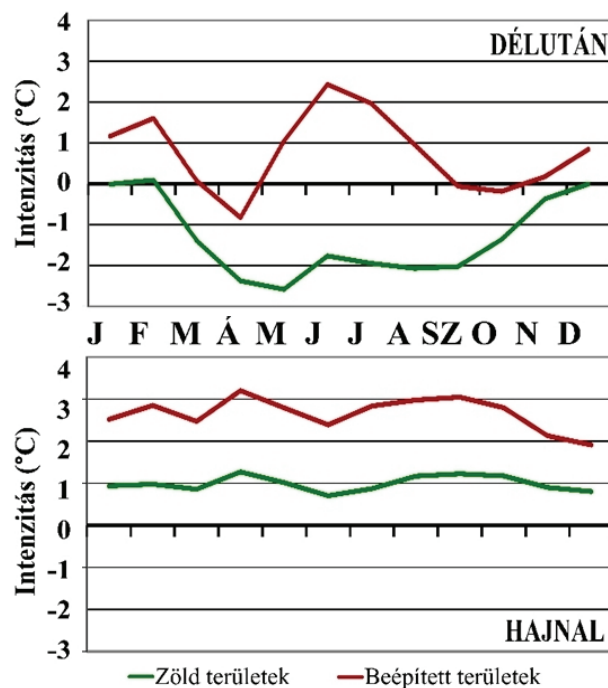
2. ábra: A városi hősziget átlagos évszakos szerkezete a XII. kerületben a Terra/MODIS 2001-2013, és az Aqua/MODIS 2003-2013 időszakra vonatkozó felszínhőmérsékleti mérései alapján

hullámú besugárzás növekedésével arányosan növekszik a vegetáció mérséklő, illetve a beépített területek városi hősziget erősítő hatása.

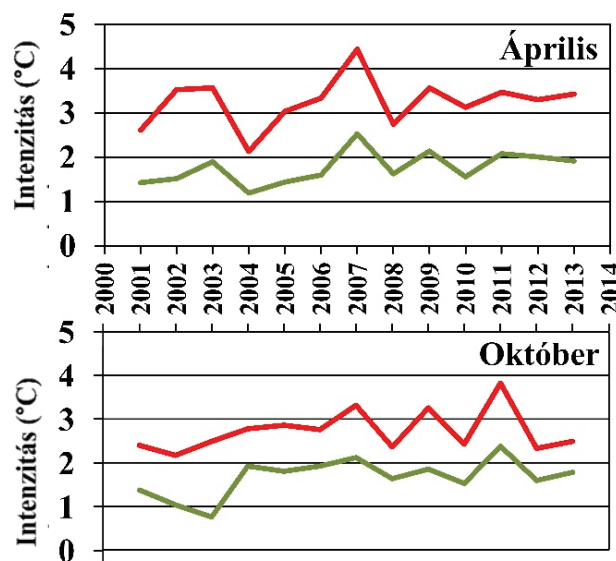
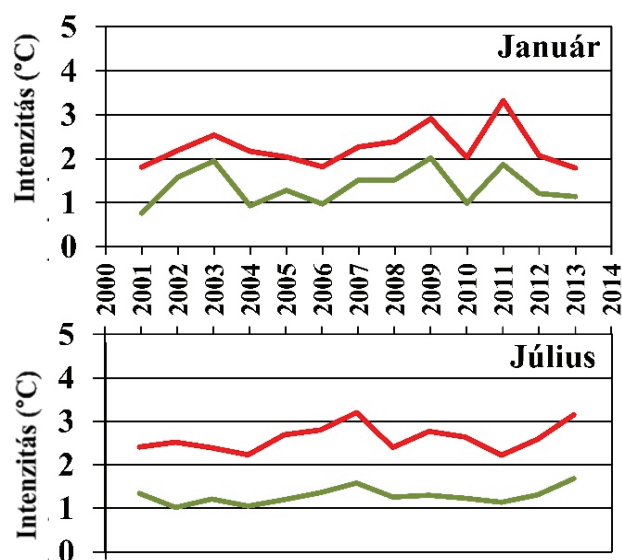
Domborzati hatások megjelenése. Vizsgálataink során a zöldterületek osztályába sorolt rácscellák közül kiválasztottunk egy magasabban (424 m) és egy alacsonyab-



3. ábra: A beépített és a zöldterületek átlagos havi hősziget-intenzitásainak évi menete különböző időpontokban



4. ábra: Beépített és zöldterületek átlagos havi hősziget-intenzitásainak évi menete 2003-2013 között Aqua/MODIS mérések alapján



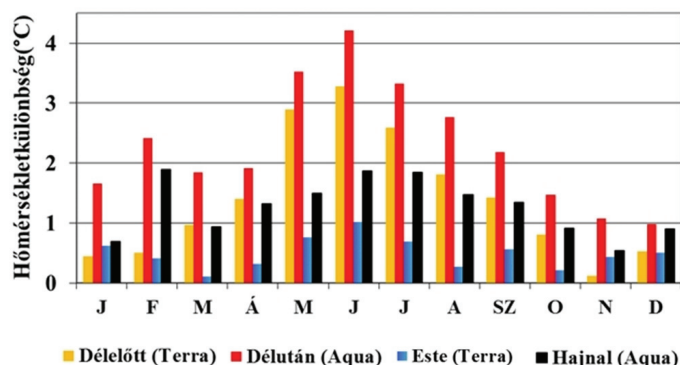
5. ábra: Beépített és zöldterületek esti hősziget-intenzitása Terra/MODIS mérések alapján

Az eddigiek alapján látható, hogy a beépített és az erdővel borított területek felszínhőmérsékleti intenzitásai a vizsgált napszaktól függően különböző erősségűek lehetnek. Az 5. ábrán e két terület esti intenzitásainak teljes 2001-2013 időszakra vonatkozó idősorait az évszakok középső hónapjaira jelenítettük meg. Az esti intenzitások értékeit vizsgálva megállapítható, hogy a legtöbb hónapban a beépített és a zöld területek görbéi közel párhuzamosan futnak, tehát az évek során közel azonos intenzitás-különbség tapasztalható a két terület között. A tavaszi-nyári időszakban ez mintegy 2 °C-os, míg az őszi hónapokban kb. 1-1,5 °C-os eltérést jelent.

ban fekvő (171 m) rácscellát, melyek összehasonlításával a domborzati viszonyok hatását elemeztük.

A két cella felszínhőmérsékleti értékeinek különbségét bemutató 6. ábra alapján megállapítható, hogy a legnagyobb eltérés leginkább a délutáni órákra jellemző. Emellett a délelőtti órákban is viszonylag nagy átlagos felszínhőmérsékleti eltérések tapasztalhatók. Tehát a különbségek elsősorban a rövidhullámú besugárzás változásával állnak szoros kapcsolatban. Jelentős eltérés (3-4 °C) leginkább a májustól júliusig tartó nyár eleji időszakban mutatható ki. Megfigyelhető továbbá, hogy a

hajnali, illetve a délutáni órákban detektálható átlagos felszínhőmérséklet-különbség mintegy 1-1,5 °C-kal nagyobb, mint a kora esti, illetve a délelőtti órákban.



6. ábra: Hegytetőn (424m), illetve völgyben (171m) fekvő cellák átlagos havi felszínhőmérsékletének különbségei a zöldterületeken különböző időpontokban

Összegzés. Vizsgálataink során az *Aqua* és *Terra* műholdon elhelyezett MODIS szenzorral végzett mérésekből származtatott felszínhőmérsékleti adatokat felhasználva termikus elemzést készítettünk Budapest tüdejének méltán nevezhető kerületéről, a Hegyvidékről. A *Google Earth* finomfelbontású műholdképei segítségével elhatároltuk a kerületen belül különböző sajátosságokkal rendelkező, összehasonlítani kívánt beépített és zöldterületeket. A különböző sugárzási tulajdonságokkal rendelkező területeken leginkább a vegetáció, illetve a domborzati viszonyok hatása volt szembevetendő. Elemzéseink során kapott eredményeink alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- A Budai-hegyvidék hűvösebb területei és a beépített területek tavaszi-nyári időszak nappali óráiban mért átlagos intenzitási értékei között akár 8 °C különbség is megfigyelhető volt. A kerületen belüli jelentős anomáliaértéket az eredményezi, hogy a hegyvidéki területek felszínhőmérséklete a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél is alacsonyabb, míg a beépített területek felszínhőmérsékletében a városi területekre jellemző hőtöbblet észlelhető.
- A kerület hősziget-intenzitásának napszakoktól függő változását vizsgálva megállapítható, hogy a nappali órákban a kerület jelentős erdős részére negatív, illetve az éjszakai órákban pozitív intenzitási értékek jellemzők.

- Az átlagos nappali intenzitás havi átlagainak éves menetét tekintve a beépített területeken júniusi maximum (2,5 °C) volt megfigyelhető. Ezzel szemben az erdős területeken az eltérő energiaegyenlegből adódóan a májusi minimumot követően egész év folyamán a beépített területekhez képest jóval alacsonyabban alakult az egyes hónapok átlagos intenzitása. Az erdős és a beépített területek átlagos intenzitása közötti különbség a nyári hónapok nappali időszakában volt a legnagyobb (4 °C).
- Az eltérő tengerszint feletti magasságú területek átlagos felszínhőmérsékletének különbségeit vizsgálva a jelentősebb domborzati hatás a délutáni órákban, leginkább májustól júliusig (3–4 °C) volt tapasztalható.
- Az alacsonyabban fekvő területek havi átlagos hősziget-intenzitásai általában pozitív értéket vettek fel, míg a magasabban fekvő területek felszínhőmérséklete minden évben alacsonyabb volt a városkörnyéki átlaghőmérsékletnél.

Köszönetnyilvánítás. A műholdas felszínhőmérsékleti adatbázis előállítás és rendelkezésre bocsátása az amerikai NASA-nak köszönhető, melyhez a Földfelszíni Megfigyelőrendszer Adatközpontján keresztül jutottunk hozzá. A dolgozat keretében végzett kutatásokat támogatta az AGRÁRKLIMA2 projekt (VKSZ_12-1-2013-0034) és az OTKA K-109109 számú kutatás.

Irodalom

- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R., 2005: Satellite-based analysis of the urban heat island effect. *Időjárás* 109, 217–232.
- Dezső Zs., Bartholy J., Pongrácz R., Lelovics E., 2012: Városi hősziget vizsgálatok műholdas és állomási mérések alapján. *Léggör* 57, 170–173.
- Kern A., Bartholy J., Pongrácz R., 2005: Az ELTE Környezetfizikai Tanszékcsoport műholdvevő állomása. *Léggör*, 50 18–21.
- Pongrácz R., Bartholy J., 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., 2010: Application of remotely sensed thermal information to urban climatology of Central European cities. *Physics and Chemistry of Earth* 35, 95–99.
- Probáld F., 1974: Budapest városklímája. *Akadémiai Kiadó*, Budapest. pp. 126
- Unger J., Sümegehy Z., 2002: Környezeti klimatológia. *Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék*, Szeged. pp. 202

AZ EUMETSAT ÉGHAJLAT-MEGFIGYELŐ MUNKACSOPORTJÁNAK (CM SAF) TEVÉKENYSÉGE ÉS ALKALMAZÁSAI

ACTIVITY AND APPLICATIONS OF EUMETSAT SAF ON CLIMATE MONITORING (CM SAF)

Dobi Ildikó, Kerényi Judit

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest Kitaibel Pál utca 1., dobi.i@met.hu, kerenyi.j@met.hu

Összefoglalás. Az időben és térben finom felbontású műholdas idősorok az előrejelző, éghajlati és hatásvizsgáló modellek fontos adatforrásává váltak. A cikk áttekintést nyújt a műholdas mérésekből származó klíma adatok és produktumok előállításáról, archiválásáról, és közzétételéről foglalkozó klíma munkacsoport (CM SAF) tevékenységeiről. Bemutatja, hogyan lehet elérni a publikus adatokat és a feldolgozásukhoz szükséges szabad felhasználású szoftvereket. A felszínre érkező rövidhullámú sugárzás (SIS) példáján keresztül néhány alkalmazás illusztrálja a napenergia hasznosítással összefüggő fejlesztéseket.

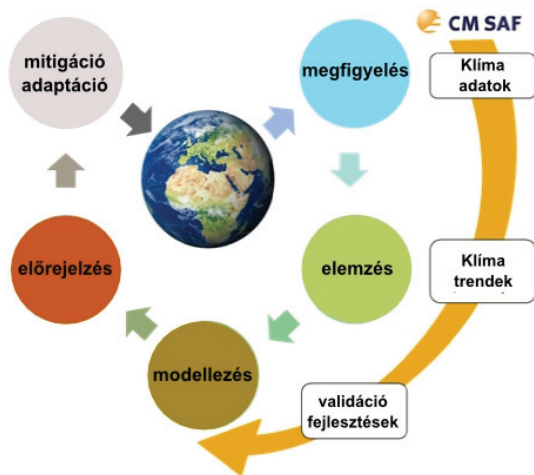
Abstract. High resolution satellite images has become an important source of forecasting-, climate- and impact assessment models. The paper provides an overview of CM SAF activities on satellite monitoring based climate data and products evaluation, archiving and dissemination processes. It summarizes shortly how to access the free data, products and tools. Some examples based on Surface Incoming Shortwave radiation (SIS) products illustrates the developments on solar energy utilization.

Az éghajlatváltozás példátlan összefogásra készíti a tudományt. A meteorológia működésének alapfeltétele a megfigyelő, modellező és előrejelző hálózatok összekapcsolódása. Az aktuális fejlesztési irányok szerint a szakmai nemzetközi szervezetek globális hálózatai sorra kapcsolódnak más tudományterületek rendszereihez. A ko-

Az európai hálózatnak kulcs szereplője az EUMETSAT¹. Nyolc olyan kiemelt témakör van, amely köré nemzetközi munkacsoportok (SAF-ok) algoritmusokat és szoftvereket fejlesztenek (1. ábra). Köztük az éghajlattal összefüggő fejlesztések a CM SAF² munkacsoporthoz tartoznak. A CM SAF feladata az éghajlat megfigyelések tá-



1. ábra: Az EUMETSAT nemzetközi munkacsoportjai (SAF-ok), (Putsay és Kocsis, 2009)



2. ábra: A CM SAF filozófiája az éghajlati megfigyelésben és kutatásban betöltött szerepéről (http://www.cmsaf.eu/EN/Overview/Philosophy/Philosophy_node.html)

rabbinnál jóval komplexebb új hálózatok a légkör megfigyeléstől az éghajlati szolgáltatásokig minden rendelkezésre álló információt egységbe szervezve fogják segíteni a megelőzést és a felkészülést.

A műholdas megfigyeléseknek fontos szerepük van a monitoring fázisban, mivel a térben és időben nagyfelbontású adatok a különféle modellek input adatbázisául szolgálnak.

mogatása olyan hosszú, verifikált, nagy felbontású és jó minőségű adatsorokkal, melyek az éghajlat változékonyságának és változásának megértését, modellezését segítik (2. ábra). Emellett a klíma modellek verifikációs igényeit és a társ tudományok hatásvizsgáló modelljeit is kiszolgálják. Végül olyan információs bázis kifejlesztése a stratégiai cél, amely infrastruktúrák tervezésére

¹ EUMETSAT – Meteorológiai Műholdak Hasznosításának Európai Szervezetében (www.eumetsat.int)

² CM SAF – Éghajlati-megfigyelő Munkacsoport (http://www.cmsaf.eu/EN/Home/home_node.html)

vagy politikai döntésekhez egyaránt felhasználható. Ugyancsak lényeges szempont, hogy minden adat és a produktum a világhálón publikusan elérhető.

A CM SAF a hosszú távú fejlesztési céljait az éghajlati adatokat gyűjtő és felhasználó legfontosabb nemzetközi programokkal összehangoltan alakítják ki. Ezek közé tartozik a WMO³ három klíma programja: a tagállamok éghajlati adatait összesítő GCOS⁴ és a két klíma kutatási program a WCP⁵ és a WCRP⁶ műholdas adatigénye, továbbá a környezeti adatokat rendszerező GEO⁷ és az Európai Bizottság Föld Megfigyelési és Monitoring Programja, a Copernicus⁸. A GCOS-on keresztül az IPCC⁹ és a klímapolitikai testület a UNFCCC stratégiai törekvéseit is támogatják az éghajlati adatsorokkal és produktumokkal.

A CM SAF munkacsoport 1999-ben a német szolgálat (DWD) vezetésével kezdte meg a tevékenységét. Tagjai a holland, az angol, a belga, a svájci, a svéd és a finn meteorológiai szolgálatok. Az Európai Középtávú Előrejelző Központ (www.ecmwf.int) közreműködik az operatív produktumok előállításában. A program 3 és 5 éves szakaszokból épül fel, jelenleg a 2012-2017 időszakot lefedő, a második fejlesztési és operatív fázisban tart. A csapat gondoskodik az adatminőség és produktum fejlesztésekről, valamint az archiválás és elosztási munkafázisok folyamatos működtetéséről.

A CM SAF legfontosabb terméke a klíma adatbázis, amely a GCOS (GCOS 138) által meghatározott, a globális energia és víz ciklus tanulmányozását megalapozó meteorológiai paramétereket (ECV)¹⁰ foglalja magába. A produktumok két csoportja különítendő el. A környezeti adatok¹¹ (EDR) melyek a mérés követő néhány hónapon belül „Operatív Products” címszó alatt válnak hozzáférhetővé. Fontos megjegyezni, hogy ezeken az adatokon csak gyors eljárásokkal elsődleges kalibrációt végeznek, ezért nem alkalmasak trend vizsgálatokra.

A másik csoport átlagosan két évvel a mérés után válik hozzáférhetővé. A „Climate Data Records” (CDR) megfelelnek az éghajlati idősorok elé állított szigorú kritériumoknak. Ismert, hogy az éghajlat megbízható statisztikai vizsgálatához hosszú idősorok szükségesek, ami a WMO ajánlása szerint legalább 30 évnyi megfigyelést jelent. Az első *Meteosat* műholdat 1977-ben állították pályára, így több adatsorra már elméletileg teljesül ez a kritérium.

A kalibráció és a homogenizálás hosszadalmas, összetett feladat, amelyet reprezentatív felszíni mérésekkel történő verifikációk felhasználásával végeznek a szakértők. A minőségileg ellenőrzött klíma adatsorok egyesítik a szárazföldi nagy pontosságú és sporadikus pontszerű mérések és a műholdakról végzett háromdimenziós, időben és térben nagy felbontású, de kevésbé pontos mérési technikák előnyeit.

A mérések két geostacionárius (MFG, MSG) és öt poláris pályán mozgó (METOP, az amerikai NOAA, Aqua, Terra és DMSP) műholdcsalád kilenc műszerének az adatait használják fel. Mint ismeretes a geostacionárius műholdak átlagosan 35 786 km magasságban keringenek, és 15 percenként áll rendelkezésre felvétel. A poláris műholdak pályája lényegesen alacsonyabb (850 km), adott hely felett naponta jellemzően két alkalommal haladnak át.

A munkacsoport produktumai alapvetően négy csoportba sorolhatók (*Putsay és Kocsis*, 2009). A felszíni és a légkör tetején lévő sugárzási komponensek együtt a sugárzási egyenleg összes paraméterét tartalmazzák, készülnek továbbá különféle nedvesség és felhőzet karakterisztikák.

Az adathozzáférés a nyilvános Produktum Navigátor (Web User Interface, www.wui.cmsaf.eu) felhasználóbarát felületén keresztül lehetséges. Az említett regisztrációt követően bárki megrendelheti a számításaihoz szükséges operatív (EDR), vagy klíma (CDO) adatokat. Jelenleg 41 produktum közül lehet válogatni, melyek különféle hosszúságú időszakokat fednek le. A leghosszabb (CLARA-A1) adatbázis jelenleg 28 évre tartalmaz sorokat. Szintén produktumtól függően hatféle idő léptékben (napi, heti, pentád, havi pillanatnyi és órás) adatokat lehet lekérni. A műhold pályája és a szenzora meghatározza a tízféle térbeli kivágatot, ez pedig megszabja mekkora a produktum térbeli felbontása, jellemzően 3 és 90 km közötti érték. Minden produktum elkészül *netCDF* formátumban.

1. táblázat: A klíma adatbázisban rendelkezésre álló havi SIS produktumok

Műhold	Szenzor	Térbeli felbontás	Időszak	Időbeli felbontás	Adatbázis
MFG	MVIRI	0,03°*0,3°	1983.01.01-2005.12.31	órás, napi, havi	MAGICSOL
MSG	STA/GERB	0,05°*0,05°	2006.01.01-2011.12.31	napi, havi	TOA
NOAA	AVHRR	0,25°*0,25°	1982.01.01-2009.12.31	napi, havi	CLARA-A1

A CM SAF sajátossága, hogy az adatok feldolgozását és megjelenítését nyílt forráskódú szoftverek támogatják (pl. CDO és a statisztikai számításokra kifejlesztett „R” programcsomag, letöltés www.cmsaf.eu/tools), a munkacsoport szakértői által kidolgozott szkriptek úgyszintén publikusak. Az EUMETSAT oktatási felületén (<http://training.eumetsat.int/>) keresztül érhető el a CM-SAF közösségi oldala, ahol videók és szakanyagok segítik az érdeklődőket az alkalmazásban, egyéni kérdésekre a fórumon lehet választ kapni. A tréning anyagok bizonyítják, hogy a globálistól a lokális skáláig az oktatásban, az éghajlatkutatásban, és operatív előrejelzésben is sokrétűen felhasználhatóak az adatok. A WUI használatát értékelő statisztikák szerint a legtöbben a globálsugárzással kapcsolatos feldolgozásokat végeznek. Az alábbiakban erre mutatunk be néhány példát.

A felszínre érkező rövidhullámú sugárzás (SIS) idősorokat az első generációs *Meteosat* műholdak (MFG) MVIRI, a második generációs műholdak (MSG) SEVIRI és GERB érzékelői, valamint a (NOAA) AVHRR mérésekből állítják elő az 1. táblázatban látható időbeli, és térbeli felbontásban.

³ WMO – Meteorológiai Világszervezet (www.wmo.int)

⁴ GCOS – Globális Klíma Megfigyelési Rendszer

⁵ WCP – Világ Klíma Program

⁶ WCRP – Világ Klíma Kutatási Program

⁷ GEO – Föld Megfigyelési Csoport

⁸ korábbi GMES (Global Monitoring for Environment and Security)

⁹ IPCC – Klímaváltozás Kormányközi Testület

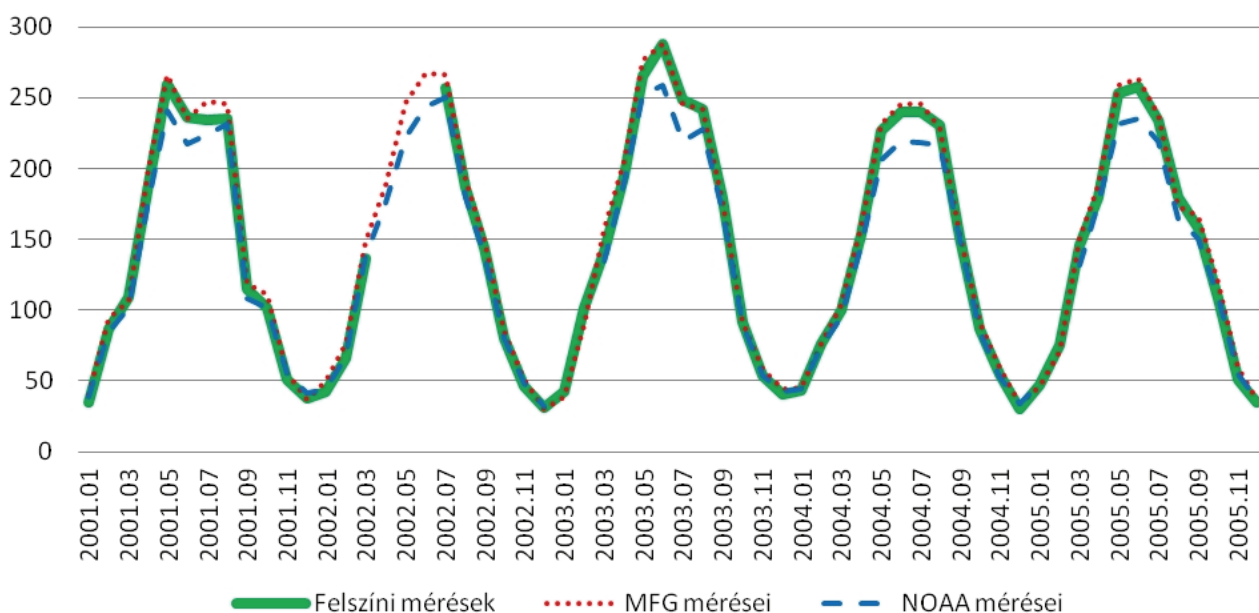
¹⁰ ECV – Essential Climate Variables

¹¹ EDR – Environmental Data Records

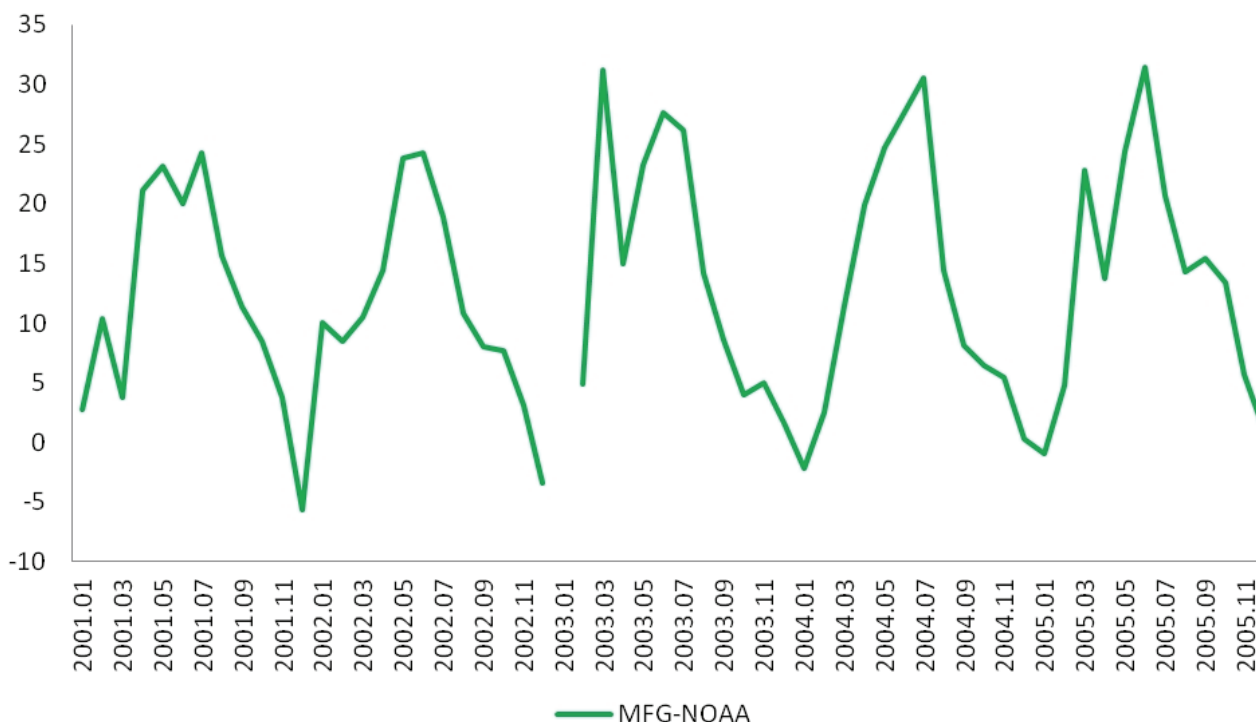
A felszíni mérések nyilvánvalóan pontosabbak, perces időbeli felbontásban is rendelkezésre állnak, azonban előfordulhat, hogy a mérés során az érzékelőt szennyeződés, pára vagy hó borítja, esetenként tereptárgyak árnyékolása torzíthatja az adatot (JRC). A területi interpoláció szintén tartalmazhat becslési hibákat.

ját nem reprezentálja a mérés. A harmadik ok az alacsony napállás, különösen a magas földrajzi szélességeken okozhat jelentős hibát.

A felszíni és műholdas adatok összehasonlítását Pátkainé (2014) vizsgálatában az OMSZ nyolc legmegbízhatóbb globálsugárzás adatsor (Debrecen, Szeged, Eger, Kec-



3. ábra: Felszíni és műholdas SIS havi értékek különbsége Budapest-Lőrincre



4. ábra: MFG és NOAA mérésekből származó SIS havi átlagok eltérései 2001 és 2005 között

A műholdak érzékelői a sugárzásnak a világűrbe visszavert részét érzékelik. A paramétereket érzékelőktől függetlenül eltérő koncepciójú algoritmusokkal határozzák meg, melyek részletes leírása és verifikációja az adatlekerő felületen érhető el. A műholdas távérzékelés során a három legjellemzőbb hibaforrás a hóborítottság, mivel a fényességi értékek alapján a havas területeket felhőnek érzékeli a műszer. Hegyvidéki területeknél adott pixelen belül eltérő magasságú helyekre jutó sugárzás kontraszt-

kemét K-pusztá, Budapest-Lőrinc, Nagykanizsa, Győr és Baja) felhasználásával végezte el. A talajközeli mérésekhez viszonyítva a geostacionárius műholdnál szignifikáns felülbecslést, a kvázipoláris műholdnál alulbecslést figyelt meg (3. ábra).

A magyarországi pixelekre vonatkozóan az MFG és NOAA műholdak méréseiből származó havi SIS adatok eltérése a nyári hónapokban jellemzően 6–30 W/m² kö-

zotti értéknek adódott. A különbségre a vizsgált 2000 január és 2005 december időben enyhén növekedő trend jellemző (4. ábra). Az MFG felülbecslésének és a NOAA alulbecslésének a szakirodalmak szerint több oka lehet. Az MFG validációs tesztjei a teljes (23 évnnyi) adatsorra $+8,19 \text{ W/m}^2$ átlagos abszolút hibát (MAB) mutatnak a felszíni (GEBA) adatbázishoz képest.

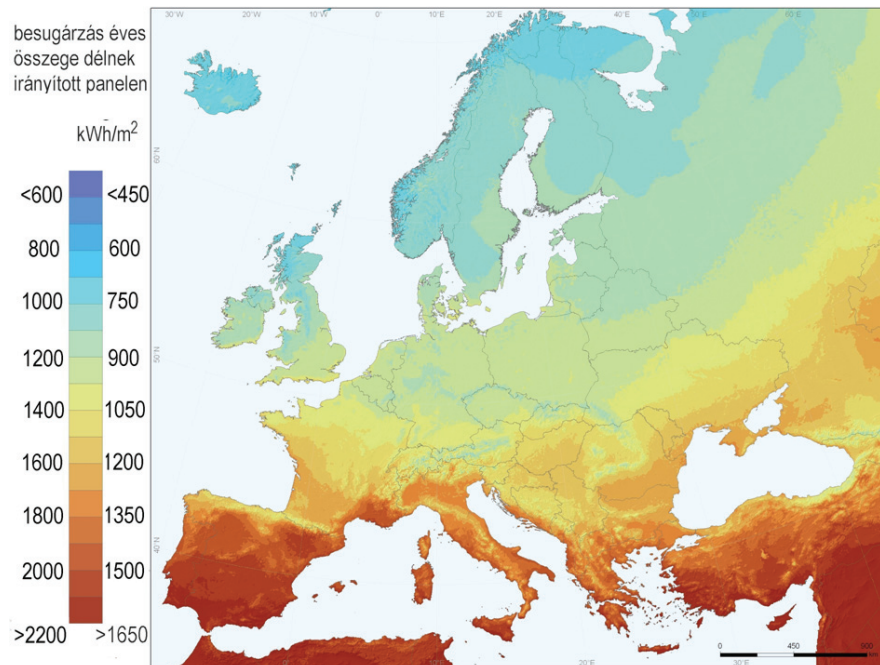
A pozitív eltérést az aeroszol koncentrációidőbeli változásának elhanyagolása, és a műhold pixel és a pontszerű mérés közötti illesztési hiba válthatja ki (Sanches-Lorenzo et al., 2013). Másik oldalról a NOAA műholdak napi négy átvonulása kevés az átlagképzéshez, emellett gyakoriak az adathiányok, mindez a kvázipoláris műhold adatokból származtatott trend becslések bizonytalanságát növeli. Emellett a verifikációs vizsgálatok szerint a felhőzet mennyisége túlbecsült

(Karlsson et al., 2008), ebből következik, hogy a rövidhullámú beeső sugárzás értékei alulbecsültek. A gyakorlatban a CM-SAF SIS alkalmazások többsége az időben nagy felbontású, geostacionárius műholdak infravörös és látható méréseit használja fel.

A hibák csökkentése érdekében a műholdképeket a jó minőségű felszíni mérések felhasználásával korrigálják. A JRC elemzése szerint a korrekciót követően az átlagos eltérés 5%-on belül marad. A minőségi műholdas sugárzás adatokat a napenergiát hasznosító rendszerek helykiválasztáshoz, költség haszon becsléséhez, monitoring és kontroll célokra alkalmazzák. Évről évre növekszik a napenergia szolgáltatásokat nyújtó szabad felhasználású programcsomagok száma. A Meteosat mérések alapján előállított HelioClim adatbázist használja fel például a SoDA projekt (<http://www.soda-is.com/eng/index.html>) A linken a sugárzási térképek között megtalálható az Európai Bizottság (DG-XII) felkérésére 2000-ben publikált Európai Nap Sugárzási Atlasza (ESRA). Ez utóbbi 691 felszíni állomás (1981–1990) adatai alapján készült havi globálisugárzás térképek sorozatát tartalmazza. A fotovillamos rendszerek elterjedésének támogatására az Európai Kutatási Központ PVGIS platformot hozott létre (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>). A CM-SAF Meteosat adatokból Európa (Áfrika és Dél-Nyugat Ázsia) minden

országára külön-külön publikusan elérhetőek a vízszintes és az optimálisan ferde felületre jutó sugárzás értékek térképes formában (5. ábra). Emellett az interaktív felületen egyedi és hálózatra csatlakozó PV eszközök paramétereinek a beállításával teljesítménybecsléseket számol a szoftver.

A globálisugárzás európai trendjeit elemző disszertáció (Bartók, 2014) eredményei szerint Közép Európa térségére a 2050-2075 időszakra (az ECHAM, GIS-ER és MRI) klíma modellek egyaránt jelentős növekedést prognosztizálnak. A napenergia potenciál növekedése hozzájárul a megtérülési idő rövidüléséhez, ez pedig minden bizonynyal elősegíti a napenergiát hasznosító berendezések elterjedését. Mindez szükségessé teszi a témában a további kutatást, fejlesztést, a hazai igények meteorológiai kiszolgálásának a kidolgozását.



5. ábra: Fotovillamos napenergia potenciál az európai országokban
(http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_publication.png)

Irodalom

- Bartók, B., 2013: A globálisugárzás változásai Európában. *PhD értekezés*
- Karlsson, K-G., Willén, U., Jones, C. and Wyser, K., 2008: Evaluation of regional cloud climate simulations over Scandinavia using a 10-year NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer cloud climatology. *Journal of Geophysical Research* 113, 323-356
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007JD008658/pdf>
- ESRA, 2000: European Solar Radiation Atlas
- JRC: PVGIS radiation databases (http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/databasehelp_en.html)
- Putsay, M. és Kovács, Zs. (szerk.), 2009: Az EUMETSAT által műholdadatokról származtatott légköri és felszíni paraméterek. *OMSZ kiadvány*
- Pátkainé Rusznyák, R., 2014: EUMETSAT CM-SAF sugárzás produktumok validálása felszíni globálisugárzás adatokkal. *MsC szakdolgozat*
- Sanches-Lorenzo, P., Trentmann, J. and Wild, M., 2013: Validation of monthly surface solar radiation over Europe derived from the CM SAF dataset against homogenized GEBA series (1983-2005) *AIP Conference Proceedings*, 1531 (432).

A KLÍMAVÁLTOZÁS MAGYARORSZÁGI JELEI OBSERVED CLIMATE CHANGE IN HUNGARY

Lakatos Mónika, Bihari Zita, Szentimrey Tamás

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1525 Budapest Pf. 38, lakatos.m@met.hu, bihari.z@met.hu, szentimrey.t@met.hu

Összefoglalás. A közelmúlt éghajlati tendenciáinak megismerése meteorológiai mérések, megfigyelések elemzésével lehetséges. Az éghajlati adatok forrása a meteorológiai mérőhálózat, ami folyamatosan változott az idők során. Az OMSZ (Országos Meteorológiai Szolgálat) klimatológiai adatbázisa ennek megfelelően a mérések kezdetétől felhalmozott, jellegében és minőségében is folyamatosan változó adatokat tartalmaz. Az itt bemutatott tendencia elemzésekhez az OMSZ elektronikus adatbázisában fellelhető, a teljes 20. századot napjainkig átívelő hőmérsékleti és csapadék idősorokat használtuk. A trendbecslést és a szignifikancia vizsgálatot minden esetben megelőzte a Szentimrey Tamás által kidolgozott MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization) homogenizálási eljárás alkalmazása, ami az adathibák és inhomogenitások kiszűrésére alkalmas eljárás. Az évi és évszakos változások becsléséhez az országos átlagokat rácsponti értékek átlagaként értelmeztük, így elkerülhető az állomások számától és helyzetétől való függés. A rácsponti értékeket a Szentimrey Tamás és Bihari Zita által kifejlesztett MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized data basis) interpolációs módszerrel számoltuk. A lineáris trendbecslést konfidencia intervallumok megadásával egészítettük ki. A hőmérsékleti és csapadék szélsőségek tendenciáit a klímaváltozás detektálása céljából definiált extrém klímaindexek idősorainak elemzésén keresztül mutatjuk be. A tendencia elemzések szerint a hazai hőmérsékleti változások a globális tendenciákkal összhangban alakultak. A meleg szélsőségek gyakoriságnövekedése és a hideg szélsőségek csökkenése a melegebb tendenciát erősíti. A csapadékváltozások kevésbé bizonyosak térségünkben a vizsgált időszakban.

Abstract. Understanding the recent climatic trends is possible by the results of analysis of meteorological measurements. The source of climate data is the meteorological monitoring network, which is constantly changing over time. Accordingly the climatological database of OMSZ stores data of different types and quality since the beginning of the measurements. The trend analyses presented here are based on the digitalized temperature and precipitation time series for the entire 20th century to the present. The application of the MASH (Szentimrey) homogenization procedure preceded the trend estimates in each cases to eliminate the inhomogeneities and erroneous data. The annual and seasonal changes are interpreted as the averages of trend values over the grid, to avoid the effect of number of stations. The gridding of station data was executed by MISH (Szentimrey and Bihari) interpolation method. Confidence intervals are also added to the point estimation of the linear trends. The tendencies in the temperature and precipitation extremes are presented through the trends of several pre-defined extreme climate indices for the purposes of detecting of climate change. According to the results the temperature changes are in accordance with global trends. The increasing warm extremes and decreasing cold extremes confirm the warming. The changes in precipitation are less certain in our region in the period under review.

Az adatok eredete. A meteorológiai adatsorok elemzésével megismerhetjük, és folyamatosan nyomon követhetjük hazánk éghajlatának jellemzőit, tetten érhetjük az éghajlat hosszú távú megváltozásának jeleit. Az OMSZ adatarchívumában tárolt, korábban évkönyvekben, ma már digitálisan rendezett adatok képezik a nemzeti éghajlati adatbázist, amely nemzeti kincs, és egyedüli hiteles alapja az ország éghajlatát vizsgáló tanulmányoknak, kutatásoknak, valamint nélkülözhetetlen információkat nyújt a környezeti állapot egyéb szempontú értékeléseihez is. Az éghajlati adatbázis fenntartása, fejlesztése, az adatok minőségellenőrzése, a régi, papíron rögzített adatok digitalizálása állandó feladatot jelent az OMSZ számára.

Reprezentatív éghajlati adatsorok előállítása. A szervezett meteorológiai mérések kezdete óta a műszerek, a

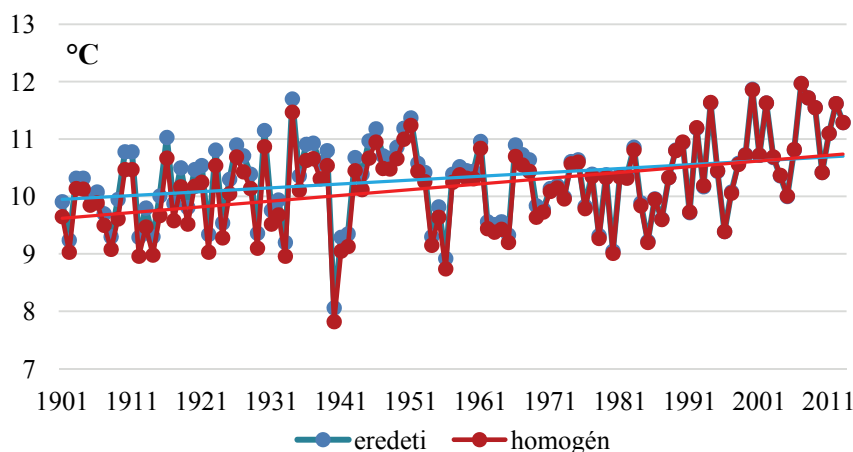
mérési körülmények és a mérések időpontja is többször változtak. Az éghajlati feldolgozásokhoz, vizsgálatokhoz

ugyanakkor jó minőségű, térben is kellő részletességgel ismert adatokra van szükség.

A változó mérési körülmények, például állomás áthelyezés, a mérési időpont megváltozása vagy műszercsere indokolatlan törést, inhomogenitást eredményezhetnek a mért adatsorokban. Az

esetleges hibák és inhomogenitások téves következtetésekre vezethetnek a nyers adatsorokon alapuló éghajlati elemzések során. Az automatikus adatellenőrzés és korrekció, az adathiányok pótlása homogenizálási, adatellenőrzési eljárás alkalmazását teszi szükségessé.

Jó minőségű, ellenőrzött, térben és időben egyaránt reprezentatív adatsorok előállítása érdekében a nemzeti me-



1. ábra: Az eredeti és a homogenizált országos éves középhőmérsékletek alakulása 1901-től 2013-ig a lineáris trenddel

teorológiai szolgálatok többsége foglalkozik homogén adatsorok előállításával (Venema, 2010).

Az OMSZ Éghajlati Osztályán is készült egy matematikailag megalapozott, nemzetközileg elismert és széles körben alkalmazott módszer, a Szentimrey Tamás által kifejlesztett MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization). Az eljárás alkalmazása lehetővé teszi, hogy egy-egy állomás adatait úgy vizsgálhassuk, mintha a mérések mindig a jelenlegi mérőhelyen, azonos körülmények között folytak volna (Szentimrey, 1999).

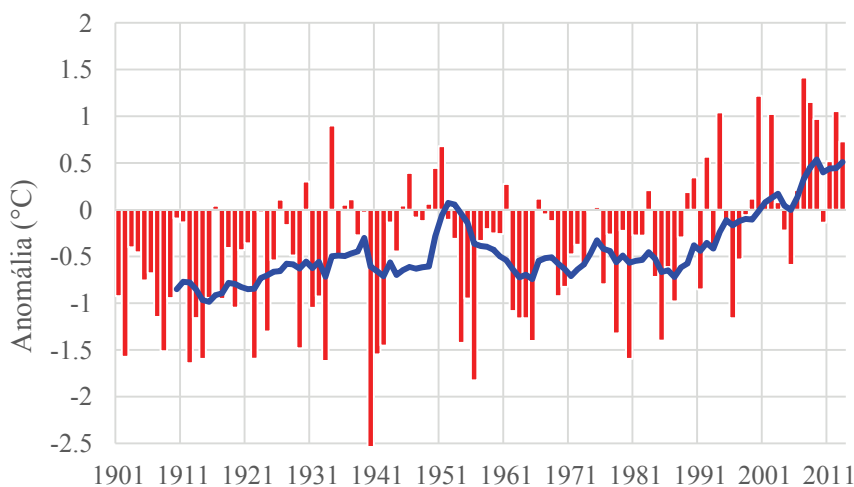
A nyers és a homogenizált adatokra illesztett trend értéke eltér, ez utóbbi meredekebb hőmérsékletemelkedést mutat (1. ábra). Az eredeti adatok 0,75 °C-os, míg a homogenizált adatok 1,11 °C-os változást mutatnak. Több állomásunk a hatvanas években hűvösebb, külvárosi környezetbe költözött, főként ez az oka annak, hogy az eredeti sorok ezt megelőzően magasabb hőmérsékleti viszonyokat jeleznek.

Az adatminőség mellett fontos szempont az állomáshálózat sűrűsége is. A mérőhálózatok egyik fontos ismérve, hogy az állomási adatok felhasználásával milyen pontosan tudjuk reprodukálni a meteorológiai mezők értékeit, azok térbeli eloszlását. Ezért fontos a homogenizálás mellett egy másik matematikai statisztikai módszer, az interpoláció alkalmazása, melynek segítségével tetszőleges, mérésel nem rendelkező helyen valamely meteorológiai elem értékére becslést adhatunk a mérőhálózat adatainak ismeretében. Így az egész országra kiterjedően készíthetünk a

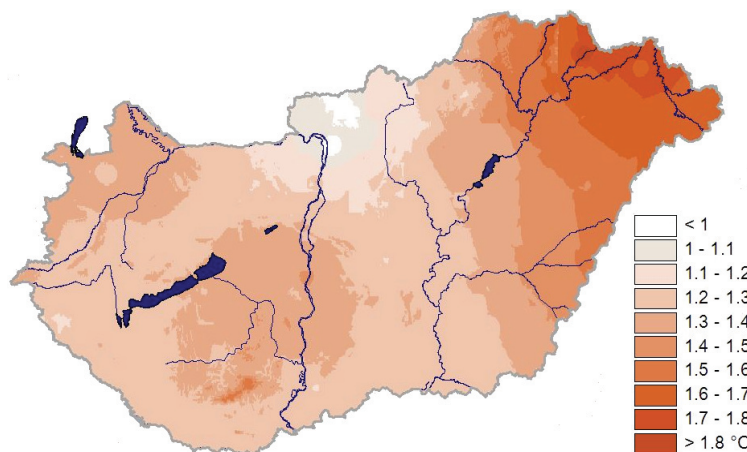
térbeli eloszlást megjelenítő térképeket. Az Éghajlati Osztályon Szentimrey Tamás és Bihari Zita által kidolgozott, kifejezetten meteorológiai elemek interpolációjára kifejlesztett eljárás a MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized data basis, Szentimrey és Bihari, 2007).

Az itt bemutatott elemzésekhez a MISH és MASH eljárások alkalmazása garantálja a jó minőségű, térben és időben reprezentatív adatsorok használatát.

Hőmérsékleti tendenciák. A több mint egy évszázadra kiterjesztett vizsgálatok azt mutatják, hogy a hazai változások a hőmérséklet tekintetében jól illeszkednek a világméretű tendenciákhoz (WMO, 2014). A múlt század eleje óta tapasztalt 1,11 °C-os országos mértékű emelkedés (1. táblázat) meghaladja a globális változás 0,89 °C-ra becsült mértékét (IPCC, 2013). A 2. ábra mutatja az évi középhőmérsékletek anomáliáinak alakulását 1901-től. Az ezredforduló utáni évek, különösen a legutóbbi tíz év jellemzően pozitív eltérést mutat. Az 1. táblázat az évi és évszakos változásokat tar-



2. ábra: Az évi országos átlaghőmérsékletek anomáliáinak alakulása 1901-től 2013-ig az 1981-2010-es normál időszakhoz viszonyítva, a tízéves mozgó átlag görbéjével



3. ábra: Az évi átlaghőmérséklet (°C) változása 1983 és 2012 között

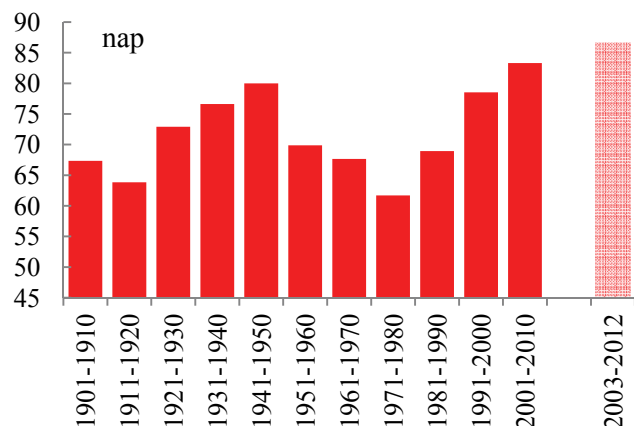
1. táblázat: Az évi és évszakos hőmérsékleti változások (°C) a 90%-os megbízhatósági intervallumokkal a múlt század elejétől és a nyolcvanas évektől, lineáris trendmodell szerint. A szignifikáns változást kiemelés jelöli.

	év	tavas	nyár	ősz	tél
1901-2013	1,11 (0,75, 1,48)	1,22 (0,64, 1,82)	1,44 (0,94, 1,93)	0,79 (0,19, 1,39)	0,77 (0,02, 1,52)
1981-2013	1,35 (0,75, 1,95)	1,04 (0,42, 2,37)	2,05 (2,25, 2,86)	1,0 (0,11, 1,89)	1,21 (-0,52, 2,94)

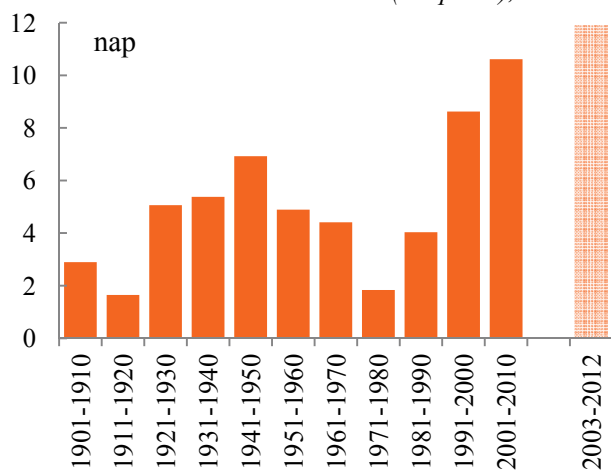
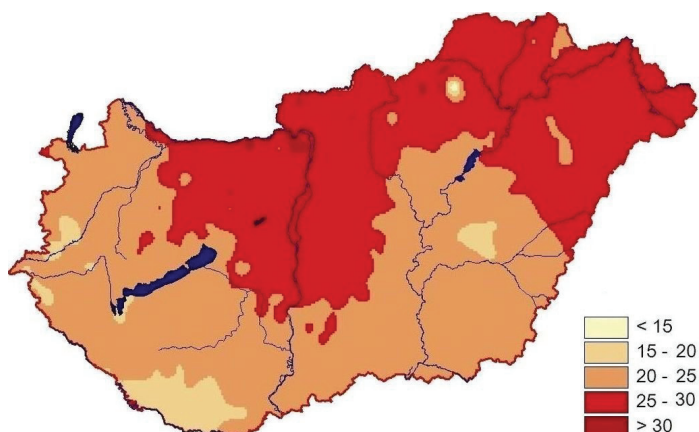
talmazza a rendelkezésre álló leghosszabb sorokon, valamint az utóbbi évtizedekre, 1981-től, ami a legutóbbi intenzív melegedési időszak globálisan és térségünkben is. A becsült változások mellett feltüntettük azt a megbízhatósági intervallumot is, amibe a változás 90%-os megbízhatósággal esik. Egyedül a téli változás nem éri el a statisztikailag szignifikáns mértéket a rövidebb soron, egyébként az évszakos és az éves változások is mind szignifikánsak.

A melegedés nem egyenletes az ország különböző régióiban (3. ábra). A legutóbbi harminc éves időszakban a keleti, északkeleti országrész melegedett a legnagyobb mértékben, több mint 1,8 °C-kal. Emellett az ország kö-

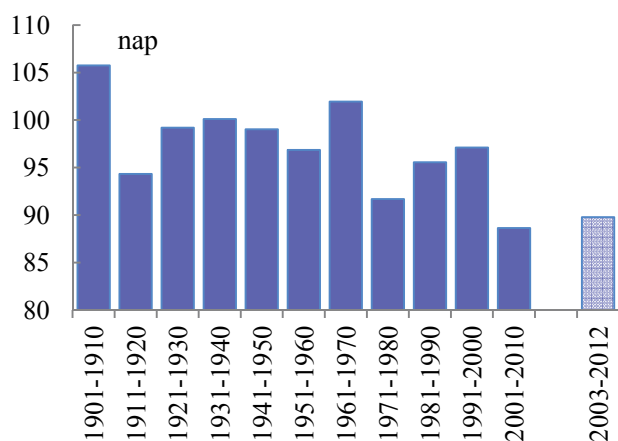
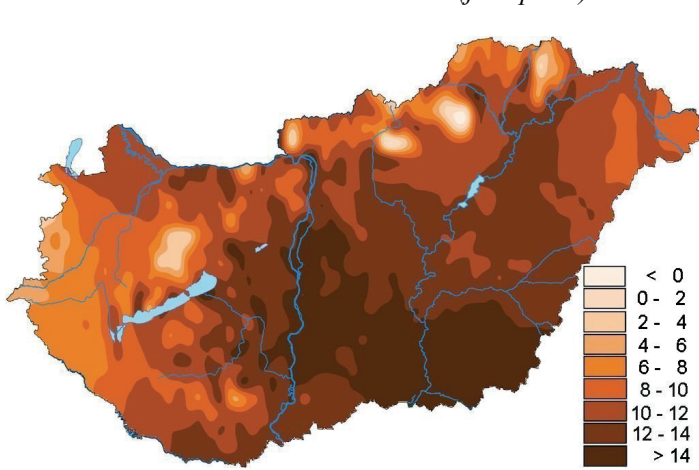
A hőmérsékleti szélsőségek változása. Az 1950 óta rendelkezésre álló megfigyelések bizonyítják néhány éghajlati szélsőség mértékének és előfordulási gyakoriságának megváltozását globálisan (IPCC, 2011). Az üveg-



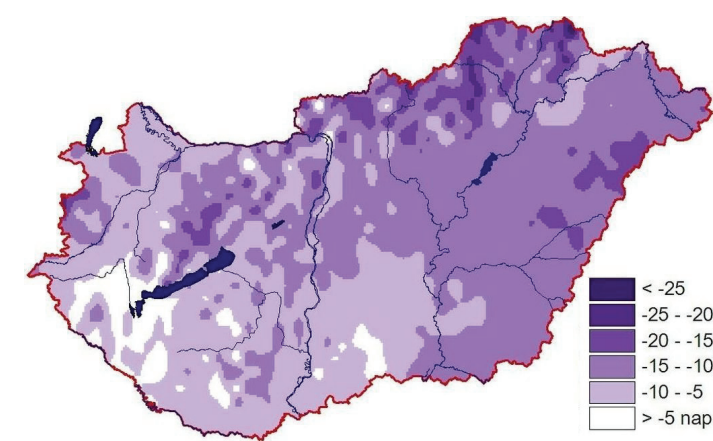
4. ábra: A nyári napok számának (napi maximum > 25 °C) dekádátlagai 1901-től 2012-ig az utolsó tíz év kiemelésével (bal panel), valamint az 1981–2012 közötti változás térbeli eloszlása (jobb panel).



5. ábra: A hóhullámos napok számának (napi középhőmérséklet > 25 °C) dekádátlagai 1901-től 2012-ig az utolsó tíz év kiemelésével (bal panel), valamint az 1981–2012 közötti változás térbeli eloszlása (jobb panel).



6. ábra: A fagyos napok (napi minimumhőmérséklet < 0 °C) dekádátlagai 1901-től 2012-ig az utolsó tíz év kiemelésével (bal panel), valamint az 1981–2012 közötti változás térbeli eloszlása (jobb panel).



zépső területei és a Kisalföld is az átlagosnál jobban melegedtek. Az évszakos változásokat tekintve a nyarak melegedése a legjelentősebb, 1,44 °C-os a növekedés a 20. század kezdetétől és több mint 2 °C a legutóbbi három évtizedben, országos átlagban, de az északkeleti régiók és az Alföld 2,2 °C-kot is meghaladó mértékű hőmérséklet emelkedést mutatnak nyáron.

házhátasú gázok koncentrációjának növekedése mellett mind a napi maximum-, mind a napi minimumhőmérséklet világszerte emelkedő tendenciát mutat. Összességében csökkent a hideg napok és éjszakák száma, s ezzel párhuzamosan nőtt a meleg napok és éjszakák száma. A hazai elemzések eredményét két időszakra mutatjuk be: 1901-től napjainkig és a legutóbbi évtizedekre, 1981-

től 2012-ig, ami egy igen intenzív melegedési időszak a műszeres megfigyelések kezdete óta Magyarországon is. A hőmérsékleti szélsőségek változásának jellemzésére a nyári napok ($T_{\max} > 25\text{ °C}$), a hóhullámos napok ($T_{\text{közép}} > 25\text{ °C}$) és a fagyos napok ($T_{\min} < 0\text{ °C}$) számának alakulását választottuk.

Ezek a hőmérsékleti indexek széles körben alkalmazott klímaindikátorok

(Klein Tank and Können, 2003). Az oszlopdiagramokon (4-6. ábrák bal paneljei) látható dekádátlagok jól szemléltetik, hogy az utóbbi évtizedek szélsőségei hogy viszonyulnak a korábban tapasztalt értékekhez. A 2003–2012 tízéves időszaknak az átlagát különálló oszlop jelöli az ábrákon. Ez az időszak tükrözi leginkább a jelenlegi állapotot az elemzett időszakban, a töretlen melegedő tendenciát, ezért közöljük a többi dekádérték mellett kiemelve.

A becsült lineáris trendből adódóan a múlt század elejétől tekintve, országosan mintegy 11 nappal több nyári napot tapasztalunk évente, a hóhullámos napok száma is megnőtt 6 nappal. Ezzel párhuzamosan kevesebb a fagyos nap, mint a századelőn, jellemzően 10 nappal (4-6. ábrák bal paneljei).

A nyolcvanas évektől bekövetkezett változások területi jellemzőit térképeken szemléltetjük (4-6. ábrák jobb paneljei). A nyári napok esetén (4. ábra, jobb panel) a növekedés a magasabban fekvő régiókban, a Nyírségben, és a középső országrészben, a Duna menti területeken a legnagyobb. A nyári napok sokévi országos átlaga évi 78, az 1981-2010-es normált tekintve. Hegységeinkben korábban csak elvétve tapasztaltunk 25 °C fölötti hőmérsékletet, jelenleg azonban már ott sem ritka az előfordulásuk. A növekedés mértéke helyenként a 30 napot is el-

éri, országos átlagban 24 nappal szaporodtak meg a nyári napok 1981 és 2012 között.

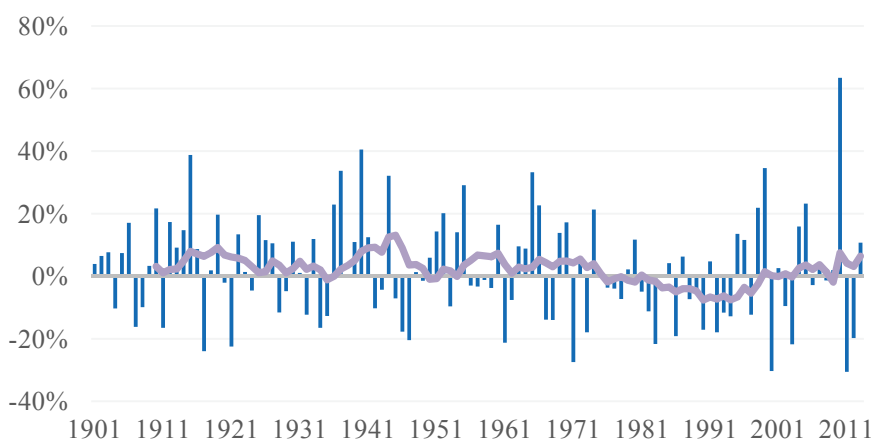
Hóhullámos nap fellépésével viszont még kevésbé kell számolnunk a hegyvidékeinken, a közép-magyarországi, dél-alföldi régióban kell egyre több ilyen napot elszenvedni, vannak területek, ahol több mint 19 nap a növekedés 1981-től (5. ábra, jobb panel). Országos átlagban évi 11 hóhullámos nap jellemzi régiókat az 1981-2010 között rögzített adatok szerint.

A fagyos napok (6. ábra jobb panel) fogyása az északi, északkeleti országrészben a legszembetűnőbb. Az Északi-középhegység kisebb régióiban akár 1 havi csökkenéssel is számolhatunk. A fagyos napok sokévi országos átlaga a jelenlegi éghajlatunkat jellemző normál időszakban 93.

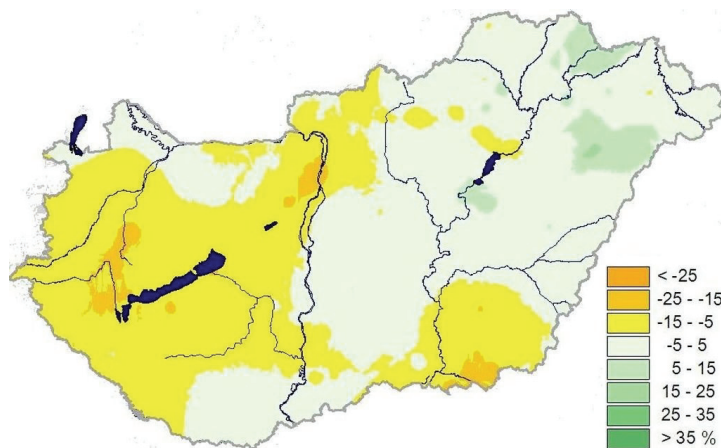
A dekádátlagok az évről-évre megnyilvánuló változékonyságot elfedik, így a hűvösebb illetve melegebb időszakok jobban nyomon követhetők. A századelőn és a hatvanas években fordultak elő hidegebb évek, a jelenhez

2. táblázat: Az évi és évszakos csapadék változások (%) a megbízhatósági intervallumokkal a múlt század elejétől és a nyolcvanas évektől, exponenciális trendmodell szerint. A szignifikáns változást kiemelés jelöli.

	év	tavas	nyár	ősz	tél
1901-2013	-6,8 (-14,5, 1,63)	-17,2 (-28,2, -4,6)	5,7 (-9,7, 23,6)	-17,2 (-32,6, 1,7)	3,0 (-14,6, 24,2)
1981-2013	12,7 (-5,7, 34,8)	8,9 (-20,5, 49,3)	11,4 (-15,6, 47,1)	11,2 (-25,3, 65,6)	16,1 (-16,9, 62,2)



7. ábra: Az évi csapadékösszegek országos átlagának anomáliái 1901 és 2013 között a tízéves simítás görbéjével



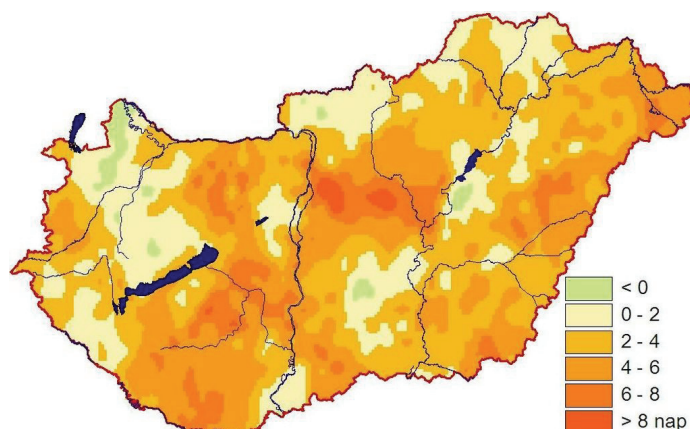
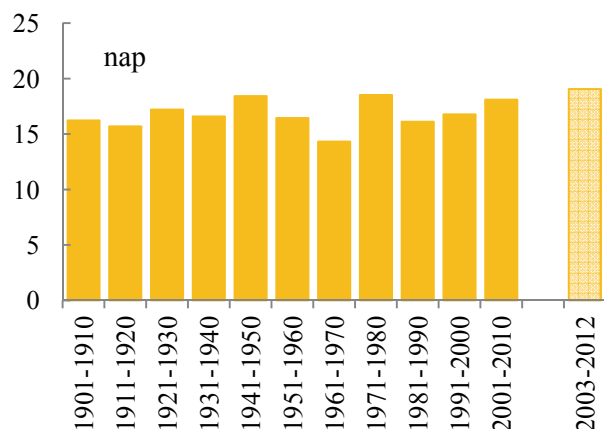
8. ábra: Az átlagos évi csapadékösszeg változása az 1963–2012 időszakban

közelítve a melegedési tendencia egyértelmű. A legutóbbi tíz év átlaga a nyári és a hóhullámos napok esetén túlszárral minden dekád, a fagyos napok esetén viszont a 2001–2010 időszak enyhébbnek bizonyult a 2003-2012-es tízéves periódusnál. A hideg és a meleg hőmérsékleti szélsőségek alakulása egyaránt a melegedés tényét erősítik.

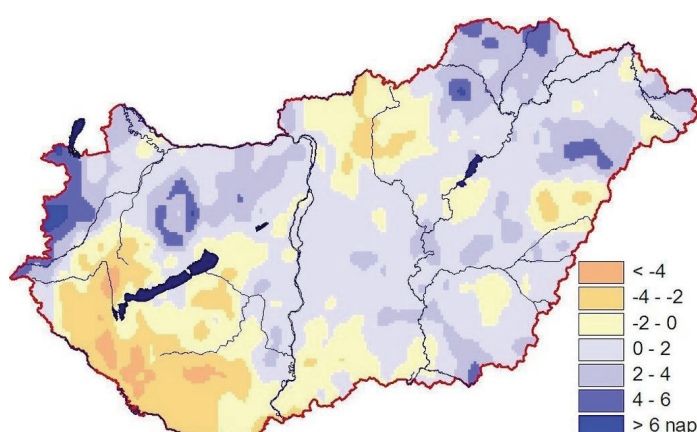
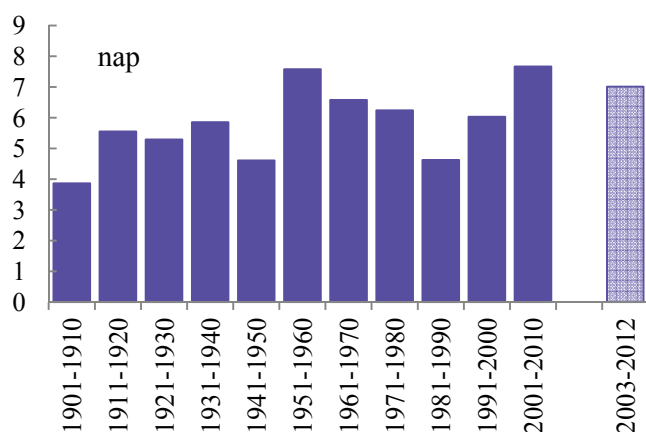
Csapadéktendenciák. A csapadékkal kapcsolatos jelenségek nagyobb bizonytalanságúak globálisan, sok térségben megfigyelhető a nagy csapadékot adó időjárási események és az árvizek gyakoriságának növekedése, ugyanakkor az aszályok is gyakoribbá és intenzívebbé váltak (IPCC, 2011). Az éghajlatváltozás hatására bekö-

vetkező egyirányú változásokat nehezebb kimutatni, mint a hőmérséklet esetén. Míg Észak- és Nyugat-Európában a melegedési tendenciával együtt több csapadék hullik, addig nálunk a Földközi-tenger térségéhez hasonlóan, éves szín-

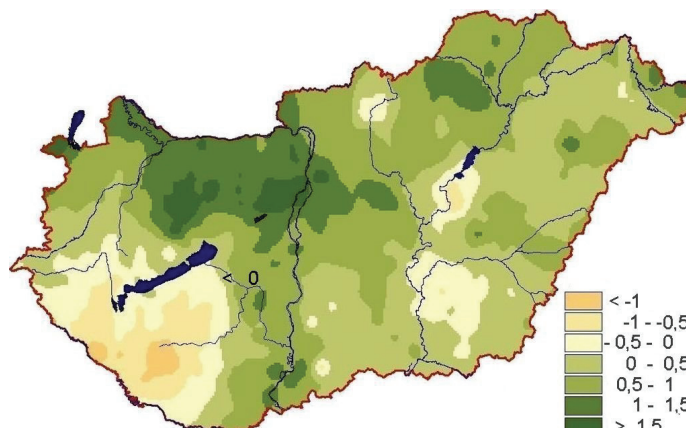
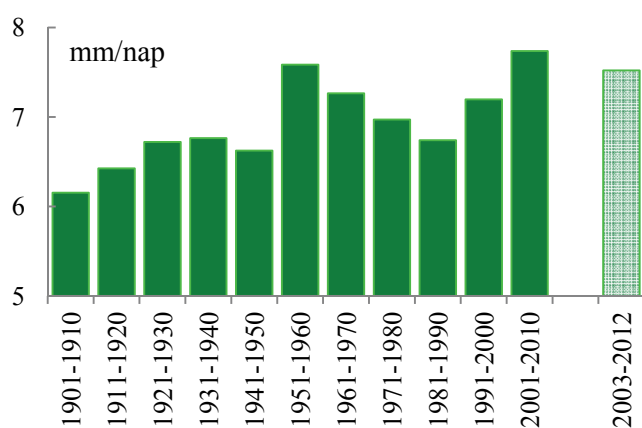
10%-ot, de ez a változás még nem éri el a statisztikailag szignifikáns mértéket. Csak a tavaszi csökkenés állítható magas megbízhatósággal a hosszú soron az összes elemzett időszak változása közül.



9. ábra: A leghosszabb tavaszi száraz időszak (napi összeg < 1 mm az egymást követő napokon) dekádátlagai 1901-től 2012-ig az utolsó tíz év kiemelésével (bal panel), valamint az 1961–2012 közötti változás térbeli eloszlása (jobb panel).



10. ábra: A 20 mm fölötti csapadéku napok dekádátlagai nyáron, 1901-től 2012-ig az utolsó tíz év kiemelésével (bal panel), valamint az 1961–2012 közötti nyári változás térbeli eloszlása (jobb panel).



11. ábra: A nyári napi csapadék intenzitás (mm/nap) dekádátlagai 1901-től 2012-ig az utolsó tíz év kiemelésével, valamint az 1961–2012 közötti nyári változás térbeli eloszlása

ten valamivel kevesebb. Az egyes évek csapadék anomáliáit szemlélteti a 7. ábra 1901-től 2013-ig.

A csapadék évi összege 1901-től mindössze közel 7%-os csökkenést mutat (2. táblázat), de az éven belüli eloszlása megváltozott. Az átmeneti évszakok csapadéka jelentősen, majd 20%-kal csökkent, az őszi másodmaximum eltűnően van, a nyári növekedés pedig meghaladja a

A legutóbbi három évtizedet jellemző csapadéktendenciák növekedést mutatnak évi és évszakos skálán is, különösen nyáron. A nyári csapadék azonban egyre intenzívebb, ezáltal kevésbé hasznosul, nagy hányadban az elfolyást növeli csupán. A csapadék alakulásáról megállapíthatjuk, hogy az utóbbi évtizedekben, illetve években nem annyira a tendenciózus változás, inkább a szélsőséges jelleg dominál. Nagy

kilengések tapasztalhatók, áradásokra és aszályokra egyaránt fel kell készülni, ugyanakkor megnőtt a rendkívül száraz évek fellépésének valószínűsége is.

A nagy változékonyság miatt a területi változások vizsgálatához hosszabb, fél évszázados periódust választottunk, de még ebben sem mutatkoznak egyértelmű tendenciák (8. ábra). Az elmúlt fél évszázadban kismértékű csökkenést jeleznek a sorok országos átlagban. A Dunántúlon az átlagosnál nagyobb a csökkenés, a Marcalmedencében és a Zala mentén, valamint a főváros térségében meghaladja a 25%-ot, míg a Nyírségben és a Zempléni-hegység térségében hasonló mértékű növekedés mutatkozik (Lakatos és Bihari, 2012)

A csapadék szélsőségek alakulása. A csapadékváltozások iránya, nagysága kevésbé nyilvánvaló, mint a hőmérséklet esetén, és ez a bizonytalanság a szélsőségekre is igaz. Emiatt egy hosszabb, 1961-től kezdődő periódust vizsgáltunk a csapadék szélsőségek változásának bemutatására. Az átlagosnál bőséesebb csapadékkal vagy tartós szárazsággal járó események, időszakok előfordulási gyakoriságát különböző csapadék indexekkel jellemezzük (Klein Tank and Können, 2003).

Az aszályhajlam növekedésének vizsgálatára az egymást követő száraz napokból (napi összeg < 1 mm) álló leghosszabb időszakok alakulását mutatjuk be elsőként. Sem az évi, sem az évszakos tendenciák nem szignifikánsak, viszont az egyre hosszabbodó száraz időszakok irányába mutatnak. Ősszel nyúlt meg leginkább a száraz időszakok hossza, több mint 4 nappal 1901-től. A tavaszi változás kisebb, de ha csak az elmúlt éveket tekintjük, akkor egyre tartósabbak a tavaszi száraz időszakok a megfigyelések szerint (9. ábra bal panel), ezért a tavaszi változás térbeli eloszlását jelenítjük meg térképen (9. ábra, jobb panel). A kétnapos csökkenéstől a nyolcnapos növekedésig találhatók területek a változástérképen. Összességében a hosszabbodó száraz időszakokkal jellemezhető régiók vannak túlsúlyban. A hosszú száraz periódusok átlagos hossza 17 nap országosan, az 1981-2010 időszak tavaszait tekintve. Az évi leghosszabb száraz időszakok pedig átlagosan 27 napig tartanak ugyanezen harmincéves periódus adatai alapján. A 20 mm fölötti csapadékú napok és az átlagos napi csapadékoság, vagy más néven napi intenzitás (időszakos összeg és az 1 mm-t meghaladó csapadékú napok számának hányadosa) nyáron növekedett meg a legnagyobb mértékben (10. és 11. ábra) de még nem elég magas a változás megbízhatósága. Átlagos jellemzőik országosan, az 1981-2010 közötti nyarakat tekintve 2 nap, illetve 7mm/nap. Kétnapos a növekedés a nagycsapadékú (20 mm) napok számában 1901 óta. A napi intenzitás is növekszik, 1,2 mm körüli értékkel nőtt a becslések szerint a múlt század eleje óta.

A változástérképeken (10. és 11. ábra jobb panel) csökkenést és növekedést mutató területek egyaránt megjelennek mindkét csapadék indikátor esetén. A nyári napi csapadékoság vagy más néven intenzitás országos átlagban növekedett, ezt a növekedést a délnyugat-dunántúli, és kisebb kiterjedésben az alföldi régiók csökkenése mérsékli (11. ábra jobb panel). A növekedés azt jelzi, hogy a nyári csapadék egyre nagyobb hányada rövid idejű, intenzív záporok, zivatarok során jut le a felszínre. Fontos megjegyezni, hogy a változások csak szűkebb területeken szignifikánsak.

Összefoglalás. Az évi középhőmérséklet emelkedése Magyarországon 1,11 °C 1901-től, ez meghaladja a globális átlagos 0,89 °C körüli értéket. A legutóbbi évtizedekben a nyarak melegedtek a legjobban, 1981-től több mint 2 °C-kal. A meleg szélsőségek gyakoribbá válásában mutatkoznak meg leginkább az éghajlatváltozás jelei. Az ország középső és déalföldi területein a hóhullámos napok száma több mint két hét növekedést mutat. A csapadékváltozások kevésbé egyértelműek. 1901-től az évi összeg kismértékben csökkent, a tavaszi és az őszi mennyiségek csökkenése közel 20%-os. A legutóbbi évtizedekre viszont csapadék növekedés jellemző, de nem éri el a statisztikailag szignifikáns mértéket. Hosszabbodtak a száraz időszakok főként ősszel, 4 nappal 1901-től. Nyáron az átlagos napi mennyiség megnőtt, 1,2 mm-rel, ami az intenzív csapadékesemények növekvő arányát jelzi.

Az utóbbi évtizedeket jellemző magas hőmérsékleti anomáliák és az egymást követő évek szélsőséges csapadékviszonyai, illetőleg az aszályhelyzetek súlyosbodása egyaránt indokoltá teszi hazánk éghajlati állapotának – reprezentatív mérésekre alapozott – folyamatos nyomon követését a jövőben is.

Irodalom

- IPCC, 2011 Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324
- Klein Tank, A.M.G., Können, G.P., 2003: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *J. Climate* 16, 3665-3680
- Lakatos, M., Bihari Z., 2012: A közelmúlt megfigyelt hőmérsékleti és csapadéktendenciái. In: *Klímaváltozás –2011: Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére*, (szerk: Bartholy J., Bozó, L. és Haszpra, L.), 146–169
- Szentimrey, T., 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH), Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary; WMO, WCDMP-No. 41, 27-46.
- Szentimrey, T., Bihari, Z., 2007: Mathematical background of the spatial interpolation methods and the software MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis), Proceedings from the Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology, Budapest, Hungary, 2004, COST Action 719, COST Office, 2007, pp. 17-27
- Venema, V. K. C., Mestre, O., Aguilar, E., Auer, I., Guijarro, J. A., Domonkos, P., Vertacnik, G., Szentimrey, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Viarre, J., Müller-Westermeier, G., Lakatos, M., Williams, C. N., Menne, M. J., Lindau, R., Rasol, D., Rustemeier, E., Kolokythas, K., Marinova, L. T., Andresen, F., Acquaotta, S., Fratianni, S., Cheval, M., Klancar, Brunetti, C. M., Gruber, M., Prohom Duran, T., Likso, P., Esteban and Brandsma, T., 2010: 'Benchmarking homogenization algorithms for monthly data'. *Climate of the Past* 8, 89-115
- WMO, 2014: Statement on the status of the global climate in 2013

LABILITÁSI INDEXEK VIZSGÁLATA RADARMÉRÉSEK ÉS MODELLEREDMÉNYEK ALAPJÁN

EXAMINATION OF INSTABILITY INDICES BASED ON RADAR MEASUREMENTS AND MODEL RESULTS

Hegedüs Adrienn, Breuer Hajnalka, Fodor Zoltán, Seres András Tamás

Eötvös Loránd Tudományegyetem, H-8135, Dég, Dr. Haug Antal u. 3., adri04@caesar.elte.hu,
Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/A, bhajni@nimbus.elte.hu,
Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest, Kitaibel Pál u. 1., fodor.z@met.hu,
Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálat, H-1024 Bp., Szilágyi Erzsébet fasor 7-9., seres.andrastamas@upcmail.hu

Összefoglalás. A heves konvektív időjárási eseményeket kiváltó fizikai folyamatok mind térben, mind időben kis skálára korlátozódnak, ezért előrejelzésük nem könnyű feladat. A légköri konvekció intenzitásának számszerűsítésére az ún. instabilitási vagy labilitási indexeket szokás használni, melyek legfőbb előnye, hogy segítségével egyetlen számértékkel ellenőrizhető a hidrosztatikai instabilitás megléte, erőssége. Kutatásunk alapvető célja, hogy kiderítsük, a gyakorlatban mely labilitási indexek segíthetik leginkább a zivatarkezeléssel járó jelenségek lehető legpontosabb előrejelzését. Ezt radarmérések és modelleredmények összehasonlításával hajtjuk végre: a TITAN-módszer felhasználásával az egymást követő radarképeken detektálható zivatarok szabálytalan alakú alakzatait számunkra ismert tulajdonságú ellipszisekkel modellezzük, azaz Magyarország területére megvizsgáljuk a heves zivatarokat modellező ellipszisek, ún. zivatarellipszisek számát és erősségét, majd ezeket összevetjük a GFS időjárás-előrejelző modell adataival. A vizsgálat során csak azokat az eseteket vesszük figyelembe, amelyek legalább 20 km²-nyi területen minimum 45 és 50 dBZ-s radarreflektivitással rendelkeznek. A felsorolt kritériumoknak eleget tevő objektumokat heves és nagyon heves zivatarellipsziseknek nevezzük. A detektált zivatarellipszisek száma, illetve a labilitási energia függvényében hattagú osztályozási rendszert alkalmazunk, eredményeink megjelenítéséhez pedig dobozdiagramokat használunk. A vizsgálat a 2011–2013-as időszak zivataros féléveire (április-szeptember) vonatkozik. A kutatás során egyelőre összesen 52 instabilitáson, nedvességen és szélnyíráson alapuló változót elemzünk. Közülük a Lifted és a Best Lifted Index, a Thompson Index, a K-Index, a leglabilisabb kevert-rétegű konvektív hasznosítható potenciális energia, valamint a kihullható vízmennyiség és a specifikus nedvesség esetében elmondható, hogy a heves konvekció kialakulása, erőssége relatív szűk tartományokhoz köthető, ezért együttes alkalmazásuk és a szinoptikai háttérhelyzet kellő ismerete mellett segítségünk lehet annak eldöntésében, hogy kell-e egy adott területen intenzív konvektív esemény kialakulására számítani.

Abstract. Physical processes that cause severe convective meteorological events are limited both in space and time; therefore it is quite difficult to predict their appearance. To quantify the intensity of the atmospheric convection so-called stability or instability indices are commonly used. The main advantage of these indices is that it is possible to check the presence and strength of hydrostatic instability with only one numerical value. The aim of our examination is basically to analyze which instability indices may help to predict thunderstorm activity as accurately as possible. Our method compares radar measures and model results. Using TITAN method (Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting), the irregular-shaped thunderstorms detected by radars could be characterized by so-called thunderstorm ellipses with known parameters. The number and the intensity of these ellipses are examined in Hungary; our results are compared with data of GFS (Global Forecast System) weather forecast model. Our examination considered only those objects, which have pixels with minimum 45 or 50 dBZ radar reflectivity on an area of at least 20 km². Objects that fulfill these criteria are called severe and highly severe thunderstorm ellipses. Considering the number of the detected thunderstorm ellipses and the convective available potential energy six clusters are created and box whisker diagrams are applied for visualization. This investigation is carried out for only thunderstorm seasons (April to September) between 2011 and 2013. Altogether 52 variables based on instability, humidity and wind shear are analyzed. It is found that the values of some indices – such as Lifted and Best Lifted Index, Thompson Index, K-Index, the most unstable mixed-layer convective available potential energy, the precipitable water and specific humidity – are scattered in relatively narrow ranges. Therefore knowing the synoptic background, the combined application of these indices may predict the existence of severe convection in a given area.

Előzmények és célkitűzés. Az intenzív konvektív légköri képződmények gyakran állnak a figyelem középpontjában, ugyanis jellemző idő- és térbeli előfordulásukat tekintve kis skálán zajlanak, ezért előrejelzésük nem könnyű feladat, míg az általuk kiváltott másodlagos hatások a személyi- és vagyonszükség szempontjából veszélyekkel járhatnak: heves esőzések, erőteljes szélviharok, esetenként jégeső, vagy akár tornádók is kialakulhatnak. A közelmúltban Dalla Fontana (2008), Horváth *et al.* (2008), Énekes (2010), Kohlmann (2013), illetve Seres (2015) radarméréseken alapuló zivatarstatistikai, zivatarklimatológiai kutatásokat végeztek. A hazai munkákban többek között megállapították, hogy a legtöbb

heves konvektív objektum országunk délnyugati, illetve északi, északkeleti tájain fordult elő, továbbá a tér- és időbeli sajátosságok mellett a jelenségek szinoptikai hátterét is elemezték. Énekes (2010) munkájára a következő fejezetben térünk ki, míg Kohlmann (2013) megalkotott egy, mind a gyakorlatban, mind pedig a további kutatásokban jól használható esetleválogató programot, amely segítségével vizsgálhatók az egyes konvektív paraméterek szinoptikus klimatológiai tulajdonságai.

Kutatásunk közvetlen előzményének Énekes (2010) munkája tekinthető, amely a 2009-es év áprilistól szeptemberig terjedő időszakára elemezte a hazánk területén

detektálható, minimum 40 dBZ-s radarreflektivitással rendelkező zivatarokat. Jelenlegi kutatásunkban a vizsgált időszak hosszán túl a reflektivitás küszöbértékét is megnöveljük (45, 50 dBZ).

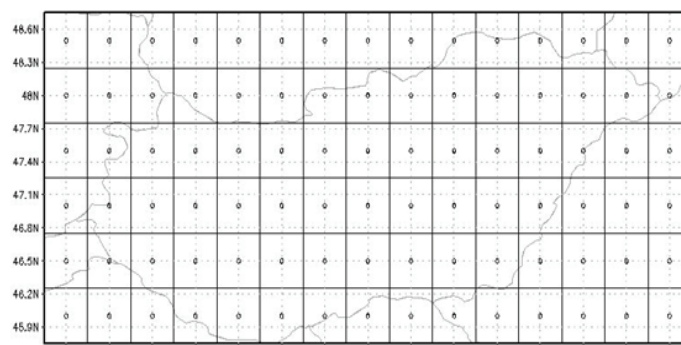
A magasabb küszöbérték segítségével célunk a fokozottan heves konvektív cellák azonosítása, illetve azok környezetének labilitási indexekkel és egyéb nedvességi, szélnyírási mennyiségekkel történő minél pontosabb jellemzése. Azoknál a vizsgált paramétereknél, amelyeknél a stabilis és a labilis esetek viszonylag jól elkülöníthetők egymástól, szeretnénk a lokális viszonyokhoz alkalmazkodó előrejelzési határértékeket megadni a heves konvekció kialakulásának lehetőségét illetően, kiválasztva ezzel a konvektív folyamatokat legpontosabban jellemző indexeket. Cikkünkben a kutatásunk legfontosabb eredményeit mutatjuk be.

Módszerek. Elemzéseinket a 2011-2013-as évek áprilistól szeptemberig terjedő időszakra végeztük el. Kutatásunk során az Országos Meteorológiai Szolgálat radarhálózatában található eszközök méréseit (Pogányvár, Nyíregyháza-Napkor, Budapest-Pestszentlőrinc), illetve a

a National Centers for Environmental Prediction (NCEP) fejlesztése alatt áll. A modell kezdeti verzióját, az MRF-et (Medium Range Forecast) Sela fejlesztette ki az 1980-as években. Ezt követően számos fejlesztésen ment keresztül, a kutatás során alkalmazott horizontális rácsfelbontás már 0,5 fok x 0,5 fok, amely a mi szélességünkön körülbelül 55 km-es rácsávolságot jelent. A modell 64 vertikális szintet különböztet meg, míg időbeli

felbontása két szakaszra osztható: a hat óránként futtatott modell az első részben (0–180 óra) 3 óránként, a másodikban (180–384 óra) 12 óránként szolgáltat információt a légkör várható állapotáról (NCEP, 2013). Előnye, hogy az eredmények szabadon és gyorsan hozzáférhetőek, továbbá a szinoptikus gyakorlatban ez az egyik leggyakrabban használt globális modell. A vizsgá-

gálathoz felhasznált GFS-adatok az amerikai NOMADS (National Operational Model Archive & Distribution System) szerveréről származnak (NOMADS, 2013). Elemzésünkhöz a numerikus modell 00, 06, 12 és 18 UTC-s analíziseit, illetve ezen időpontok első előrejelzési időlépcsőit (analízis + 3 óra: 03, 09, 15 és 21 UTC) használjuk fel, így kellő, 3 órás gyakoriságú adatsorral dolgozhatunk.



1. ábra: A vizsgált rácsálózat. "0" az adott rácsdoboz középpontját jelöli

I. táblázat: A vizsgált változók (paraméter: nyers modelleredmény, származtatott változó: a modelleredményből utólag számított mennyiség). A vastaggal kiemelt mennyiségekre vonatkozó eredményeinket mutatjuk be mindhárom vizsgált küszöbértékre.

Paraméter	Származtatott változók
CAPE - konvektív hasznosítható potenciális energia	TLR - hőmérsékleti gradiens / több szinten
MLMUCAPE - kevertrétegű potenciális energia	BII - Boyden Instability Index
CIN - konvektív gátlás	TT - Total Totals
MLMUCIN - kevertrétegű konvektív gátlás	KI - K-index
LI - emelési index	TI - Thompson index
BLI - Best Lifted Index	NI - nedvesség index
RH - relatív nedvesség / több szinten	SHR - szélnyírás / több magassági szint között
Kihullható vízmennyiség	BRN - Bulk-Richardson-szám
Specifikus nedvesség 2 m-en	MC - nedvesség konvergencia
	0 °C-os szint magassága
	Divergencia / több szinten

GFS időjárás-előrejelző modell adatait használtuk fel.

A felhasznált radaradatok. Kutatásunk során a három hazai radarberendezés által előállított egyedi CMax mérésekből származtatott országos kompozit radarképekkel dolgoztunk, melyeknek felbontása időben 15 perc, térben 2 km x 2 km.

A GFS modell adatai. Kutatásunk szerves részét képezik a GFS (Global Forecast System) adatai is. A GFS egy globális, hidrosztatikus időjárás-előrejelző modell, mely

Zivatarellipszisek előállítása. Elsőként egy ismert zivartardetektáló- és követő módszer segítségével előállítjuk a zivatarellipszisek területi eloszlásait a hazai radaradatokból az 1. ábrán látható rácsálózatra. Ezt egy matematikai-programozási eljárás alkalmazásával, a TITAN-nal (Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting) végezzük el (Dixon and Wiener, 1993). A program az egymást követő radarképeken megjelenő magas reflektivitású góccokat detektálja és követi. Amennyiben talál az általunk előre meghatározott terüle-

t_i (T_{limit}) és radarjel-erősségi (R_{limit}) küszöbértékeknek eleget tevő objektumot, akkor a detektált zivatar területét azonos tulajdonságú ellipszissel modellezi, miközben számolja az egyes rácsdobozokban megjelenő ellipszisközéppontokat is. Az eljárás segítségével megadhatók a

negyedórás időszakokra. A 15 perces zivatarellipszis számokat a korábban felsorolt modell kimeneti időponatokra összegezzük az adott modellidőpont plusz-mínusz másfél órás időtartamára. Erre a finomítási időeltolásra azért van szükség, hogy folyamatosan, a modellkimenet

2. táblázat: A vizsgálat során alkalmazott csoportosítási rendszer a zivatarellipszisek száma és a labilitási energia függvényében

Kategória neve	Kategória leírása	Esetszám		
		45 dBZ	50 dBZ	55 dBZ
0 (stabilis)	Stabilis helyzet ($MLMUCAPE = 0$ J/kg) és nincs jelen zivatarellipszis	264508	264702	264731
0 (labilis)	Labilis helyzet ($MLMUCAPE > 0$ J/kg) és nincs jelen zivatarellipszis	306567	311832	314095
1	1 db detektált zivatarellipszis	3113	1325	247
2-5	A detektált zivatarellipszisek száma 2 és 5 között van	3817	1178	146
6-10	A detektált zivatarellipszisek száma 6 és 10 között van	940	154	4
> 10	A detektált zivatarellipszisek száma több mint 10	279	33	1

3. táblázat: A vizsgált mérőszámokhoz tartozó (heves) konvekció mentes statisztikai határértékek

Változó	Nem valószínű heves konvekció		
	45 dBZ	50 dBZ	55 dBZ
LI [$^{\circ}C$]	> 4	> 3	> 3
BLI [$^{\circ}C$]	> 2	> 1	> 0
KI [$^{\circ}C$]	< 24	< 25	< 24
TI [$^{\circ}C$]	< 25	< 27	< 26
Kihullható vízmennyiség [mm]	< 20	< 21	< 23
Specifikus nedvesség [g/kg]	< 9	< 9	< 9
BII [$^{\circ}C$]	< 95	< 96	< 96
TT [$^{\circ}C$]	< 45	< 46	< 47

4. táblázat: Az egyes indexek esetén heves konvekciót nagy valószínűséggel eredményező küszöbértékek

Változó	Kialakulhat heves zivatar			Nagyobb számban is kialakulhatnak heves zivatarak	
	45 dBZ	50 dBZ	55 dBZ	45 dBZ	50 dBZ
LI [$^{\circ}C$]	≤ 0	≤ -1	$\leq -1,5$	≤ -1	≤ -2
BLI [$^{\circ}C$]	$\leq -0,5$	≤ -1	≤ -2	$\leq -1,5$	$\leq -2,5$
KI [$^{\circ}C$]	≥ 29	≥ 30	≥ 32	≥ 31	≥ 31
TI [$^{\circ}C$]	≥ 30	≥ 32	≥ 34	≥ 33	≥ 34
Kihullható vízmennyiség [mm]	≥ 26	≥ 27	≥ 28	≥ 29	≥ 29
Specifikus nedvesség [g/kg]	≥ 9	≥ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11

zivatarellipszis derékszögű-koordináta-rendszerben kifejezett középponti koordinátái, kis- és nagytengelyei, illetve a zivatar területét megadó pixelek darabszáma is (Horváth et al., 2008). Kutatásunkban a $T_{\text{limit}} = 5$ pixel ($=20 \text{ km}^2$), míg az $R_{\text{limit}} = 45$ és 50 dBZ . Azokat az objektumokat, amelyek eleget tesznek a fenti küszöbértékeknek, heves és nagyon heves zivatarellipsziseknek nevezzük.

A zivatarellipszisek számának és a GFS modell eredményeinek összevetése. Az ellipszis-detektáló programrendszer segítségével 15 perces felbontásban előállítjuk a zivatarellipszisek területi eloszlásait egy Magyarországot lefedő rácsmátrixra.

Ekkor megkapjuk az egyes, $55 \text{ km} \times 55 \text{ km}$ -es méretű rácsdobozokhoz tartozó ellipszis-középpontok számát a

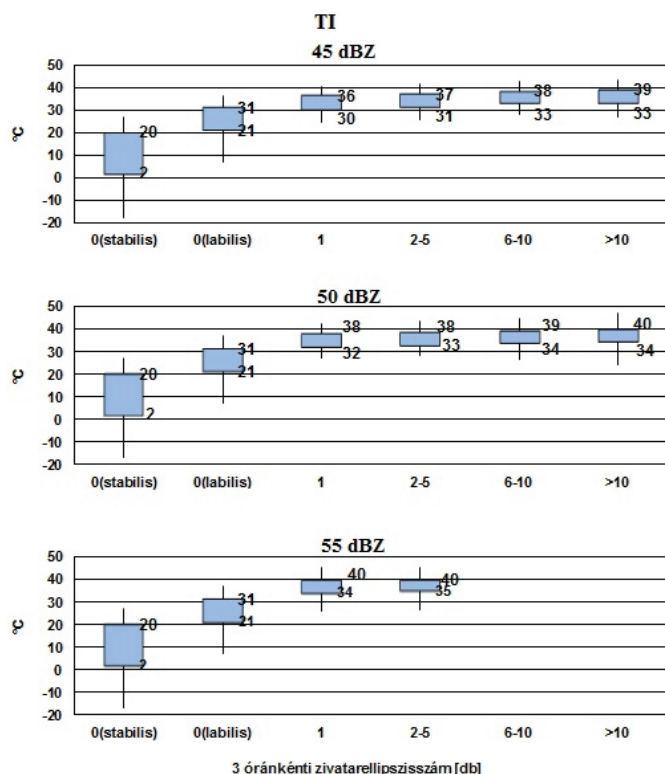
tekhez illeszkedve láthassuk a detektált zivatárokat modellező ellipszisek segítségével az objektumok keletkezési, áthelyezési és leépülési folyamatait. Az ellipszisközéppontok számaihoz az 1. táblázatban felsorolt modellváltozókat, és a segítségükkel számított egyéb általunk vizsgált paramétereket párosítjuk az adott 3 órás időszakokra.

A begyűjtött adatcsoportokat a labilitási energia és a konvektív aktivitás mértéke, azaz a detektált zivatarellipszisek száma alapján Énekes (2010) tipizálását követve különböző kategóriákba soroljuk (2. táblázat). Ha egyetlen ellipszis sem detektálható a vizsgált 3 órás időintervallumban, a leglabilisabb kevertretegű potenciális energia értéke alapján megkülönböztetünk stabilis, illetve labilis esetet.

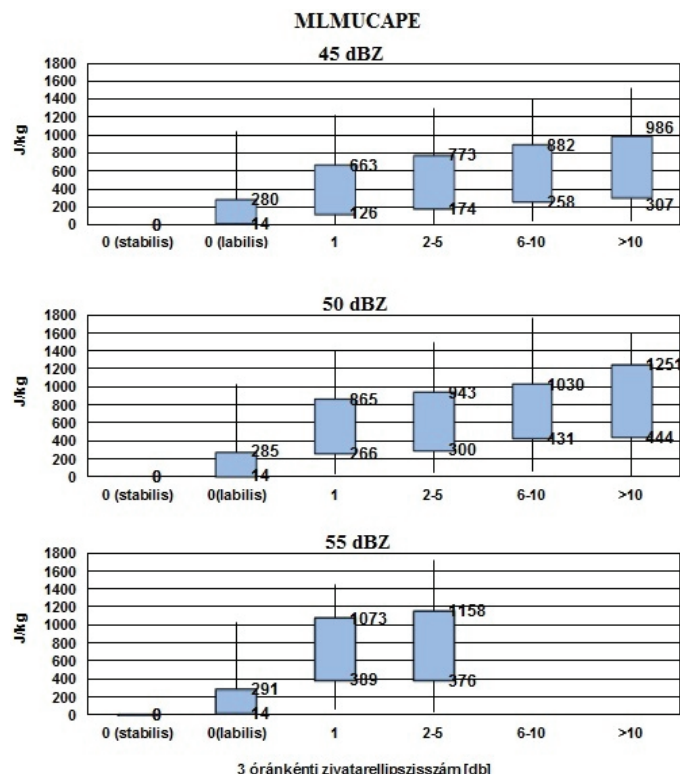
Végül a kapott eredményeket ún. *box-whisker* (box plot) vagy *dobozdiagramok* (Benjamini, 1988) segítségével szemléltetjük. A dobozdiagramok az adatsorok alábbi statisztikai jellemzőit mutatják: 95%-os, 75%-os, 25%-os és 5%-os percentilisértékek. A 25%-os és a 75%-os percentiliseket *alsó* és *felső kvartiliseknek* is szokás nevezni. Eredményeink megjelenítésének áttekinthetősége

érdekében az ábrákon csak a kvartilisek számértékeit tüntetjük fel, a 95%-os és 5%-os percentiliseket a különbségvonalak jelölik.

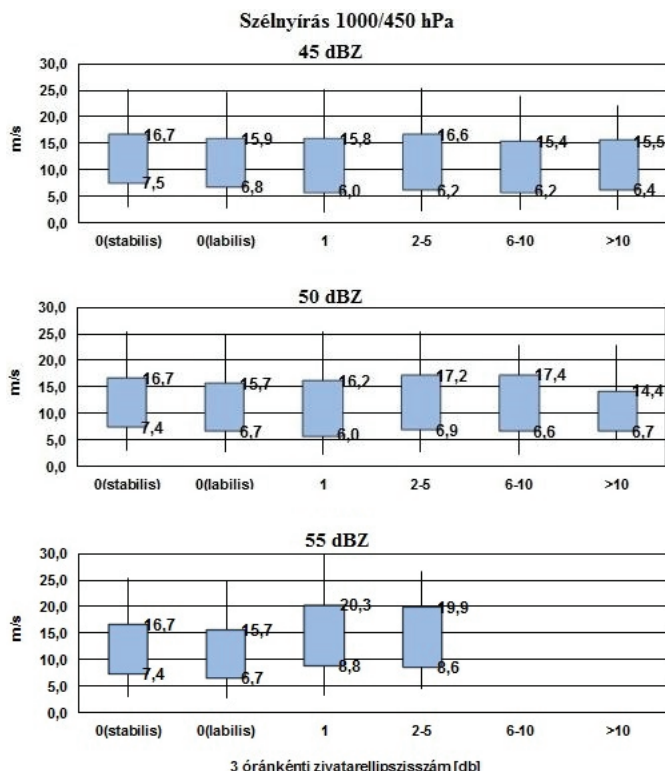
Eredmények. Ebben a fejezetben a három különböző reflektivitási küszöbértékre elvégzett vizsgálat során kapott eredményeinket mutatjuk be a 2011–2013 közti időszakra. Az egyes labilitási mérőszámokhoz tartozó do-



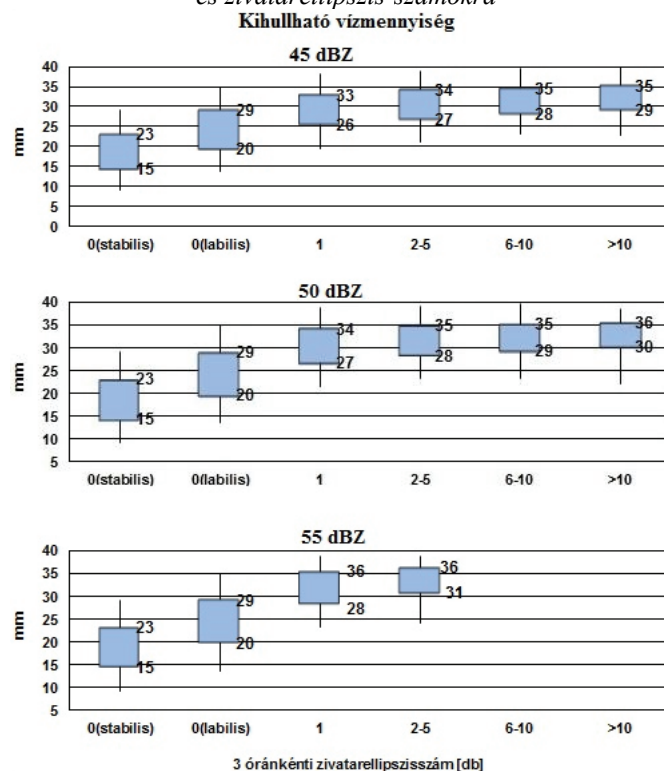
2. ábra: A Thompson Index eloszlása a különböző reflektivitási küszöbértékekre és zivatarellipszis-számokra



3. ábra: A kevertrétegű, leglabilisabb CAPE (MLMUCAPE) eloszlása a különböző reflektivitási küszöbértékekre és zivatarellipszis-számokra



4. ábra: Az 1000 és 450 hPa (0–6 km-es) szintek közötti szélnyírás eloszlása a különböző reflektivitási küszöbértékekre és zivatarellipszis-számokra



5. ábra: A kihullható vízmennyiség eloszlása a különböző reflektivitási küszöbértékekre és zivatarellipszis-számokra

bozdiagramok megjelenítése és elemzése mellett röviden a vizsgált változók meghatározási módját is ismertetjük.

Thompson Index (TI). A TI a különböző magassági szintek hőmérséklet és nedvességi viszonyait jellemző K-index (KI), illetve egy adott magasságban az emelkedő légréteg és a környezet hőmérséklet-különbségét szemléltető Best Lifted Index (BLI) különbségeként áll elő (Haklander and Van Delden, 2003). Mivel a BLI értéke konvekciót támogató környezetben negatív, ezért a TI meghatározásakor a K-indexből kivonva kapunk egyre nagyobb TI értéket, ahogyan a zivatarok kialakulásának esélye is növekszik.

Az 2. ábra alapján elmondható, hogy a 30 °C-ot meghaladó értékek esetén már gyakran kialakulnak a vizsgált reflektivitási és területi küszöbértékeknek eleget tevő zivatarellipszisek, amely jellemző minimumérték a radarjel-erősségével tovább emelkedik. A vizsgálat során kapott eredményeink nem térnek el jelentősen a közismert 28-29 °C körüli küszöbértékétől. Mindkét esetben látható, hogy a detektálható objektumok nélküli labilitás már 20 °C fölötti értékek esetén is jelentkezik. A zivatarellipsziseket tartalmazó kategóriák értékei viszonylag szűk tartományon belül helyezkednek el, a 33 °C-os küszöbérték meghaladása már nagy valószínűséggel eredményez több ellipszist. Elmondható továbbá, hogy a reflektivitás és a zivatarellipszisszám növekedésével az index alsó és felső percentilisértékei is növekednek, amely jól tükrözi a hevesebb zivatarok kialakulásához szükséges nagyobb mértékű légköri instabilitást.

Hozzáférhető konvektív potenciális energia (CAPE). A CAPE az az energiamennyiség, ami a felszínről induló légrétegben emelkedése során maximálisan felszabadulhat, azaz a termodinamikai diagramon az ún. „pozitív terület” nagysága. A hozzáférhető konvektív potenciális energiát gyakran *SBCAPE*-ként is jelölik, ami az angol „surface based” (talajalapú) kifejezésből ered. Egyéb származtatott változatai még a *MUCAPE* (legnagyobb hozzáférhető potenciális energia) és az *MLCAPE* (kevert rétegű potenciális energia) vagy ezek kombinációja, az *MLMUCAPE* (Markowski and Richardson, 2010). Tapasztalatok alapján célszerűbb a kevert típusú CAPE használata, hiszen ezt alkalmazva már nemcsak a felszíni adatokat vesszük figyelembe, hanem a légréteg 1600-1800 méteres magasságig terjedő hőmérsékleti és nedvességi viszonyait is. Az *MLMUCAPE* az eddig tárgyaltaknál még előnyösebb, ugyanis ekkor az alsó légrétegek különböző tartományaiból kevert és indított CAPE értékek közül a leglabilisabbat vesszük. A kevert típusú labilitási energiák, ellentétben a talajalapúval, megjelenítik az emelt (például éjszakai) konvekciót is, emiatt az elkülönítési osztályozásnál is az *MLMUCAPE*-et használjuk.

Ahogy a 3. ábrán is látható, az *MLMUCAPE* esetében a detektálható zivatarellipszis nélküli és zivatarellipsziseket tartalmazó kategóriák a reflektivitási küszöbérték emelkedésével egyre jobban elkülönülnek. Heves zivataroknál (45 dBZ) egyetlen észlelhető objektum esetében körülbelül 100–200 J/kg fölötti, míg több ellipszis kialakulásához minimum 200–300 J/kg-nyi energia szüksé-

ges, míg a nagyon heves zivatarok (50 dBZ) esetén 200–300 J/kg, illetve 400 J/kg feletti energia kell.

Különböző magassági szintek közötti vertikális szélnyírások. A szélnyírások a szélvektorok térbeli változásait szemléltetik. Az előrejelzési gyakorlatban egyidejűleg általában két szint szélviszonyait hasonlítjuk össze, leggyakrabban a 0-1 km (körülbelül 1000 és 900 hPa), a 0-2,5 km (körülbelül 1000 és 750 hPa), a 0-6 km (1000 és 450 hPa), illetve a 0-8 km (1000 és 350 hPa) szintek közötti szélnyírás kap figyelmet. Vizsgálatunkban a sebesség szerinti különbségeket elemezzük, de az előrejelzési térképeken szokás a szélnyírás vektorának irányát is megjeleníteni.

A 4. ábrán bemutatott, 0 és 6 km-es (1000/450 hPa) magassági szintek közötti szélnyírás dobozdiagramjain gyakorlatilag nincs érzékelhető elhatárolódás a stabilis, illetve a labilis kategóriák között. Elmondható, hogy az értékek széles skálán mozognak, így szűkebb tartományt nem tudunk megadni. Az eredményeket a tapasztalat is megerősíti, a túl erős szélnyírás többnyire rontja a heves konvekció esélyeit, kivéve, ha az rendkívül erős labilitással párosul, ez pedig Magyarország területén viszonylag ritkán fordul elő.

A bemutatott eredmények összegzése. Ahogy a korábban részletezett labilitási mérőszámok és egyéb változók dobozdiagramjain is látszik, nem minden vizsgált változóról mondható el, hogy segítségével megfelelő pontossággal jellemezhető a konvektív környezet, hiszen egyes indexeknél még a stabilis és labilis légköri állapotok sem különíthetők el élesen egymástól.

Néhány vizsgált instabilitási, szélnyírási, illetve nedvességi változót tekintve megadhatunk olyan küszöbértékeket, amelyek megjelenése esetén kis esély van heves konvektív esemény létrejöttére a légkörben. A 3. táblázatban összefoglalt adatok alapján látszik, hogy intenzívebb zivatarok létrejöttéhez erősebb légköri instabilitás szükséges. Például, ha az előrejelzendő időszakra nézve a BLI várható értéke magasabb, mint 2 °C, heves zivatar csak kis valószínűséggel fordulhat elő az adott területen, míg nagyon heves zivatar már 0 °C-os BLI érték fölött sem jellemző. Ha a modelladatok alapján a kihullható vízmennyiség értéke nem éri el a 20 mm-t, valamint a 2 méteres magasságban várható specifikus nedvesség a 8 g/kg-ot, akkor a légköri feltételek szintén nem kedveznek az intenzív konvektív jelenségek kialakulásának. A heves időjárási események kialakulásának eldöntésében segítségünkre lehet még a tanulmányban nem részletezett, de megvizsgált Total Totals Index és Boyden Instability Index értékeinek áttekintése is. A kihullható vízmennyiségre kapott eredményeink alapján is elmondható, hogy jól elkülöníthetők egymástól a stabilis és labilis, illetve a „nullás” és a „nem nullás” esetek (5. ábra). A fenti táblázatban összefoglalt értékeket az egyes indexekre vonatkozó 5%-os, vagy 95%-os percentilisek értékeinek vizsgálatával határoztuk meg attól függően, hogy az adott mennyiség magas vagy alacsony értéke segíti elő az intenzív konvektív folyamatok kialakulását.

A 3. táblázatban található nyolc index közül hat esetben szűkebb tartományok is kijelölhetők a heves konvekció lehetőségét, illetve intenzitását illetően, ugyanis ezeknél a változónál erősebb elkülönülést tapasztaltunk a vizsgált kategóriák percentilisértékei között. A különböző változókhoz tartozó küszöbértékeket a vizsgált, egymástól jól elkülönülő kategóriák 25%-os, illetve 75%-os percentilisek előforduló értékeinek segítségével határoztuk meg. A 4. táblázat második oszlopában azokat az értékeket jelenítettük meg radarjel-erősség szerint csoportosítva, amelynek elérése esetén nagy valószínűséggel számíthatunk kialakuló heves légköri eseményre. Az utolsó oszlopok azokat a küszöbértékeket tartalmazzák, amelyek az adott mennyiségekre vonatkozóan biztosítják az előrejelzőt arról, hogy várható több, akár nagyobb területet is lefedő intenzív zivatar. Például a Thompson Index esetében elmondható, ha értéke meghaladja a 30 °C-ot, a légköri feltételek kedvezőek heves zivatar kialakulásához, míg a 33 °C-nál magasabb érték nagyobb számú detektálható objektum megjelenését is jelezheti. A táblázatok segítségével összegzett eredmények így már könnyedén és azonnal alkalmazhatók a rövidtávú előrejelzések készítésénél, javítva azok pontosságát.

Összefoglalás, további célok. A heves konvekciót vizsgáló kutatásunk célja, hogy kiderítsük, mely labilitási mérőszámok alkalmazása javíthatja leginkább a zivataros helyzetben készülő előrejelzések pontosságát. A vizsgált változók a GFS időjárás-előrejelző modell amerikai szerveréről származnak. Az elemzéshez felhasználtuk még az Országos Meteorológiai Szolgálat radarhálózatában található berendezések méréseit is. A keletkező zivatarok radarképeken megjelenő, szabálytalan alakú alakzatait ugyanakkora területű ellipszisekkel modelleztük. A kutatás során csak azokat az objektumokat vettük figyelembe, amelyek eleget tettek az általunk előre meghatározott területi és radarjel-erősségi küszöbértékeknek, tehát legalább 20 km²-nyi területen minimum 45 vagy 50 dBZ-s reflektivitással rendelkeztek. A kigyűjtött adatcsoportok osztályozására hattagú rendszert alkalmaztunk, amelyben az egyes, vizsgált kategóriákat a detektálható zivatarellipszisek száma alapján különítettük el egymástól. Utolsó lépésként eredményeinket dobozdiagramok segítségével jelenítettük meg. Az elemzést Magyarország területére hajtottuk végre a 2011–2013-as évek zivataros féléveire.

A vizsgálat során összesen 52 labilitási indexet és egyéb paramétert elemeztünk, ezek közül néhányat be is mutatunk. Közülük a Thompson Indexet, az MLMUCAPE-et és a kihullható vízmennyiséget találtuk kifejezetten megbízhatónak a heves konvekcióval járó légköri események előrejelzéséhez. Találtunk azonban olyan változókat is, amelyeknél a zivatarellipszis-szám növekedése és az index értéke között nem volt olyan erős összefüggés, a tanulmányban erre jó példa a szélnyírás. A megfelelő pontosságú előrejelzés készítéséhez nem szabad azonban figyelmen kívül hagynunk a szélnyíráshoz hasonló eloszlású diagrammal rendelkező labilitási paraméterek értékeit sem, hiszen gyakran hordoznak fontos információt a konvektív környezet állapotáról. Ez különösen az intenzívebb zivatarok esetében fontos, ugyanis esetükben

gyengébb labilitás mellett is létrejöhet erőteljes konvekció a további konvektív paraméterek kedvező fennállása esetén. Ezért az előrejelzések készítésénél kiemelkedően fontos több változó várható értékének együttes szemlélete, valamint a szinoptikai háttérhelyzet kellő ismerete.

A vizsgálatban az 55 dBZ-s küszöbértékkel számolt (extrem heves) ellipsziseket is elemeztük, de azokat területi okokból részletesen nem értékeljük. Ennek ellenére a táblázatokban és az ábrákban feltüntetjük azon eseteket is, amelyeknél kellő számban találtunk ilyen ellipsziseket.

Jövőbeli terveink között szerepel esettanulmányok készítése, azt vizsgálva segítségükkel, hogy a labilitási, szélnyírási és nedvességi paraméterek mely kombinációja a legkedvezőbb a heves zivatarok kialakulásához. Ezeken túlmenően célszerű lenne még a felhasznált radarméréseket más előrejelző modellekben található adatokkal is összevetni a megfelelő időszakokra, összehasonlítva ezzel a modellek érzékenységet a konvektív folyamatokra. Ezeken felül további statisztikai módszerek alkalmazása is szükséges a heves konvekciónak kedvező tartományok pontosabb kijelöléséhez. A bemutatott eredmények azonnal alkalmazhatóak a mindennapi előrejelzések, repülésmeteorológiai prognózisok, illetve veszélyjelzések készítésénél, emellett hasznosak lehetnek a balatoni vízjárásnál is.

Irodalom

- Benjamini, Y., 1988: Opening the Box of a Boxplot. *The American Statistician* 42, 257–262
- Dalla Fontana, A., 2008: Tuning of a thunderstorm index for north-eastern Italy. *Meteorological Applic.* 15, 475–482
- Dixon, M. and Wiener, G., 1993: TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting- A Radar-based Methodology. *J. of Atmos. and Oc. T.* 10, 785–797
- Énekes, N. A., 2010: *Intenzív konvektív folyamatok környezetének vizsgálata modell analízisek alapján* (Diplomamunka). ELTE-TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest, pp. 57
- Haklander, A. J. and Van Delden, A., 2003: Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands. *Atmos. Res.* 67–68, 273–299.
- Horváth, Á., Ács, F., and Seres, A. T., 2008: Thunderstorm climatology analyses in Hungary using radar observations. *Időjárás* 112, 1–13
- Kohlmann, M., 2013: *Konvektív paraméterek vizsgálata modellanalízisek alapján* (Diplomamunka). ELTE-TTK Meteorológiai Tanszék, Budapest, pp. 86
- Markowski, P. and Richardson, Y., 2010: *Mesoscale meteorology in midlatitudes*. Wiley-Blackwell, pp. 430
- NCEP, 2013: *Az NCEP ismertetői a GFS modellről*. Világhálón közzétett írárok: <http://www.nomads.ncep.noaa.gov> [olvasva: 2013. október 1.]
- NOMADS, 2013: *Data Access, Hi-Res NCEP Model Datasets, GFS*. <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data/gfs4> [olvasva: 2013. október 01-15.]
- Seres, A. T., 2015: *Zivatarklimatológiai elemzések és a nagy csapadékhozamú, konvektív jelenségek, időszakok vizsgálata Magyarországon* (Doktori értekezés). ELTE-TTK, Földtudományi Doktori Iskola, Budapest, pp.115

CMAQ (TÖBBLÉPTÉKŰ KÖZÖSSÉGI LEVEGŐMINŐSÉGI) LÉGKÖRI TERJEDÉSI MODELL ADAPTÁLÁSA MAGYARORSZÁGRA

CMAQ (COMMUNITY MULTI-SCALE AIR QUALITY) ATMOSPHERIC DISTRIBUTION MODEL ADAPTATION TO REGION OF HUNGARY

Lázár Dóra¹, Bájhóber Eszter¹, Weidinger Tamás¹, Ferenczi Zita²

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, ldora1989@gmail.com, bajhobereszti@gmail.com, weidi@caesar.elte.hu ²Országos Meteorológiai Szolgálat, 1675 Budapest, Pf. 39., ferenczi.z@met.hu

Összefoglalás. Napjainkban fontossá vált a légköri szennyezőanyagok – az egészségre káros összetevők, mint például a szálló por, a különböző mérettartományú aeroszol részecskék, a nitrogénvegyületek, vagy az ózon – koncentrációjának mérése és előrejelzése. Az ELTE Meteorológiai Tanszéken több éve működik a WRF modell, amely alkalmas időjárás előrejelzési feladatokra, illetve bemenő adatokat szolgáltat különböző környezeti modellekhez (pl. DNDC). A CMAQ (Többléptékű Közösségi Levegőminőségű Modell – Community Multiscale Air Quality) regionális terjedési modell adaptálásával egy csatolt meteorológiai-levegőkörnyezeti modell kialakítást terveztünk. Ehhez alkalmazni kell különböző emissziós adatbázisokat, illetve a szennyezőanyag kezdeti eloszlását leíró háttérmodellt is. A CMAQ modellrendszer – operatív és kutatási céllal – többek között már Horvátországban és Bulgáriában is fut.

Abstract. Today, it became important to measure and predict concentration of the harmful atmospheric pollutants, such as dust aerosol particles of different size ranges, nitrogen compounds, and ozone. Department of Meteorological, Eötvös Loránd University has been applying the WRF model several years ago, which is suitable for weather forecasting tasks and provides input data for various environmental models (e.g. DNDC). By adapting the CMAQ (Community Multi-scale Air Quality) model we have designed a combined ambient air-meteorological model. In this research it is important to apply different emission databases and the background model describing the initial distribution of the pollutant. The CMAQ model system for operational and research purposes has been established in several countries (e.g. Croatia or Bulgaria).

Bevezetés. Manapság a terjedési modellek jelentősége egyre inkább növekszik, ugyanis a városi levegő szennyezettségének mértéke nemcsak természetvédelmi, de egészségügyi szempontból is fontos. Az egyes városokban kialakuló szmog például nemcsak a látási viszonyokat rontja, de az egészségre is káros. Ennek következtében a légszennyező anyagok koncentráció mérlegének mérése mellett annak előrejelzése is egyre inkább előtérbe kerül. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál kifejlesztett operatív működő levegőkörnyezeti rendszer Európában egyedülállónak tekinthető, mivel Budapest egész területére 1 órás felbontással 2 napra előrejelzi a főbb légszennyező anyagok koncentrációjának jövőbeli alakulását. Az 1. ábrán – példaként – az Országos Meteorológiai Szolgálat Budapestre való ózonkoncentráció előrejelzését láthatjuk $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben.

A levegőszennyezés modellezése egy numerikus eszköz arra, hogy leírjuk az ok-okozati összefüggéseket az emisszió, a meteorológia, a légköri koncentrációk, az ülepedés és más tényezők között. A levegőminőségi mérések fontos információt adnak a környezeti koncentrációról és az ülepedési folyamatokról, leírják a levegőminőséget adott helyen és időben, illetve útmutatást adnak a levegőminőségi problémák okaihoz. A levegőminőségi modellek olyan eszközök, amelyek számszerűsítik a kapcsolatot a kibocsátás és a koncentráció között. Az első ilyen számítási modell a Gauss-modell volt (Daly and Zanetti, 2007), melyet az 1960-as évektől használják hazánkban a légszennyezés kutatására (Szepesi, 1967). Az 1970-es években megállapították, hogy a túlzott SO_2 és NO_x kibocsátás a környezet savasodását okozhatja a forrástól távolabbi területeken is, valamint az urbanizálódott és iparosodott területeken további problémát jelent a felszín közeli ózon koncentrációjának megnövekedése (Daly and Zanetti, 2007). Később az Euler-féle és a Lag-

range-féle modellek kerültek előtérbe, majd az 1980-as években megjelentek az immissziós adatokat felhasználó városi közlekedési és települési terjedési modellek (Radnainé Gyöngyös, 2004). E terjedési modellek osztályozása is sokféleképpen történhet (Bozó et al., 2006, Daly and Zanetti, 2007). Beszélhetünk tér- és időbeli osztályozásról, de a számítási módszerben is van különbség.

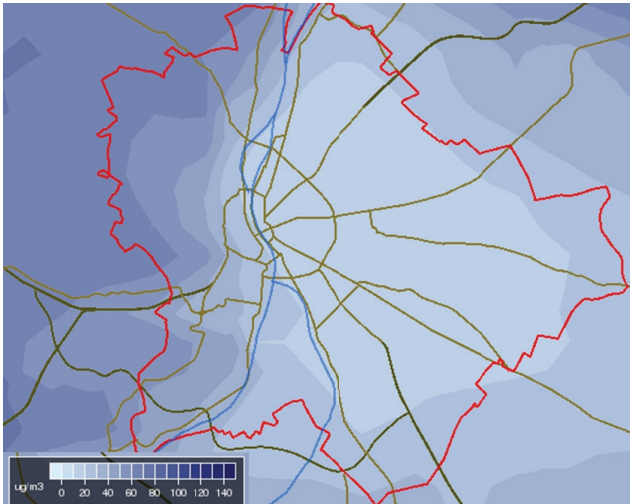
Az időjárás-előrejelző modellek és a légköri kémiai transzport modellek összekapcsolásával úgynevezett kémiai időjárás-előrejelző modelleket kapunk (Baklanov et al., 2010). A légkör kémiai összetételének rövid idejű változékonysága (kevesebb, mint 2 hét) szabja meg a kémiai időjárást. Magyarországon légszennyező anyagok hosszú- és középtávú terjedésének modellezését az 1990-es évektől a FLEXPART modellel végzik. Figyelembe veszi az advekciót, a diffúziót, a száraz és nedves ülepedést, a radioaktív bomlást, viszont a kémiai átalakulásokat nem tartalmazza. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál a modellt operatív célokra használják, és forward módban futtatják, vagyis a szennyezőanyagot szállítás útján kapjuk meg. A modellt használhatják ipari (pl. nukleáris) balesetek, vagy vulkánkitörések esetén, a levegőbe kerülő szennyezőanyagok terjedésének és eloszlásának az előrejelzésére is (Bájhóber, 2014).

A továbbiakban bemutatjuk a CMAQ légköri terjedési modellrendszer főbb elemeit, majd egy, az Egyesült Államokra vonatkozó, konkrét eset alapján megismertetjük a modell tulajdonságait és főbb paramétereit. Végezetül láthatjuk a Magyarországra való adaptálás főbb lépéseit és az emissziós adatbázist.

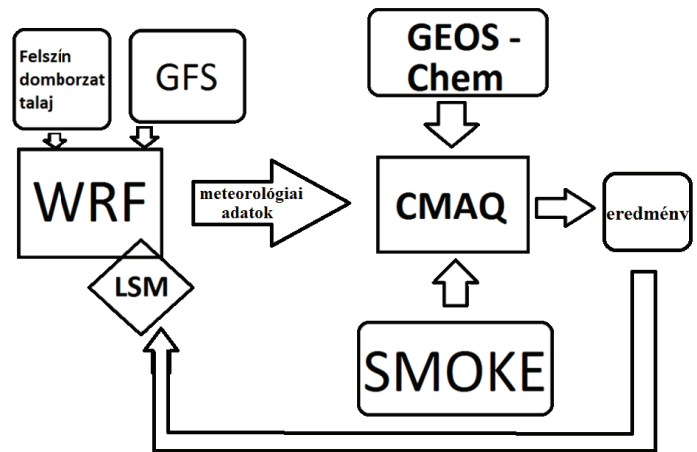
Légköri terjedési modellrendszer. Ahhoz, hogy az adott szennyezőanyag mennyiségét és annak mozgását előrejelezzük, szükségünk van különböző ismeretekre. Ilyen például az adott anyag természetes és mesterséges,

emberi kibocsátásának mennyiségi ismerete, vagy például az adott időpontban a légkör időjárásának alakulása és a légkörben lejátszódó kémiai reakciók ismerete. Ezek viszont nem egyszeri folyamatok, hanem folyamatosan változnak, így a pillanatnyi állapot figyelembevétele helyett e folyamatokat is előre kell jelezni. Tehát nem egy, hanem három modell kialakítása is szükséges. Az emissziós

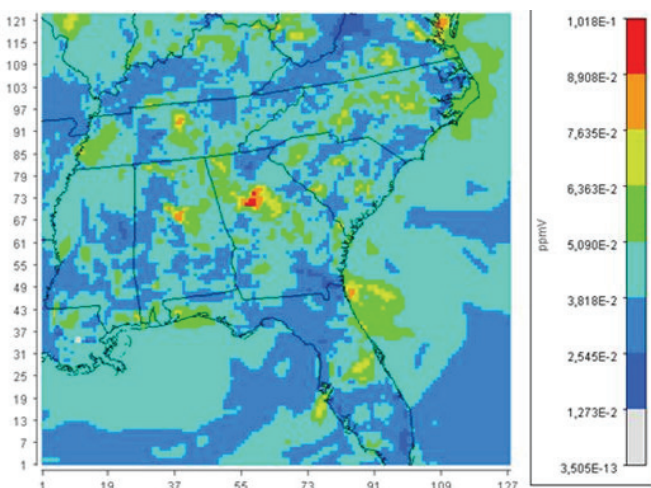
adatait ez a modell rendezi olyan formátumba, melyet könnyedén be tudunk olvasni. Erre azért is van szükség, mert az emissziós adatbázisok más-más formátumban és eltérő felbontásban vannak. A SMOKE az adott emissziós adatokat a CMAQ számára különböző kémiai mechanizmusokkal át tudja rendezni, és a különböző anyagokat tudja származtatni.



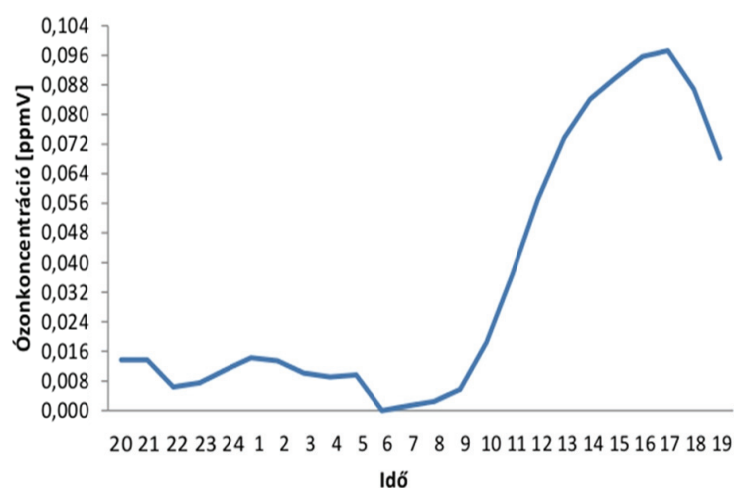
1. ábra: Ózonkoncentráció előrejelzés Budapestre 2014.10.30. 13 UTC-re (10.30. 00 UTC futtatás alapján; <http://www.met.hu/omsz/>)



2. ábra: WRF-SMOKE-CMAQ modellrendszer felépítési rajza



3. ábra: Ózonkoncentráció előrejelzés ppmV/négyzetrácsra normálva Florida térségére 2006. augusztus 8. 23 UTC-re



4. ábra: Ózonkoncentráció időbeli alakulása Atlanta városában 2006. augusztus 8-án

szíós adatok előrejelzéséhez a SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions = *Emissziós Kataszter Számító Modell*) modellt használjuk, míg az időjárási paramétereket a WRF (Weather Research and Forecasting = *Időjárás-kutató és Előrejelző*) modell biztosítja. A CMAQ modell ezeket az adatokat használja fel a légkörkémi reakciók futtatásához, így egy adott anyag előrejelzéséhez. Először az emissziós modell kerül bemutatásra, majd rátérünk az időjárási modell után a kémiai transzport modell ismertetésére.

Emissziós (SMOKE) modell. A SMOKE modell egy, az Amerikai Környezetvédelmi Ügynökség által kifejlesztett modell, ami nagy felbontású emissziós adatokat szolgáltat a kémiai transzport modelleknek. Ezért ez az egyik legelterjedtebb ilyen modell a világon. Esetünkben is főként azért használjuk, mert a CMAQ modell emissziós

A modell egyik nagy előnye, hogy nyílt forráskódú, így ingyenesen hozzáférhető és alakítható. Ez a WRF-hez hasonlóan egy regionális modell, tehát nem a Föld teljes területére számol, hanem meg lehet határozni egy adott kivágatot, jelentősen csökkentve a számolási időt. A modell nemcsak emissziós adatbázisok kiépítéséhez használható, hanem különböző emissziós vizsgálatokra is. Számos ország – például Horvátország és Bulgária – végzett különböző szennyezőanyagok emissziójával kapcsolatban vizsgálatokat, így ismerve meg a modell tulajdonságait.

A SMOKE modell az emissziós adatbázist kétfajta megközelítés felhasználásának segítségével állítja elő. Az antropogén forrásokból származó kibocsátást az ún. „top-down”, míg a természetes forrásokból eredő emissziót a „bottom-up” módszerrel határozza meg. A „top-down”

eljárás akkor alkalmazható, ha nem rendelkezünk létesítményekre (pl. erőmű) lebontott pontos kibocsátási adatokkal. Ilyenkor a nemzeti statisztikai adatokból lehet kiindulni, és ezeket az információkat oszthatjuk szét a létesítmények között egyéb információk (pl. erőmű mérete, típusa) felhasználásával egy adott szektor (pl. energetika) rácsponthi emissziójának a meghatározásához. A „bottom-up” megközelítés akkor alkalmazható, ha létesítményekre lebontva rendelkezünk pontos kibocsátási adatokkal. Ebben az esetben megfelelő emissziós faktorok használatával lehet szennyezőanyag és szektor specifikus emissziós adatbázist előállítani.

Természetesen az emissziós adatok előállításához a modellnek szüksége van különböző meteorológiai paraméterekre is. Ilyen a nedvesség, a hőmérséklet, vagy a szél, ugyanis például egy anyag nedves ülepedésének kiszámításához esetlegesen szükséges tudni a légkörben lévő nedvesség mennyiségét. Ezeket a paramétereket a WRF modellből származtatjuk. A következőkben áttérünk az időjárási paramétereket szolgáltató modell ismertetésére.

Időjárási (WRF) modell.

Mint ahogy a fenti alfejezetben említettük, mind a CMAQ, mind a SMOKE modellnek szüksége van bizonyos meteorológiai háttér ismeretre. E paraméterek kiszámításához a szintén nyílt forráskódú WRF (Weather Research and Forecasting) numerikus időjárás-előrejelző modellt használjuk, mely már több éve sikeresen fut operatíván az Országos Meteorológiai Szolgálatnál.

Ezt a modellt az NCAR (National Center for Atmospheric Research – Nemzeti Léggörkutató Központ) és az NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration – Amerikai Nemzeti Óceáni- és Meteorológiai Szolgálat), valamint több kutatóegyetem és -intézet fejleszti. Szerte a világon használják kutatási és oktatási célra egyaránt. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén is használják oktatási céllal különböző kurzusokon. Számos tudományos diákköri dolgozat is született e témában.

A modell két dinamikai felülettel rendelkezik, amiből mi az ARW (Advanced Research WRF) modellt választottuk. A másik a NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model), ami a nevéből is adódóan egy nemhidrosztatikus mezoskálájú modell. Az elsőt az NCAR, az utóbbit pedig a NOAA fejlesztette. Az ARW-nek 4 fő programegysége van: a WPS, ami a WRF előfeldolgozó rendszere; a WRF 3D VAR egy háromdimenziós variációs adatasszimilációt tesz lehetővé; az ARW megoldó szegmense; és a ne-

gyedik, az utófeldolgozó és grafikus megjelenítésért felelős programegysége (Wendl, 2009). A WRF előfeldolgozó rendszer definiálja a felhasználó által megadott horizontális modelltartományt (Nagy, 2010), amelyre interpolálja a felszíni adatokat (talajtípus, földhasználat típusa), illetve a más modellekből nyert meteorológiai adatokat, amelyeket a program interpolál horizontálisan a megadott területre, majd a folyamat során előállítja a kezdeti feltételeket (inputokat) a WRF modell számára. Ezután ezek az input adatok kerülnek be a WRF-ARW modellbe, ahol elvégzi az adatok vertikális interpolációját, majd elkészíti az előrejelzést.

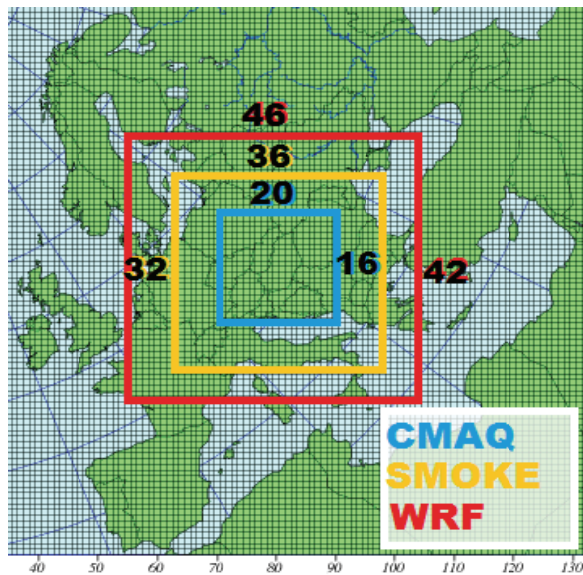
Terjedési (CMAQ) modell. Az almodell bemutatása után térjünk rá a modell bemutatására, a Community Multiscale Air Quality – Többléptékű Községi Levegőminőségű Modellre! A CMAQ modellt az amerikai EPA Atmoszféra Kutató Modellező osztálya fejlesztette ki.

Ez egy harmadik generációs, dinamikusan fejlődő, sokoldalú, szabadon hozzáférhető és fejleszthető modell. Szimulációkat készíthetünk vele az egész troposzférára a szálló porról (PM), az ózonnól, a levegőben lévő mérgező szennyezőanyagokról, a látótávolságról, a savas kimosódásról. Könnyen alkalmazható

kutatási, szabályozási és előrejelzési célokra is. A 3D-s Euler-típusú modell az egyes cellákban kiszámolja az anyagsűrűséget, majd ezt az információt „továbbadja” a szomszédos ráscelláknak. Képes különféle levegőminőségi szempontokat egyidejűleg kiszámolni eltérő térbeli skálákon (a kisebb területek modellezésétől akár az egész hemiszféra modellezéséig is kiterjedhet). Ezenkívül a látástávolság, a savas összetevők, valamint a kimosódással talajba kerülő egyéb anyagok ülepedésének becslésére is alkalmas, így kapcsolatot teremt a légkör, az emissziós források és a kémiai átalakulási folyamatok között.

A modell rendszerét 5 fő program egység (processzor) alkotja, amelyek a következők:

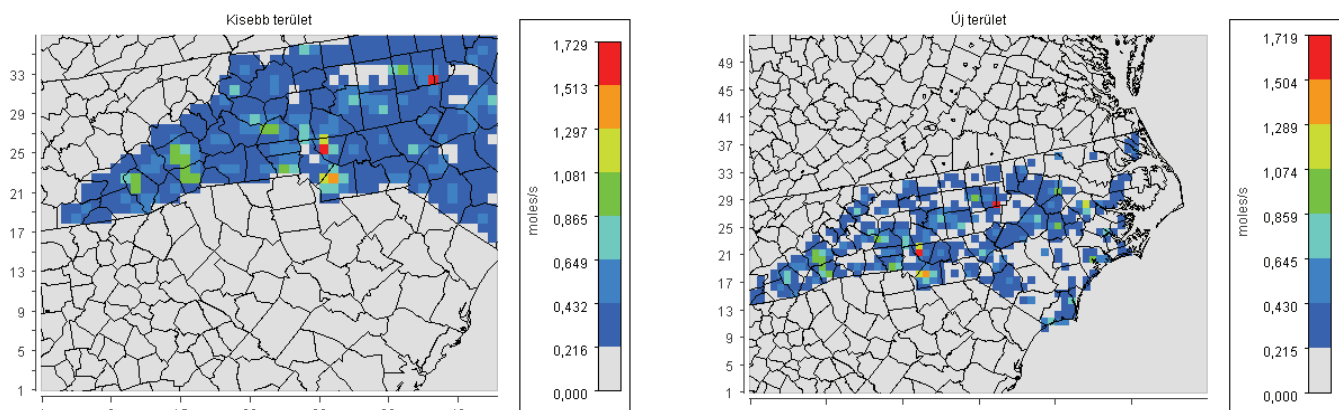
- (1) kezdeti feltételek meghatározása (ICON – The Initial Conditions Processor),
- (2) peremfeltételek meghatározása (BCON – The Boundary Conditions Processor),
- (3) tiszta égboltú fotolízis mértékének meghatározása (JPROC – The clear-sky photolysis rate calculator),
- (4) meteorológiai-kémiai határfelület programegység (MCIP – The Meteorology- Chemistry Interface Processor),
- (5) CMAQ kémiai transzport modell (CCTM – The CMAQ Chemistry-Transport Model).



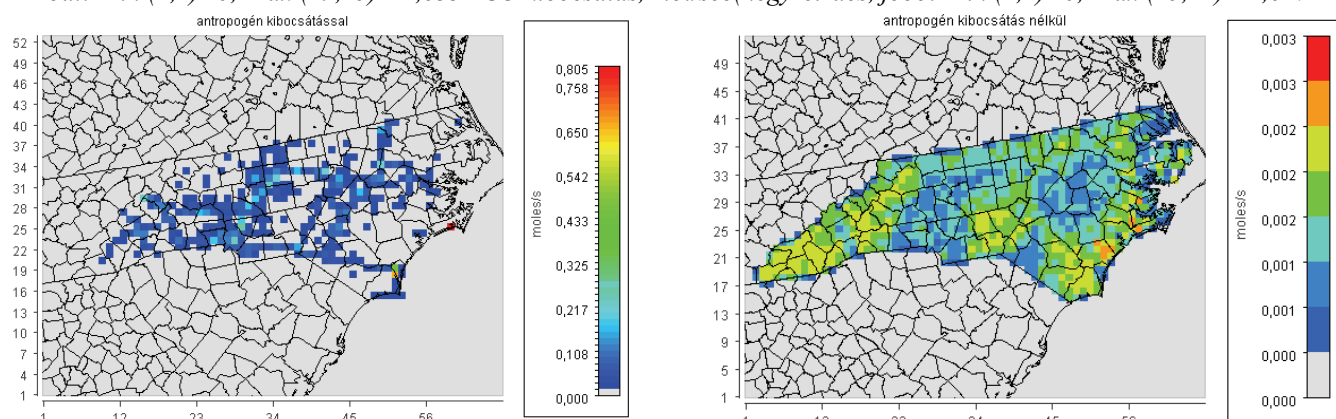
5. ábra: Az általunk definiált rácshálózatok egy hivatalos EMEP által készített térkép hálózaton

Az MCIP a meteorológiai adatokat dolgozza fel, míg az ICON és a BCON a kezdeti és peremértékek meghatározásáért felel, a JPROC pedig a tiszta égbolt esetén történő fotolízis mértékét számítja ki. Utoljára a CCTM fut le, ami előállítja többek között a szennyezőanyag koncent-

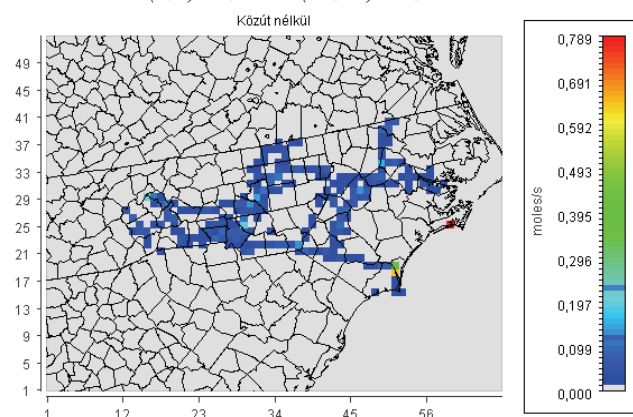
li interpolációja és a légköri szennyezők visszacsatolásának hiánya. Ezek kiküszöbölésére fejlesztették ki a kétirányú rendszereket. A kétirányú csatolt rendszer előnye például, hogy így a kémiai folyamatok modellezésével nemcsak a szennyezőanyag terjedési és mennyiségi elő-



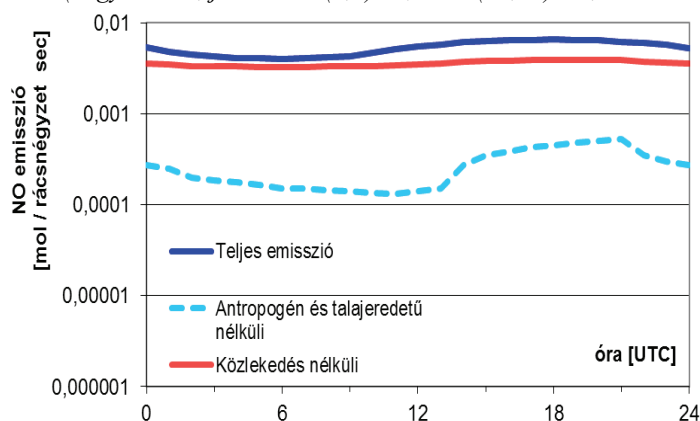
6. ábra: Terület definiálási vizsgálatok bal oldalon kisebb területre, jobb oldalon egy eltolt területre 2005. 07. 10. 20 UTC-re
bal: Min (1,1)=0; Max (29,25)= 1,633 CO kibocsátás, mol/sec(négyzetrács, jobb: Min (1,1)=0; Max (25,21)= 1,617



7. ábra: Az eredeti, teljes NO emisszió, antropogén kibocsátás és közlekedés nélküli kibocsátási értékek 2005.07.10. 17 UTC-re
bal: Min (1,1)=0; Max (59,25)= 0,805 NO kibocsátás, mol/sec(négyzetrács, jobb: Min (1,1)=0; Max (57,25)= 0,003



7. ábra: Eredeti, teljes NO emisszió kibocsátás, az antropogén kibocsátás és közlekedés nélküli kibocsátási értékek 2005.07.10. 17 UTC-re



8. ábra: NO koncentráció időbeli alakulása különböző kibocsátáskor 2005. július 10.-én

rációjának becsült értékét, a nedves és a száraz ülepedés mértékét, és a láthatósági viszonyokat.

A három modell összekapcsolása. Végezetül ezen három modell kapcsolatát összegezzük, amit a 2. ábra szemléltet. Láthatjuk, hogy itt nemcsak egy egyirányú csatolt rendszer lehetséges, hanem két irányú csatolás is megvalósítható. Az egyirányú csatolt rendszerekre jellemző a mentett meteorológiai input adatok túlzott időbe-

rejelzését valószínűsíti meg, hanem megfigyelhetjük ezen anyagok időjárásban való szerepét és jelentőségét is. Például: mennyire változik meg egy konvekciós helyzet előrejelzése, ha az időjárási modellbe nem a származtatott mennyiségeket, hanem a terjedés-emissziós modell eredményeit (aeroszol koncentráció) építjük be. De például úgy is be tudjuk állítani a WRF és a CMAQ modellt, hogy egyensúly legyen a szimuláció pontossága és a rendszer számítási ideje között, valamint a kétirányú

csatolt rendszernek köszönhetően tanulmányozhatjuk a gázok és aeroszolkok visszacsatolásait a meteorológiai folyamatokra, a rövidhullámú sugárzáson keresztül. A kétirányú modellek sugárzási visszacsatolásainak köszönhetően észrevehetően csökken az eltérés a szimuláció során a felszíni rövidhullámú sugárzás és a 2 m-es felszíni hőmérséklet kapcsolata között, és szintén javul az ózon és PM_{2.5} viszonylagos és mért mennyisége közötti kapcsolat a tesztek alapján.

Modellrendszer megismerése egy konkrét eseten keresztül. A következő fejezetben a modell megismeréséhez szükséges test futtatás eredményeit szemléltetjük. Az ELTE Atlasz számítógépén reprodukáltuk az Egyesült Államokra vonatkozó futtatásokat. A tesztfuttatás 2006. augusztus 8-i adatokkal számol a floridai kivágratra. Megnéztük a szén-monoxid (CO), nitrogén-dioxid (NO₂) és az ózon (O₃) adatok alakulását (3. ábra). A térképekből jól láthatóan kirajzolódik egy nagyobb kibocsájtási forrás, amelyről a koordináta adatokból kiderült, hogy Atlanta városát jelenti. A városra vonatkozó ózon előrejelzést a 4. ábra szemlélteti. Jól megfigyelhető, hogy az ózonkoncentráció jelentősen növekszik a délután folyamán, és 16–17 óra között csúcsosodik ki.

Emissziós adatbázis. Ahhoz, hogy a fenti egyesített modellt Magyarország és a Kárpát-medence területére alkalmazzassuk, saját emissziós adatbázist kell kiépítenünk. Ehhez az EMEP (Európai Megfigyelési és Értékelési Program) adatbázisát használjuk. Az EMEP egy európai szervezet, melynek célja az európai levegőszennyezettség vizsgálata. A szervezet több, feladat specifikus központtal működik. A központok egyikének (CEIP-Centre on Emission Inventories and Projections) feladata a nemzeti emisszió bevallások begyűjtése, majd ezen információk alapján rácsponti emissziós adatbázis kidolgozása Európára. Jelenleg elérhető rácsponti adatbázis a központ honlapjáról (www.ceip.at) ingyenesen letölthető és 50 x 50 km térbeli felbontású. Komoly fejlesztő munka és nemzetközi összefogás eredményeként néhány éven belül várható az adatbázis térbeli felbontásának jelentős javulása (kb. 10x10km).

A következő ábrán egy térképmetszetet láthatunk, melyben feltüntettük a futtatáshoz szükséges rácshálózat nagyságát. Az adatok különböző felbontáson is elérhetőek egészen 2012-ig, mi az 50 x 50 km-es rácshálózatot választottuk. Az 5. ábrán megfigyelhető, hogy a WRF modellnek egy 46 x 42-es, a SMOKE modellnek egy 36 x 32-es és a CMAQ modellnek egy 20 x 16-os rácshálózatot definiáltunk, melyben a magyarországi terület mellett a Kárpát-medence teljes területét próbáltuk elhelyezni, remélve, hogy így a Magyarországot befolyásoló külföldi emissziókat is belefoglaljuk.

Az adatok rendszerezéséhez tudni kell a SMOKE modellben használt mennyiségek dimenzióit, a modellben definiált egyéb értékeket és a rendszer viselkedését a

bemenő adatok megváltoztatásakor. Vizsgálatunk során megnéztük az amerikai teszt-adatsorban a terület definiálásának módját (6. ábra) és hogy a különböző anyagok különböző forrásainak kivonása hogyan befolyásolja az adatok területi és időbeli alakulásait. A terület definiálásakor meghatároztunk egy kisebb és egy eltolt területet. Az anyagvizsgálatkor a NO antropogén forrásokkal és antropogén források nélkül, majd a közlekedésből származó forrásokkal végeztünk vizsgálatot. A 7. ábrán láthatóak e terület kibocsájtási adatai, melyekből megfigyelhető, hogy a mol/sec/négyzetrácsra számolt kibocsájtási értékek az antropogén NO kibocsájtás nélkül lényegesen csökkentek az egész területen. Ha a közlekedést nézzük, megfigyelhető, hogy a skála értéke csökkent, és egy rácsponton a kibocsájtás csökkent, vagy ezen definiált skálán 0 körüli. Ha ezt az egész területre átlagolt értéket egy időskálán (8. ábra) nézzük, láthatjuk, hogy a közlekedés nélküli értékek a teljes emisszió és az antropogén források között, az előbbihez közelebb helyezkednek el.

Összefoglalás. Láthattuk, hogy a légköri terjedési modell rendszerek számos új lehetőséget nyújtanak számunkra az előrejelzések terén; a szennyezettiségek kimutatásával nem csupán egészségügyi szempontból nyerünk fontos adalékokat, de általuk a légkörben zajló folyamatokat is jobban megismerhetjük. Jövőbeli kutatásaink szerves részét képezi a Magyarországra vonatkozó emissziós adatbázis elkészítése, melynek segítségével a modellek egyesítéséből származó tudásanyagot alkalmazni és kamatoztatni tudjuk.

Irodalom

- Baklanov, A., 2010: Chemical weather forecasting: a new concept of integrated modeling, *Advances in Science and Research* 4, 23–26.
- Baklanov, A., Mahura, A. and Sokhi, R., 2010: Integrated systems of meso-meteorological and chemical transport models, Springer, 190 p., ISBN 978-3-642-13979-6, 9-10.
- Bozó, L., Mészáros, E. és Molnár, Á., 2006: Levegőkörnyezet modellezés és megfigyelés, Akadémia Kiadó, 75., 81., 84-85., 91. 92., 127.
- Daly, A. and Zannetti, P., 2007: Air Pollution Modeling – An Overview. Chapter 2 of ambient air pollution, The Arab School for Science and Technology (ASST) and The EnviroComp Institute, 15–28.
- Nagy, A., 2010: A WRF-modell alkalmazása mezo-gamma skálájú folyamatok modellezésére, MSc diplomamunka, ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest (témavezetők: Horváth Ákos, Ács Ferenc), 10–11.
- Radnainé Gyöngyös, Zs., 2004: Levegőtisztaság-védelem, Pécsi Tudományegyetem, 79–81.
- Szepesi, D., 1967: Légszennyező anyagok turbulens diffúziójának meteorológiai feltételei Magyarországon, Országos Meteorológiai Intézet Hivatalos Kiadványai XXXII. kötet, 8.
- Wendl, B., 2009: A WRF modell működése az ELTE Meteorológiai Tanszék számítógépes rendszerében. Szélprofil becslések. Diplomamunka, ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest (témavezető: Gyöngyösi András Zénó), 11–13.

NAPFÉNYTARTAM GLOBÁLSUGÁRZÁSI ADATOKBÓL TÖRTÉNŐ SZÁMÍTÁSÁNAK MÓDSZERTANA

METHODOLOGY OF SUNSHINE DURATION CALCULATION FROM GLOBAL RADIATION DATA

Nagy Zoltán

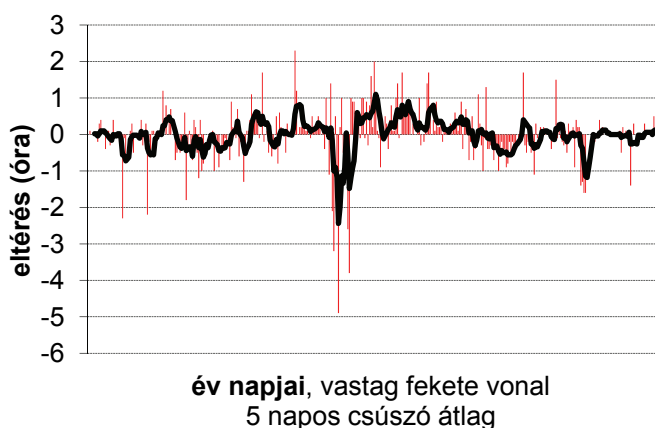
Országos Meteorológiai Szolgálat, Marczell György Főobszervatórium, 1675 Budapest Pf. 39., nagy.z@met.hu

Összefoglalás. A hagyományos, emberi észleléssel végzett mérések egyre inkább visszaszorulnak, helyükbe szinte minden területen az automata mérések lépnek. A magyar szolgálat a hagyományos napfénytartam méréseket 2013. április 1-i dátummal megszüntette. Ezzel kapcsolatban felmerült az a kérdés, hogy az automatikus sugárzási mérésekből előállítható, s milyen pontossággal a napsütés órák száma, azaz a napfénytartam. Az írás erre a kérdésre ad választ, bemutatva a leginkább használható számítási eljárást is.

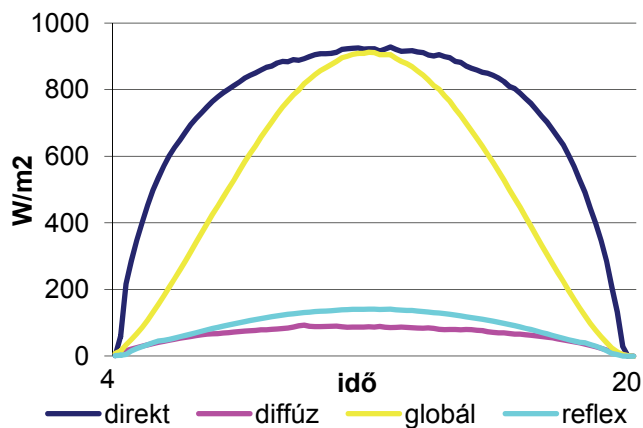
Abstract. The traditional measurements made by observers are continually forced back. They are replaced by the automatic measurements on almost all areas. Hungarian Meteorological Service brought the traditional sunlight duration measurements to an end with the date 1 April 2013. The question is if the number of sunny hours, the sunshine duration can be calculated from automatic measurements of solar radiation, and with what kind of accuracy. This paper gives an answer to this question, granting the computational procedure which mostly can be applied.

Bevezetés. Napjainkban a változó körülmények folyamatos kihívásokkal szembesítik az Országos Meteorológiai Szolgálatot, ezen belül a felszíni és távérzékelési mérő és megfigyelő rendszereket üzemeltető Megfigyelési Főosztályt. A változó körülményeket alapvetően a technikai fejlődés, a szakmai és a felhasználói igények követése,

fénytartam a napsugárzás mennyiségi jellemzésére nem igazán alkalmas. A napsugárzási viszonyok mennyiségi jellemzésére egyértelműen az Országos Meteorológiai Szolgálat felszíni automata mérőhálózatának 40 mérőállomásán működő globálsugárzás mérők jelentik a megoldást.



1. ábra: A hagyományosan mért és a direkt sugárzásból számított napfénytartam különbsége, Budapest 2011



2. ábra. A rövidhullámú sugárzási paraméterek napi menete egy derült nyári napon (2012.06.16.)

másrészt a személyi állományban történt változások jelentik, melyek időről-időre szükségessé teszik a rendelkezésre álló humán erőforrásoknak a kor kihívásaihoz igazodó átszervezését.

A Megfigyelési Főosztályon ezen alapvető indok alapján került napirendre a rendelkezésre álló erőforrások átszervezése, melyhez kapcsolódóan egyre inkább csökken a korábbi, hagyományos megfigyelések, mérések szerepe és növekszik az intenzív felszíni és távérzékelési mérőrendszerek működtetésének a súlya. Az említett átszervezés érintette a hagyományos napfénytartam mérések szerepének és fontosságának felülvizsgálatát, melynek eredményeképpen az Országos Meteorológiai Szolgálatnál végzett hagyományos napfénytartam mérések 2013. április 1-i dátummal megszüntetésre kerültek.

A napfénytartam mérések esetében, az erőforrások átszervezésének szükségességén túl, mindenképpen hangsúlyozni szeretnénk, hogy szakmai szempontból a napfénytartam adatok információ tartalma a jelen kor elvárásainak csupán korlátozott módon felel meg, mivel a nap-

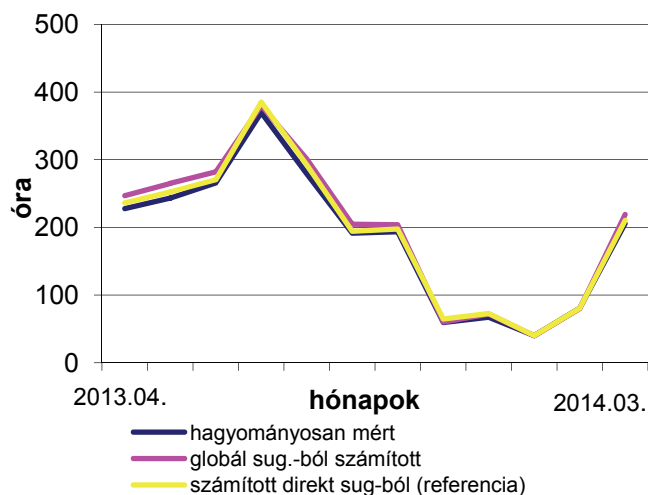
Ugyanakkor szembesültünk azzal a felhasználói oldalról jelentkező erőteljes igénnyel, amely továbbra is igényli a korábbi napfénytartam adatokat, így a felhasználói illetve a Szolgálat szempontjainak összeegyeztetése érdekében a napfénytartam adatok a jövőben továbbra is elérhetők, de azokat már nem a hagyományos Campbell-Stokes napfénytartam mérők méréseiből, hanem az OMSZ globálsugárzási mérőhálózatából kerülnek meghatározásra.

A napfénytartam új alapokon történő meghatározását egy módszertani megalapozó vizsgálat előzte meg, amelyben az összes olyan szinoptikus főállomás 2009-2011 közötti 3 évi mérési adatait felhasználtuk, ahol hagyományos illetve globálsugárzás mérések egyaránt rendelkezésre álltak. A kidolgozott összefüggések biztosítják, hogy a globálsugárzás mérésekből számított napfénytartam adatok továbbra is kielégítsék a megrendelők által támasztott elvárásokat.

Az említett 2013. április 1-i határidővel első lépésként a napfénytartam adatok elérhetősége azon állomásokon lesz folyamatos, ahol korábban hagyományos módon

folytak a mérések, ám a jövőben tekintettel az esetlegesen jelentkező felhasználói igényekre, lehetőség nyílt az összes globálsugárzási mérőállomásra a napfénytartam adatok számítás alapján történő meghatározására.

A napfénytartam közismert definíciója szerint, napfényről beszélünk, ha a direkt sugárzás áramsűrűsége nagyobb, mint 120 W/m^2 . A hagyományos Campbell-



3. ábra: A napfénytartam havi összegei Budapest 2013.04-2014.03.

Stokes napfénytartam mérő üveggömbjének koncentráló képessége illetve az alkalmazott regisztráló papír minősége e küszöbérték regisztrálásának próbál megfelelni. Mivel operatív módon folyó direktsugárzás mérések az OMSZ-nál csak az utóbbi időben indultak el, így a hagyományos napfénytartam mérések megbízhatóságának vizsgálatára csak napjainkban kerülhetett sor. A budapesti 2011. év hagyományos és pirheliometrikus úton (direkt napsugárzás mérésekből) meghatározott napi napfénytartam adatok összehasonlítását az 1. ábrán láthatjuk. Az ábráról leolvasható, hogy a vizsgált egyévi időtartam alatt a téli és az átmeneti időszakban a hagyományos napfénytartam mérések alul, míg a nyári időszakban inkább felülbecslik a valóságos értékeket.

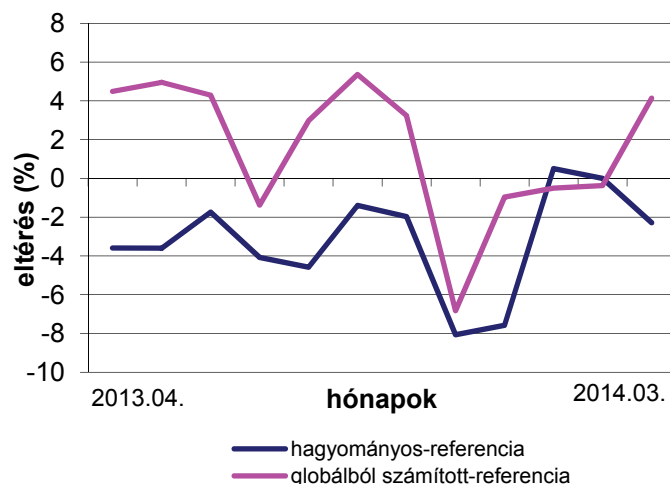
A módszer kiindulási összefüggése: A napfénytartam globálsugárzásból történő számításának az alapkérdése egy megfelelő, logikailag is magyarázható összefüggés felállítása, amely első lépésben alapvetően a direkt sugárzás nagyságára próbál becslést adni.

Ismert, hogy az OMSZ operatív mérőhálózatában a globálsugárzás mérések a vízszintes felszínre érvényesek, vagyis a mérőeszközök a direkt sugárzás vízszintes felszínre normált illetve a féltér minden irányából érkező szórt sugárzás összegét mérik. A két komponens egymáshoz való viszonya alapvetően a felhőzet és a légkör „tisztaságának” a függvénye. Derült, tiszta időben a globálsugárzás döntő, esetenként több mint 90%-a, a direkt sugárzásból származik (2. ábra).

Ugyanakkor a szennyezőanyagok és vízgőz mennyiségének növekedésekor illetve a felhőzet megjelenésével a szórt komponens egyre meghatározóbbá válik. Felhővel borított égbolt esetén a direkt komponens értéke nulla lesz és a globálsugárzás forrása kizárólag a szórt sugárzás. A diffúz sugárzási komponens nagyságára vonatko-

zóan sajnos csak igen korlátozott mérési adattal rendelkezünk, mérése csupán Budapesten folyik, ezért a szórt sugárzás becslésére egy segéd paramétert, az ún. relatív globálsugárzást használjuk.

A relatív globálsugárzás (a továbbiakban relatív globál), nem más, mint egy adott aktuális időpontban mért és az adott időponthoz tartozó maximálisan lehetséges



4. ábra: A napfénytartam havi összegeinek eltérései a direkt sugárzásból származtatott referencia értéktől, Budapest 2013.04-2014.03.

globálsugárzás hányadosa. A szakirodalomban legtöbbször maximálisan lehetséges értékek a csillagászatilag lehetséges globálsugárzást adják meg, ami a napállandó 1367 W/m^2 és napmagasság szinuszának a szorzata. Ebben az esetben természetesen a Föld légkörében történő gyengüléssel nem számolnak, ez csupán a valós állapot közelítése.

Esetünkben a maximálisan lehetséges értékeket valódi mérésekből, tehát reális körülményekre számítottuk ki, mégpedig úgy, hogy Budapest közel 30 évi mérési adatsorából, az év minden egyes triádjára (három napos periódusok), minden egyes órájára illetve 10 percre kiválasztottuk a 30 év során mért legmagasabb értéket, majd ezen értékeket polinommal simítottuk. Tehát a január 1-3 időszakban minden egyes órára a $3 \times 30 = 90$ mérési adatból kiválasztottuk a maximális értéket, majd az eljárást folytattuk az év további triádjaira.

A mostani eljárásunk során az egyszerűség kedvéért egy adott triád összes 3 napjára ugyanazt a normáló értéksort használjuk. A tízperces értékeket a napi órás értékek interpolálásával képeztük. Az eljárás eredménye egy 122×96 elemű mátrix, melynek 1 sora tartalmazza a január 1-3 közötti időszak 96 tízpercéhez tartozó maximálisan lehetséges globálsugárzás értéket. Mivel Magyarországon valódi szoláris időben nyári napforduló idején a mérhető sugárzás reggel 4-től este 8 óráig terjedő időszakra korlátozódik, ezért a mátrix első 10 perce a 4:00-4:10-ig tartó intervallum, az utolsó 96. pedig a 19:50-20:00 tartó 10 perces intervallum, ami 96 darab 10 perces intervallumot jelent. A mátrix elemeinek időpontjai szoláris időben értendőek, tehát a relatív globál képzésekor a mért adatsort az időegyenlítés függvényében korrigálni szükséges.

E tényekből kiindulva alapösszefüggésünk:

$$\text{DIR} \sim \text{GB} / \sin(h) - (1 - \text{RGB}) * \text{GB} / \sin(h) = \text{RGB} * \text{GB} / \sin(h)$$

ahol DIR: direktsugárzás; GB: globálsugárzás; h: napmagasság; RGB: relatív globálsugárzás.

A összefüggésből kiolvasható, hogy derült időben a relatív globál közel 1, a globálsugárzást gyakorlatilag a direkt komponens adja, melyet a $\text{GB} / \sin(h)$ normál direktté transzformál (ez a valódi, pirheliométerrel mérhető direkt sugárzás). Ahogy a relatív globál csökken, úgy válik felhősebbé, „piszkosabbá” a légkör és ezzel párhuzamosan a direkt is csökken. Természetesen a formula csupán közelítés, mivel a direkt sugárzás és a relatív globál kapcsolata az előző lineáris megközelítésnél jóval bonyolultabb, de számos próbálkozás után sem találtunk a céljainknak jobban megfelelő összefüggést, mint a fenti.

Az összefüggést a módszer kidolgozásnak első fázisában alapvetően a fenti paraméter és a napfénytartam között, pontosabban ezek napi összegei között kerestük. Napfénytartam esetében a napi összeg egyértelmű, a $\text{RGB} * \text{GB} / \sin(h)$ esetében pedig egy adott nap minden 10 perces globál adatára képeztük az említett paramétert és azt egy napra összegeztük. A függő (napfény) és a független ($\text{RGB} * \text{GB} / \sin(h)$) változó értékének több nagyságrenddel eltérő értéke miatt a napi összeg esetében a $0.0001 * \Sigma (\text{RGB} * \text{GB} / \sin(h))$ értéket használtuk.

A módszer gyakorlatban történő bevezetését követően azzal a ténnyel szembesültünk, hogy a számított napfény esetenként számottevően felülbecsüli a valós értéket, így szükséges volt a módszer módosítására.

A napfénytartam napi összegére vonatkozó becslési eljárás módosítása. A meteorológia korábbi, hagyományos mérésekre épülő időszakában a kihívás a jelenlegi feladatunkkal fordított irányú volt, vagyis a napfénytartam adatokból számítottunk globálsugárzást. Erre a legaltalanosabban használatos eljárás az ún. Angström-formula alkalmazása volt, amely a relatív globálsugárzás és a relatív napfénytartam közötti lineáris összefüggés alkalmazását jelentette. Ahogy láttuk, esetünkben a számítás iránya fordított, ám a módszerünk módosításánál követtük a Angström-formula relatív értékek alkalmazásának gyakorlatát, vagyis a napfénytartam napi összegének és a korábbi szumma relatív értékei között kerestük a kapcsolatot.

A módosított összefüggés kidolgozásához során az eljárás lépései a következők voltak:

1. A maximálisan mérhető napi napfénytartam összegeire megfelelő pontossággal illeszkedő polinom meghatározása, ahol a független változó az év napjainak sorszáma;

2. Maximális napi szumma $= \Sigma(0.0001 * 1 * \text{gb}(\text{max}) / \sin(h))$ meghatározásához szükséges polinom meghatározása, ugyancsak az év napjainak sorszáma függvényében. A relatív globál értéke itt értelemszerűen mindig 1, míg a $\text{gb}(\text{max})$ az adott napon az egyes 10 perces globálsugárzás maximálisan lehetséges értéke;

3. A napfénytartam napi összegére vonatkozó relatív érték meghatározása = mért napfény napi ösz-

szeg/maximális napi napfény összeg (maximális napfény minden napra az **1. lépés** segítségével)

4. A napi szumma relatív értékének meghatározása $= \Sigma (0.0001 * \text{relgb} * \text{gb} / \sin(h)) / \text{maximális szumma}$ (maximális szumma minden napra a **2. lépés** segítségével)

5. A relatív napi napfénytartam és a napi szumma relatív értékei közötti összefüggés megállapítása.

Az összefüggést $y = c1 * x^3 + c2 * x^2 + c3 * x + c4$ alakú polinommal közelítettük, ahol a függő változó a relatív napfény, míg a független változó a relatív szumma, amely viszont a globálsugárzás egyértelmű függvénye. A polinom együtthatói a számításokba bevont 12 állomásra vonatkozóan az *1. táblázatban* találhatók.

6. napfény napi összeg = relatív napfény (relatív szummából számított) * maximális napi napfénytartam összeg

Az összefüggés használhatósága. A számítási módszerünk használhatóságának vizsgálatát a budapesti 2013. április 1. és 2014. március 31. közötti 1 évi időszak hagyományosan mért és globálsugárzásból számított adatainak összehasonlítása alapján végeztük el. A használhatóságra vonatkozó vizsgálatokhoz a budapesti mérőállomáson egyrészt rendelkezésre állt a direkt sugárzásból származtatott, referenciaként használható napfénytartam, valamint ugyancsak rendelkezésre álltak a hagyományos napfénytartam mérések, mivel a használhatósági vizsgálatok céljából a hagyományos mérések 2013. április 1-i időpont után is folytatódtak.

Vizsgálataink eredménye a *3. és 4. ábrán* található. A *3. ábrán* a napfénytartam havi összegei láthatók a direkt mérésekből származtatott a globálsugárzásból számított és hagyományosan mért értékekre vonatkozóan. Látható, hogy a számított napfény havi összegeiben sem a referenciától, sem a hagyományosan mért értékektől lényeges eltérés nem tapasztalható. A *4. ábrán* finomabb felbontásban, a számított és hagyományosan mért napfény havi összegeinek a referencia értéktől számított százalékos eltérései szerint láthatjuk az eredményeket. Az ábráról leolvasható, hogy a számított napfény esetében a téli időszak kivételével, még mindig jellemző egy enyhe felülbecslés, ám a 2013-2014-es téli időszakban a számított eljárás egyértelműen jobban közelítette a direkt sugárzásból származtatott referencia értéket.

1. táblázat: A számítási polinom együtthatói

állomás	c1	c2	c3	c4
Budapest	-2.8308	3.0119	0.7253	-0.08
Debrecen	-3.3192	3.2417	0.7970	-0.08
Eger	-1.7433	1.2281	1.4641	-0.13
Győr	-1.4552	1.0779	1.4279	-0.15
Pécs	-1.9146	1.8489	1.0476	-0.10
Sármellék	-1.8664	1.8495	1.0544	-0.11
Szeged	-2.5402	2.9008	0.5853	-0.05
Szombathely	-1.6644	1.7562	0.9592	-0.09
Kékestető	-0.5689	-0.1687	1.8480	-0.17
Miskolc	-3.2993	3.1199	0.8337	-0.07
Mosonmagyaróvár	-4.5199	4.8101	0.1475	0.00
Sopron	-1.4027	1.1186	1.3573	-0.11

A NAPFÉNYTARTAMMÉRŐ ÉLT 160 ÉVET

CAMPBELL-STOKES SUNSHINE RECORDER LIVED 160 YEARS

Tóth Róbert

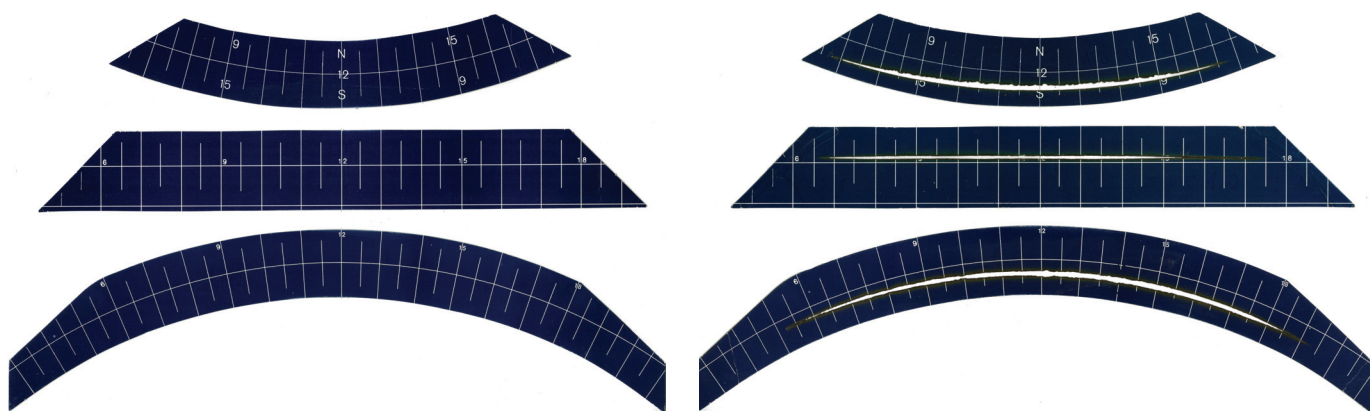
Országos Meteorológiai Szolgálat, Marczell György Főobszervatórium, 1181 Budapest, Gilice tér 39., toth.r@met.hu

Összefoglaló. Mintegy 180 éve kezdődött a napfénytartam műszeres mérése. A mérőeszközök fokozatosan korszerűsödtek, legelterjedtebben használták az üveggömbös Campbell-Stokes –féle napfénytartammérőt.

Abstract. Instrumental measurement of sunshine duration started around 180 years ago. The instruments were gradually modernised, the most widely used tool has been Campbell-Stokes sunshine recorder with a glass sphere.

Napfényen a diffúz fényt meghaladó természetes eredetű besugárzást értjük, különösen, ha szemünk a Nap által megvilágított tárgyak mögött árnyékot lát. Így a fogalom inkább a látható fényhez kapcsolódik, mint az egyes hul-

féle mérőműszert használtak. A Jordan- és Fényi-féle napsütéstartammérő (napsütésautográf) vegyszeres papírok fényérzékenységét használta.



1. ábra: A magyar gyakorlatban alkalmazott téli, tavaszi-ősi és nyári napfényszalagok használat előtt és után



2. ábra: JUNKALOR gyártmányú napfénytartammérő



3. ábra: METRA gyártmányú napfénytartammérő

lámhosszokon beérkező energiához. Egy földrajzi hely (pl. gyógyhely, borvidék...) éghajlati jellemzéséhez használt napfénytartam értékek nagyobb a pszichológiai jelentősége, mint a műszaki számításokhoz, jellemzésekhez alkalmas lehetősége.

Napfénytartam alatt azt a számot értjük, amely mutatja, hogy adott idő alatt hány órán át sütött a Nap. A napfénytartam mérése közel 180 évre tekint vissza. Ez alatt sok-

A jól ismert üveggolyós napfénytartammérő őse a napóra volt (Takács, 1957). John Francis Campbell az angliai Whitehallban 1853-ban alkotta meg az elterjedten használt Campbell-Stokes-féle napfénytartammérőt (1. ábra) elődjét. Ennek az eszköznek a gyűjtőlencséjéül egy vízzel teli üveggömb szolgált, amit egy kivájt fából készült félgömbbe állítottak, abba égetett nyomot a Nap. 1875-től alkalmaztak tömör üveggömböt, így télen is használhatóvá vált. George Gabriel Stokes 1879-ben fémre cse-

rélte a fa félgömböt és ellátta papírtartóval. Így naponta cserélhetővé vált a regisztrátum (napszalag).

A műszer rendkívül egyszerű, mind szerkezetét, mind kezelését illetően. A magyar szolgálat, illetve a magyar gyakorlat, nemcsak az Országos Meteorológiai Szolgálat használt Cambell-Stokes-féle napfénytartammérőt, hanem egyetemek meteorológiai és földrajzi tanszékei, agrárkutató intézetek is többféle műszert alkalmaztak. Működtetése nem igényel energiaforrást, sem különösebb szakértelmet. Emiatt elterjedése igen széleskörű volt, hosszú sorozatok keletkeztek használata során (Tárkányi, 1984). A Cambell-Stokes napfénytartammérők előnyeit több lehetséges hibaforrás csökkentti. Egy hibátlanul felállított és szabályosan kezelt műszer esetében is számolni kell azzal, hogy

- az üveggömb áteresztő- és visszaverő-képessége az évek során változhat;
- a papír színe, hőmérséklete, vastagsága, nedvszívó tu-



4. ábra FUESS gyártmányú napfénytartammérő

lajdonsága időről időre változik;

- a kiértékelő személye hatással lehet a mérések homogenitására és pontosságára.

A napfényzalag csak akkor kezd égni, akkor jelenik meg rajta égésnyom, azaz jel arról, hogy „sütött” a Nap, ha a direkt sugárzás értéke elér egy bizonyos értéket. A napszalag hossza függ az évszaktól. A mérsékelt szélességen, így hazánkban is van téli, tavaszi-őszi és nyári szalag. Az 1. ábrán bemutatunk használat előtti és már kiégetett, regisztrálás utáni szalagokat. Ez az érték azonban számos tényezőtől függ. Az egyik tényező csoport az üveggömbbel kapcsolatos. Ez attól függ, hogy a gömbön van-e hó- jég vagy egyéb bevonat, azaz a pillanatnyi időjárás függvénye. A papírszalag tulajdonságai kétféleképpen is befolyásolhatják a regisztrálás megindulását. A papír minősége és színe hosszútávon befolyásolhatja a feljegyzéseket. A magyar szolgálat gyakorlatában általában 3–4 évenként jelentkezett ez a probléma, amikor el-

fogytak a napszalagok és újat kellett nyomtatni. Általában gondot okozott, hogy ugyanazon minőségű (vastagságú) és ugyanolyan színű szalagokat sikerüljön beszerezni. Tárkányi (1984) beszámolójában az 1981 előtti időszakra kék alapon fehér színnel nyomott szalagot használtak. A Fuess műszerhez gyárilag szállított szalagok színe fekete volt, míg az 1983-84-es referencia összehasonlítás során használt szalagok színe világoskék volt. A nemzetközi összehasonlításban ez is gondot okozott, hogy más ország más-más színű szalagot használt. Lehetett találkozni fekete vagy éppen zöld vagy kék színű szalaggal. A pillanatnyi időjárás oly módon volt hatással a tényleges értékre, hogy az időjárási helyzettől függően ugyanazon sugárzás intenzitás esetén előbb vagy később jelent meg égésnyom a szalagon. Hideg, nedves szalag esetén előbb ki kellett száradni a szalagnak, csak utána kezdett el égni, azaz kedvezőtlen körülmények között később „kezdődött” a napsütés. Nemcsak alábecslést végzett a szalag, hanem felülbecslést is. Néhány pillanattig tartó napsütés által okozott égésnyom a valóságosnál hosszabb lehet. A gyors ütemben változó napsütéses és



5. ábra: Napfénytartammérők a Sarkkörön készen arra, hogy 24 óra napfénytartamot regisztráljanak

borult időszakok esetén az égési nyomok egybefolynak, s a műszer a valóságosnál nagyobb (hosszabb) napsütéses időszakot regisztrál. Ilyen esetekben sok múlik a kiértékelő gyakorlatán és precizitásán, aki veszi a fáradságot az egyes rövidebb szakaszok külön-külön értékelésére. A pontosítási törekvések ellenére egyes országhatárokon ugrások mutatkoztak a napfénytartam izovonalainak futásában.

A világszerte alkalmazott napszalagok égési küszöbértéke $70\text{--}280\text{ W/m}^2$ között váltakozott, különböző adatokat eredményezve. A szakemberek a napfénytartam adatok összehangolása céljából napsütés küszöbértéknek előbb 200 W/m^2 értéket javasoltak, majd a CIMO (Műszerek és Megfigyelési Módszerek Bizottsága) 1981-ben a 120 W/m^2 direkt sugárzás értéket ajánlotta. Napfénytartamot tehát akkor mérünk, ha a direkt sugárzás eléri vagy meghaladja a 120 W/m^2 direkt sugárzást. Ennek betartása nehéz, mert a papír és a festék minőségétől függ a küszöbérték, s a csapadék is befolyásolja. A napszalag „kiérté-

kelése” is hordozhat szubjektív elemeket, különösen változóan felhős időjárás esetén. 0,1 óra felbontással kell leolvasni és a WMO az eszköztől 0,1 óra bizonytalanságot „enged” napi menetben.

A napfénytartamot leggyakrabban óra/nap, óra/hónap vagy óra/évben fejezzük ki.

A Magyarországon használt Campbell-Stokes-féle napfénytartam-mérők üveggömbje 96 mm átmérőjű, törésmutatója 1,52. Az első eszközöket a 19. század vége felé állították szolgálatba a kalocsai és ógyallai obszervatóriumokban. A századfordulón kb. 10, 1909-ben már mintegy 40 db végezte a méréseket. 1975-ben 38 eszköz tartozott az OMSZ mérőhálózatába.

A magyar szolgálat gyakorlatában különböző gyártmányú műszerek (Fuess, Junkalor, Metra, Lambrecht, Cambell-Stokes) teljesítettek, illetve a hivatalos megszüntetés után is teljesítettek szolgálatot. Ezek közül néhányat bemutattunk (2–4. ábra), valamint egy speciális helyezett is (5. ábra).



6 ábra: A továbbra is hagyományos, üveggömbös napfénytartammérőt is üzemeltető állomások

A napfénytartam mérések lehetséges hibája időről időre gondot okozott a témával foglalkozó szakembereknek.

1993-tól az OMSZ megkezdte a felszíni mérőhálózatának az automatizálását, amelyhez kapcsolódóan fokozatosan bővült és korszerűsödött a globálisugárzási mérőhálózat. Ennek eredményeképp napjainkban országosan 40 mérőállomásról rendelkezünk valós idejű globálisugárzás adatokkal. A nemzetközi trendet követve az OMSZ is meghozta a döntést a napfénytartammérők operatív szolgálatból való kivonásáról 2013 áprilisától. 13 napfénytartammérő azonban ezt követően is szolgáltat adatot.

A napfénytartam szoros korrelációt mutat a globálisugárzással. Maga a napfénytartam meghatározható pirheliométeres és piranométeres módszerrel is. A napfénytartam mérése manapság egyre inkább háttérbe szorul. A papírszalagos műszerek pontatlanok és nem köthetők adatgyűjtőkhöz. Célszerű a globálisugárzást mérni és abból kiszámítani a napfénytartamot (Nagy, 2014), amennyiben szükség van rá. A globálisugárzás mérése sokkal később indult meg, mint a napfénytartam mérése. Több esetben volt szükség arra, hogy nagyobb területre vagy hosszabb időszakra kerüljön megadásra a

globálisugárzás. Kézenfekvő volt, hogy a napfénytartam adatokból határozzák meg a globálisugárzás értékét. Statisztikai hibahatáron belül Angström (Dobosi és Takács, 1959) egyszerű lineáris összefüggést kapott,

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \frac{S}{S_0},$$

ahol Q a globális sugárzás, Q_0 a derült időben mérhető (várható) sugárzás, S a közepes napfénytartam, S_0 a maximális lehetséges napfénytartam (csillagászatilag lehetséges napfénytartam). Ezt a közelítő formulát szokás Angström-típusú formulának nevezni. A benne szereplő a

és b konstansok földrajzi hely függők, s értéküknek évi menete van. Hazai viszonyokra Takács Lajos határozott meg konstansokat (Dobosi, 1957).

A napfénytartam-mérő felállításánál nyílt horizontra és pontos tájolásra van szükség. (Szász és Tőkei, 1997). A téli és a nyári napforduló Nap-pályái által határolt égboltsávban

semmiféle horizontkorlátozás nem lehet. Összefoglalva elmondhatjuk, hogy végül is a műszer felállítása, fenntartása, a mérés és a kiértékelés a sok előny ellenére nem is olyan egyszerű, így a magyar szolgálat egy régóta esedékes logikus lépést tett meg 2013 áprilisában. A megszüntető lépés nem jelentette azt, hogy az összes üveggömbös műszer kilépett volna a szolgálatból. Az országban 13 állomáson tovább folynak a hagyományos szalagos napfénytartam-mérések (6. ábra).

Irodalom

- Dobosi, Z., 1957: A napfénytartam és a globális sugárzás összefüggése Magyarországon. *Időjárás* 64, 347-356
- Dobosi, Z. és Takács, L., 1959: A globális sugárzás területi eloszlása Magyarországon. *Időjárás* 63, 82-84
- Nagy, Z., 2014: Napfénytartam globálisugárzási adatokból történő számításának módszertana. *Légkör* 59, 175-177
- Szász, G. és Tőkei, L. (szerk.), 1997: Meteorológia mezőgazdáknak, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda Kiadó. Budapest. pp 715
- Takács L., 1957: A napfénytartammérő, és őse a napóra. *Légkör*, II. évf. 4.
- Tárkányi, Zs., 1984: Beszámoló az 1984-ben végzett tudományos kutatásokról. OMSZ Hivatalos Kiadványai, 242-254

2014 ŐSZÉNEK IDŐJÁRÁSA

WEATHER OF AUTUMN IN 2014

Fülöp Andrea

Országos Meteorológiai Szolgálat, H-1525 Budapest, Pf. 38., fulop.a@met.hu

A 2014-es ősz országos átlagban 2,1 °C-kal volt melegebb a megszokottnál, ezzel a homogenizált, interpolált adatok alapján a 5. helyre került a legmelegebb őszi középhőmérsékletek rangsorában 1901 óta. Az ősz első fele országos viszonylatban jóval csapadékosabb volt a megszokottnál, de novemberben már átlag alatti csapadékmennyiséget regisztráltunk. Így az ősz összességében rendkívül csapadékosnak mondható, a szeptember a 6. legcsapadékosabb hónap volt a sorban 1901 óta.

Szeptember. A havi átlaghőmérséklet az ország legnagyobb részén 16 – 18 °C között alakult. Ettől hűvösebb a Dunántúlon volt megfigyelhető (havi átlaghőmérséklet 15-17 °C között), a legmagasabb értékek pedig keleten jelentkeztek (18 °C körül). Hűvösebb csak a magasabban fekvő területeken volt (11-15 °C). Budapest belterületén jegyeztük a legmagasabb átlagot (18,3 °C), a leghidegebb Kékestetőn volt (12 °C). A havi országos átlaghőmérséklet 16,6 °C volt. Ez 0,7 °C-kal magasabb, mint a sokévi átlag. Az anomália térképen nyugatkelet irányú a melegebb. Az ország legnagyobb részén 0,5-1,5 °C fokkal volt melegebb a megszokottnál. A hónap nagy részén melegebb volt, mint általában. Csak a hónap végén történt változás. Egy intenzív hidegfront hatására lehűlt a levegő. Szeptember 3-án megdőlt a minimumhőmérsékletek sokévi napi maximuma 21,4 °C-kal Egerben. A legmelegebb nap országos átlagban szeptember 4-e volt, ekkor Milótán 23,3 °C-ot, Kékestetőn 15,1 °C-ot mértünk. Az országos átlag 20,7 °C volt ugyanezen a napon. A szeptember 23-án áthaladt gyors mozgású hidegfront hatására 24-én 10,8 °C-ra hűlt le a levegő, ez volt a hónap leghidegebb napja. A legmagasabb átlaghőmérséklet Siófokon (13,8 °C), a legalacsonyabb Kékestetőn (5,4 °C) volt ezen a napon. Bár a hónap összességében melegebb volt a megszokottnál, a meleg küszöbnapok száma valamivel elmaradt a sokévi átlagtól. Országos átlagban nyári nap 6 volt a megszokott 8 helyett, hőségnap nem volt, pedig 1 nap szokott lenni.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

32,1 °C, Sarkad-malomfok (Békés megye), szeptember 3.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-0,8 °C, Zabar (Nógrád megye), szeptember 24.

Szeptemberben az ország jelentős részén hullott nagy mennyiségű csapadék. A Tisza vonaláig 100–200 mm volt a jellemző. Az ország ÉK-i csücskében ezzel szemben 25 mm alatti mennyiségeket is megfigyelhettünk. A legtöbb eső Homokszentgyörgyön hullott (242,3 mm) a hónap során, míg Fehérgyarmaton mindössze 9 mm-t mértek ebben a hónapban. Az országos csapadékatlag 113,6 mm volt, ami majdnem az egyhavi átlag két és félszerese. A sokévi átlagtól (49,1 mm) vett eltérés 64 mm. Ebben a hónapban a legtöbb csapadékot nem a lehűlést hozó hidegfront okozta, hanem egy napokig felettünk örvénylő ciklon, melynek hatására 10–14-e között jelentős mennyiségű eső esett. A legnagyobb értéket 11-én jegyeztük (20,3 mm) országos átlagban. Szeptember 12-én megdőlt a csapadék sokévi napi maximuma 80 mm-rel Pesthidegkúton.

A küszöbnapok száma egy összességében csapadékos, nedves, esős hónapot támaszt alá. Összesen 11 csapadékos napot regisztráltunk az átlagos 8 helyett, zivataros naptól 3 volt, a szokásos 1 helyett.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

242,3 mm, Homokszentgyörgy (Somogy megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

9,0 mm, Fehérgyarmat (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

82,6 mm, Tiszafüred (Jász-Nagykun-Szolnok megye), szeptember 10.

Október Októberben az országos átlaghőmérséklet 12,2 °C volt. A legmagasabb havi átlagot Budapest belterületén jegyezték (13,9 °C), a legalacsonyabbat Kékestetőn (7,9 °C). Az ország nagy részén a havi átlag 11 – 13 °C között alakult. A magasabban fekvő területeken volt ennél pár fokkal hűvösebb. Az országos átlag a normál értéknél 1,6 °C-kal volt magasabb; a sokévi átlag 10,6 °C. ÉK-en kisebb volt az eltérés, a Bakony térségében pedig a legnagyobb. Az ország legnagyobb részén 1,5 – 2,5 °C-kal volt melegebb a megszokottnál. A napi

középhőmérséklet 14-én érte el a hónap során a maximumát országos átlagban, 17,9 °C-ot. Ez a sokévi 11,9 °C-os országos napi átlagnál több fokkal magasabb érték. A hónap nagy részén a normált meghaladta a hőmérséklet. Csak a hónap végén kezdődött jelentősebb lehűlés, ekkor az átlag alá süllyedt a hőmérséklet. Ennek oka kezdetben egy napokig felettünk örvénylő ciklonrendszer, majd egy masszívan kiépült anticiklon volt, melynek peremén a hideg levegő beáramlott hazánkba. A legalacsonyabb napi középhőmérsékletet országos átlagban 28-án érték el 3,9 °C-kal.

Országos átlagban 2 fagyos nap fordult elő, ami elmarad a sokévi átlagtól (3 nap). Nyári naptól (napi maximumhőmérséklet $\geq 25^\circ\text{C}$) azonban 3 volt (a sokévi átlag 1 nap).

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

28,0 °C, Sátorhely (Baranya megye), október 10.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-6,8 °C, Nyírlugos (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye), október 28.

Októberben átlagosan 73 mm csapadék hullott, ez 29 mm-rel több, mint a sokévi átlag (44 mm). Az ország DNy-i részén hullott a legtöbb eső, itt 100–150 mm közötti mennyiségeket jegyeztünk. É-on pedig 35-55 mm között alakult ez az érték. Mázán 168,7 mm-t mértek, ez volt az e havi legnagyobb érték. A minimumot Diósjenőről jelentették (25,4 mm). Az ország legnagyobb részén az átlagnál jóval több csapadék hullott októberben. Az anomália térkép maximuma a Duna-Tisza-közén Bács-Kiskun megyében található. Itt a havi várható érték háromszorosára-három és félszerese hullott. E hónapban három csapadékosabb periódus fordult elő; egy a hónap elején és a többi a hónap közepén. A legtöbb csapadékot a már fent említett, hazánkban feltöltődő ciklonrendszer okozta. Kétszer is megdőlt a napi csapadék országos maximuma és új rekord született: 21-én Nagyvácszonyban 99 mm-rel és 23-án Kárászban 64,5 mm-rel. Országos átlagban 9 csapadékos nap jelentkezett, mely éppen meghaladja a normál értéket (8 nap), 1 zivataros napot regisztráltunk (a sokévi átlag 0 nap).

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

168,7 mm, Maza (Baranya megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

23,8 mm, Szentgotthárd Farkasfa (Vas megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

99,0 mm, Nagyvácszony (Veszprém megye), október 21.

November. Ebben a hónapban az átlaghőmérséklet zömmel 6-8 °C között változott, nyugat-keleti irányú csökkenő tendencia volt megfigyelhető. A legmelegebb a Kisalföld térségében, a leghidegebb ÉK-en volt. Az országos havi átlag 7,2 °C volt, ami a sokévi átlagnál 3 °C-kal melegebb. A legmelegebbet Pécs Egyetem TTK állomáson jegyezték (8,9 °C), a leghidegebb szokás szerint Kékestetőn volt (3,5 °C). Jól melegebbnek adódott ez a hónap a sokévi átlagnál. A legmelegebb a nyugati határszálon volt, itt az anomália értéke a 4 °C-ot is meghaladta. A Duna-Tisza közén és ÉK-en adódott a legkisebb különbség, azonban még itt is a megszokottnál 2-3°C-kal magasabb átlaghőmérsékletek voltak megfigyelhetők. Majdnem a teljes hónap során az átlagosnál jóval melegebb volt. Ez alól csak a hónap eleje és a november 25-29-i párnas időszak kivétel. A legmelegebb országos átlagban 7-én volt, mikor megdőlt a napi melegrekord Fülöpháza területén (napi maximumhőmérséklet: 24,6 °C). Ekkor az országos átlag 14,4 °C volt. Ezután folyamatos hőmérséklet csökkenés kezdődött. A leghidegebb napnak 27-e adódott (0,4 °C). 2014. november 6-án új napi rekord született Pápa repülőtérén, ahol a minimumhőmérsékletek sokévi rekordjaként 14,7 °C-ot mértek. Négy fagyos napot jegyeztünk a hónapban, ami 7 nappal marad el a sokévi átlagtól.

A normál szerint ilyenkor jelentkező 1 téli nap nem jelentkezett.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

24,6°C, Fülöpháza (Bács-Kiskun megye), november 7.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-6,6°C, Kékestető (Heves megye), november 27.

November az előzőkhöz képest jóval szárazabbnak bizonyult. Országos átlagban 25,8 mm hullott, ami a normál mindössze 50,1%-a. ÉK volt a legszárazabb, itt mindössze 5-15 mm-t mértünk. A havi csapadékmaximum pedig Hajdú-Bihar és Békés megye határán található (45–50 mm). ÉK-en a csapadékmennyiség alig érte el a normál 30%-át. A keleti határszélen a sokévi átlagnak megfelelő mennyiségű csapadék hullott. A legtöbb csapadék a hónap utolsó napján hullott (országos átlagos napi csapadékösszeg: 6,9 mm).

November 18-án Somogyhatvanban 24,8 mm esett egy nap alatt, ami 2014 novemberének legnagyobb napi csapadékösszege hazánkban. November 25-én a Mátrában már hó is hullott.

Országos átlagban 9 csapadékos nap jelentkezett, mely nem haladta meg a 10 napos normált. Hótakarós napok száma 3 volt, ami szokatlannul magas ebben a hónapban.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

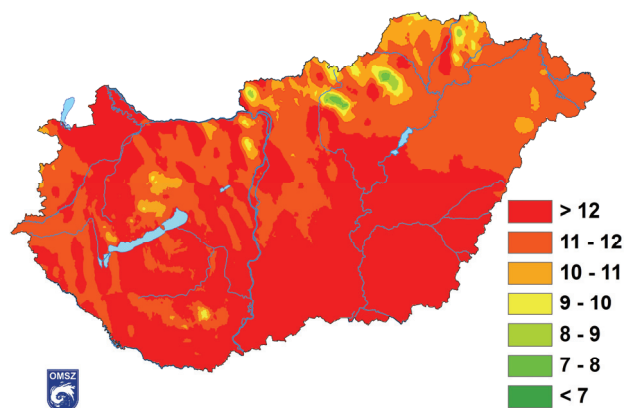
53,7 mm, Sebesfok (Békés megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

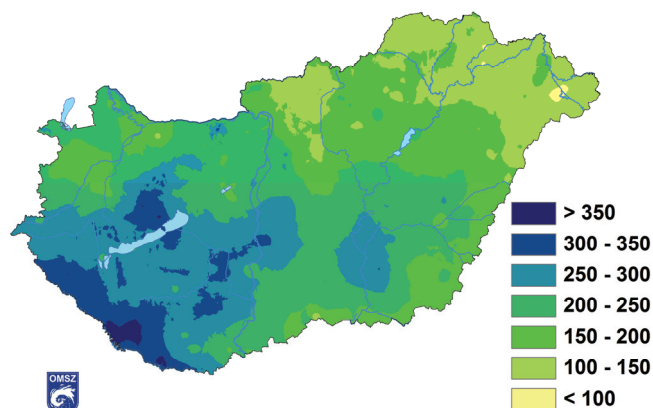
5,4 mm, Gesztely (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

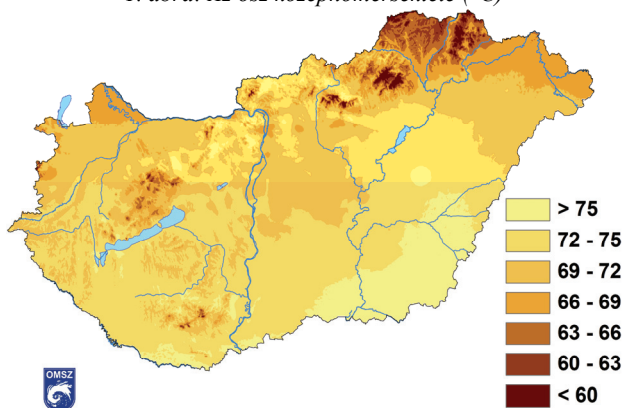
24,8 mm, Somogyhatvan (Baranya megye), november 18.



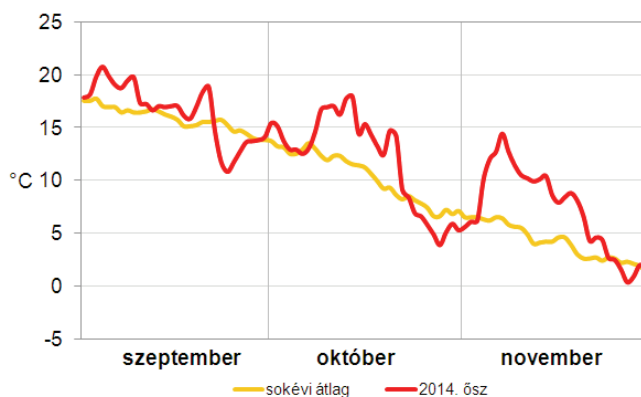
1. ábra: Az ősz középhőmérséklete (°C)



2. ábra: Az ősz csapadékösszege (mm)



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



4. ábra: Az ősz napi középhőmérsékletei és a sokévi átlag (°C)

A 2014. ősz időjárási adatainak összesítője

Állomás	Napsütés (óra)		Sugárzás (kJ/cm²)	Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél
	évszak összes	eltérés		évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	r ≥ 1 mm napok	
Szombathely	355	-28	72	12,1	2,6	26,2	10.11	-1	10.29	221	144	19	7
Nagykanizsa	-	-	-	12,2	2,6	26,1	10.10	-2,4	11.26	336	168	23	5
Siófok	-	-	-	13,1	2,2	26,4	10.11	0,7	11.26	328	226	24	10
Pécs	378	-66	76	12,3	1,6	26,4	10.13	-3,1	11.27	258	159	24	4
Budapest	360	-50	71	12,4	1,9	27,8	09.03	-0,8	11.27	226	176	18	2
Miskolc	317	-48	65	11,5	2,2	27,9	09.09	-2,4	11.27	172	138	19	0
Kékestető	344	-93	69	7,8	1,9	18,9	09.09	-6,6	11.27	207	108	23	17
Szolnok	322	-107	71	12,5	2,2	30,1	09.03	-1,6	10.28	248	216	23	4
Szeged	398	-31	77	12,6	2	29,9	09.03	-2,3	10.28	205	187	24	1
Nyíregyháza	-	-	72	11,5	1,9	29,8	09.04	-3,5	10.30	127	107	16	1
Debrecen	410	-3	71	12	2	29,6	09.04	-3,1	11.24	134	112	17	3
Békéscsaba	-	-	76	12,4	2,1	30,5	09.03	-2,7	10.28	209	173	21	1

AZ 59. ÉVFOLYAM (2014) SZERZŐI AUTHORS OF VOLUME 59 (2014)

Anda Angéla és Soós Gábor: A nád (<i>Phragmites Australis</i>) párolgása a Balaton környékén	145	Németh Ákos: A Magyar Meteorológiai Társaság hírei	33
Balczó Márton és Lajos Tamás: Városi terek szélviszonyai és légszennyezettsége	121	Németh Ákos: Előszó az orvosmeteorológiai kongresszus számához	48
Dobi Ildikó és Kerényi Judit: Az EUMETSAT éghajlat-megfigyelő munkacsoportjának (CM SAF) tevékenysége és alkalmazásai	154	Pécsi Linda: 2012. december 23., reggel (<i>Meteorológiai fotópályázat 2014 3. helyezett képe, (címlapkép)</i>)	1
Dombai Ferenc: Távérzékelés, Radarmeteorológia és a Műhold-meteorológia együttműködési területei	25	Pintér Ádám és Samu Krisztián: Mérőműszer fejlesztése az időjárás emberi szervezetre gyakorolt hatásának mérésére	90
Dunkel Zoltán: Magashegyvidéki megfigyelő állomás speciális programmal	135	Pintér András: Halo (<i>Meteorológiai fotópályázat 2014 1. helyezett képe - címlapkép</i>)	45
Fejős Ádám és Kolozsi-Komjáthy Eszter: A Meteo Klinika műsorelem média tapasztalatai	86	Pintér Ferenc: Orvosmeteorológiai és humánmeteorológiai kutatások: a METEO KLINIKA projekt	64
Felméry László: Négy epizód az életemből	31	Puskás János, Horváth Ágnes, Kóbor Jenő és Nagy Éva: A makroszinoptikus időjárási típusok kapcsolata az epilepsziás rohamokkal	58
Fricke Cathy, Pongrácz Rita, Dezső Zsuzsanna és Bartholy Judit: A vegetáció szerepe a budapesti városi hősziget jelenségében	150	Rybár Olivér: A Magyar Meteorológiai Társaság egykori elnökének, Cholnoky Jenőnek (1870-1950) szobrát avatták fel Veszprémben	65
Fülöp Andrea, Mika János és Düll Andrea: A Kérdő-féle frontérzékenységi teszt vizsgálata és kísérlet a továbbfejlesztésére	74	Sáhó Ágnes: Időjárás és éghajlat: Az ifjúsággal a holnapért, Meteorológiai Világnap 2014	34
Fülöp Andrea: 2014 őszének időjárása	181	Sáhó Ágnes: Tánczer Tibor 80 éves	28
Fülöp Andrea: A 2014-es tavasz időjárása	93	Somfalvi-Tóth Katalin: Kislexikon	116
Gyarmati Renáta és Tar Károly: Időjárási helyzeteken alapuló statisztikai születéselemzés	53	Szelepcsényi Zoltán, Kis Anna, Skarbit Nóra és Breuer Hajnalka: Életzőna-térképek alkalmazása az éghajlatváltozás vizualizációjára	111
Gyarmati Renáta, Puskás János és Nagy Éva: Az időjárás hatása a magyarországi közlekedési balesetek előfordulására	61	Szepesi Dezső: Túlélhető-e a balatoni tornádó?	105
Haszpra László: Minek nevezzem?	131	Szerkesztői üzenet: 80 éves a balatoni viharjelzés (képek a koszorúzásról)	98
Hegedüs Adrienn, Breuer Hajnalka, Fodor Zoltán és Seres András Tamás: Labilitási indexek vizsgálata radarmérések és modelleredmények alapján	164	Szerkesztői üzenet: A Magyar Meteorológiai Társaság XXXV. Vándorgyűlése „A meteorológia aktuális kérdései”	144
Horváth Ákos: Kilátás a Siófoki Viharjelző Observatórium tornyából Bartha Imre szolgálata alatt (<i>címlapkép</i>)	97	Szerkesztői üzenet: A nyugalmazott Cambell-Stokes típusú napfénytartammérő munkában az OMSZ pestszentlőrinci obszervatóriumában (<i>címlapkép</i>)	141
Kerényi Judit: Az OMSZ Műholdas Kutató Laboratóriumának története	19	Szerkesztői üzenet: Felméry László Gyémántdiplomás	30
Kis Anna, Pongrácz Rita és Bartholy Judit: Magyarországra becsült csapadéktrendek: hibakorrekció alkalmazásának hatása	117	Szerkesztői üzenet: Haszpra László és Péliné Németh Csilla kitüntetése	100
Kovács Attila és Unger János: A turizmus klíma-index módosítási lehetősége a közép-európai klimatikus viszonyokhoz	78	Szerkesztői üzenet: Cholnoky Jenő	85
Kovács Attila, Erdődiné Molnár Zsófia, Kovács Gabriella és Rácsi András: A 850 hPa-os nyomási szint léghőmérsékletének vizsgálata Miskolc fölött ECMWF ERA-interim reanalízis adatok alapján	106	Szilárd Barbara: A város környezeti adottságai, a városi klíma emberre gyakorolt hatásai	127
Kovács Tamás: A 2013/2014-es tél időjárása	41	Tánczer Tibor: A műhold-meteorológia hazai története (1955-1990)	4
Lakatos Mónika, Bihari Zita és Szentimrey Tamás: A klímaváltozás magyarországi jelei	158	Tóth Róbert és Tamáskovits Károly: Pontos észleléssel az 5 éves tervért!	133
Lázár Dóra, Bájhober Eszter, Weidinger Tamás és Ferenczi Zita: CMAQ (többléptékű közösségi levegőtisztasági) légköri terjedési modell adaptálása Magyarországra	170	Tóth Róbert: A napfénytartammérő élt 160 évet	178
Major György: A nemzetközi és a hazai kapcsolatok szerepe az Országos Meteorológiai Szolgálat műholdas tevékenységének történetében	13	Trájer Attila János és Bede-Fazekas Ákos: A klímaváltozás hatása a Canine Leishmaniasis vektorainak és azok növényi indikátorainak elterjedésére	66
Nagy Zoltán: Napfénytartam globálsugárzási adatokból történő számításának módszertana	175	Varga Miklós: Történelmi arcképek: Aujeszky László	95
		Varga Miklós: Történelmi arcképek: Berényi Dénes	139
		Varga Miklós: Történelmi arcképek: Marczell György	43
		Vincze Enikő és Kovács Tamás: 2014 nyarának időjárása	137
		Vincze Enikő: A 2013 év időjárása	37
		Wantuchné Dobi Ildikó: Globális éghajlati szolgáltatások fejlesztése az egészségügy számára	49
		Zsikla Ágota: A 2014. évi Balatoni és Velencei-tavi viharjelzési szezonról	101

