

# L É G K Ö R

61. évfolyam

2016. 3. szám



# SÁROSPATAKON TARTOTTÁK A MAGYAR METEORÓGIAI TÁRSASÁG 36. VÁNDORGYŰLÉSÉT

## THE 36<sup>TH</sup> BIENNIAL ITINERANT CONFERENCE OF HUNGARIAN METEOROLOGICAL SOCIETY WAS HELD IN SÁROSPATAK



A Vándorgyűlés résztvevői a Comenius Campus épülete előtt 2016. augusztus 25-én. Beszámoló a 129.oldalon olvasható.

### ELHUNYT SZILVÁSI ERZSÉBET

Kisvárdra, 1940. május 14. – Budapest, 2016. július 28.

Szilvási Erzsébet munkás életét 1957-ben a kisvárdai Tanácsnál kezdte, ahol 4 évig titkárnőként dolgozott. 1961-től 1969-ig a Láng Gépgyár Jogügyi Osztályán gép- és gyorsíró, majd az Elektroakusztikai és Villamossági Ktsz.-nél volt titkárnő. 1969. november 1-én lépett be az Országos Meteorológiai Intézetbe. Szerződését 1973-ig évenként hosszabbították. 1973. július 1-én véglegesítették, ügyviteli alkalmazottként. 1975. szeptember 1-én került a Nemzetközi Kapcsolatok Osztályára, ahol nemzetközi rendezvények szervezése, külföldi utak vízum-, vám- és úti okmányainak ügyintézése volt a feladata. Az öregségi nyugdíjkorhatár elérésekor nem ment nyugdíjba, hanem határozott idejű kinevezésekkel egészen 2011-ig dolgozott. Nyugdíjasként Réthly Antal „Időjárás események 1801–1900 között” kéziratát gépelte, sokszorosító tevékenységet végzett. Hihetetlen munkabírását bizonyítja, hogy bár a hatalmas terjedelmű, kiadása után négy kötetet kitevő kézirat önmagában grandiózus feladatot állított elé, megbirkózott a feladattal. A nagymértékű másolási, gépelési, kötési feladatainak ellátását nagy precizitással végezte. Aktívan közreműködött az OMSZ rendezvényeinek lebonyolításában. Ő volt a nyugdíjas találkozók állandó háziasszonya, később mindenkit számon tartó és mindenkivel barátságos, kedves vendége. 42 éven keresztül dolgozott a Szolgálatnál. Szorgalma, precizitása, kedves, közvetlen lényé példaadó mindenkinek. A szakma és a Szolgálat iránti elkötelezettségét 2010-ben Pro Meteorologia Emlékplakettel jutalmazták. 2016. augusztus 17-én temették a farkasréti Mindenszentek Templomában. Emlékét szeretettel őrizzük, nyugodjék békében!



### SZERZŐINK FIGYELMÉBE

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

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

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

Felelős szerkesztő:  
**Dunkel Zoltán**  
a szerkesztőbizottság elnöke

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

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:  
**Dr. Radics Kornélia**  
az OMSZ elnöke

Készült:  
**HM Zrínyi NKft.**  
nyomdájában  
**800 példányban**

Felelős vezető:  
**Dr. Bozsonyi Károly**  
ügyvezető igazgató

Évi előfizetési díja:  
**3000.- Ft**  
Megrendelhető az OMSZ  
Pénzügyi és Számviteli Osztályán  
1525 Budapest Pf. 38.  
E-mail: [legkor@met.hu](mailto:legkor@met.hu)

## TARTALOM

### CÍMLAPON:

Jenki Szilvia: <b>Hajnali derengés</b> .....	89
<b>Elhunyt Szilvási Erzsébet</b> .....	90
<b>Szerzőink figyelmébe</b> .....	90
<b>Elhunyt dr. Gyuró György</b> .....	92
<b>Elhunyt dr. Wirth Endre</b> .....	92

### TANULMÁNYOK

Anda Angéla, Sujtó Eszter és Soós Gábor: <b>Egy új özönnövény, a magas aranyvessző (<i>Solidago Gigantea</i>) párolgása a Balaton-közeli területeken</b> .....	93
Ács Ferenc és Mona Tamás: <b>A talaj-növény-légkör rendszer folyamatainak szimulálása a meteorológiai alkalmazású modellekben. I. rész: Nemzetközi gyakorlat.</b> ...	99
Ács Ferenc és Mona Tamás: <b>A talaj-növény-légkör rendszer folyamatainak szimulálása a meteorológiai alkalmazású modellekben. II. rész: Hazai gyakorlat.</b> ...	106
Puskás János, Kovács Erik, Kúti Zsuzsanna és Somogyi Tímea: <b>Az erős napkitörések hatása a szülésekre Magyarországon</b> .....	110
Petróczy Henrietta és Buránszkiné Sallai Márta: <b>Időjárési előrejelzések és riasztások értelmezése és megjelenése a mindennapi életben</b> .....	112
Allaga Tamás, Simon André és Kolláth Kornél: <b>A szimmetrikus instabilitás megjelenése a 2014. december eleji magyarországi ónos esős helyzetben</b> .....	121

### KRÓNIKA

<b>Sárospatakon tartották a Magyar Meteorológiai Társaság 36. Vándorgyűlését</b> ...	129
Bíróné Kircsi Andrea: <b>2016 nyarának időjárása</b> .....	130

## LIST OF CONTENTS

### COVER PAGE:

Szilvia Jenki: <b>The First Glimmer of Dawn</b> .....	89
<b>Ms. Erzsébet Szilvási passed away</b> .....	90
<b>Instructions to authors of LÉGKÖR</b> .....	90
<b>Dr. György Gyuró passed away</b> .....	92
<b>Dr. Endre Wirth passed away</b> .....	92

### STUDIES

Angéla Anda, Eszter Sujtó and Gábor Soós: <b>Evapotranspiration of Goldenrod (<i>Solidago Gigantea</i>), a New Invasive Crop in the Vicinity of Lake Balaton</b> .....	93
Ferenc Ács and Tamás Mona: <b>Simulation of the Processes in the Soil-Vegetation-Atmosphere System in the Meteorology. Part I: International Applications</b> .....	99
Ferenc Ács and Tamás Mona: <b>Simulation of the Processes in the Soil-Vegetation-Atmosphere System in the Meteorology. Part II. Hungarian Applications</b> .....	106
János Puskás, Erik Kovács, Zsuzsanna Kúti and Tímea Somogyi: <b>Influence of the Severe Flares on Births in Hungary</b> .....	110
Henrietta Petróczy and Márta Buránszkiné-Sallai: <b>Interpretation of the Meteorological Forecasts and Warnings and its Appearance in the Everyday Life</b> .....	112
Tamás Allaga, André Simon and Kornél Kolláth: <b>Presence of Symmetric Instability in the Case of Freezing Rain in Hungary at the Beginning of December 2014</b> .....	121

### CHRONICLE

<b>The 36<sup>th</sup> Biennial Itinerant Conference of Hungarian Meteorological Society was held in Sárospatak</b> .....	129
Andrea Bíróné-Kircsi: <b>Weather of Summer of 2016</b> .....	130

## ELHUNYT

## GYURÓ GYÖRGY

Debrecen, 1959. október 10. – Budapest, 2016. július 7.

Gyuró György meteorológia iránti érdeklődése nagyon korán kialakult. Édesapja a Mosonmagyaróvári Agrártudományi Egyetemen – ott úgy mondják az Akadémián – tanított agrometeorológiát. Az OMSZ mosonmagyaróvári megfigyeléseit a családja végezte – a kertjükben volt az állomás. A mosonmagyaróvári Kossuth Lajos Gimnázium matematika tagozatán érettségizett 1978-ban. Kiemelkedett matematikai és fizikai tudásával, de a nyelvek iránt is érdeklődött. Az OKTV-n német nyelvből az első húsz közé került. Az MMT középiskolásoknak kiírt pályázatára benyújtott dolgozatát a bíráló bizottság „Dicséretre” érdemesnek ítélte. Erről a LÉGKÖR is megemlékezett. A sorkatonai szolgálat letöltése után 1979-ben kezdte meg tanulmányait az ELTE meteorológus szakán, ahol 1984-ben meteorológus diplomát kapott. Szakmai pályafutását az ELTE Meteorológiai Tanszékén folytatta gyakornok, tudományos segédmunkatárs, tanársegéd, majd egyetemi adjunktus beosztásban. Az elsők között végzett numerikus modellfuttatásokat és számolt be eredményeiről az Időjárás hasábjain 1988-ban. *Rövidtávú előrejelzések a lineáris egyensúlyi modellel* című doktori értekezése alapján 1992-ben lett egyetemi doktor, az akkori szóhasználattal kisdoktor. 1994-ben a Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetemen közgazdasági szakoklevelet, majd 1995-ben PhD fokozatot is szerzett. 1998-ban docenssé léptették elő. Kiváló nyelvtudására, kommunikációs- és szervezőképességére hamar felfigyeltek. Az oktatás mellett több tudományos szervezési feladatot bíztak rá mind az egyetemen, mind más intézményeknél. 1993 és 1996 között a Doktori Iskola és a Kari Habilitációs Bizottság titkára az ELTE TTK Dékáni Hivatalában, majd 1997-ben kutatási programvezető a Művelődési és Közoktatási Minisztérium Felsőoktatási Pályázatok Irodájánál. Tudományos szervezési osztályvezető az ELTE Rektori Hivatalában 1998-ban. Az 1990-es évek elején vette át a meteorológus képzésben a szinoptikus meteorológia oktatását. Megújította a tananyagot, meghonosította a korszerű ciklonképződési elméletek oktatását. Elindította és több mint egy évtizeden át szervezte a máig is nagy sikernek örvendő Meteorológiai Előrejelzési Vetélkedőt. Érdekes, jó előadásokat tartott. Fontos volt számára a szinoptikus meteorológia történeti vonatkozásainak a bemutatása. Oktatóként 1985 és 2005 között tartott órákat a katonai meteorológusoknak, majd az 1990-es évektől ő szervezte a kétéves Katonai Szaktanfolyamokat. Katonák nemzedékét tanította a meteorológiában alkalmazott matematikai ismeretekre és szinoptikus meteorológiára. A VITUKI nemzetközi posztgraduális hidrológus tanfolyamán 1991 és 2004 között tanított. Az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottságának 2002–2005 és 2009–2012 között volt tagja. 2002-től főállásban az OMSZ-nál dolgozott. 2002 és 2005 között a Földfelszíni Megfigyelések Osztályát vezette. 2006-tól 2009-ig szakértő az Előrejelző Osztályon, amelyet 2006 ősze és 2008 vége között vezetett. A Magyar Meteorológiai Társaságba 1980-ban lépett be. Elnöke volt a Róna Zsigmond Ifjúsági Körnek. 2002 és 2012 között a Társaság főtítkáráként tevékenykedett. Közreműködött a MTESZ Ifjúsági Bizottságában és annak Budapesti Szervezetében. A LÉGKÖR Szerkesztőbizottsága munkájában 2004 és 2009 között vett részt. Szakmai munkáját az MMT 1992-ben Róna Zsigmond Ifjúsági Díjjal, 2001-ben Steiner Lajos Emlékéremmel jutalmazta. Kegyelettel emlékezünk rá.



## WIRTH ENDRE

Budapest, 1933. április 22. – Budapest, 2016. július 20.

Dr. Wirth Endre nevéhez fűződik a rakétás jégeső-elhárító rendszer létrehozása és működtetése Baranya és Bács-Kiskun megyében 1976 és 1990 között. A budapesti József Attila Gimnáziumban letett érettségi után tanulmányait az ELTE meteorológus szakán folytatta, ahol 1956-ban szerzett meteorológus diplomát. Az OMSZ Aerológiai Osztályán kezdett dolgozni, majd kutatói beosztásba került, s a természetes jégmagvak vizsgálatával foglalkozott. 1964-ban védte meg a *Jégkristályok vizsgálata* című egyetemi doktori értekezését. Az időjárás módosításának kísérleti és elméleti alapjait WMO (ENSZ) ösztöndíjasként az Egyesült Államokban és a Szovjetunióban tanulmányozta 1967–68-ban. Hazatérése után megbízást kapott a Kaukázusban alkalmazott rádiólokátoros-rakétás jégeső-elhárítási rendszer hazai meghonosítására, társadalmi összefogással. A projekttel együtt egy új disciplina művelése indult meg a meteorológiában, új eredmények születtek a konvektív folyamatok megismerésében, modellezésében. Tevékenysége ösztönzőleg hatott a konvektív aktivitás hazai kutatására, újfajta szakemberek nőttek fel mellette modern meteorológiai eszközök működtetésére. A KLFI Felhőfizikai Osztályának vezetésével 1971-ben bízták meg. 1974. január elsején lett az Alkalmazott Felhőfizikai Főosztály (Pécs) főosztályvezetője. A megbízatással együtt 1974-ben Pécsre költözött. 1980-ban megalakult az Alkalmazott Felhőfizikai Központ (AFK), amelynek a kutatási feladatok mellett a Bács-Kiskun megyei jégeső-elhárító szervezet létrehozásának tervezése és irányítása is feladata volt. Főosztályvezetőként vezette az AFK-ban folyó munkákat. Az operatív feladatok irányítása 1982-ben a Bács-megyei rendszerhez kerültek. Kutató munkája mellett meghívott oktatóként részt vett az ELTE meteorológus képzésében is. 1984-ben a WMO Nemzetközi Felhőfizikai Bizottsága titkárának választották meg. 1987-ben tudományos főmunkatársként visszatért Budapestre. 1991. szeptember 10-én korongedményesen nyugállományba vonult. Kapcsolata nem szűnt meg a szakmával. Független kutatóként, intézményi háttér nélkül is eredményesen foglalkozott a globális felmelegedés kérdéseivel, mintegy 40 ismeretterjesztő cikke jelent meg a Természet Világában és az Élet és Tudományban. Munkásságáért 1976-ban megkapta a Munka Érdemrend ezüst fokozatát. 1979-ben, a jégeső-elhárítás kísérleti időszakának sikeres befejezésekor, a Mezőgazdaság Kiváló Dolgozója lett. Szakmai munkásságát 2011-ben Schenzl Guido díjjal jutalmazták. Emlékét kegyelettel megőrizzük, nyugodjék békében!



# EGY ÚJ ÖZÖNNÖVÉNY, A MAGAS ARANYVESSZŐ (*SOLIDAGO GIGANTEA*) PÁROLGÁSA A BALATON-KÖZELI TERÜLETEKEN

## EVAPOTRANSPIRATION OF GOLDENROD (*SOLIDAGO GIGANTEA*), A NEW INVASIVE CROP IN THE VICINITY OF LAKE BALATON

Anda Angéla, Sujtó Eszter, Soós Gábor

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

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

**Összefoglalás** A magas aranyvessző párolgásának (ET) meghatározására vonatkozó megfigyeléseinket Keszthelyen, az Agrometeorológiai Kutatóállomáson elhelyezett Thornthwaite-Matter típusú kompenzációs evapotranspirométerben végeztük 2014 tenyészidőszakában. A növényi jellemzők közül a növénymagasságot és a levélfelület-indexet kétféleképpen mértük. A növénykonstanst a mért és a referencia evapotranspiráció hányadosaként állítottuk elő. A referencia evapotranspirációt a Penman-Monteith (FAO-56) egyenlettel számoltuk, amelyhez a szükséges meteorológiai adatokat az OMSZ ellenőrzése alatt álló helyi automata klímaállomás (QLC-50) szolgáltatotta. A vizsgálat részét képezte a mért evapotranspiráció és a különböző időjárási elemek kapcsolatának feltárása, melyek közül a relatív légnedvesség-párolgás adta a legszorosabb kapcsolatot. Az általunk meghatározott növénykonstans, s a mért párolgás is magasnak tekinthető egy magaskórós növény esetében. A mért evapotranspiráció összege 452,2 mm volt, míg a hozzátartozó évi (tenyészidőszakbeli) átlagos növénykonstans 1,01. A jövőben lehetőség nyílik a mért növénykonstansok ismeretében a Balaton környékét veszélyeztető magas aranyvessző párolgásának meghatározására kizárólag a meteorológiai adatok alapján is. Az ET reprodukálása alapvető fontosságú a térség vízháztartási mérlegének felírásánál, mivel az ET a nevezett egyenlet egyik meghatározó kiadási tagja.

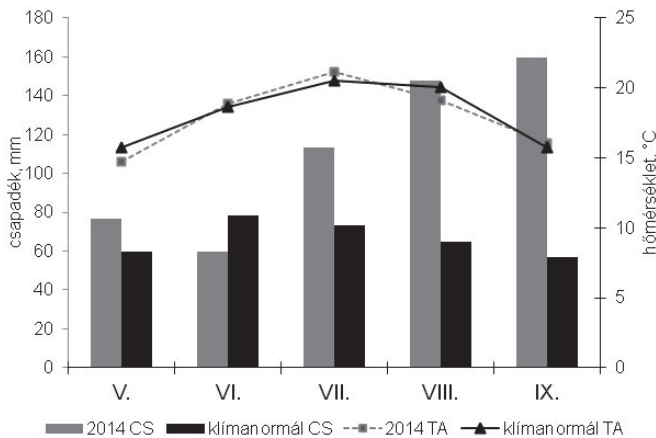
**Abstract** Investigations on evapotranspiration (ET) of goldenrod (*Solidago gigantea*) were carried out at Keszthely Agrometeorological Research Station, during the growing season of 2014. Test crops were planted into growing chambers of Thornthwaite-Matter type compensation evapotranspirometers. Crop characteristics, plant height and leaf-area index were measured bi(three)-weekly. Daily crop coefficients were established as a ratio of measured and FAO-56 (Penman-Monteith) reference evapotranspirations. Meteorological data were provided by an on-site automatic climate station of QLC-50 type, supervised by OMSZ–Hungarian Meteorological Service. Close negative correlation between goldenrod measured ET and relative humidity was found in the summer of 2014. Size of crop coefficient together with ET of goldenrod were extremely high regarding tall herb communities, group of crops containing our studied species. Seasonal measured ET totaled 452.2 mm, while counted average crop coefficient just exceeded 1 (1.01). Later on, on the basis of daily crop coefficients, ET of goldenrod, occupying vicinity of Lake Balaton, can be derivable by using meteorological elements only. This has primary importance in calculation of water budget of studied region, where ET is a decisive factor as an essential output term of water balance.

**Bevezetés.** A magas aranyvessző (*Solidago gigantea*) az elmúlt években súlyosan átalakította a Balaton part menti zónáját, s a folyamat még ma sem zárult le. A környéken feltűnő júliustól a messzeségbe nyúló sárga virágú növényrengeteg. Magyarországra a magas aranyvessző mellett a kanadai fajtársa (*Solidago canadensis*) is veszélyt jelenthet, a Balaton és környékének viszonylatában azonban ez utóbbi nem számottevő. A Kis-Balaton teljes területe és a Balaton bizonyos partszakaszai kifejezetten fertőzöttek: míg a Szigligeti-öblöt egy egészséges nádállomány öleli a maga természetes élővilágával, addig ettől nyugatabbra sokkal rosszabb a helyzet. A különbség oka itt feltehetőleg az, hogy az aranyvessző elsősorban az átmenetileg szárazság sújtotta vizes területekre tör be, – így inkább a nyugati partszakaszon jellemző a probléma, – míg a megfelelő vízellátottságú (tópart közeli) nádasokat nem tudja jelentősen megbontani. Terjedésének veszélyessége nem csupán a természetes növénytakaró eltűnésében rejlik, hanem megváltoztat mindent, ami ehhez kapcsolódik: mikroklimát, életközösségeket, biodiverzitást. A legnagyobb problémát az jelenti, hogy szinte bárhol meg tud élni, nem kímélve az adott élőhelyre jellemző flórát és faunát. A *Solidago gigantea* vízháztartásával és azon belül is az evapotranspirációjával kapcsolatos publikációt eddig nem találtunk a szakirodalomban. Az invazív növény terjedésének megakadályozására

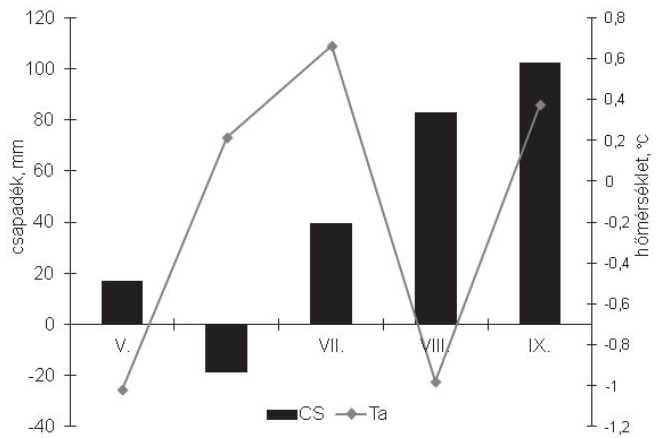
a sikeres fellépés érdekében fontos, hogy minél többet megtudjunk a hazánk területén pionír növénynek számító aranyvessző vízháztartásának kiadási tagját képviselő párolgás helybeni alakulásáról. A felvázolt problémakör megoldásához lehetőséget a keszthelyi Agrometeorológiai Kutatóállomáson elhelyezett evapotranspirométerbe telepített magas aranyvessző állomány biztosított, 2014 májusától. A mért és számított párolgásokból származtatott növénykonstans értékek a jövőben az evapotranspiráció meghatározásának gyakorlatában alkalmazhatók lehetnek, mind a Balaton-parti, mind a Kis-Balatonon tömegesen előforduló *Solidago* állományokra. A növénykonstans ismeretében a magas aranyvessző párolgásának meghatározása kizárólag meteorológiai elemek alapján történhet. Ez pedig a közeljövőben azért lesz fontos, mert a Kis-Balatonhoz hasonló „wetland” jellegű területeken – sajnos – nem elhanyagolható mennyiségben van jelen az aranyvessző, evapotranspirációjának ismerete a pontos vízháztartási mérleg felírásához elengedhetetlen, mely a vizes élőhelyek kezelésének alapegyenlete. Meteorológiai megközelítésű evapotranspiráció meghatározására vonatkozó mérések a huszadik század közepét követően váltak tömegessé (Monteith, 1973; 1976). Ezek olyan hő- és vízháztartási méréseken alapuló eljárások, mely méréseket kompenzációs evapotranspirométerekre helyezett szántóföldi növényállományokon végeztek a

kutatók a termesztett növények vízigényének és öntözővíz szükségletének megismerése érdekében (Howell *et al.*, 1991; Antal, 1968). A kérdéskörnek több hazai vonatkozása is van. Így megismerhettük a párolgás, és az időjárási tényezők, ill. a műtrágya használata közti szoros kapcsolatot a kukorica esetében (Tóth, 1978). Endrődy (1978; 1979) először a burgonya evapotranspirációját határozta meg a műtrágya ellátottság függvényében, majd a potenciális, tényleges és az optimális evapotranspiráció számított értékei alapján kiszámította a burgonya tenyészidőszakára az öntözővíz szükséglet évi összegeit. Hasonló vizsgálatot végzett Posza (1980) is, aki néhány konzervnövény (zöldbab, uborka, paradicsom) öntözővíz szükségletét határozta meg az optimális

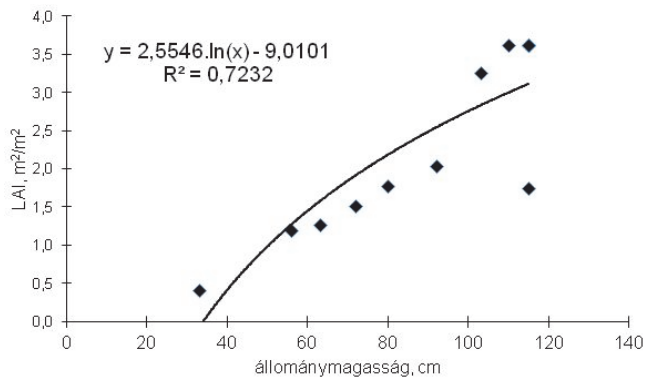
problémát vetett fel a szerző a mocsári növény evapotranspiráció mérésével kapcsolatosan. A munka ezután évtizedekig megszakadt, majd 2003-ban kezdődött egy hosszú idősoros mérés-sorozat a keszthelyi Agrometeorológiai Kutatóállomáson, melynek célja az volt, hogy a nád párolgása a növénykonstans ismeretében kizárólag meteorológiai elemekből is megbízhatóan kiszámítható legyen (Anda és Soós, 2014; Anda *et al.*, 2014; Boldizsár, 2007). A mocsári növényekre (nád, sás, stb.) vonatkozó biológiai információt hordozó növénykonstans gyakorlati alkalmazására (területi párolgás meghatározás) is találunk példát a szakirodalomban, mind a Balaton vízfelületét szegélyező nádasokra (Varga, 2010), mind a kis-balatoni wetland vidékre vonatko-



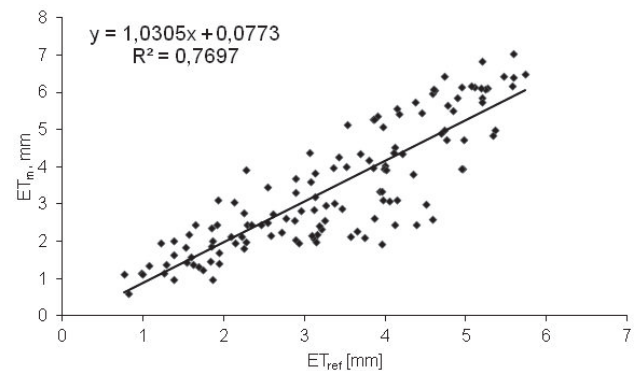
1. ábra: Havi középhőmérséklet és havi csapadékösszegek alakulása 2014-ben a klímanormálokkal. A vizsgálat során az 1971-2000 év átlagait vettük figyelembe klímanormálként



2. ábra: 2014 időjárásának eltérése a klímanormáltól



3. ábra: A levélfelület-index alakulása 2014-ben



4. ábra: A mért evapotranspiráció kapcsolata a referencia evapotranspirációval

és a tényleges evapotranspiráció, illetve növénykonstans ismeretében. Stollár és Gergely (1978) kétváltozós korrelációs kapcsolatot számított öt meteorológiai elem és az alma evapotranspirációja között, melyek közül – a jelenlegi vizsgálattal összhangban, – a globálisugárzás és a léghőmérséklet szoros kapcsolatot mutatott. Walkowszky (1978) amellet, hogy az állománysűrűség és az evapotranspiráció összefüggését vizsgálta kukoricán, megtette úttörő lépéseit a nád evapotranspirációjának mérésében is. A szerző volt az első, aki nem szántóföldi növényen végzett megfigyelést a Fertő-tó közelében elhelyezett evapotranspirométerekbe telepített nádban, s meghatározta a számított növénykonstans értékeit, havi bontásban publikálva (Walkowszky, 1977; 1978). Számos

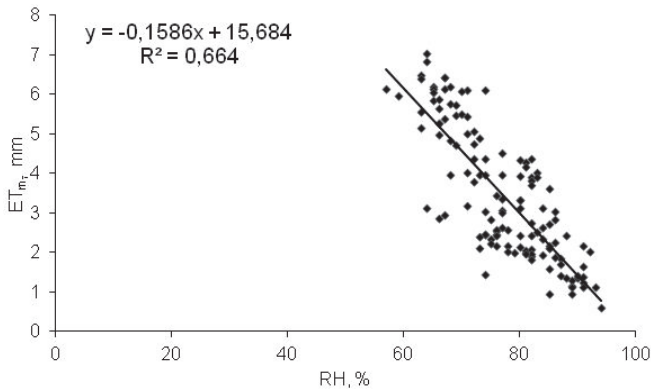
zóna (Anda *et al.*, 2015). Napjainkban a növénykonstans felhasználása kibővült a távérzékelés, a műholdképek mindennapi gyakorlatba történő bevonásával (Abedinpour, 2015).

#### Anyag és módszer.

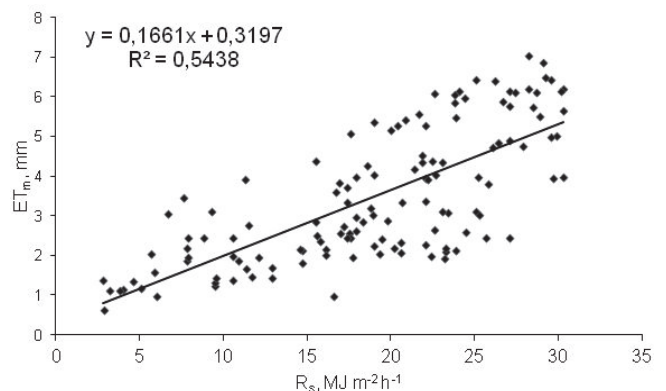
**Az evapotranspirométer bemutatása a betelepítéssel.** Aranyvesszővel fedett talajszelvény evapotranspirációjára (ET) vonatkozó megfigyeléseinket 2014 tenyészidőszakában végeztük Keszthelyen, a Pannon Egyetem Georgikon Karának Agrometeorológiai Kutatóállomásán levő tenyészkáda segítségével. A Thornthwaite-Matter típusú kompenzációs evapotranspirométerbe 2014 tavaszán betelepítettük a Balaton partjának közelében gyűj-

tött magas aranyvesszőt. A növények sűrűségének beállításakor a Balaton közeli területeken, a szabadföldön található egyedsűrűséget vettük alapul. A növények eredése tökéletes volt, így mindjárt az első évben használható párolgás adatok álltak rendelkezésünkre. A Thornthwaite-Matter típusú kompenzációs evapotranspirométer hagyományosan két, csővel összekötött részből áll: a szabadföldön elhelyezett tenyészedény a növényeknek, illetve egy távolabb elhelyezett mérőpince, mely a vízellátást szolgálja (Antal, 1968). Az általunk használt evapotranspirométer egy 1 méterre a talajba süllyesztett, három oldalról zárt, 4 m<sup>2</sup> felületű, ill. 4 m<sup>3</sup> térfogatú edény, amelybe a talajt természetes rétegzettségnek megfelelően helyeztük el, egy, az edény alján található kavicsrétegre. Ez utóbbi szerepe, hogy a víz el-

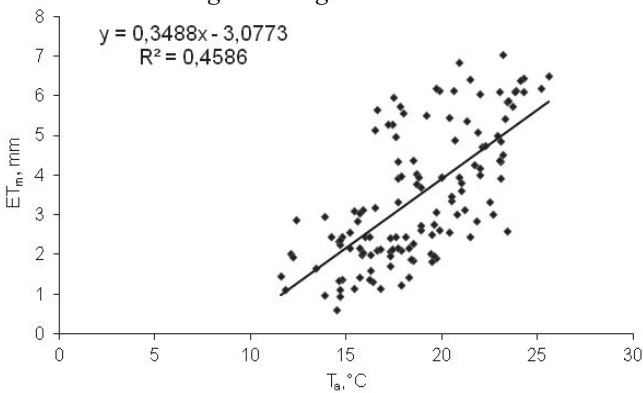
szőr a magasságát mértük, majd a levelek számát határoztuk meg. Ezt követően mérőszalag segítségével lemértük a levél szélességét és hosszát, melyből a Montgomery képletel (Montgomery, 1911) megkapható a levélfelület, s később pedig meghatározható belőle a LAI értéke is (Anda és Tóbiás, 1999; Anda, 1986). A mérés 2–3 hetente ismételtük. A mért (optimális) evapotranspiráció (ET<sub>m</sub>) napi összegeit a kompenzációs evapotranspirométer központi HYGACQ VI.3 típusú adatgyűjtője szolgáltatta. A további számításokhoz felhasználtuk az állomáson található Országos Meteorológiai Szolgálat tulajdonában levő QLC50 típusú klímaállomás napi bontású adatait: globálsugárzást, léghőmérsékletet, csapadékösszeget és relatív légnedvességet. A növénykonstans, K<sub>c</sub> meghatározásához a Penman-



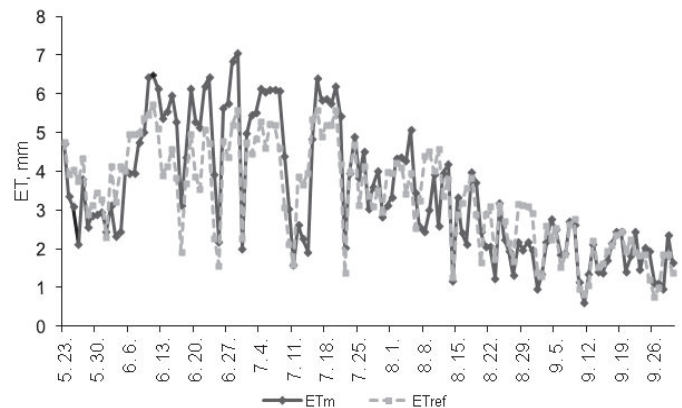
5. ábra: A mért evapotranspiráció kapcsolata a légnedvesség tartalommal



6. ábra: A mért evapotranspiráció kapcsolata a globálsugárzással



7. ábra: A mért evapotranspiráció kapcsolata a léghőmérséklettel



8. ábra: A napi evapotranspiráció alakulása 2014 tenyészidőszakában

jusson a gyökerekig (kapilláris vízelés). A talajvíz mélységet 90 cm-re állítottuk be (Anda és Kocsis, 2010). A mérőrendszer működése a közlekedőedények elvén alapult, ami a víz utánpótlását és a víz állandó magasságon tartását jelentette. A víz kapilláris vízeléssel jutott el az előre beszabályozott magassáig, ahol a talajszelvényben a legnagyobb a gyökértömeg.

**További mérések ismertetése.** A növények tősűrűségét a 2014-es tenyészidőszakban 1 m<sup>2</sup>-nyi földfelszínre számoltuk, kezdetben hetente, később kéthetente, melyet a levélfelület-index, LAI számításánál vettünk figyelembe. A növénymagasságot az állomány átlagmagasságú hajtásain hetente mértük egy mérőszalag segítségével, legalább 6 ismétlésben. A levélfelület mérésére kétszer három egészséges egyedet választottunk, melyeknek elő-

Moneith féle egyenlettel (Penman, 1948; Monteith, 1965) kiszámítottuk a referencia evapotranspirációt (ET<sub>ref</sub>), melynek a FAO által ajánlott változatát használtuk. FAO-56 formula (Allen et al., 1998):

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

ahol: R<sub>n</sub> a növény felszíni nettó sugárzása [MJm<sup>-1</sup>nap<sup>-1</sup>], G a talaj napi hőfluxusa [MJm<sup>-1</sup>nap<sup>-1</sup>], T a 2 m magasságban mért átlagos napi léghőmérséklet [°C], u<sub>2</sub> a 2 m magasságban mért szélesség [ms<sup>-1</sup>], e<sub>s</sub> telítési vízgőznyomás [kPa], e<sub>a</sub> az aktuális vízgőznyomás [kPa], Δ a vízgőz nyomásgörbe gradiense [kPa°C<sup>-1</sup>], γ a pszichrometrikus állandó [kPa°C<sup>-1</sup>]. A növénykonstans (K<sub>c</sub>) a mért (ET<sub>m</sub>) és a számolt referencia evapotranspiráció (ET<sub>ref</sub>) hányadosa-

ként minden napra meghatároztuk (majd ezekből származtattuk a havi értékeket):

$$K_c = ET_m/ET_{ref} \quad (2)$$

A növénykonstans a biológiai tulajdonságok párolgásra kifejtett hatását összegzi. Az időjárási változók és a magas aranyvessző mért evapotranspirációs értékei közti kapcsolat feltárására MS-Excel táblázatkezelő segítségével korrelációs koefficienseket számoltunk, majd regressziós görbét illesztettünk. A vizsgálatba két evapotranspirométer-kádat vontunk be, melyek párolgás adatait összehasonlítottuk kétmintás párosított t-próba segítségével, s mivel nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget a két kád párolgása között, a továbbiakban a számításokhoz a két kád átlagértékeit használtuk. Ezt az összehasonlítást is az MS-Excel táblázatkezelővel végeztük.

### Eredmények és értékelésük

**A 2014-es tenyészidőszak időjárása.** A 2014-es tenyészidőszak időjárási adatait az 1971–2000-ig tartó sokévi átlaggal (klímanormál) vetettük össze. A klímanormál szerint Keszthely sokévi léghőmérsékleti átlaga a tenyész-

*1. táblázat: Korrelációs mátrix a vizsgált meteorológiai elemek és a párolgás közti kapcsolat kimutatására. Jelölések:  $ET_{ref}$  – referencia evapotranspiráció a FAO-56 egyenlettel számolva;  $ET_m$  – mért evapotranspiráció;  $T_a$  – léghőmérséklet;  $R$  – globálsugárzás;  $RH$  – relatív légnedvesség;  $P$  – csapadék.*

	$ET_{ref}$	$T_a$	$R$	$RH$	$P$	$ET_m$
$ET_{ref}$	1,00					
$T_a$	0,77	1,00				
$R$	0,95	0,68	1,00			
$RH, MJ m^{-2} h^{-1}$	0,81	-0,48	-0,77	1,00		
$P$	0,26	-0,06	-0,35	0,35	1,00	
$ET_m$	0,88	0,72	0,79	-0,84	-0,27	1,00

időszakban (május-szeptember) 18,1 °C, melyen belül 20,5 °C-os júliusi maximum és 15,7 °C-os szeptemberi minimum várható. A várható csapadékösszeg ugyanerre az időszakra vonatkozóan a sokévi átlag alapján 333,9 mm, mely megoszlásában a június a legbővebb csapadéku hónap, ill. szeptember a legszárazabb hónap. A 2014-es tenyészidőszak nem sokban tért el a klímanormál adataitól (1. ábra), sőt a léghőmérséklet-átlag tekintetében szinte elhanyagolható, 0,1 °C-os különbség mutatkozott (2014: 18 °C). Nem volt különbség a maximum és a minimum hőmérsékletek bekövetkezési időpontjában sem, s értékei is igen közel estek egymáshoz. Ennek alapján megállapítottuk, hogy a 2014-es tenyészidőszak a hőmérséklet átlagait tekintve átlagos esztendő volt. Ennek a tenyészidőszaknak a csapadékösszege azonban felülmúlta a klímanormált, mégpedig jelentősen, 66,8%-kal. A csapadék eloszlása is eltérő képet mutatott 2014-ben: a legtöbb csapadék szeptemberben, míg a legkevesebb júniusban esett. A 2. ábrán a vizsgált tenyészidőszak időjárási eltéréseit jelenítettük meg. Míg a havi középhőmérsékletek az átlaghoz képest maximum közel 1 °C-os

emelkedést mutattak (júliusban), addig a csapadékösszegben a különbség számottevőbb, főleg augusztus és szeptember esetében. Az ábra megtevesztő lehet, hiszen az adott havi csapadékösszegeket ábrázolja, épp ezért nem feltétlen jelenti azt, hogy az adott hónap egyenletesen csapadékos lenne. Jelen esetben sem beszélhetünk erről – csapadékos hónapról –, csak csapadékos napokról. Augusztusban hét olyan nap volt, amikor 10 mm-nél több csapadék hullott és ebből kettőn 25 mm-nél is több. A legmagasabb értéket augusztus 14-én jegyeztük fel, ekkor 30,6 mm eső esett. Szeptember is hasonlóan alakult. Ekkor hat olyan napot számoltunk, ahol jelentősebb mennyiségű csapadék hullott, a maximumot szeptember 2-án 32,9 mm-rel érte el. E két hónap abból a szempontból is fontos, hogy a tenyészidőszakban levő magas aranyvessző állomány ekkora érte el legnagyobb magasságát, s kezdte meg virágzását. Az egész tenyészidőszak időjárásáról elmondható, hogy hasonló tendenciát mutatott, mint az augusztusi és szeptemberi csapadékjelenségek: nincsenek hosszú csapadékos időszakok, csupán néhány hűvösebb és nedvesebb nap szakította meg az amúgy meleg és száraz időjárást.

**Növényi jellemzők.** A *Solidago gigantea* evapotranspirométerekbe történő ültetésékor, május elején, a telepítéshez felhasznált példányok átlagosan 30 centiméter magasságúak voltak. Majd alig egy hónapon belül megkészték magasságukat. Júliustól a növények növekedése mérsékelt ütemű egészen augusztusig, amikor is a növény elérte végleges magasságát (115 cm). Augusztus elején, a szárcsúcson levő hajtásokból virágok kezdtek fejlődni, s a hónap végére a virágzás 100%-os volt. Az állománymagassággal párhuzamosan növekedett a levélfelület index, LAI értéke is, melynek bemutatását a növénymagasság függvényében ábrázoltuk 2014 tenyészidőszakában (3. ábra). Július közepén az intenzív növekedési fázisban a LAI értéke ugrásszerűen megnőtt. Akárcsak a magasság esetében, a LAI is augusztus elejére elérte maximális értékét (3,26). Az egész tenyészidőszakra vonatkozó LAI átlagértéke a mért adatok alapján 2,31 volt.

**Az időjárás hatása a magas aranyvessző mért párolgására.** A vizsgálat évében figyelembe vett időjárási elemeken (léghőmérséklet, globálsugárzás, csapadék és légnedvesség) kívül a referencia evapotranspiráció ( $ET_{ref}$ ) értékét is összevetettük a mért ET értékekkel ( $ET_m$ ), mely eredményei a 4–7. ábrán és az 1. táblázatban kerültek bemutatásra. A párolgás-időjárás közti kapcsolat meglétét a legegyszerűbben a korrelációs koefficiensekkel vizsgálhatjuk, majd ezt követően felírható a két elem közti regressziós egyenes egyenlete.

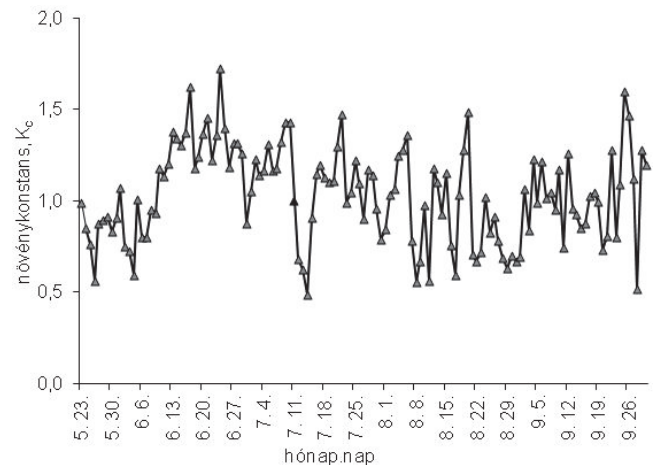
A kapcsolat az  $ET_{ref}$  és  $ET_m$  között szoros volt, a korrelációs koefficiens magas értékével ( $r = 0,88$ ), így indokoltnak látszik, hogy a továbbiakban a növénykonstans és a FAO-56-os referencia párolgás egyenlete felhasználásával számoljuk a helybeli magas aranyvessző párolgását (4. ábra). Az időjárási elemek közül a légnedvesség (RH) adta a legszorosabb kapcsolatot a párolgással (5. ábra), mely negatív együtthatóval jellemezhető ( $r = -0,84$ ). Minél szárazabb a levegő, a párolgás annál intenzívebb, mivel ez a tényező a növény párolgatatásának mozgatója („driving force”). Ezt nagyságrendben

követte a sugárzás ( $R$ )  $r = 0,79$  (6. ábra) és a léghőmérséklet ( $T_a$ , 7. ábra)  $r = 0,72$  értékkel. A leggyengébb kapcsolat a csapadékkal ( $P$ ) volt ( $r = -0,27$ ), így a csapadék-párolgás kapcsolatot kizárhattuk a további elemzésekből. Ez esetünkben természetes, hiszen az evapotranspirométerben a hiányzó csapadékot mesterségesen pótoltuk naponta, a növény vízigényének megfelelően. A korrelációs koefficiens értékeit az 1. táblázat szemlélteti.

**Az evapotranspiráció alakulása.** Az evapotranspirométer tenyészkádaiba telepített magas aranyvessző ET mérését a növények eredését követően 2014. május 23-án kezdtük és szeptember 30-át jelöltük meg a mérés utolsó napjaként. A referencia evapotranspirációt is erre az időszakra számítottuk (8. ábra). A mért evapotranspiráció összege 452,2 mm volt, míg a számított érték 438,3 mm. Kétmintás párosított t-próbát alkalmazva 5%-os szinten az evapotranspirációs összegek nem tértek el szignifikánsan. A napi átlagok között csupán egy tizedesnyi különbség van: a mért párolgás  $3,46 \text{ mmnap}^{-1}$ , a referencia párolgás pedig  $3,35 \text{ mmnap}^{-1}$ . Meleg időben a mért magasabb, hűvösebb időjárásnál az  $ET_{ref}$  a nagyobb érték. Ez azt jelenti, hogy meleg időjárásnál a helyben mért értékek akár jelentősebben is meghaladhatják a FAO-56 egyenlet alkalmazásával számítottakat. Ezt a későbbiekben érdemes tekintetbe venni. Hűvös időjárás esetén az egyezés sokkal közelebbi volt. A napi mért és referencia ET májustól június végéig növekedő tendenciát mutatott, onnantól pedig szeptember végéig folyamatosan csökkentek az értékek. A legmagasabb napi párolgás értéket június 29-én mértük  $7,1 \text{ mm}$ -rel, míg a maximális  $ET_{ref}$  ennek csupán 81%-a volt június 11-én. Ez majdnem 20%-os eltérést jelentett a két ET esetében. Összefoglalva megállapítható (8. ábra), hogy a számított evapotranspiráció nem sokkal ugyan, de elmarad a mért értékektől, különösen szembevetve ez a legmagasabb értékeket produkáló június esetében, de még júliusban is jelentős eltéréseket kaptunk. A havi átlagokban mindkét párolgás, az  $ET_m$  és  $ET_{ref}$  maximuma egyaránt júniusban volt,  $4 \text{ mmnap}^{-1}$  feletti napi értékekből, ahogyan a minimum evapotranspiráció is mindkét esetben szeptemberre esett, napi átlagokban  $2 \text{ mm}$  alatti értékkel.

**A növénykonstans tenyészidőszakbeli változásai.** A növénykonstans értékeit a párolgáshoz hasonlóan napi bontásban határoztuk meg, majd havi átlagokat számoltunk (9. ábra). A növénykonstans havi átlagértéke a vegetációs periódus elején, májusban a legalacsonyabb ( $0,84$ ), csúcsertékét pedig júniusban éri el ( $1,17$ ), akár csak az evapotranspiráció. A növénykonstans értékeken jól látszik, hogy a párolgatózó zöldfelület és a napsugárzás függvénye a  $K_c$  érték is, hiszen a tenyészidőszak elején e két tényező is alacsony, így a vízigény és a növénykonstans értéke is az. A későbbiekben a mocsári- és természetett növényekhez hasonlóan a megszokott tendenciának megfelelően alakult a  $K_c$  havi átlagos változása, júliusban  $1,09$ , augusztusban pedig a havi átlag  $0,91$  volt. Az augusztusi csökkenés oka feltehetőleg az ebben a hónapban megkezdődött levéllezáradás mellett a hűvösebb időjárás lehetett. Szeptemberig az evapotranspiráció menetéhez hasonlóan alakul a növénykonstans, onnantól kezdve ez utóbbi értékében növekedés következett be (szeptemberi átlag:  $1,03$ ). Ez valószínűleg azzal

magyarázható, hogy szeptember az átlagnál jóval melegebb volt (augusztus pedig hűvösebb), s az állomány nagy része megkezdte a terméskezést, ezek együttes hatására megemelkedett a vízigény is, bár a párolgatózó zöldfelület ekkor már csökkent. A napi értékeket tekintve a legmagasabb  $K_c$  érték megjelenési ideje júniusban volt ( $1,73$ ), míg a legalacsonyabbat is ebben a hónapban számoltuk ( $0,49$ ). A tenyészidőszakra vonatkozó  $K_c$  átlagértéke  $1,01$ . A magas aranyvessző  $K_c$  értékei jelentősen meghaladták a gazdasági növényekre meghatározottakat, melyek többségének tenyészidőszakbeli átlaga  $0,6$ – $0,8$  közötti mind a hazai (Posza és Stollár, 1983), mind a nemzetközi (Allen et al., 1997; Doorenbos and Pruitt, 1977) irodalom alapján. A *Solidago gigantea* növénykonstansai magas értéket mutattak 2014-ben, hasonlókat a nád és más mocsári növény hosszú idősoros mérései alapján meghatározott növénykonstansaihoz, melyek rendre meghaladták az 1-et (Anda és Soós, 2014). Ez a hasonlóság azonban megtévesztő lehet. A nád esetében – lévén, hogy mocsári növény – nem meglepőek az 1 feletti értékek, hiszen ezeken az élőhelyeken vízhiány nem korlátozza az evapotranspirációt, azonban az aranyvessző esetében nemcsak hogy meglepő, de fenyegető is



9. ábra: A növénykonstans értékeinek alakulása 2014-ben

lehet az általa meghódított terület flórájára, mivel bárhol meg tud élni, akár szárazabb réteken, vagy átmeneti szárazság esetén is úgy, hogy jelentős vízigényével szinte „kizsarolja” a talaj nedvességtartalmát.

**Következtetések.** Magas aranyvesszővel kapcsolatos evapotranspirációs vizsgálatokra mind a mai napig nem találtunk példát a szakirodalomban. Bár jelen mérések félig „mesterséges” körülmények között zajlottak (evapotranspirométer tenyészvényei), a kapott adatok mégis sok mindent elárulnak a növény vízháztartásának alakulásáról. A *Solidago gigantea* levélfelület-indexének 2014-ben mért átlaga  $2,31 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  volt, mely azt jelenti, hogy állománya sűrű, a talajt jócskán lefedi – pedig ez még csak az első evapotranspirométerben töltött tenyészidőszaka volt. Nem meglepő az sem, hogy természetes élőhelyein az aljnövényzetben rajta kívül semmi más nem tud kihajtani. Ez a biodiverzitást jelentősen fenyegető tényező. A mért időjárási elemek közül az evapotranspiráció a légnedvesség mellett a sugárzással és

léghőmérséklettel adott szorosabb kapcsolatot. A léghőmérséklettel regisztrált kapcsolat megléte azért örvendetes, mert a többi meteorológiai elemmel ellentétben bárki által könnyen mérhető, bárhol reprodukálható, így a későbbiekben további helybeni kutatások esetén jól felhasználható. A mért és a referencia evapotranspiráció értékei mind évi, mind napi időszakban magasak voltak, vetekedtek a vízben álló mocsári növények párolgásával, alátámasztva azt a tényt, hogy a magas aranyvessző fejlődése során rengeteg vizet felhasználó növény. Az evapotranspirométerben, ebben a félig mesterséges környezetben „könnyű dolga” volt a növénynek, hiszen korlátlanul juthatott vízhez. Természetes előfordulási helyén sem kell az őshonos növényekkel megküzdenie az éltető folyadékért, hiszen tömeges megjelenése arra utal, hogy az ugyanott élő, akár őshonos fajoknak nem hagy sok lehetőséget a túlélésre. Tömeges megjelenése látható veszélyt hordoz, ugyanis előfordulása napjainkban nem feltétlen kötött a víz jelenlétéhez, szárazabb területeken, réteken egyaránt megtalálható. A növénykonstans kiszámításával a továbbiakban már bármikor meghatározható a magas aranyvessző evapotranspirációja, csupán az időjárási adatokat kell ismerni. Ez pedig azért fontos, mert már így is hatalmas területeket hódított meg, s nem lehet figyelmen kívül hagyni adott ökoszisztémák, például mocsárvidékek vízháztartási mérlegének kiszámításánál. A vízmérleg kiadási tagjaként a terület-kezelési tervek alapvető információt hordozó tagja.

**Köszönetnyilvánítás.** A publikáció TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0004 számú „A Pannon Egyetem tudományos műhelyeinek támogatása” című projekt támogatásával készült.

## Irodalom

- Abedinpour, M., 2015: Evaluation of Growth-Stage-Specific Crop Coefficients of Maize Using Weighing Lysimeter. *Soil & Water Res.* 10, 99–104.
- Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith M., 1998: Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. and Drain Paper 56, *Food and Agric. Organ. of the United Nations*, Rome, Italy. pp. 300
- Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S. and Pruitt, W. O., 1997: Proposed revision to the FAO procedure for estimating crop water requirements. In: Chantzoulakes, K. S. (ed.): Proc. 2<sup>nd</sup>. Int. Sym. on Irr. of Horticultural Crops, ISHS, *Acta Hort.* 1, 17–33.
- Anda, A., 1986: A kukorica (*Zea mays* L.) levélfelületének meghatározására alkalmas módszerek összehasonlítása. *Növénytermelés* 35, 99–108.
- Anda, A., Soós, G., Teixeira da Silva, J.A. and Kozma-Bognár, V., 2015: Regional evapotranspiration from a wetland in Central Europe, in a 16-year period without human intervention. *Agric. Forest Meteorol.* 205, 60–72.
- Anda, A., Teixeira da Silva, J. A. and Soós, G., 2014: Evapotranspiration and crop coefficient of common reed at the surroundings of Lake Balaton, Hungary. *Aquatic Bot.* 116, 53–59.
- Anda, A. and Soós, G., 2014: A nád növénykonstansának alakulása hosszú idősoros mérések alapján. *Hidrológiai Közlemény* 94(2) 13–16.
- Anda, A. és Soós, G., 2014: A nád párolgása a Balaton környékén. *Léggör* 59, 145–149.
- Anda, A. és Kocsis T., 2010: Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek. *Mezőgazda kiadó*, Budapest.
- Anda, A. és Tóbiás, F., 1999: Egyedi kukoricalevél területének meghatározására szolgáló eljárások és műszerek összehasonlító vizsgálata. *Növénytermelés* 48, 55–67.
- Antal, E., 1968: Az öntözés előrejelzése meteorológiai adatok alapján. *MTA Kandidátusi értekezés*. Budapest.
- Boldizsár, A., 2007: A párolgás és mikroklíma vizsgálata eltérő vízellátású balatoni nád állományban. *PhD értekezés*, Keszthely.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O., 1977: Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24, rev. FAO, Rome, Italy. pp. 144
- Endrődi, G., 1978: A burgonya evapotranspirációja a műtrágya ellátottság függvényében. *Beszámoló az 1976-ban végzett kutatásokról*, XLVI. kötet, OMSZ, Budapest. 171–181.
- Endrődi, G., 1979: A burgonya optimális evapotranspirációja és csapadékkellátottsága Magyarországon. *Beszámoló az 1977-ben végzett kutatásokról*, XLVII. kötet, OMSZ, Budapest, 185–195.
- Howell, T. A., Schneider, A. D. and Jensen, M. E., 1991: History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: Allen, R. G., Howell, T. A., Pruitt, W. O., Walter, L.A. and Jensen, M. E. (eds.): *Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements*. ASCE, New York, 1–9.
- Monteith, J. L., 1965: Evaporation and environment. *Sym. Soc. Experim. Biol.* 19, 32.
- Monteith, J. L., 1973: Principles of Environmental Physics. Edward Arnold Publ., London.
- Monteith, J. L., 1976: Vegetation and the Atmosphere., Vols 1. and 2. *Academic Press*, New York.
- Montgomery, E. G., 1911: Correlation studies of corn. *Nebraska Agric. Exp. Stn. Ann. Rep. Univ. of Nebraska*. 24, 108–159.
- Penman, H. L., 1948: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Royal Soc. London*, A. 193, 120–146.
- Posza, I., 1980: Konzernnövények evapotranspirációja. *Beszámoló az 1978-ban végzett kutatásokról*. XLIV. kötet, OMSZ, Budapest, 226–231.
- Posza, I. és Stollár, A., 1983: A tényleges párolgáshoz használt növénykonstansok értékei több év mérése alapján. *Időjárás* 87, 170–177.
- Stollár, A. és Gergely, I., 1978: A fiatal almaállomány evapotranspirációja. *Beszámoló az 1976-ban végzett kutatásokról*, XLVI. kötet, OMSZ, Budapest, 206–115.
- Tóth, E., 1978: A kukorica evapotranspirációja, terméshozama és vízhasznosítása különböző tápanyag és vízellátás mellett. *Beszámoló az 1975-ben végzett kutatásokról*, LXV. kötet, OMSZ, Budapest, 241–255.
- Varga, B., 2010: A Balaton vízháztartásának elemzése különös tekintettel a párolgászámítás és mérés módszertani és területi kérdéseire. *PhD értekezés*, Keszthely.
- Walkovszky, A., 1977: Kísérlet a nád transpirációjának meghatározására. *Beszámoló az 1973-ban végzett tudományos kutatásokról*, XLIII. kötet, OMSZ, Budapest, 211–228
- Walkovszky, A., 1978: Az állománysűrűség hatása a kukorica evapotranspirációjára. *Beszámoló az 1975-ben végzett kutatásokról*, LXV. kötet, OMSZ, Budapest, 256–259.

# A TALAJ–NÖVÉNY–LÉGKÖR RENDSZER FOLYAMATAINAK SZIMULÁLÁSA A METEOROLÓGIAI ALKALMAZÁSÚ MODELLEKBEN.

## I. RÉSZ: NEMZETKÖZI GYAKORLAT

### *SIMULATION OF THE PROCESSES IN THE SOIL–VEGETATION–ATMOSPHERE SYSTEM IN THE METEOROLOGY. PART I: INTERNATIONAL APPLICATIONS*

Ács Ferenc, Mona Tamás

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

acs@caesar.elte.hu, emfellopsz@gmail.com

**Összefoglaló.** A tanulmány a nemzetközi, meteorológiai alkalmazású SVAT-modellezés (Soil Vegetation Atmosphere Transfer) tudományának fejlődését tekinti át *Charney et al.* (1975) első publikációja óta.

**Abstract.** A review of SVAT (Soil Vegetation Atmosphere Transfer) models applied world-wide in the meteorology since *Charney et al.* (1975)'s first publication is given.

**Bevezetés.** A szárazföldi felszín (csupasz talaj és a vegetációval borított talaj) és a légkör állandó kölcsönhatásban vannak. A kölcsönhatás a légköri és a SVAT (Soil Vegetation Atmosphere Transfer) modellek csatolásával a talaj, a növényzet és a felszín közeli levegő rendszerében zajló transzport-folyamatok taglalásával jellemezhető. E transzport-folyamatok a rendszert alkotó összetevők közötti energia, tömeg (víz, szén-dioxid, metán, ózon vagy más nyomgáz) és momentum cserék, amelyek modellek csatolt rendszerével írhatók csak le. A kölcsönhatás vizsgálható makroskálán és hosszú időtávon a GCM (Global Circulation Models)–SVAT modellrendszerek fut-

tatásával; így az éghajlat felszín-alakító, valamint a felszín éghajlat-alakító szerepe elemezhető. A kölcsönhatás vizsgálható kisebb tér-idő léptékben is, pl. az időjárási folyamatok skáláján az időjárás–SVAT modellrendszerek futtatásával. Ekkor elemezhető mind az időjárásnak a szárazföldi folyamatokra (N<sub>2</sub>O, vagy a CO<sub>2</sub> kibocsátása esőzés után), mind a szárazföldi folyamatoknak az időjárásra (a párolgás hatása a felhő- és a csapadékképződés folyamataira) gyakorolt hatása. A diszciplínák nagy többségében a kölcsönhatás-vizsgálatok még nem terjedtek el. Így sok diszciplínában az időjárás, vagy éghajlat igen sokszor csak külső határfeltételként szerepel sok agro- és, hidrometeorológiai vagy ökológiai tanulmányban.

A meteorológiai vagy klimatológiai vizsgálatokban viszont a szárazföldi felszíni folyamatok határozzák meg a légkör ún. alsó határfeltételeit. A meteorológia és/vagy klimatológia fejlődése során kiderült, hogy ezen alsó határfeltételeknek az időjárás- vagy éghajlat-alakító szerepe nem hanyagolható el (*Pielke*, 2001; *Dickinson*, 1995). A meteorológia a 20. század elején vált egzakt tudománnyá. E folyamatban mérőföldkő volt *Bjerknes* (1904) cikke, mely a modern időjárás-elméleti alapjait vázol-

ta egyetlenegy egyenlet bemutatása nélkül. A tanulmány tudománytörténeti előzményeiről és jelentőségéről *Gramelsberger* (2009) cikkéből értesülhetünk, amely – pont e tudománytörténeti vonatkozásai miatt – a „*MetZet Classic Papers*” kategóriába lett sorolva. *Bjerknes* (1904) elképzeléseinek megvalósítása nem volt zökkenőmentes (*Richardson*, 1922), mintegy ötven évig kellett várni rá, de a színhelye már nem Európa, hanem az Egyesült Államok lett. *Charney et al.* (1950) hajtották végre az első sikeres numerikus előrejelzést. A számítógépeket az ismert ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) gépen végezték, s három intézmény (Moore School of Electrical Engineering of the University of Pennsylvania in Philadelphia, Ballistic Research Laboratory of the U.S. Army Ordnance Department at Aberdeen Proving Ground, Electronic Computer Project of the Institute for Advanced Study in Princeton) szoros együttműködésével szerkesztették meg az 1940-es évek derekán. *Charney et al.* (1950) ekkor még mellőzheték a földfelszíni folyamatok leírását a határfeltételek megadásánál.

A földfelszíni folyamatok légkörzést befolyásoló szerepét szintén *Charney* ismerte fel (*Charney*, 1975; *Charney et al.*, 1975; *Charney et al.*, 1976; *Charney et al.*, 1977). Ezzel kapcsolatos tanulmányai (*Charney*, 1975; *Charney et al.*, 1975) Szahara Száhel övezetére vonatkoznak, ahol a szárazföldi felszín albedója és a légkörzés közötti kölcsönhatást elemezte. *Charney* (1975) a következő visszacsatolási mechanizmus fontosságára utalt: a szárazság erősödésével a vegetációval borított területek nagysága csökken, ennek következtében növekszik a terület albedója és csökken sugárzási egyenlege. Ez hűtő hatást gyakorol a felszín-közeli levegőre, ami erősíti az inverziót, vagy csökkenti a konvekciót, így a konvektív felhő-



1. ábra:

*Jule Gregory Charney, a zseniális meteorológus*

képződés is kisebb lesz, aminek végeredménye az, hogy csökken a csapadék és erősödik a szárazság. *Charney et al. (1975)* a földfelszíni folyamatok összességét *biofizikai mechanizmusoknak* nevezték el, utalva a talaj és a vegetáció meghatározó szerepére. Egyébként *Charney et al. (1975)* rövid, a *Science*-ben megjelent cikkének összefoglalója mindössze két mondat. Szemléltetésképpen idézzük magyarul: „Egy GCM (globális általános cirkulációs modell) két futtatása, melyek csak a Szahara albedó értékeiben különböznek, azt mutatja, hogy a növényi felszínborítás csökkenésével a megnövekedett albedó csapadékmennyiség-csökkenést okozott. Így bármely növényi felszínborítás-csökkenést tovább erősítene a csapadékcsökkenés, ami elindíthat vagy állandósíthat szárazságot is.”.....

**Nemzetközi gyakorlat.** A folytatásban a Charney cikkének megjelenésétől a napjainkig eltelt 40 évi időszak áttekintésével foglalkozunk. A SVAT-modellek fejlődése

**0. generációs SVAT-modellek.** A legegyszerűbb SVAT-modellek a V–A kölcsönhatást jellemző 0. generációs modellek, melyekben a talaj nincs is reprezentálva. E modellek szimulálhatnak mikro- és makroskálán. A mikroskálájú modellek a felszínközeli tulajdonságok (mozgásmennyiség, hő vagy nedvesség) turbulens átvitelét és a felszínnek a momentumátvitellel kapcsolatos paramétereit (érdesség) jellemzik. Ezek közül a turbulens átvitelt leíró modellek a gyakoribbak; ilyenek pl. a Monin-Obukhov-féle hasonlósági elméleten (*Monin és Obukhov, 1954*) alapuló módszerek (*Kramm, 1989*). Számos, inverz megközelítést alkalmazó modell (*Haenel, 1993*) is van. Ezek bemutatásával ezúttal nem foglalkozunk területi okok miatt. A makroskálájú modellek közül a vegetáció és az éghajlat egyensúlyi állapotával foglalkozó modellek az ismertebbek. E modellekben a V–A kölcsönhatást a növénytakaró és az éghajlat területi eloszlása közötti kapcsolatrendszer leírásával jellemzik. Az első leírások *Humboldt and Bonpland (1807)* nevéhez fűződnek, melyek

1. táblázat: A SVAT-modellek különböző típusai egyes kiválasztott szempontok szerint. S=talaj, V=vegetáció, A=légkör, T=léghőmérséklet, h=potenciális napfénytartam, PET=potenciális evapotranspiráció, ET=tényleges evapotranspiráció, FAO=Food and Agricultural Organization, USDA=United State Department of Agriculture.

SVAT-modellek típusai	Kölcsönhatás	Komponensek, folyamatok						
		talaj	növényzet	PET	ET	fenológia	ökológia	ember, tűz
0. generációs modellek	V–A	–	biom	T, h	–	–	–	–
1. generációs modellek	SV–A	homogén	homogén	több változó függvényében	PET függvényében	–	–	–
2. generációs modellek	S–A, V–A, S–V	heterogén FAO, USDA	biom, növényi életforma	–	sztóma	empirikus	–	–
3. generációs modellek	S–A, V–A, S–V	heterogén	növényi életforma	–	fotoszintézis	megfigyelés	allokáció	–
4. generációs modellek	S–A, V–A, S–V	heterogén	növényi életforma	–	fotoszintézis	szimuláció	allokáció, szukcesz-szió	–
5. generációs modellek	S–A, V–A, S–V	heterogén	növényi életforma	–	fotoszintézis	szimuláció	allokáció, szukcesz-szió	földhasználat, tűz

az elmúlt 30–40 évben óriási. A fejlődést alapvetően a szárazföldi felszín és ezen belül a vegetáció folyamatainak modellezése határozta meg (1. táblázat), ami a három komponens közül a legösszetettebb. Láthatjuk, hogy a vegetáció (V) nemcsak a légkörrel (A), hanem a talajjal (S) is kölcsönhatásban van (S–V kölcsönhatás; *Ostle et al., 2009*). Hőkapacitása és víztároló képessége nagyobb, mint a levegőé, de kisebb, mint a talajé, így az alatta levő talaj légkörre gyakorolt hatását jelentősen módosítja (*Campbell, 1985*). Az S–V kölcsönhatás jellemzése nem egyszerű feladat, ezért nem is találkozhatunk ilyen leírással a 0. és az 1. generációs SVAT-modellekben. Említésre méltó, hogy a „0. generációs modellek” kategóriát mi vezettük be egyrészt, mert nem akartuk megbontani a nemzetközi irodalomban használt ötkategóriás rendszert (*Pitman, 2003*), másrészt, ezzel egyúttal utalunk az ilyen típusú modellek egyszerűségére és az időbeli sorrendre is.

szerint hasonló klímákban a növényzet is hasonló. Azt is látták, hogy, ha vannak is különbségek a hasonló klímákban levő növény-társulások között, ezek a különbségek kisebbek, mint a hasonlóságok. E kapcsolatrendszer a makroskálán a legszembetűnőbb. *Köppen (1900)* megmutatta, hogy ez a kapcsolat a *biomok* skáláján olyan erős, hogy az éghajlat osztályozása a növénytakaró osztályozása alapján is elvégezhető. *Biomok* a zonálisan elhelyezkedő, egész kontinensekre kiterjedő növény-társulások övezete. Ő ezt az osztályozást egy egyszerű, empirikus szabályrendszer alapján végezte el (*Köppen, 1936*). Megemlítenődő, hogy *Köppen (1936)* modellje a legegyszerűbb és a legismertebb 0. generációs SVAT-modell. Vannak persze bonyolultabb éghajlatosztályozási módszerek is. Ezek a hőellátottságot a potenciális evapotranspiráció (PET) alapján becsülik. A PET-et a lehető legegyszerűbb módon a léghőmérséklet (T) függvényében számítják. A PET becsü-

lésén alapuló módszerek közül *Holdridge* (1947) és *Feddema* (2005) módszere a legismertebb.

**1. generációs SVAT-modellek.** Az 1. generációs SVAT-modellekben már modellezik a talajt, de a lehető legegyszerűbb módon (*Thornthwaite*, 1948; *Manabe*, 1969). *Thornthwaite* (1948) a talaj vízkészletének becslésére *kanna típusú modellt* használt. ET-t nem becsült, csak PET-et a léghőmérséklet és a potenciális napfénytartam függvényében. A modelljében a talajszelvény és a gyökérzóna mélysége 1 m, a csupasz talaj és a növényzet között nincs különbség, így gyakorlatilag csak az SV–A kölcsönhatásokat jellemezte. A modelljét éghajlatosztályozási célokra használta, azaz a V–A kölcsönhatások leírására. Ezért modelljét a legösszetettebb 0. generációs SVAT-modelleként is értelmezhetjük. *Manabe* (1969) a szovjet tudományos műhelyek (*Berliand*, 1952; *Romanova*, 1954; *Alpatev*, 1954 és *Budyko*, 1956) eredményeit használta fel a szárazföldi felszín vízháztartásának jellemzésére. Megemlítendő, hogy a *Budyko* (1963) nevével fémjelzett, a *Szovjetunió*ban folytatott klimatológiai kutatások nagy hatással bírtak. Láthatjuk, hogy ezek az eredmények eljutottak Nyugatra is a „*vasfüggöny*” ellenére. *Manabe* (1969) nem tett különbséget a csupasz és a vegetációval borított talaj között (*1. táblázat*, SV–A kölcsönhatás). A talaj mélysége mindenütt 1 m (*Romanova*, 1954). A tényleges evapotranspirációt a potenciális evapotranspiráció függvényében számította egyszerű lineáris kapcsolat alapján,  $ET = \beta \cdot PET$ , ahol  $\beta = \theta(0,75\theta_f)^{-1}$ ,  $\theta$  a tényleges talajnedvesség-tartalom, míg  $\theta_f$  a szabadföldi vízkapacitáshoz tartozó talajnedvesség-tartalom). A  $\theta_f$  homogén talaj esetén területileg változatlan (*1. táblázat*). *Manabe* (1969) a PET értékét egyszerű gradiens képlet alapján (*Ács*, 2008) becsülte. A  $\theta$  előrejelzésére *Budyko* (1956) csöbör modelljét használta. Az albedó ( $\alpha$ ) és az érdességi paraméter ( $z_0$ ) mezői adottak voltak (*Carson*, 1981). *Manabe* (1969) hórétteget is modellezett a szárazföldi hidrológiai viszonyok jellemzésére. Ezen újításokkal *Manabe* (1969) jelentősen hozzájárult a GCM-ek további sikeres alkalmazásához.

**2. generációs SVAT-modellek.** A 2. generációs SVAT-modellekben sor kerül mind az S–A, mind a V–A, mind az S–V kölcsönhatások modellezésére. Az S–A és a V–A kölcsönhatások jellemzése igen sokrétű, ezek rövid ismertetése megtalálható *Bonan* (2002) könyvében. Az S–V kölcsönhatások közül a legfontosabb a transpiráció (a latin *transspirare* szó magyarosított változata, jelentése növényi párolgás, párologtatás) és a talaj hidraulikus tulajdonságai közötti kapcsolatrendszer leírása. A 2. generációs SVAT-modellezés egyik legfontosabb felismerése az, hogy a növényi párolgás szimulálásához nélkülözhetetlen a talaj fizikai tulajdonságainak, a talaj hidraulikus tulajdonságainak ismerete (*Ács*, 2008). A tényleges evapotranspirációt a szárazföldi felszín (csupasz és növényzettel borított talaj) „*felszíni ellenállásának*” függvényében becsülték, még akkor is, ha számították a PET értékét (*Chen and Dudhia*, 2001). A felszíni ellenállás becslésén alapuló ET-számítási elmélet egy teljesen új megközelítés az 1. generációs SVAT-modellekben alkalmazott módszertanhoz képest. Az elmélet kidolgozása

*Monteith* (1965) nevéhez fűződik, ő a SVAT-modellezés egyik legmeghatározóbb alakja. *Chen and Dudhia* (2001) tanulmányával kapcsolatban az is említésre méltó, hogy csak e munkában láttuk azt a megközelítést, hogy  $\beta$  a felszíni ellenállások komplex függvénye. A növényállomány felszíni ellenállását az ún. „*nagy-levél*” modell alapján szimulálták, ami egyszerű és igen hatékony eszköznek bizonyult a V–A kölcsönhatások leírására. A V–A kölcsönhatások szempontjából (vízgőz és szén-dioxid transzport) a sztóma a legfontosabb növényi *szervecske*. A modell a sztóma és a környezeti tényezők kapcsolatát jellemzi a *hatásfüggvények* alapján. A modell részletes ismertetése több munkában olvasható, többek között *Ács* (2008) monográfiájában. A számításokhoz nélkülözhetetlen földfelszíni paraméterek (a csupasz talaj és a növényzet albedója, emisszivitása, érdessége vagy a növényzet levélfelületi indexe) mezőit digitalizált térképek formájában adták meg. Az egyik ilyen legismertebb adatbázis *Matthews* (1983) adatbázisa. Az adatbázis  $1^\circ \times 1^\circ$  felbontású, forrásanyagát kb. 100 növény és földhasználati térkép alkotja műholdfelvételek alapján készített térképekkel kiegészítve. A növénytakaró osztályozását az UNESCO (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization) (1973) rendszerében használt osztályozás alapján végezték el. Ezen osztályozásban a növényzetet mind biomok, mind növényi életformák szerinti rendszerezték. A növényzet ún. növényi életformákba csoportosítható morfológiai és fiziológiai tulajdonságai alapján. Az elterjedtebben használt növényi életforma kategóriák pl. a következők: örökzöld, lombhullató; széleslevelű, tűlevelű vagy egygyári, évelő. Angolul: plant functional type. A modern meteorológiában a növényi életformák szerinti rendszerezés terjedt el a műholdas megfigyelések elterjedése miatt. A rendszerezés eredményeképpen a trópusokon és a szubtrópusokon élő mangrove külön csoportot alkot az örökzöldek kategóriájában. A növényi paraméterek értékeit empirikusan és az irodalmi értékek gondos tanulmányozása alapján becsülték. Itt megemlítendő, hogy a „*jó érték*” megállapítása nehéz feladat volt, mivel – többek között – a labor- és terpmérések módszerei is markánsan különböztek. Egy ilyen módon létrehozott adatbázist láthatunk többek között *Dorman and Sellers* (1989) munkájában, melyben a fenológiai megfigyelésekből származó információkat is hasznosították.

A talajban lejátszódó folyamatok jellemzése igen sokrétű, ennek megfelelően a talajmodulok komplexitása is változó. A talajadatok forrása a FAO/UNESCO talajokra vonatkozó világtérképe (*FAO/UNESCO*, 1974). A forrás információkat adott a talaj színéről, textúrájáról és vízelvezető képességéről. Ezek közül meteorológiai szempontból a textúrára vonatkozó információ (*1. táblázat*, heterogén talaj) a legértékesebb. Az első adatbázisokban (*Wilson and Henderson-Sellers*, 1985) az ismert homok-, iszap- és agyagfrakciók alapján három fizikai talajféleséget különböztettek meg: a durva, a közepes, valamint a finom textúrájú talajokat. Ez idővel ötre bővült (*Zobler*, 1986), majd sok államban az USDA tizenegy tagú kategorizálását vezették be. A talaj fizikai félesége azért fontos információ, mert meghatározza a talaj hidraulikus tu-

lajdonságait. E tulajdonságokat a hidraulikus függvények (a talaj nedvességpotenciálja,  $\psi(\theta)$  és vízvezető képessége,  $K(\theta)$ ) és paraméterek (a talaj szabadföldi vízkapacitása,  $\theta_f$  hervadáspontja,  $\theta_w$ ) segítségével fejezzük ki. A meteorológiában a legismertebb és legegyszerűbb hidraulikus függvény parametrizáció a *Campbell* (1974) féle parametrizáció. E parametrizációban szereplő paraméterértékeket az Egyesült Államok talajaira vonatkozóan *Clapp and Hornberger* (1978) határozták meg, és a tudományos élet meghatározó műhelyeiben a mai napig is ezeket az értékeket használják. A hő- és a víztranszport modellezésében két megközelítés terjedt el: egy egyszerűbb, amely mindössze két talajrétegben gondolkodott, és egy összetettebb, amely legalább három vagy több talajréteget használt. Az egyszerűbb modellek az ún. „force-restore” („hatás-ellenhatás”) típusú modellek, melyekben egy vékony felszíni réteg (itt érvényesül az időjárás hatása és a változások gyorsak) kölcsönhatásban van egy vastag felszín alatti réteggel (itt az éghajlat hatása érvényesül és a változások lassúak). E modellek – ugyanúgy, mint a többrétegű modellek – a hővezetés és a vízátvitel differenciálegyenletein alapulnak, ezekből származtatták a két rétegre vonatkozó alkalmazás során. Ilyen sémát használ pl. a Météo-France ALADIN modelljének ISBA (Interaction Soil Biosphere Atmosphere) almodellje is (*Noilhan and Planton*, 1989). A három és a több rétegű modellek a hővezetés és a vízátvitel differenciálegyenleteinek részletes numerikus megoldásán alapulnak. Sokszínűségüket az alkalmazott parametrizációk és numerikus sémák adják. Itt megemlíthetjük pl. *Irannejad and Shao* (1998) modelljét is, mely alapul szolgált *Shao* szél-eróziós vizsgálataiban is (*Lu and Shao*, 2001). E modellcsaládból *Dickinson* (1984) és *Sellers et al.* (1986) modelljei a legismertebbek. Legvégül megemlítenő, hogy a 2. generációs SVAT-modellezésben *Deardorff* bírt kitüntetett szereppel. *Deardorff* (1978) munkájának hatása felismerhető nem csak az Egyesült Államokban (*Dickinson*, 1984; *Sellers et al.*, 1986), hanem Európában is (*Noilhan and Planton*, 1989; *Mahfouf and Noilhan*, 1996).

**3. generációs SVAT-modellek.** A 3. generációs SVAT-modellekben további újításokra került sor. A V–A kölcsönhatások leírása tovább bonyolódott, de az S–A és az S–V kölcsönhatások leírásában nem került sor jelentősebb újításokra. Pl. a transpiráció és a talaj hidraulikus tulajdonságai közötti kapcsolatrendszer szimulálása nem változott, e kapcsolatrendszert jellemző modell-típusok száma nem nőtt. A talaj és növény-paraméterek száma valamelyest csökkent és meghatározási módszereik tökéletesedtek. A V–A kölcsönhatásoknál a sztómák működését a fotoszintézis folyamatának leírásán keresztül jellemzik. E megközelítés alapja a sztómaműködés és a fotoszintézis folyamata közötti szinergizmus (ha a fotoszintézis intenzitása,  $A_n$  nagy, a sztómanyitottság,  $g_{st}$  is nagy, azaz a sztómaellenállás,  $r_{st}$  kicsi, fordítva, ha az  $A_n$  kicsi, a  $g_{st}$  is kicsi, azaz az  $r_{st}$  nagy), amit számos labor- és terpmérés, valamint megfigyelés igazolt. Az  $A_n$ – $g_{st}$  szinergikus kapcsolatát *Ball* (1988) félempirikus képlete jellemzi. Az  $A_n$ -t biofizikai alapú, folyamat-orientált modellekkel szimulálták. Ezek közül két típust különböztünk meg: az első típus igen komplex; itt a fotoszintézis

intenzitását az abszorbeált sugárzás és a növényzet egyes fiziológiai tulajdonságait jellemző anyagok (a karboxiláció folyamatát katalizáló Rubisco enzim, teljes nevén ribulóz-1,5-bifoszfát-karboxiláz-oxigenáz) rendelkezésre álló mennyisége vagy az asszimilált anyag allokációját limitáló tényezők határozzák meg. Az  $A_n$  az abszorbeált sugárzás és a fiziológiai paraméterek bonyolult, nemlineáris függvénye (*Collatz et al.*, 1991; *Collatz et al.*, 1992). A másik modellegyüttes az  $A_n$ -t a levél belseje és a levegő közötti  $CO_2$ -koncentráció különbségének függvényében becsüli, ami – az esetek nagy többségében – arányos a levél belseje és a levegő közötti vízgőzkoncentráció különbségével (*Jacobs et al.*, 1996; *Ronda et al.*, 2001). E modellek is számításba veszik a növényzet fotoszintézist meghatározó fiziológiai paramétereit, de nem olyan részletesen és körültekintően, ezért egyszerűbbek is, mint az előbbi Collatz-típusú modellek. Mindkét modellegyüttes számításba veszi a vízhiány okozta  $A_n$ -veszteségeket, még hozzá az  $A_n$  és a vízellátottság hatását kifejező függvény szorzatával (jó vízellátottság esetén e függvény egyenlő eggyel, míg rossz vízellátottság esetén (pl. amikor  $\theta \leq \theta_w$ ) nullával).

E filozófiaváltást a V–A kölcsönhatások modellezésében a műholdas megfigyelések fejlődése és térhódítása tette lehetővé. Az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, magyarul: normalizált vegetációs index, a vegetáció fejlettségére, vagyis biomasszájának nagyságára utaló paraméter) műholdas becslésével nemcsak az  $A_n$  alakulására, hanem a levélfelületi indexnek, LAI (Leaf Area Index), a növényzettel borított felszín relatív nagyságának, (vegetation fraction), valamint a zöld és a teljes levélfelület arányának, GLF (Green Leaf Fraction) változásaira (1. táblázat, fenológiai megfigyelések) is következtetni tudtak. Így a SVAT-modellezéssel kapcsolatos elmélet és megfigyelés egységes rendszerbe való tartozása jelentősen nőtt. A távérzékelés eszközeivel nem becsülhető szárazföldi felszíni paraméter-értékeket tapasztalat alapján vagy a szakirodalomból (*Dorman and Sellers*, 1989) pótolták. Megemlítenő, hogy egyes modellek a fotoszintézist az allokáció folyamatának számításbavétele alapján is jellemzik (*Sellers et al.*, 1996; Part 1 698. old.). A 3. generációs SVAT-modelleket szinte kizárólag GCM-ben, azaz az éghajlati modellekben használják. Ez logikus, mert az időjárás modellekben – még a részletesebb mezoskálájú modellekben is – az  $A_n$  számítása szükségtelen. E modellek közül mindenféleképpen megemlítenő *Sellers* és munkatársainak modellje. A modell komplex, részletes leírása *Sellers et al.* (1996; Part I) munkájában olvasható, míg az abban használt növényi és talaj paraméterekkel kapcsolatos részletes ismertetés *Sellers et al.* (1996; Part II) cikkében látható. Legvégül említsük meg, hogy az emlegetett ISBA modell 3. generációs változata is elkészült, ennek neve ISBA-A- $g_s$  (*Calvet et al.*, 1998). E modell *Sellers et al.* (1996; Part I) modelljéhez képest sokkal egyszerűbb.

**4. generációs SVAT-modellek.** A 4. generációs SVAT-modellekben a vegetáció-dinamikát is modellezik, ezért DGVM-nek (Dynamic Global Vegetation Model) is rövidítik. Leginkább GCM-hez csatolva alkalmazzák őket. E modellekben az S–V kölcsönhatások leírása bonyolult

tabb, mint az előbbi generációs modellekben. A talaj C- és N-mérlegét (McGill, 1996; Smith et al., 1996) is jellemzik, melyekben a C- és a N-ciklusok egymástól függetlenek vagy egymással összekapcsoltak. Értelemszerűen a csatolt C-N-ciklusú modulokkal ellátott DGVM-ek az újabbak (Zaehle and Friend, 2006; Thornton et al., 2007; Thornton et al., 2009; Sokolov et al., 2008). A V-A és az S-A kölcsönhatásokat jellemző modulok a különböző nyomgázok (CH<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, különböző illékony szerves vegyületek, VOC – Volatile Organic Compounds) transzportjának leírását is tartalmazzák. Az ET-t, és az A<sub>n</sub>-t fotoszintézis modellek becsülik. Az allokáció folyamatának szimulálásával a maximális levélfelületi index érték is kiszámítható. Ezt kapja bemenő adatként a fenológiai modul, mely napi, aktuális levélfelületi indexet is számol, amellett, hogy becsüli a legfontosabb fenológiai fázisokat (pl. a rügyezés, a virágzás vagy a nyugalmi állapot bekövetkezése) is. E modellekben a szukcesszió folyamatának szimulálása meghatározó fontosságú. E folyamat szimulálása annál jobb, minél nagyobb a növényvilág változatossága és a növények közötti versengés, valamint ha minél inkább számításba veszik a fajok migrációs képességét is. A modellben a növényvilág változatosságát a növényi életformák száma reprezentálja. A szukcesszió folyamatának elfogadható pontosságú modellezéséhez legalább 20–25 növényi életforma szükséges. Legújabbban az ún. alkalmazkodó növényi életformák bevezetésével is próbálkoznak (Scheiter and Higgins, 2008). E formák működése és szerkezete idomul az éghajlatváltozáshoz. A növények közötti versengést leginkább a fényért való versengéssel szimulálják (Hickler et al., 2008; Sato et al., 2007). E folyamat szimulálása egyelőre nehézkes, ezért a szukcesszió modellezésében ez egy igen érzékeny pont. Több tíz és száz éves léptékben a növények migrációs képességének modellezése is szükséges. A becsült migrációs sebességek összevetendők az átlagos klímaöv eltolódási sebességekkel, melyek mai értéke kb. 0,08–1,26 km·év<sup>-1</sup>. A migrációs sebesség-becslésnél az egyik legfontosabb alapfeltételezés a rendelkezésre álló növényi magvak számával volt kapcsolatos. A DGVM–GCM rendszermodellek csatolása bonyolult feladat. A DGVM-ek évi, míg a GCM-ek perces, órás skálán működnek. Külön modulként szerepel köztük a fenológiai modul, melynek tipikus időskálája néhány nap, hét. Két csatolási módszer van: az ún. aszinkron, egyensúlyi csatolás és az integrált, szinkron csatolás. Az aszinkron csatolásnál a vegetáció területi eloszlását 0. generációs SVAT modellekkel becsülik. A szimuláció a vegetáció területi eloszlása kezdeti állapotának megadásával kezdődik. E kezdeti állapot alapján a GCM klímát becsül, majd e klíma alapján a 0. generációs SVAT-modell új vegetáció-elrendeződést. Ha az új vegetáció-elrendeződés nagymértékben különbözik az előbbtől, a számítási ciklus megismétlődik. A számítási ciklusok megismétlődése mindaddig tart, míg az utolsó és az utolsó előtti vegetáció-elrendeződés közötti különbség minimálisra nem csökken, azaz el nem éri az egyensúlyi állapotát. A következő időtartamra vonatkozó szimuláció ugyanilyen, iteratív módon zajlik. Az integrált, szinkron csatolásnál nem használnak 0. generációs SVAT-modelleket. Ebben az esetben a talaj és a vegetá-

ció modul kölcsönhat a légköri modullal. A két modul kölcsönhatásának időléptéke néhány perc; ezért azt mondjuk, hogy csatolásuk szinkron. Ezzel szemben a vegetáció és a talaj folyamatainak időléptéke lehet néhány perc, nap vagy akár év. A különböző időléptékű folyamatok közötti kapcsolatok szimulálására a szárazföldi felszíni modulon belül kerül sor.

**5. generációs SVAT-modellek.** Az 5. generációs SVAT-modellek az ún. földrendszer-modellek (angolul: Earth System Models). A földrendszer-modellek a földrendszer-analízis (angolul: Earth System Analysis) fiatal tudományának eszközei. E tudományt az IGBP (International Geosphere Biosphere Programme) és az IHDP (International Human Dimensions Programme) projektek keretében művelik; a cél: az ökoszféra és az antroposzféra közötti visszacsatolások és szinergizmusok megismerése, elemzése az ember és a természeti környezet közötti harmónikus kapcsolat megteremtéséért.

E modellek markánsan különböznek a 4. generációs modellektől az emberi tényezőnek és a tűz jelenségének számításba vétele miatt (1. táblázat). Az emberi tényező explicit módon történő modellezésének eszközei ma még hiányosak. Egyértelmű, hogy a természet folyamatainak szimulálási módszertana – a megmaradási törvényeken nyugvó, termodinamikai alapú megközelítés – az emberiség esetében nem alkalmazható. Az emberiség esetében a sztochasztikus módszerek használata tűnik kézenfekvőnek (Zurek, 1998). A mai földrendszer-modellekben az ökoszisztéma szimulálásán van a hangsúly (Claussen, 2009). Ennek megfelelően az emberiség időben változó határfeltételként szerepel: a földhasználattal módosuló felszínborítási típusok időbeli változásaként. Pongratz et al. (2009) eredményei alapján ez a hatás egyértelműen észrevehető, sőt jelentős. Kínában a mongol invázió idejében Dzsingisz kán Észak-Kínát az 1200-as évek elején hódította meg. Unokája, Kubilaj kán (1260–1294) egész Kínát uralma alá vetette. Ekkor a CO<sub>2</sub> regionális kibocsátása jelentősen csökkent (Pongratz et al., 2009), ami a mezőgazdasági területek vad területekké történő átalakulásának következménye. Az éghajlat és a tűz kölcsönhatásának modellezése egy viszonylag új és sok vonatkozásában ismeretlen terület (Bowman et al., 2009). A tüzek éghajlatilag determináltak. Ugyanakkor hatnak is az éghajlatra a felszíni borítás és a levegő összetételének megváltoztatásán keresztül. E kölcsönhatást mindinkább folyamat-orientált modellekkel (Kloster, 2010) jellemzik.

Összetettségük alapján a földrendszer-modellek három fajtáját különböztethetjük meg. A legegyszerűbbek az ún. mechanisztikus, ok-okozati összefüggéseken alapuló modellek. E modellekben az emberi tényező és a tűz jelenségének jellemzése értelemszerűen hiányzik. Ilyen Watson and Lovelock (1983) „Százszorszép bolygó” modellje, amely egyszerűsége ellenére a vegetáció környezetstabilizáló hatását is reprodukálta. A következő modellesoportot a mechanisztikus modelleknél összetettebb, de a DGVM–GCM modellrendszerénél jelentősen egyszerűbb modellek alkotják. Ezek az ún. EMIC-modellek (Earth System Models of Intermediate Complexity). E modellek a földrendszer-analízis tudományában mindinkább használatosak. Ilyen pl. az ismert CLIMBER-2

(Petoukhov et al., 2000) modell is. A legösszetettebb modellek a földhasználat és a tűz hatását is számításba vevő DGVM–GCM modellrendszerek. Az ilyen típusú modelleket mindössze néhány műhelyben fejlesztik, ilyen pl. az NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) CLM-CN (Community Land Model with Carbon and Nitrogen cycle) rendszermodellje (Kloster et al., 2010). E legösszetettebb modellekben a talaj és a vegetáció leírása megegyezik a DGVM–GCM modellekben található leírással (Wang, 2002).

**Befejezés.** A felszín időjárás- és éghajlat-alakító szerepe vitathatatlan. A Föld időjárását és klímáját alakító globális cirkulációs rendszerek tulajdonságait leginkább a Föld gyors forgása és légkörének sekélyisége határozza meg (Jánosi és Tél, 2012). A felszín az inhomogenitásaival (mikroskála) és heterogenitásaival (mezoskála és globális skála) járul hozzá az időjárás és az éghajlat nagymértékű változatosságához, időtlenségéhez. Ezen első felismerés a zseniális numerikus prognosztizőr, Charney (1975) nevéhez fűződik. Azóta a SVAT-modellkezés tudománya elképesztő gyorsasággal fejlődött. A tudomány azt is felismerte, hogy a biofizikai mechanizmusok mellett a biokémiai mechanizmusok is (Bonan, 2002) fontosak. Itt jegyezzük meg azt, hogy Charney nem tett különbséget e két mechanizmus között. Az éghajlatváltozás folyamata csak mindkét mechanizmus számításba vételével érthető meg.

## Irodalom

- Ács, F., 2008: A talaj–növény–légtér rendszer meteorológiai alkalmazású modellezése. Alkalmazások a tudományban és az oktatásban. *ELTE Örvös Kiadó* pp. 249, ISBN: 963 868 9511
- Alpatev, A. M., 1954: Vlagooorot kul'turnykh rastenil. *Gidrometeoizdat*, Leningrad, pp. 247
- Ball, J. T., 1988: An analysis of stomatal conductance. PhD thesis, *Stanford University*, pp. 89
- Berliand, T. G., 1952: On the Change in Moisture Content of Soil and in the Heat Balance During Droughty Years. Study of the Central Geophysical Observatory 29(91), *Glavnaia Geofizicheskaya Observatoriia*, Trudy, Leningrad, 85–96.
- Bjerknes, V., 1904: Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet von Standpunkt der Mechanik und Physik. *Meteorol. Z.*, 21, 1–7.
- Bonan, G. B., 2002: Ecological Climatology. Concepts and Applications. *Cambridge University Press*, Cambridge, Melbourne, pp. 678 ISBN 0 521 80032 3.
- Bowman, D.M.J.S., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Carlson, J.M., Cochrane, M.A., D'Antonio, C.M., DeFries, R.S., Doyle, J.C., Harrison, S.P., Johnston, F.H., Keeley, J.E., Krawchuk, A., Kull, C.A., Marston, J.B., Moritz, M.A., Prentice, I.C., Roos, C.I., Scott, A.C., Swetnam, T.W., van der Werf, G.R. and Pyne, S.J., 2009: Fire in the Earth System. *Science* 324, 481–484.
- Budyko, M.I., 1956: Teplovi balans zemnoi poverkhnosti. *Gidrometeoizdat*, Leningrad, pp. 255
- Budyko, M. I., 1963 (ed.): Atlas Teplovo Balansa Zemnogo Shara. *Gidrometeoizdat*, Moscow, pp. 69
- Calvet, J.-C., Noilhan, J., Roujean, J.-L., Bessemoulin, P., Cabelguenne, M., Olioso, A. and Wigneron, J.-P., 1998: An interactive vegetation SVAT model tested against data from six contrasting sites. *Agric. For. Meteorol.* 92, 73–95
- Campbell, G.S., 1974: A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.* 117, 311–314.
- Campbell, G.S., 1985: Soil Physics with BASIC. Transport Models for Soil–Plant Systems. *Developments in soil science* 14. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, pp. 150, ISBN 0-444-42557-8
- Carson, D.J., 1981: Current parameterizations of land surface processes in atmospheric general circulation models. In: Eagleson, P.S (ed): Land surface processes in atmospheric general circulation models. *Cambridge University Press*, 67–108.
- Charney, J.G., Fjortof, J., von Neumann, J., 1950: Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation. *Tellus* 2, 237–254.
- Charney, J.G., 1975: Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 101, 193–202.
- Charney, J.G., Stone, P.H., Quirk, W.J., 1975: Drought in the Sahara. A biophysical feedback mechanism. *Science* 187, 434–435.
- Charney, J.G., Stone, P.H., Quirk, W.J., 1976: Drought in the Sahara: Insufficient biogeophysical feedback? Reply. *Science* 191, 100–102.
- Charney, J.G., Quirk, W.J., Chow, S.H., Kornfeld, J., 1977: A Comparative Study of the Effects of Albedo Change on Drought in Semi-Arid Regions. *J. Atmos. Sci.* 34, 1366–1386.
- Chen, F. and Dudhia, J., 2001: Coupling an Advanced Land Surface–Hydrology Model with the Penn State-NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. *Mon. Wea. Rev.* 129, 569–585.
- Clapp, R.B. and Hornberger, G.M., 1978: Empirical Equations for Some Soil Hydraulic Properties. *Water Resour. Res.* 14, 601–604.
- Claussen, M., 2009: Late Quaternary vegetation–climate feedbacks. *Clim. Past* 5, 203–216.
- Collatz, G.J., Ball, J.T., Grivet, C. and Berry, J.A., 1991: Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. A model that includes a laminar boundary layer. *Agric. For. Meteorol.* 54, 107–136.
- Collatz, G.J., Ribas-Carbo, M. and Berry, J.A., 1992: Coupled Photosynthesis–Stomatal Conductance Model for leaves of C<sub>4</sub> plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 19, 519–538.
- Dickinson, R.E., 1984: Modelling evapotranspiration for three-dimensional global climate models. In: Hansen, J.E. and Takahashi, T. (eds): Climate Processes and Climate Sensitivity. *Geophys. Monogr., Amer. Geophys. Union* 29, 58–72.
- Dickinson, R.E., 1995: Land Processes in Climate Models. *Remote Sens. Environ.* 51, 27–38.
- Deardorff, J.W., 1978: Efficient Prediction of Ground Surface Temperature and Moisture, With Inclusion of a Layer of Vegetation. *J. Geophys. Res.* 83(C4) 1889–1903.
- Dorman, J.L. and Sellers, P.J., 1989: A Global Climatology of Albedo, Roughness Length and Stomatal Resistance for Atmospheric General Circulation Models as Represented by the Simple Biosphere Model (SiB). *J. Appl. Meteorol.* 28, 833–855.
- FAO/UNESCO, 1974: Soil Map of the World, 1:5000,000, FAO, Paris.
- Feddema, J.J., 2005: A revised Thornthwaite-type global climate classification. *Physical Geography* 26 6, 442–466.
- Haenel, H.-D., 1993: Surface-layer profile evaluation using a generalization of Robinson's method for the determination of  $\alpha$  and  $z_0$ . *Bound. Layer Meteorol.* 65, 55–67.
- Holdridge, L.R., 1947: Determination of world formulations from simple climatic data. *Science* 105, 367–368.
- Humboldt, A. and Bonpland, A., 1807: Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemälde der Tropenländer. *J.G. Cotta*, Tübingen, Paris, pp. 182
- Irannejad, P. and Shao, Y., 1998: Description and validation of the Atmosphere–Land–Surface Interaction Scheme (ALSIS) with Hapex and Cabauw data. *Global Planet. Change* 19, 87–114.
- Jarvis, P. G., 1976: The Interpretation of the Variations in Leaf Water Potential and Stomatal Conductance Found in Canopies in the Field. *Philos. Trans. Roy. Soc. London, Ser. B.* 273, 593–610.
- Jacobs, C.M.J., van den Hurk, B.J.J.M. and de Bruin, H.A.R., 1996: Stomatal behaviour and photosynthetic rate of

- unstressed grapevines in semi-arid conditions. *Agric. For. Meteorol.* 80, 111–134.
- Jánosi, I. és Tél, T., 2012: Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába. Léggöri és óceáni folyamatok és éghajlati hatásaik. *ELTE, TTK, Fizikai Intézet*, pp. 223
- Kloster, S., 2010: Towards assessing fire feedbacks in the Earth system: Global process-based fire modelling. *ILEAPS Newsletter* 10, 18–20.
- Kloster, S., Mahowald, N.M., Randerson, J.T., Thornton, P.E., Hoffman, F.M., Levis, S., Lawrence, P.J., Feddema, J.J., Oleson, K.W. and Lawrence, D.M., 2010: Fire dynamics during the 20<sup>th</sup> century simulated by the Community Land Model. *Biogeosciences* 7(6) 1877–1902.
- Köppen, W., 1900: Versuch einer Klassifikation der Klimata, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzen. *Geograph. Zeitschr.* 6, 593–611, 657–697.
- Köppen, W., 1936: Das geographische System der Klimata. In: Köppen W. und Geiger R. (eds): *Handbuch der Klimatologie*, Band 1, Teil C Gebrüder Borntraeger, Berlin, pp. 44
- Kramm, G., 1989: The Estimation of the Surface–Layer Parameters from Wind Velocity, Temperature and Humidity Profiles by Least-Squares Methods. *Bound. Layer Meteorol.* 48, 315–327.
- Lu, H. and Shao, Y., 2001: Toward quantitative prediction of dust storms: an integrated wind erosion modelling system and its applications. *Environmental Modeling and Software* 16, 233–249.
- Mahfouf, J.-F. and Noilhan, J., 1996: Inclusion of Gravitational Drainage in a Land Surface Scheme Based on the Force-Restore Method. *J. Appl. Meteorol.* 35, 987–992.
- Manabe, S., 1969: Climate and the ocean circulation: I. The atmospheric circulation and the hydrology of the Earth's surface. *Mon. Wea. Rev.* 97, 739–774.
- Matthews, E., 1983: Global Vegetation and Land Use: New High-Resolution Data Bases for Climate Studies. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 22, 474–487.
- McGill, W.B., 1996: Review and classification of ten soil organic matter (SOM) modules. In: Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing, Long-Term Datasets. In: Powelson, D.S., Smith, P. and Smith, J.U. (eds): NATO ASI Series I 38, 111–133. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Monin, A.S. and Obukhov, A.M., 1954: Basic laws of turbulent mixing in the atmosphere near the ground. *Trudi Akad. Nauk. SSSR Geofiz. Inst.* 24, 163–187.
- Monteith, J.L., 1965: Evaporation and environment. *Proc. 19<sup>th</sup> Symp. Soc. Exp. Biol. Cambridge University Press*, Cambridge 205–236.
- Noilhan, J. and Planton, S., 1989: A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models. *Mon. Wea. Rev.* 117, 536–549.
- Ostle, N.J., Smith, P., Fisher, R., Woodward, F.I., Fisher, J.B., Smith, J.U., Galbraith, D., Levy, P., Meir, P., McNamara, N.P. and Bardgett, R.D., 2009: Integrating plant-soil interactions into global carbon cycle models. *Journal of Ecology* 97, 851–863.
- Petoukhov, V., Ganopolski, A., Brovkin, V., Claussen, M., Eliseev, A., Kubatzki, C. and Rhamstorf, S., 2000: CLIMBER-2: a climate system model of intermediate complexity. Part I: Model description and performance for present climate. *Climate Dyn.* 16, 1–17.
- Pielke, R.A., 2001: Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Reviews of Geophysics* 39, 151–177.
- Pitman, A.J., 2003: The evolution of, and revolution in, land surface schemes designed for climate models. *Int. J. of Climatology* 23 479–510.
- Pongratz, J., Reick, C.H., Raddatz, T. and Claussen, M., 2009: Effects of anthropogenic land cover change on the carbon cycle of the last millenium. *Global Biogeochemical Cycles* 23, GB4001, doi: 10.1029/2009GB003488.
- Richardson, L.F., 1922: *Weather Prediction by Numerical Processes*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 236
- Romanova, E.N., 1954: The Influence of Forest Belts on the Vertical Structure of Wind and on the Turbulent Exchange. Study of the Central Geophysical Observatory, No. 44(106), *Glavnaiia Geofizicheskaia Observatoriia*, Leningrad, 80–90.
- Ronda, R.J., De Bruin, H.A.R. and Holtslag, H.H.M., 2001: Representation of the canopy conductance in modeling the surface budget of low vegetation. *J. Appl. Meteorol.* 1431–1444.
- Sato, H., Itoh, A. and Kohyama, T., 2007: SEIB–DGVM: A new Dynamic Global Vegetation Model using a spatially explicit individual-based approach. *Ecological Modeling* 200, 279–307.
- Scheiter, S. and Higgins, S.I., 2008: Impacts of climate change on the vegetation of Africa: an adaptive dynamic vegetation modeling approach. *Global Change Biology* 15, 2224–2246.
- Sellers, P.J., Mintz, Y., Sud, Y.C. and Dalher, A., 1986: A Simple Biosphere Model (SiB) for Use within General Circulation Models. *J. Atmos. Sci.* 43, 505–531.
- Sellers, P.J., Randall, D.A., Collatz, G.J., Berry, J.A., Field, C.B., Dazlich, D.A., Zhang, C., Collelo, G.D. and Bounoua, L., 1996: A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part I: Model Formulation. *J. Climate* 9, 676–705.
- Sellers, P.J., Los, S.O., Compton, J.T., Justice, C.O., Dazlich, D.A., Collatz, G.J. and Randall, D.A., 1996: A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part II: The Generation of Global Fields of Terrestrial Biophysical Parameters from Satellite Data. *J. Climate* 9, 706–737.
- Smith, J.U., Bradbury, N.J. and Addiscott, T.M., 1996: SUNDIAL: A PC-based system for simulating nitrogen dynamics in arable land. *Agronomy Journal* 88, 38–43.
- Sokolov, A.P., Kicklihter, D.W., Melillo, J.M., Felzer, B.S., Schlosser, C.A. and Cronin, T.W., 2008: Consequences of considering carbon-nitrogen interactions on the feedbacks between climate and the terrestrial carbon cycle. *J. Climate* 21, 3776–3796.
- Thorntwaite, C.W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review* 38, 55–93.
- Thornton, P.E., Lamarque, J.-F., Rosenbloom, N.A. and Mahowald, N.M., 2007: Influence of carbon-nitrogen cycle coupling on land model response to CO<sub>2</sub> fertilisation and climate variability. *Global Biogeochemical Cycles* 21, 1–15.
- Thornton, P.E., Donez, S.C., Lindsay, K., Moore, J.K., Mahowald, N., Randerson, J.T., Fung, I., Lamarque, J.-F., Feddema, J.J. and Lee, Y.-H., 2009: Carbon-nitrogen interactions regulate climate-carbon cycle feedbacks: results from an atmosphere–ocean general circulation model. *Biogeosciences Discussions* 6, 3303–3354.
- UNESCO, 1973: International Classification and Mapping of Vegetation. Paris, UNESCO.
- Wang, Y., 2002: On the modelling of vegetation in Earth system/climate models. C<sup>2</sup>GCR Report, submitted to Prof. L. A. Mysak, McGill University, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Montreal, Canada, pp. 37
- Watson, A.J. and Lovelock, J.E., 1983: Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. *Tellus* 35B, 284–289.
- Wilson, M.F. and Henderson-Sellers, A., 1985: A global archive of land cover and soils data for use in general circulation climate models. *J. Climatology* 5, 119–143.
- Zaehle, S. and Friend, A.D., 2006: The role of nitrogen in terrestrial biosphere responses to climate change and CO<sub>2</sub> increase. *Geophysical Research Abstracts*. 8, 08345
- Zobler, L., 1986: A world soil file for global climate modeling. *NASA Tech. Memo. 87802*, NASA, Washington DC pp. 35
- Zurek, W.H., 1998: Decoherence, Chaos, Quantum–Classical Correspondence, and the Algorithmic Arrow of Time. *Physica Scripta* T76, 186.

# A TALAJ–NÖVÉNY–LÉGKÖR RENDSZER FOLYAMATAINAK SZIMULÁLÁSA A METEOROLÓGIAI ALKALMAZÁSÚ MODELLEKBEN.

## II. RÉSZ: HAZAI GYAKORLAT

### *SIMULATION OF THE PROCESSES IN THE SOIL–VEGETATION–ATMOSPHERE SYSTEM IN THE METEOROLOGY.*

#### *PART II: HUNGARIAN APPLICATIONS*

**Ács Ferenc, Mona Tamás**

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

*acs@caesar.elte.hu, emfelloosz@gmail.com*

**Összefoglaló.** A tanulmány a hazai, meteorológiai alkalmazású SVAT-modellezés (Soil Vegetation Atmosphere Transfer) tudományának fejlődését tekinti át az I. részben megadott szempontok alapján.

**Abstract.** A review of SVAT (Soil Vegetation Atmosphere Transfer) models applied in the Hungarian meteorological practice is given according to viewpoints presented in part I.

**Hazai gyakorlat.** A hazai, meteorológiai alkalmazású SVAT-modelleket az I. részben bemutatott szempontok szerint fogjuk áttekinteni a fejlődési folyamat könnyebb összehasonlíthatósága végett. A hazai SVAT-modellezés fejlődése az *I. táblázatban* látható (a táblázat az I. rész 1. táblázatának hazai megfelelője). Mivel a fejlődés folyamatát már jellemeztük az I. részben, ezúttal csak a leglényegesebb szempontok felsorolására szorítkozunk.

mázták agrometeorológiai célokra. Az elmélet mikrometeorológiai célú megközelítését *Endrődi* (1980) és *Weidinger* (1986) munkáiban láthatjuk. Az elmélet alkalmazásánál felmerülő más vonatkozások, pl. az univerzális függvényekre való érzékenység, vagy a numerikus séma meghatározó szerepének elemzése, *Weidinger et al.* (2000), valamint *Ács és Kovács* (2001) munkáiban olvashatók. A felszín közeli átvitel és a légköri rétegződés

*1. táblázat: A magyarországi SVAT-modellek különböző típusai az I. rész 1. táblázatban megadott szempontok szerint. S=talaj, V=vegetáció, A=légkör, T=lég hőmérséklet, h=potenciális napfénytartam, PET=potenciális evapotranspiráció, ET=tényleges evapotranspiráció, FAO=Food and Agricultural Organization, USDA=United State Department of Agriculture.*

SVAT-modellek típusai	Kölcsönhatás	Komponensek, folyamatok					
		talaj	növényzet	PET	ET	fenológia	ökológia
0. generációs modellek	V–A	–	biom	T, h	–	–	–
1. generációs modellek	SV–A	homogén	homogén	több változó függvényében	PET függvényében	–	–
2. generációs modellek	S–A, V–A, S–V	heterogén FAO, USDA	biom, növényi életforma	–	sztóma	empirikus	–
4. generációs modellek	S–A, V–A, S–V	heterogén	növényi életforma	–	fotoszintézis	szimuláció	allokáció, szukcesszió

**0. generációs SVAT-modellek.** Hazánkban a 0. generációs SVAT-modellek alkalmazásának van hagyománya. A külföldi tanulmányokhoz hasonlóan mikro- és makroskálájú vizsgálatokkal találkozhatunk. Az első hazai, biofizikai szempontokat is tartalmazó elemzések *Szeicz et al.* (1969), valamint *Endrődi* (1974) tollából olvashatók. A biofizikai szempontok mélyebb elemzése *Ács* (2003) munkájában látható a növényi és a csupasz talaj párolgás folyamatának összehasonlításánál. Egy újabb, biofizikai szempontú elemzéssel – habár klimatológia jellegű – *Breuer és Ács* (2010) munkájában találkozhatunk. Az inverz modellek sajátos, 0. generációs SVAT-modelleknek tekinthetők. Ilyen típusú modellek kidolgozásával *Dunkel et al.* (1989), *Szabó et al.* (1989), *Szilágyi és Józsa* (2009) és *Kovács* (2011) foglalkoztak, és többnyire a tényleges evapotranspiráció becslésére használták. *Monin és Obukhov* (1954) turbulencia elméletét elsőként *Antal* (1961) és *Kissné Tóth* (1965) alkal-

kapcsolatának részletesebb elemzésével *Ács és Druzcza* (2003) foglalkoztak. A légköri rétegződés és a szinoptikus helyzetek viszonyát *Seres és Ács* (2006) taglalták. A légköri rétegződés kérdéskörének gyakorlat-orientáltabb vonatkozásairól *Ács és Vincze* (2009) tanulmányából értesülhetünk. A légköri rétegződéssel kapcsolatos vizsgálatokhoz diagnosztikus modelleket használtak.

A nyomgázok turbulens átvitelének vizsgálatával első között *Horváth* (1983) foglalkozott. E munkában *Horváth* (1983) az ammónia felszín közeli átvitelét a neutrális rétegződés feltételezésével becsülte. *Horváth et al.* (2005) az NH<sub>3</sub> transzportját már sztratifikált esetben számították. A felszín közeli szén-dioxid transzport hasonlósági elméleten alapuló vizsgálatát *Barcza* (2001) végezte el. Egy terület CO<sub>2</sub> mérlegének légköri rétegződéstől való függését *Haszpra és Barcza* (2005) jellemezte. E tapasztalatokat a szén-dioxid áramok hosszú távú mérésében hasznosították (*Haszpra et al.*, 2001). Az

ózontranszport érzékenységét különböző környezeti tényezők változásaira Mészáros *et al.* (2009) elemezték.

Köppen (1900) módszerét elsőként Réthly (1933), majd később Berényi (1943a) elemezte. A módszer alkalmazásával legújabban Fábrián *and Matyasovszky* (2010), majd Ács *et al.* (2010a) is foglalkoztak. Holdridge (1947) módszerét hazánkban elsőként Szelepcsényi *et al.* (2009a, 2009b) ismertették és alkalmazták. Köppen (1936) és Holdridge (1947) módszerét egy globális léptékű adatbázison Ács *et al.* (2010b) hasonlították össze. Eredményeik alapján a Holdridge-féle rendszerrel kapott klímaleírás megbízhatóbb, mint Köppené, annak ellenére, hogy a Köppen-féle rendszer népszerűbb és elterjedtebb. Feddema (2005) módszerét hazánkban elsőként Skarbit (2012) ismertette és alkalmazta. E kutatás eredményeiről a nemzetközi tudományos közösség is értesülhet (Ács *et al.*, 2014).

**1. generációs SVAT-modellek.** Az 1. generációs SVAT-modellek közül egyaránt alkalmazták a Thornthwaite- és Manabe-típusú modelleket. Thornthwaite elképzeléseit hazánkban elsőként Berényi (1943b) vizsgálta. Később, az 1960-as években a módszer igen népszerű lett (Kakas, 1960; Szász, 1963; Szepesiné, 1966). A módszert újabban Ács *et al.* (2011) is elemezték. Az első Manabe-típusú modellek használata hazánkban az ELTE Meteorológiai Tanszéke munkatársai között (Mészáros, 2003; Ács *et al.*, 2005; Ács és Breuer, 2006; Ács *et al.*, 2007; Czender *et al.*, 2009) honosodott meg. Mészáros (2003) napi léptékben, míg Ács *et al.* (2007) havi léptékben becsülték a talaj vízkészletét. A  $\beta$  – mindkét modellben – a relatív hasznos vízkészlet függvényében változott. Mészáros (2003) egyszerű lineáris közelítést alkalmazott, míg Ács *et al.* (2007) Mintz *and Walker* (1993) képletét. A  $\theta_f$  területileg változott a talajtextúra területi változatosságának megfelelően.

**2. generációs SVAT-modellek.** A 2. generációs SVAT-modellek közül az egyszerűbb, 2–3 rétegű modellek terjedtek el. E modellek fejlesztésével Ács (2008) foglalkozott. A SURFMOD (Surface Flux Model) modellcsalád (Ács, 2008) bemutatása alapján láthatjuk, hogy a növényállomány egyrétegű, míg a talaj 2–3 rétegre van bontva. Ács *and Hantel* (1998; 1999) részletesen jellemezte az S–V kölcsönhatásokat, ami alapján meggyőződhattünk, hogy a transpiráció és a talaj hidraulikus tulajdonságai közötti kapcsolat igen erős. A SURFMOD modellcsalád mellett az ún. Noah–LSM (National Centers for Environmental Prediction–Oregon State University–Air Force–Hydrologic Research Lab–Land Surface Model; Noah–LSM az OSU LSM (Oregon State University Land Surface Model) továbbfejlesztett változata) szárazföldi felszíni sémát is használták. E séma az MM5 (Mesoscale Model Fifth-Generation) és a WRF (Weather Research and Forecasting) mezoskálájú rendszermodellek szárazföldi felszíni almodellje. A rendszermodelleket a talaj időjárás-alakító szerepének, valamint a földhasználat éghajlat-módosító hatásának vizsgálatára alkalmazták. Az előbbi témakörrel kapcsolatos első tanulmányok Horváth *et al.* (2007, 2009), Ács *et al.* (2010, 2014), valamint Breuer *et al.* (2011, 2012) tollából jelentek meg. A földhasználat éghajlat-módosító hatását Drüsler (2011) elemezte. A Goudriaan-típusú

(Goudriaan, 1977) sokrétű és igen komplex modellek alkalmazásával Hunkár (2005), valamint Anda *and Lőke* (2005) foglalkoztak. E tanulmányokban a növényállományok mikroklimáját vizsgálták.

**3. generációs SVAT-modellek.** Magyarországon – tudomásunk szerint – nem foglalkoztak a 3. generációs SVAT-modellek fejlesztésével vagy alkalmazásával. Mezőgazdasági célú fejlesztéssel és alkalmazással találkozhatunk, ilyen jellegű munka Harnos (2003) értekezése. Ez részben logikus is, mert e modellek használata szorosan kapcsolódik a GCM-ek használatához. GCM-et Magyarországon nem futtatunk, többek között az óriási számítógép-kapacitási igénye miatt.

**4. generációs SVAT-modellek.** Hazánkban a 4. generációs SVAT-modellek közül a DNDC-t (Denitrification Decomposition) Grosz (2010) és Machon (2011), a Biome–BGC-t (Biome–Biogeochemical Cycles) pedig Hidy (2010) alkalmazták. Barcza *et al.* (2009) a Biome–BGC modell 4.1.1-es verzióját használták Magyarország CO<sub>2</sub> mérlegének becsülésére különböző felszínborítások esetén. Vizsgálataikban négy felszínborítást: mezőgazdasági és füves területeket, valamint lombhullató és tűlevelű erdőket különböztettek meg. Eredményeik alapján a CO<sub>2</sub>-mérleg igen érzékeny az időjárás alakulására. A Biome–BGC modell egyes moduljainak fejlesztésével Hidy *et al.* (2012) foglalkoztak. A nyomgáz-emissziók érzékenységét a talaj egyes fizikai és biogeokémiai állapotváltozásaira Machon *et al.* (2010), Grosz *et al.* (2010) és Machon (2011) vizsgálták. E kutatások részletesebb leírása Machon *et al.* (2010) valamint Machon (2011) tanulmányaiban található.

**5. generációs SVAT-modellek.** Magyarországon az 5. generációs SVAT-modellek még nem terjedtek el. A legegyszerűbb, ún. mechanisztikus modellek közül megemlítenő Mészáros *and Pálvölgyi* (1990) Watson–Lovelock-típusú modellje, melyben Watson *and Lovelock* (1983) modelljét „egyszerű légkörrel” (az ún. egyszerű légkör üvegházhatású gázból áll, melyben aeroszol-réteg is van, mely módosítja a beérkező sugárzást) egészítették ki. Mészáros *and Pálvölgyi* (1990) eredményei igazolták Watson és Lovelock következtetését, miszerint a vegetáció környezetstabilizáló hatással rendelkezik. Más hasonló, vagy komplexebb modellek használatáról nem tudunk.

**Konklúzió.** Hazánkban nincs meteorológiai modellfejlesztő műhely, ennek megfelelően a modellalkalmazók taborába tartozó nemzet vagyunk. Láthattuk, hogy a hazai gyakorlatban a 0., az 1. és a 2. generációs modellek alkalmazása terjedt el. Egyes esetekben az alkalmazások mellett alap kutatás-jellegű fejlesztések is folytak (Ács, 2008; Hidy *et al.*, 2012). Az is észrevehető, hogy egyelőre több a biofizikai, mint a biokémiai vonatkozású kutatás.

#### Irodalom

Anda A. *and Lőke Zs.*, 2005: Microclimate simulation in maize with two watering levels. *Időjárás* 109, 21–37.

- Antal, E.*, 1961: Az evapotranspiráció meghatározása az energiaháztartás módszerével és a turbulens diffúziós módszerrel. Doktori disszertáció, pp. 45
- Antal, E.*, 1966: Egyes mezőgazdasági növényállományok potenciális evapotranspirációja. *Öntözéses Gazdálkodás* 4, 69–86.
- Ács, F., and Hantel, M.*, 1998: The land–surface flux model PROGSURF. *Global Planet. Change* 19, 19–34.
- Ács, F., and Hantel, M.*, 1999: The Penman–Monteith concept based land–surface model PMSURF. *Időjárás* 103, 19–36.
- Ács, F. and Kovács, M.*, 2001: The surface aerodynamic transfer parameterization method SAPA: description and performance analyses. *Időjárás* 105, 165–182.
- Ács, F.*, 2003: A comparative analysis of transpiration and bare soil evaporation. *Bound. Layer Meteorol.* 109, 139–162.
- Ács, F., és Drucza, M.*, 2003: A légköri rétegződés hatása a szárazföldi felszíni turbulens áramok intenzitására. *Légkör* 48(2), 9–16.
- Ács, F., Breuer, H., Tarczay, K., és Drucza, M.*, 2005: A talaj és az éghajlat közötti kapcsolat modellezése. *Agrokémia és Talajtan* 54, 257–274.
- Ács, F., and Breuer, H.*, 2006: Modelling of soil respiration in Hungary. *Agrokémia és Talajtan* 55, 59–68.
- Ács, F., Breuer, H., és Szász, G.*, 2007: A tényleges párolgás és a talaj vízkészlet becslése tenyészidőszakban. *Agrokémia és Talajtan* 56, 217–236.
- Ács, F.*, 2008: A talaj–növény–légkör rendszer meteorológiai alkalmazású modellezése. Alkalmazások a tudományban és az oktatásban. *ELTE Ötvös Kiadó*, pp. 249, ISBN: 963 868 9511
- Ács, F., és Vincze, Cs.*, 2009: A felszín közeli levegő rétegződésének empirikus becsléséről. *Légkör*, 54(1), 21–24.
- Ács, F., Horváth, Á., Breuer, H., and Rubel, F.*, 2010: Effect of soil hydraulic parameters on the local convective precipitation. *Meteorol. Z.* 19, 143–153.
- Ács, F., Szelepcsényi, Z., és Breuer, H.*, 2010a: Köppen és Thornthwaite éghajlat-osztályozásának összehasonlító vizsgálata egy globális léptékű adatbázison. *Légkör* 55, 93–101.
- Ács, F., Breuer, H., Szelepcsényi, Z. és Kozma, I.*, 2010b: Köppen és Holdridge éghajlati osztályozásának összehasonlító vizsgálata egy globális léptékű adatbázison. *Légkör* 55, 102–107.
- Ács, F., Breuer, H., and Szász, G.*, 2011: Estimation of actual evapotranspiration and soil water content in the growing season. *Agrokémia és Talajtan* (1<sup>st</sup> online edition, selected papers from 2000 to 2010), 60 *Supplementum*, 57–74.
- Ács, F., Breuer, H., and Skarbit, N.*, 2014: Climate of Hungary in the twentieth century according to Feddema. *Theor. Appl. Climatol.* doi 10.1007/s00704-014-1103-5.
- Ács, F., Gyöngyösi, A.Z., Breuer, H., Horváth, Á., Mona, T., and Rajkai, K.*, 2014: Sensitivity of WRF-simulated planetary boundary layer height to land cover and soil changes. *Meteorol. Z.* doi 10.1127/0941-2948/2014/0544.
- Barcza, Z.*, 2001: Long term atmosphere/biosphere exchange of CO<sub>2</sub> in Hungary. PhD Thesis, *Eötvös Loránd University*, Budapest, pp. 115
- Barcza, Z., Haszpra, L., Somogyi, Z., Hidy, D., Lovas, K., Churkina, G., and Horváth, L.*, 2009: Estimation of the biospheric carbon dioxide balance of Hungary using the BIOME–BGC model. *Időjárás* 113, 203–219.
- Berényi, D.*, 1943a: Az éghajlathatárok és állandóságuk. *Földrajzi Közlemények* 71, 231–248.
- Berényi, D.*, 1943b: Magyarország Thornthwaite rendszerű éghajlati térképe és az éghajlati térképek növényföldrajzi vonatkozásai. *Időjárás* 47, 81–91.
- Breuer, H., and Ács, F.*, 2010: Surface resistance estimation of some crops using different climate, soil-, and vegetation-specific data. *Időjárás* 114, 203–215.
- Breuer, H., Laza, B., Ács, F., Rajkai, K., Horváth, Á., és Weidinger, T.*, 2011: A planetáris határreteg-magasság és a talajtextúrák közötti kapcsolat vizsgálata. *Légkör*, 56, 103–110.
- Breuer, H., Ács, F., Laza, B., Horváth, Á., Matyasovszky, I. and Rajkai, K.*, 2012: Sensitivity of MM5-simulated planetary boundary layer height to soil dataset: Comparison of soil and atmospheric effects. *Theor. Appl. Climatol.* 109, 577–590.
- Czender, Cs., Komjáthy, E., Mészáros, R. and Lagzi, I.*, 2009: Spatial and temporal variability of ozone deposition. *Adv. Sci. Res.* 3, 5–7.
- Drüszler, Á.*, 2011: A 20. századi felszínborítás-változás meteorológiai hatásai Magyarországon. PhD értekezés, *Nyugat-Magyarországi Egyetem*, pp. 135
- Dunkel, Z., Bozó, P., Szabó, T., and Vadász, V.*, 1989: Application of thermal infrared remote sensing to the estimation of regional evapotranspiration. *Adv. Space Res.* 9(7), 255–258.
- Endrődi, G.*, 1974: Időjárás és növényfiziológiai tényezők hatása az evapotranspirációra. *Időjárás* 78, 348–355.
- Endrődi, G.*, 1980: A felszín közeli 30 m-es légréteg fizikai állapotának néhány jellemzője. *Időjárás* 84, 31–42.
- Fábián, Á.P., Matyasovszky, I.*, 2010: Analysis of climate change in Hungary according to an extended Köppen classification system, 1971–2060. *Időjárás* 114, 251–261.
- Feddema, J.J.*, 2005: A revised Thornthwaite-type global climate classification. *Phys. Geogr.* 26, 442–466.
- Goudriaan, J.*, 1977: Crop Micrometeorology: A Simulation Study. *Wageningen Center for Agricultural Publishing and Documentation*, pp. 248
- Grosz, B.P.*, 2010: Üvegház hatású gázok (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) talajfluxusainak meghatározása magyarországi mezőgazdasági és erdőszült területeknél. Doktori értekezés, *ELTE*, Budapest, pp. 121
- Grosz, B.P., Machon, A. and Horváth, L.*, 2010: The DNDC Process-Oriented Ecosystem Model. In: Haszpra, L.(ed), *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective* 211–214.
- Harnos, N.*, 2003: A klímaváltozás várható hatásai kalászos gabonafélék produkciobiológiájára: kísérleti és modellezési megközelítés. *Doktori értekezés, SZIE*, Gödöllő, pp.103
- Haszpra, L., Barcza, Z., Bakwin, P.S., Berger, B.W., Davis, K.J. and Weidinger, T.*, 2001: Measuring system for the long-term monitoring of biosphere/atmosphere exchange of carbon dioxide. *J. Geophys. Res.* 106D, 3057–3070.
- Haszpra, L. és Barcza, Z.*, 2005: A magyarországi légköri szén-dioxid mérések szerepe az éghajlati modellek megalapozásában. *AGRO 21 Füzetek* 38, 13–26.
- Hidy, D.*, 2010: Agroökológiai rendszerek szén- és vízháztartásának modellezése. Doktori értekezés, *SZIE*, Gödöllő, pp. 119
- Hidy, D., Barcza, Z., Haszpra, L., Churkina, G., Pintér, K., and Nagy, Z.*, 2012: Development of the Biome–BGC model for simulation of managed herbaceous ecosystems. *Ecological Modelling* 226, 99–119.
- Holdridge, L.R.*, 1947: Determination of world formulations from simple climatic data. *Science* 105, 367–368.

- Horváth, Á., Ács, F., and Geresdi, I., 2007: Sensitivity of severe convective storms to soil hydrophysical characteristics: A case study for April 18, 2005. *Időjárás* 111, 221–237.
- Horváth, Á., Ács, F., and Breuer, H., 2009: On the relationship between soil, vegetation and severe convective storms: Hungarian case studies. *Atmospheric Research* 93, 66–81.
- Horváth, L., 1983: Concentration and near surface vertical flux of ammonia in the air in Hungary. *Időjárás* 87, 65–70.
- Horváth, L., Asztalos, M., Führer, E., Mészáros, R., and Weidinger, T., 2005: Measurement of ammonia exchange over grassland in the Hungarian Great Plain. *Agric. For. Meteorol.* 130, 282–298.
- Hunkár M., 2005: On the use of standard meteorological data for microclimate simulation. *Időjárás* 109, 39–53.
- Kakas, J., 1960: A lehetséges évi evapotranspiráció. Az évi vízfölösleg. Az évi vízhiány. Magyarország éghajlati atlasza, *Akadémiai Kiadó*, Budapest, pp. 78
- Kissné Tóth, E., 1965: A talajközeli légréteg turbulenciajellemzőinek meghatározása gradiensmérések útján. *Időjárás* 69, 240–247.
- Kovács, Á., 2011: Tó- és területi párolgás becslésének pontossága és magyarországi alkalmazásai. PhD értekezés, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*, Budapest, pp. 101
- Köppen, W., 1900: Versuch einer Klassifikation der Klimata, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzen. *Geograph. Zeitschr.* 6, 593–611, 657–697.
- Köppen, W., 1936: Das geographische System der Klimata. Handbuch der Klimatologie, Band 1, Teil C. *Gebrüder Borntraeger*, Berlin, pp. 44
- Machon, A., Horváth, L., Weidinger, T., Grosz, B., Pintér, K., Tuba, Z., and Führer, E., 2010: Estimation of net nitrogen flux between the atmosphere and a semi-natural grassland ecosystem in Hungary. *European Journal of Soil Science* 61, 631–639.
- Machon, A., 2011: Egy tájleptékű füves ökológiai rendszer és a légkör közti nitrogén kicsrélődés mértékének meghatározása mérések és modellszámítások alapján. Doktori értekezés, *SZIE*, Gödöllő, pp. 124
- Mészáros, E., and Pálvölgyi, T., 1990: Daisyworld with an atmosphere. *Időjárás* 94, 339–345.
- Mészáros, R., 2003: A felszínközeli ózon száraz ülepedésének meghatározása különböző felszín típusok felett. PhD. értekezés, *Eötvös Loránd Tudományegyetem*, pp. 113
- Mészáros, R., Zsély, I. Gy., Szinyei, D., Vincze, Cs., and Lagzi, I., 2009: Sensitivity analysis of an ozone deposition model. *Atmospheric Environment* 43, 663–672.
- Mintz, Y., and Walker, G.K., 1993: Global fields of soil moisture and land surface evapotranspiration derived from observed precipitation and surface air temperature. *J. Appl. Meteorol.* 32, 1305–1335.
- Monin, A.S., and Obukhov, A.M., 1954: Basic laws of turbulent mixing in the atmosphere near the ground. *Trudi. Akad. Nauk.SSSR Geofiz. Inst.* 24, 163–187.
- Réthy, A., 1933: Kísérlet Magyarország klímaterképének szerkesztésére a Köppen-féle klímabeosztás értelmében. *Időjárás* 35, 105–115.
- Szabó, T., Tóth, R., Csapó, P., Tiringner, Cs. és Lambert, K., 1989: Estimation of evapotranspiration of wheat canopy under dry soil conditions using surface temperature data. *Időjárás* 93, 253–260.
- Seres, A., és Ács, F., 2006: A szinoptikus helyzetek és a felszín közeli légkör stabilitási viszonyainak párhuzamos elemzése. *Léggör* 51(3), 20–23.
- Skarbit, N., 2012: Magyarország éghajlata a XX. században Feddema módszere alapján. BSc szakdolgozat, *ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék*, pp. 34
- Szász, G., 1963: A vízháztartás klimatikus tényezőinek vizsgálata Magyarországon. *Debreceni Agrártudományi Főiskola Tudományos Közleményei*, 49–71.
- Szász, G., Ács, F., Breuer, H., and Szalai, Sz., 2006: Modeling of climate and net ecosystem exchange in Debrecen. *Cereal Research Communication* 34, 9–12.
- Szeicz, G., Endrődi, G. and Tajchmann, S., 1969: Aerodynamic and Surface Factors in Evaporation. *Water Resour. Res.* 5, 380–394.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F. és Kozma, I., 2009a: Biofizikai klímaklasszifikációk. 1. rész: a módszerek bemutatása. *Léggör* 54(3), 21–27.
- Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F. és Kozma, I., 2009b: Biofizikai klímaklasszifikációk. 2. rész: magyarországi alkalmazások. *Léggör* 54(4), szám, 18–24.
- Szepesiné, L.A., 1966: A Kárpát-medence hidroklimájának jellemzői. Beszámoló az 1965-ben végzett tudományos kutatásokról, *Az Országos Meteorológiai Intézet hivatalos kiadványai*, XXIX évfolyam, 86–114.
- Szilágyi, J., and Józsa, J., 2009: Estimating spatially distributed monthly evapotranspiration rates by linear transformations of MODIS daytime land surface temperature data. *Hydrol. Earth System Sci.* 13, 629–637.
- Watson, A.J., and Lovelock, J.E., 1983: Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. *Tellus* 35B, 284–289.
- Weidinger, T., 1986: A talajközeli légréteg néhány jellemzője a szarvasi toronymérések alapján. *Időjárás* 90, 266–281.
- Weidinger, T., Pinto, J., and Horváth, L., 2000: Effects of uncertainties in universal functions, roughness length, and displacement height on the calculation of surface layer fluxes. *Meteorol. Z.* 9, 139–154.

# AZ ERŐS NAPKITÖRÉSEK HATÁSA A SZÜLÉSEKRE MAGYARORSZÁGON

## INFLUENCE OF THE SEVERE FLARES ON BIRTHS IN HUNGARY

Puskás János<sup>1</sup>, Kovács Erik<sup>2</sup>, Kúti Zsuzsanna<sup>1</sup>, Somogyi Tímea<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Földrajz és Környezettudományi Intézet

<sup>2</sup>Nyugat-magyarországi Egyetem, Kitaibel Pál Doktori Iskola

<sup>1</sup>pjanos@gmail.com, <sup>2</sup>kovacserik@gmail.com, <sup>1</sup>timeasomogyi0709@gmail.com <sup>1</sup>kutizsuzsi@gmail.com

**Összefoglalás:** A környezetünkben zajló folyamatok sokféle hatást gyakorolnak az emberi szervezetre, ezért sok esetben megfigyelhető, hogy az emberek életjelenségeit jelentősen befolyásolhatják. Az időjárás hatásakon kívül a kozmikus tényezők befolyása is jelentős lehet. Jelen tanulmányban a magyarországi szülésekre ható napkitöréseket ( $H_{\alpha}$  fler) kifejező Q-index értékek közül azokat vizsgáltuk, melyek értéke meghaladta a 10-es szintet. Magyarországon a Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján 2004. január 1-től 2009. december 31-ig a szülések száma összesen 585 708 volt. A 10-nél magasabb Q-index értéket mutató napok előtti 3. és az utáni 5. napok időszakának szülési adatait vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy azokon a napokon, amikor erős napkitörést regisztráltak, szignifikánsan növekszik a szülések száma az előző naphoz képest. A következő csúcs a 10 fölötti Q-index napját követő 5. napon tapasztalható.

**Abstract:** The processes taking place in our environment have different influences on the human body, so in many cases it can be observed that life phenomena of people are affected significantly. In addition to weather effects, influence of cosmic factors can be significant. In this study those Hungarian births were investigated, when the values of solar flares, showed by the Q-index, were above level 10. According to the data of Central Statistics Office in Hungary the number of all births was 585 708 in six years (between 1<sup>st</sup> January 2004 and 31<sup>st</sup> December 2009). We examined the number of births in period of nine days from the 3<sup>rd</sup> day before 10 Q-index values and after the 5<sup>th</sup> day of it. We found significantly higher number of births, compared to the previous day. The next peak can be found on 5<sup>th</sup> day after the 10 Q-index values.

**Bevezetés és irodalmi áttekintés.** A környezetünkben zajló folyamatok különféle hatást gyakorolnak az élőlények szervezetére, így azok életjelenségeit jelentősen megváltoztatják. Az időjárás befolyásoló hatásán kívül a kozmikus tényezőknek is szerepe van, amit a vizsgálatok megerősítettek. Az életjelenségek válaszreakciók formájában szoros kapcsolatban vannak az időjárás elemeivel és eseményeivel, melyek a közvetlen környezetünkben fordulnak elő. Az egyéni érzékenység nagyban növelheti a szervezetünk „megpróbáltatásait”. Az orvosteorológiai kutatásokban az időjárás hatásokat már régóta vizsgálják a szakemberek hazánkban (Kérdő, 1961; Puskás et al., 2014; Folyovich et al., 2015). Az emberiséget az is foglalkoztatja, hogy milyen környezeti elemek előfordulása gyorsíthatja a szülés folyamatának indulását. A korábbi hazai és külföldi vizsgálatok megerősítik, hogy az időjárás jelentős megváltozása együtt járhat a szülések megindulásával (Raics 1972; Driscoll, 1995; Molnár et al., 2002; Puskás et al., 2008; Puskás et al., 2010; Hirsch et al., 2011; Gyarmati et al., 2012; Gyarmati és Tar, 2014). Természetesen a szülések kezdete összefügg a kozmikus sugárzás és más kozmikus elemek megváltozásával is, mely tényezőket korábban publikáltak a kutatók. Ezeket az irodalmakat részletezve mutatjuk be. Zaitseva and Pudovkin (1995) Oroszországban az évi születési ráta és a Kp-index értéke között talált összefüggést az 1873 és az 1897 közötti években. Stoupelet et al. (2006, 2007) kétféle vizsgálatot végeztek Litvániában és Izraelben azonos években (1995 és 2002 között), viszont mindkettő összefüggésben volt a környezetfizikai aktivitással.

Litvániában a szülések számát, míg Izraelben a koraszülések számát elemezték. Litvániában azt tapasztalták, hogy az újszülöttek havi száma erős összefüggést mutat a kozmikus sugárzás havi szintjével, ugyanakkor ellentétes a szülés előtt kilenc hónappal számított naptevékenység indexével. Az izraeli adatok szerint a kozmikus sugárzás és a geomágneses tevékenység indexei korreláltak a koraszülésekkel összehasonlítva. Nowinszky és Nowinszky

(1996–1997) vizsgálatai szerint a szülések számának változására tapasztalható olyan hatás, mely nem az időjárás változásának tudható be. A szülések száma a naptevékenységet jellemző 27 kHz-en mért atmoszférikus rádiójajok (SEA) erős ingadozásának napjain, az interplanetáris mágneses tér szektorhatár átmenete pozitívról negatívra váltásakor, földmágneses Kp-index alacsony értékein és a zavart (D) napokon, az első- és utolsó holdnegyed környezetében, valamint a Hold és a Nap által keltett gravitációs potenciál negatív értékein szignifikánsan növekszik, csökken viszont az interplanetáris mágneses tér szektorhatár átmenete negatívról pozitívra váltásakor. Nie et al. (2002) 1985 és 1995 között 160 000 gyermek születése és a napkitörések ( $H_{\alpha}$  flerek) közötti összefüggést elemezte. Két születési csúcsot tapasztaltak, az első a nagyobb flerek bekövetkezésének napján jelentkezett, míg a második 2–4 nappal később. A tanulmányunkban azt vizsgáltuk, hogy a magyarországi szülések számára milyen hatással vannak a nagyobb értékű napkitörések.

**Anyag.** A Nap kb. 11 éves ciklusokban változik: a ciklus elején 3–4 évig egyre több napfolt jelenik meg és egyre hevesebb napviharok törnek ki, majd a maximumot elérve csökkenni kezd a napfolttevékenység. Egy-egy hevesebb napkitörés során a Nap akár több milliárd tonna anyagot is kilövellhet a Föld irányába: a jelenség elektromágneses viharokkal jár, ez pedig zavarhatja az elektromos berendezések működését a Földön (Gesztési, 1997; Gábris et al., 2010). A naptevékenység legjelentősebb földi hatásait a flerek okozzák, melyek az élőlényekre is befolyással bírnak. A török napfizikusok napi Q-index értéket határoztak meg, amely a flerek erősségét (intenzitását) és fennállásuk időtartamát veszik figyelembe (Özgüç and Ataç, 1989). A Q-index értékeket ([www.koeri.boun.edu.tr/astronomy](http://www.koeri.boun.edu.tr/astronomy)) a világhálón is elérhetővé tették, aminek a kiszámítása a

$$Q = (i \cdot t)$$

egyszerű összefüggéssel történik, ahol:  $i$  = a flerek intenzitása,  $t$  = a fennállás időtartama.

Magyarországon a Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján 2004. január 1-től 2009. december 31-ig összesen 585 708 szülést regisztráltak. A hat éves időszak napi szülései számának változását vizsgáltuk meg a napkitörések esetén. A vizsgálataink arra terjedtek ki, hogy azon napokon (0. nap) milyen változások figyelhetők meg a szülések számában, amikor a Q-index értéke 10-nél magasabb.

**Módszer.** A magyarországi napi szülések számából azon napokat vettük figyelembe a vizsgálatban, amikor a Q-index értéke meghaladta a 10-es értéket. A vizsgálatok a megelőző 3. naptól a követő 5. napig tartottak. Így 9 napos időszakokat tudtunk feldolgozni, amiből 2004 és 2009 között 37 fordult elő. Az átlagértékek közötti szignifikanciát t-próbával számítottuk.

1. táblázat A szülések gyakorisága Magyarországon (2004. jan. 1. és 2009. dec. 31. között)

Napok	Szülések száma	Adatszám	Napi átlag	Szignifikancia számítás	Szignifikancia értéke	Szignifikancia számítás	Szignifikancia értéke
-3	10039	37	271,32	napok (-3 és -2)			
-2	9786	37	264,49	napok (-2 és -1)			
-1	9492	37	<b>256,54</b>	<b>napok (-1 és 0)</b>	<b>95%</b>		
0	10335	37	<b>279,32</b>	napok (0 és 1)			
1	9909	37	267,81	napok (1 és 2)		napok (-1 és +1)	
2	9870	37	266,76	napok (2 és 3)		napok (-1 és +2)	
3	10091	37	272,73			napok (-1 és +3)	
4	10102	37	273,03			napok (-1 és +4)	
5	10344	37	<b>279,57</b>			<b>napok (-1 és +5)</b>	<b>95%</b>

**Eredmények.** Az eredményeinket az 1. táblázat mutatja. Megjegyzés: a **vastagon szedett** számok és betűk mutatják a szignifikáns (95%) eltéréseket.

**Megvitatás.** Az eredményeink azt mutatják, hogy a napkitörések közül azok, amelyek Q-index értéke meghaladja a 10-es értéket, a szülések megindulásával kapcsolatban vannak. Az előző napi szülésszámhoz hasonlítva szignifikánsan növekedett a 0. napon a szülések száma. Ez összefügghet a magas Q-index értékkel. A -1. nap (az erős napkitörés előtti nap) szüléseinek számához viszonyítva a következő napokon is magas szülésszámot regisztráltak, mely fokozatos emelkedés után az 5. napi maximumot eredményezi. Ez megerősíti Nie et al. (2002) második maximumra vonatkozó megállapításait, bár mi a 2. maximumot az 5. napon tapasztaltuk a kínai szerzők 2. és 4. nap közötti eredményeivel szemben.

## Irodalom

- Driscoll, D. M., 1995: Weather and childbirth: A further search for relationships. *Int. Journal of Biometeorology*, 38 152–155.
- Folyovich, A., Biczó, D., Al-Muhanna, N., Béres-Molnár, K.A., Fejős, Á., Pintér, Á., Bereczki, D., Fischer, A., Vadasdi, K., Pintér F., 2015: Anomalous equivalent potential temperature: an atmospheric feature predicting days with higher risk for fatal outcome in acute ischemic stroke—a preliminary study. *Environmental Monitoring and Assessment* 187, 547.
- Gábris Gy., Marik M. és Szabó J., 1993: Csillagászati földrajz. *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest, pp. 310.
- Gesztesi, A., 1997: Csillagászati földrajz. *ELTE Tanárképző Főiskolai Kar*, Budapest, pp. 243.

- Gyarmati R., Puskás J., Nagy B. és Nagy É., 2012: Az időjárás összefüggése a szülések gyakoriságával, soproni és debreceni adatok alapján. *XI. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Szombathely*. Május 19., ISBN: 9-639290-69-6. 59–63.
- Gyarmati, R. és Tar K., 2014: Időjárás helyzeteken alapuló statisztikai szüleselemzés. *Léggör*, 59, 53–57.
- Hirsch, E., Lim, C., Dobrez, D., Adams, M. G. and Noble, W., 2011: Meteorological factors and timing of the initiating event of human parturition. *Int. J. of Biometeorology* 55, 265–272.
- Kérdő, I., 1961: Időjárás, éghajlat, egészség. *A medicina könyvtára*. Budapest, pp. 116
- Molnár, L., Horváth, B. és Molnár, L. Jr., 2002: Méhen kívüli terhesség kórismével ápolott betegek előfordulásának időszakos ingadozása a Nyugat-dunántúli Régió kórházaiban 1996–1999. években. *Magyar Nőorvosok Lapja* 65, 169–174.
- Nie, Q.X., Ji and, G.P., Huang, P., 2002: Short-Term Biologi-

- cal Effect of Flares. *Chinese Journal of Geophysics* 45, 486–490.
- Nowinszky T. és Nowinszky L., 1996–1997: Szülések és idő előtti burokrepedések gyakorisága időjárási és kozmikus események idején. *Appendix*. 1.3.-2.1. 67–76.
- Özgül, A. and, Ataç, T., 1989: Periodic behaviour of solar flare index during solar cycles 20 and 21. *Solar Physics* 123, 357–365.
- Puskás, J., Nagy, B., Nagy, É. és Csécssei, K., 2008: Az időjárási front típusok kapcsolata a szülések gyakoriságával, soproni adatok (2000–2005) alapján. *VII. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Szombathely*. CD-ROM, 1–7.
- Puskás, J., Nagy, B., Nagy, É., Csécssei, K. és Tar, K., 2010: Időjárás frontok hatása a szülések gyakoriságára. *VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia*. Nyíregyháza, 239–243.
- Puskás J., Horváth Á., Kóbor J. és Nagy É., 2014: A makroszinoptikus időjárás típusok kapcsolata az epilepsziás rohamokkal. *Léggör* 59, 58–60.
- Raics, J., 1972: Meteorológiai tényezők hatása egyes szüléseti eseményekre. *Egészségügyi munka* 19, 161–169.
- Stoupele, E., Kalédienė, R., Petrauskienė, J., Gaižauskienė, A., Israelevich, P., Abramson, E. and Sulkes, J., 2006: Monthly number of newborns and environmental physical activity. *Medicina* (Kaunas) 42, 238–241.
- Stoupele, E., Sirota, L., Osovsky, M., Klinger, G., Abramson, E., Israelevich, P., Sulkes, J. and Linder, N., 2007: Monthly number of preterm births and environmental physical activity. *J. Basic Clin. Physiol. Pharmacol.* 18, 149–157.
- Zaitseva, S.A. and Pudovkin, M.I., 1995: Influence of solar and geomagnetic activity on the dynamics of population size in Russia. *Biophysics* 40, 853–856

## IDŐJÁRÁSI ELŐREJELZÉSEK ÉS RIASZTÁSOK ÉRTELMEZÉSE ÉS MEGJELENÉSE A MINDENNAPI ÉLETBEN

### INTERPRETATION OF THE METEOROLOGICAL FORECASTS AND WARNINGS AND ITS APPEARANCE IN THE EVERYDAY LIFE

Petróczy Henrietta<sup>1</sup>, Buránszkiné Sallai Márta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

<sup>2</sup> Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.

heni1003@gmail.com, sallai.m@met.hu

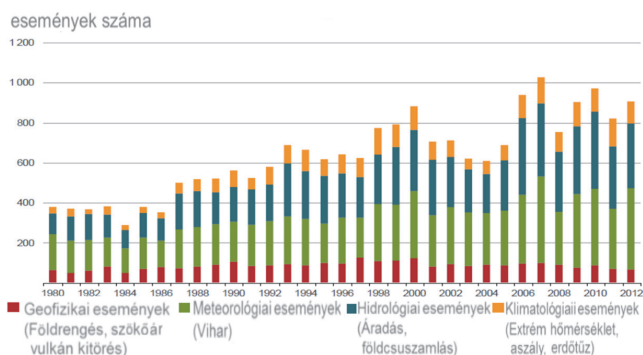
**Összefoglalás.** Az időjárás információk felhasználásának fontos szerepe van napi döntéseink meghozatala mellett a testi épségünket és javainkat is fenyegető időjárás veszélyhelyzetek elkerülésében. A mindennapi életben a felnőtt lakosság körében az ismeretek, attitűdök és kompetenciák területén is tapasztalhatók a meteorológiai információk gyakorlati alkalmazását hátráltató problémák: a ténybeli tudás hiánya, az érdektelenség, a túlzott elvárások az előrejelzésekkel, veszélyjelzésekkel szemben, a szükséges háttérismeretek hiányában az információk helytelen értelmezése, a veszélyes időjárás helyzetek idején követendő magatartás-minták elsajátításának hiánya, az információforrás rossz megválasztása. Hogy az időjárás információk felhasználásának hatékonyságát növelni lehessen, szükség van e hiányosságok pontos feltérképezésére, ezt követően pedig egy olyan stratégia kialakítására, amely az ismeretbővítést és a szemléletformálást egyaránt szolgálja. Írásunkban egy szakdolgozat keretében elvégzett kérdőíves kutatás eredményeit tesszük közzé, amely a korábbi felmérésekhez képest komplexebb módon vizsgálja az emberek informálódási szokásait, az időjárás-előrejelzésekben elhangzó fogalmak értelmezését, az információk alapján meghozott döntéseket.

**Abstract.** The utilization of weather information, besides helping to make decisions in our daily routine, plays an important role in avoiding weather emergencies that threaten our physical well-being and our material goods. In everyday life, the following problems hindering the practical use of meteorological information can be observed among the adult population in the areas of knowledge, attitudes, and competencies: lack of factual knowledge, disinterest, unreasonable expectations about forecasts and alarms, incorrect interpretation of information due to lack of necessary background knowledge, lack of acquisition of behavioural patterns that should be followed during weather emergencies, and incorrect choice of information sources. To improve the efficiency of weather information usage, it is necessary to accurately map these deficiencies, and then to create a strategy which serves both knowledge development and awareness raising. In the paper we present the results of a questionnaire survey conducted for a thesis, which examines the information-gathering habits of people, the interpretation of concepts heard in weather forecasts, and the decisions taken based on weather information in a more complex way than previous surveys did.

**Bevezetés.** Az időjárás meghatározza mindennapjainkat. Az ember ősidők óta alkalmazkodik a helyi éghajlati, időjárás viszonyokhoz, amelyek alapvetően befolyásolják életét. Nem véletlen, hogy az időjárás megismerésének, sőt az időjárás előrejelzésének vágya egyidős az emberiséggel. A természethez közel élő elődeink hosszú idők tapasztalatával a természet jeleit figyelve próbálták

8. napra ugyanolyan jó előrejelzést tudunk adni, mint 20 évvel ezelőtt a 3–4. napra. 2001-ben a 10 napos előrejelzés beválása volt akkora, mint 1971-ben az 1 naposé. Az előrejelzések, veszélyjelzések megbízhatósága és információ tartalma fokozatosan növekszik, de a felhasználásuk hatékonysága ezt nem tükrözi. Erre vonatkozóan konkrét kimutatások ugyan nincsenek, de Magyarország közelmúltjának néhány rendkívüli időjárással kapcsolatos eseménye is alátámasztja ezt az állítást: a 2006. augusztus 20-i katasztrófa, a 2010. június 8-i mezőhegyesi vihar következményei, a 2013. március 15-i hóvihár következtében kialakult káosz mind elháríthatók lettek volna, mert a jó és idejében kiadott előrejelzések és riasztások rendelkezésre álltak.

Az időjárás információk felhasználásának nagyon fontos szerepe van nemcsak mindennapjaink alakításában, hanem a testi épségünket és javainkat is fenyegető időjárás veszélyhelyzetek elkerülése érdekében is. A *Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft* (2013) viszontbiztosító társaság kimutatásában jól látható a természeti katasztrófák számának emelkedése a Földön az 1980–2012-es időszakban (1. ábra). Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség jelentésében (EEA, 2012) közölt adatok szerint a természeti katasztrófák döntő többsége, közel 90% a meteorológiai eredetű (EEA, 2012). Ennek következtében érthető, hogy felértékelődött az előrejelzések és veszélyjelzések, valamint azok helyes értelmezésének szerepe.



1. ábra: Természeti katasztrófák a Földön 1980–2012, (Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2013)

megjövendölni az időjárás változását. A mai kor embere számára erre a célra korszerű, a légkör viselkedésének számítógépes modellezésén alapuló eljárások vannak, amelyek eredményei a tapasztalt meteorológus szakember döntéseivel támogatva időjárás előrejelzések és figyelmeztetések formájában jutnak el az emberekhez. Az időjárás előrejelzése már odáig fejlődött, hogy ma a

Az előrejelzések folyamatos módszertani fejlesztése mellett azt is vizsgálni kell, hogy az emberek hogyan értelmezik a prognózisokat, mennyire értik meg annak tartalmát, hiszen egy meteorológiai előrejelzés sikere nemcsak a szakmai jóságtól, pontosságtól függ, hanem a prognózisra alapozott döntés helyességétől is. A jó döntéshez pedig az kell, hogy a meteorológiai jelentések információtartalma a lehető legkisebb sérüléssel jusson el a meteorológusoktól a felhasználókig.

Írásunkban elsőként áttekintjük a témával kapcsolatos korábbi kutatásokat, majd egy diplomamunka kutatási eredményein keresztül mutatjuk be, hogy Magyarországon az emberek milyen időjárás ismeretekkel rendelkeznek, és milyen az időjárás eseményekhez, az időjárás információkhoz való viszonyulásuk.

**Az időjárás információk hasznának és az emberek időjárás információkhoz való viszonyulásának kimutatása.** Számos ország és a Meteorológiai Világszervezet (WMO, 2012) is készített közgazdasági tanulmányt arra, hogy kimutassák a meteorológiai fejlesztések hatását az időjárás károk csökkentésében. A gazdasági haszonnál sokkal nehezebben kimutatható és vizsgálható azonban az, hogy az emberek a saját mindennapi döntésük során mennyire használják fel az időjárás információkat, illetve mennyire tudják értelmezni azokat. Az időjárás előrejelzések és veszélyjelzések hatékony felhasználását az alábbi szubjektív tényezők határozzák meg:

- az emberek időjárással, időjárás veszélyekkel kapcsolatos tárgyi ismerete;
- a tárgyi ismereteken alapuló döntései;
- az egyéni magatartásformák az időjárás helyzetek kezelésével kapcsolatban;
- az informálódás eszközének megválasztása.

A tárgyi ismeretek megléte, mélysége egyszerű tudásméréssel (teszt, kérdőív) könnyen vizsgálható. Sokkal nehezebb annak a kimutatása, hogy az emberek mennyire, és milyen módon veszik figyelembe az időjárás alakította külső körülményeket a saját mindennapi életük, döntéseik során. Tájékozódni-e a várható időjárás eseményekről, ha igen, milyen módját választják a tájékozódásnak, mennyire érzékenyen reagálnak az időjárás eseményekre (pl. az időjárás figyelembevétele a családi programok tervezésénél), mennyire képesek tudatos és felelős döntéseket hozni az adott időjárás helyzetben, különös tekintettel az időjárás okozta kockázatok mérséklésére. A szakirodalomban az 1970-es évektől olvashatunk az emberek időjárás helyzetekre és időjárás információkra adott reakcióit vizsgáló kutatásokról.

A kérdés, hogy az időjárás jelentésekben a meteorológusok által nap mint nap használt kifejezések mennyire értelmezhetők a mindennapok embere számára, a hazai vizsgálatok közül elsőként Dragovác és Bódog 1985-ben végzett vizsgálatában merült fel, amelyet középiskolások között végeztek az Országjáró Diákok Országos Találkozásán. (Dragovác és Bódog, 1986). Ezt követően H. Bóna Márta vezetésével több alkalommal készült közvélemény-kutatás arról, hogy az emberek honnan tájékozódnak az időjárásról, mit gondolnak az időjárás-jelentésről, mennyire vannak megelégedve vele, illetve mely időjárás paramétereket tartják a legfontosabbnak,

valamint hogyan értelmezik az időjárás-jelentésekben elhangzó mennyiségi fogalmakat. Ezekben a kérdésekben kívül bekerült néhány olyan kérdés is, mely a kitöltő meteorológiai tudását hivatott mérni, illetve néhány humán-meteorológiai kérdés is. (H. Bóna, 1989; 2000a és 200b; H. Bóna et al., 2003).

A nemzetközi kutatások közül Stewart (2005) kutatását kell kiemelni az USA-ban, aki bevezette a „weather salience” fogalmát az emberek időjárás és időjárás információk iránti fogékonyságának tanulmányozására és egy kérdőívet is szerkesztett ennek mérésére. A „weather salience” fogalma a környezeti pszichológia koncepciójából származtatható, és annak a fokát mutatja meg, hogy az egyének mennyire tulajdonítanak lélektani értéket, vagy fontosságot az időjárásnak, és milyen mértékben vannak ráhangolva a légköri folyamatok változásaira. A „weather salience” mérésére kifejlesztett módszer különböző vizsgálati szempontjai a különböző pszichológiai folyamatokból erednek: figyelem, kogníció, attitűd, érzelm és viselkedés. Korábbi kutatások során már több szemszögből vizsgálták az ember és az időjárás viszonyát. Stokols (1979) valamint Taylor and Fiske (1979) megállapították, hogy az emberek akkor foglalkoznak az időjárással, ha az időjárás esemény természete, vagy az átlagostól való eltérése érzékelhetően kiugró. Lényeges szempont az érzelmekeltés foka is, annak a mértéke, hogy az időjárás mennyire növeli az eredetileg is pozitív, vagy negatív érzelmeinket (Chambell, 1983). Az előrejelezhetőség és a kontrollálhatóság mértéke, valamint az ezekre adott válasz különösen fontos tulajdonság az időjárásnak arra a szerepére nézve, hogy hogyan befolyásolja a mindennapjainkat és az adaptív viselkedést. (Campbell, 1983, Little, 1983). Evans és Cohen (1987) pedig az időjárás események időtartamát és periodicitását vizsgálták, mint az időjárás olyan karakterisztikáit, amely befolyásolja a figyelemfelkeltés mértékét. Végül létezik lélektani, érzelmi kötődés is egy adott földrajzi hely éghajlatához, vagy egy időjárás típushoz, amelyet szintén figyelembe kell venni (Knez, 2005).

Stewart az előbb felsorolt tanulmányok eredményeit figyelembe véve egy 29 tételből álló kérdőívet készített, amelyben az alábbi kérdéscsoportok szerepelnek:

- az időjárás és az időjárás információk iránt tanúsított figyelem;
- az időjárás közvetlen érzékelése és megfigyelése;
- az időjárás hatása a mindennapi cselekedeteinkre;
- az időjárás hatása a hangulatunkra;
- időjárás, vagy éghajlati típusokhoz való kötődés;
- az időjárás változékonysága iránti igény;
- az időjárás figyelembevétele a szabadidős tevékenységek megszervezésénél.

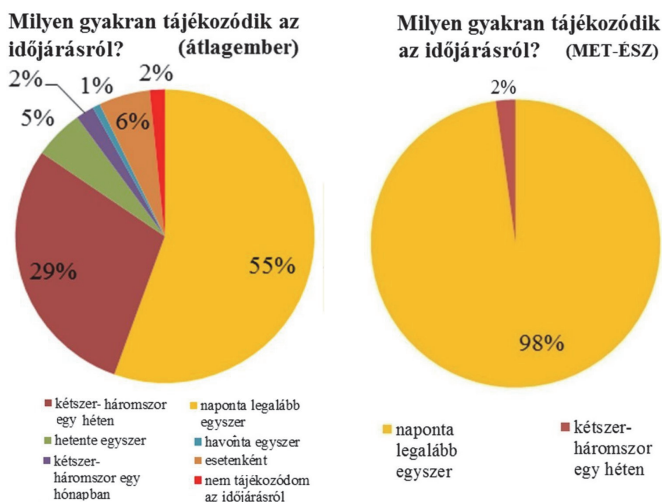
A szakirodalomban WxSQ (Wether salience questionnaire) néven ismert kérdőív alapján Stewart eredetileg a Georgiai Egyetemen tanuló diákok időjárás affinitását mérte fel, vizsgálva azt is, hogy a „weather salience” mennyire szoros összefüggésben van az időjárással kapcsolatos attitűddel, tudással, tapasztalattal. Később kimutatta, hogy egyértelmű pozitív összefüggés van az elszennvedett időjárás katasztrófák száma és az időjárás iránti affinitás között (Stewart, 2006). A kérdőív segítségével vizsgálták az eltérő éghajlati körülmények (Köp-

pen-féle klímazónák) között élő emberek időjárás iránti affinitásában meglévő különbséget is (Stewart et al., 2012). Ezek a vizsgálatok tehát arra alkalmasak, hogy elsősorban az egyéni lélektani tényezőkre fókuszálva értsük meg az emberek időjárás eseményekre adott reakcióit és válaszait.

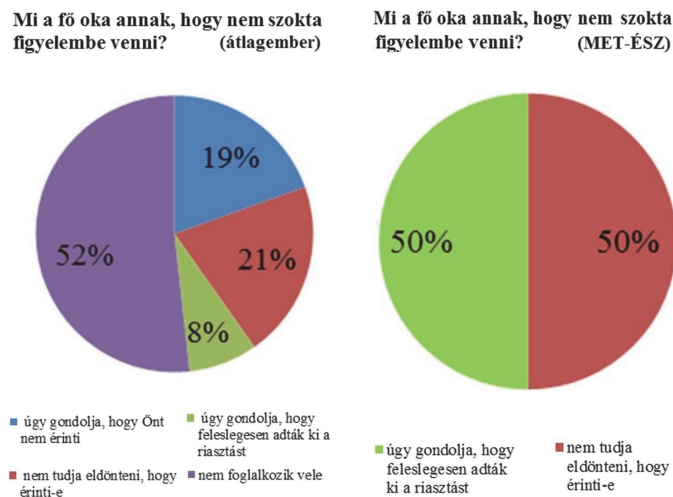
Szintén diákok egyetemi hallgatók között végeztek felmérést Peachey et al. (2013), de ennek témája már napjaink e téren tapasztalt nagy problémája, illetve kihívása volt, a valószínűségi előrejelzések értelmezése. A valószínűségi előrejelzések kapcsán elég sötét képet fest a felmérés azon eredménye, hogy 92 egyetemista közül csupán 4% tudta helyesen értelmezni azt, hogy mit jelent, ha a prognózisban 60% az eső valószínűsége. Peachey a kérdéseiben konkrét szituációkat is felvázolt és a döntések %-ban megadott valószínűségi küszöbértékeire volt kíváncsi: pl. hány %-os csapadék valószínűségnél döntenek az emberek úgy, hogy elhalasztják a pikniket az eső miatt. Ezeknél a szituációknál megnyugtató eredményeket kapott: a megkérdezettek képesek voltak a döntéseik

Erre vonatkozólag előzetesen az alábbi hipotéziseket állítottuk fel:

- A diákok és a fiatal korosztály, vagyis azok, akik a közelmúltban tanultak meteorológiát, illetve folyamatosan foglalkoznak vele, a kitöltésnél jobb eredményeket fognak elérni. Az egyre idősebb korcsoportok ezzel párhuzamosan rosszabb teljesítményt fognak nyújtani.
- Minél magasabb a válaszadó iskolai végzettsége, annál több kérdésre tudja a helyes választ.
- Azok, akik a természettudományok iránt érdeklődnek, jobb teljesítményt nyújtanak, mint a más tudományterületek iránt érdeklődők.
- Az emberek tárgybeli ismereteit, időjárás helyzetekre adott reakcióit, döntéseit befolyásolhatja nemi hovatartozásukból adódó eltérő habitusuk és az iskolázottságuk foka is.
- Az időjárás előrejelzésben, időjárás-jelentésben elhangzott fogalmak problémát okoznak nagyon sok olyan embernek, akik nem szakmabeliek, vagy hobbiból sem foglalkoznak a témával.
- Azt, hogy az emberek milyen eszköz segítségével tájé-



2. ábra: Időjárásról való tájékozódás gyakorisága a két mintában



3. ábra: „Mi a fő oka, hogy nem veszi figyelembe a riasztást” kérdésre adott válaszok a két mintában

során a megadott valószínűségi értékeket „kalibrálni”, azaz minél nagyobb kockázatot jelentett egy-egy döntés, annál kisebb valószínűségi érték mellett döntöttek előzetes terveik módosításáról.

**A kutatás ismertetése.** Kutatásunk kezdetén azt a célt tűztük ki, hogy az eddigi magyarországi felmérésekhez képest komplexebb módon, több szempont szerint vizsgáljuk meg és mutatjuk be az emberek időjárásról való tájékozódási szokásait: milyen gyakorisággal, honnan és hogyan tájékozódnak az időjárásról, mit tartanak fontosnak egy televíziós időjárás-jelentésnél, illetve mi alapján döntenek el, hogy melyik internetes oldalról tájékozódnak. Mindezek mellett érdekelt minket az is, hogy mennyire vannak tisztában az időjárás fogalmakkal, és célul tűztük ki azt is, hogy a Peachey-féle felmérés módszerével vizsgáljuk a valószínűségi előrejelzések alapján meghozott döntéseiket is. Arra is kíváncsiak voltunk, hogy az emberek tárgybeli ismeretei és azok alkalmazásának képessége, valamint az egyes demográfiai változók, vagy az érdeklődés között tapasztalhatunk-e összefüggéseket.

kozódnak az időjárásról, befolyásolja, hogy milyen körülmények között.

A kutatás módszeréről a kérdőívezést választottuk. Az összesen 36 kérdésből álló kérdőív öt nagy blokkot tartalmazott:

- demográfiai adatok
- az időjárás információk használata
- az informálódás módja
- időjárás információkra alapozott döntések
- fogalmi ismeretek.

A felmérésben a zárt kérdések domináltak inkább, azonban bizonyos kérdéseknél volt „egyéb” válaszlehetőség is. A próbakitöltést követő korrekció után a kérdőív kitöltése 2014. október 27-től 2014. november 28-ig tartott. A kérdőívet elsősorban a világhálón terjesztettük, de készült belőle nyomtatott verzió is. A kitöltést két csoporttal végeztük el, az egyik a hétköznapi emberek csoportja (első minta), a másik az Országos Meteorológiai Szolgálat MET-ÉSZ programjában résztvevők (második minta). Ebben a csoportban lévők hobbiól foglalkoznak a

meteorológiával, illetve vannak hivatásos észlelők is. A MET-ÉSZ észlelők csoportját azért vontuk be a vizsgálatba, hogy megnézhessük, van-e különbség az informálódási szokások, illetve az időjárás-előrejelzések értelmezéséhez szükséges háttértudás tekintetében az átlagember, illetve azon emberek között, akiknek időjárás iránti affinitásuk eleve nagyobb. Az előbbi csoporthoz villanyposta és közösségi oldal útján juttattuk el a kérdőívet, az utóbbihoz pedig egy belső fórumon illetve egy közösségi oldalon lévő zárt csoporton keresztül. Az első mintában 501, a második mintában 90 kitöltést kaptunk. A kapott adatokat az SPSS statisztikai program segítségével értékeltük ki, és különböző változók összefüggését is vizsgáltuk vele.

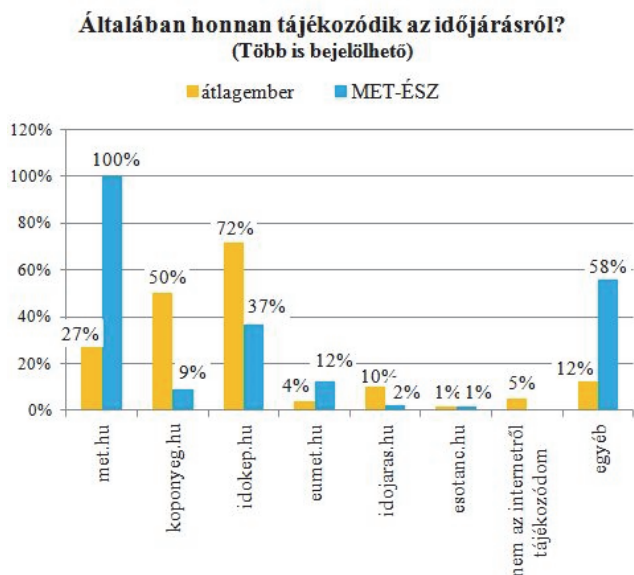
**A kapott adatok elemzése, értelmezése.** Az alábbiakban a teljesség igénye nélkül mutatjuk be a vizsgálat legfontosabb eredményeit és összefüggéseit.

#### Demográfiai adatok:

- Nemek aránya: Az átlagember-mintában a nők vannak többségben, 353-an (70%) töltötték ki a kérdőívet, a férfi kitöltők csupán 148-an (30%) voltak. A MET-ÉSZ-mintában megfordul az arány, a kitöltők 94%-a férfi és 6%-a nő.
  - Korcsoportok megoszlása: A válaszadókat 5 korcsoportba soroltuk ( $\leq 18$  év, 19–34 év, 35–49 év, 50–64 év,  $\geq 65$  év). Mindkét mintában főleg a 19–34 év közötti korosztály van jelen, 65%-ban, illetve 40%-ban. Őket követi a 35–49 év közötti korosztály (17% és 38%), majd az 50 és 65 közötti korosztály (8% és 13%). A 18 évnél fiatalabb korosztály a minta 8%-át, illetve 6%-át, a 65 év fölötti korosztály a minta 2%-át, illetve 3%-át adja.
  - Lakóhely szerinti megoszlás: Az első mintában a legtöbb válaszadó városban él (42%), de hasonló százalékban élnek a kitöltők a fővárosban (33%). Megyeszékhelyen, vagy megyei jogú városban a kitöltők 17%-a, községben 8%-a él. A MET-ÉSZ-mintában még ennél is egyenletesebb eloszlást kaptunk. Szintén a városban élők vannak többségben (34%), azonban őket a községben élők követik (24%). Megyeszékhelyen, vagy megyei jogú városban a kitöltők 23%-a, a fővárosban 18%-a él.
  - Iskolai végzettség szerinti megoszlás: A legmagasabb iskolai végzettséget illetően meghatározó az egyetemi vagy főiskolai végzettséggel rendelkezők csoportja, az átlagember-mintában ez 60%-ot tesz ki. A gimnáziumot végzettek 24%-ban, a szakközépiskolát végzettek 7%-ban, a szakmunkás végzettségűek 10%-ban, a legfeljebb 8 általános iskolát végzettek 6%-ban vannak jelen az első mintában. A MET-ÉSZ-mintában is a felsőfokú végzettséggel rendelkezők vannak többségben (32%), azonban itt hasonló arányban vannak jelen a szakközépiskolát (27%), illetve gimnáziumot (25%) végzettek. A szakmunkás végzettségűek a minta 10%-át, az általános iskolai végzettséggel rendelkezők a minta 6%-át teszik ki. Az első mintában a kitöltők közel 60%-a, a második mintában több mint 70%-a már nem tanuló.
- Tudományterületek iránti érdeklődés szerinti megoszlás: a demográfiai kérdéssort azzal zártuk, hogy rákérdeztünk, milyen tudományterületek azok, amelyek érdeklik a kitöltőket. Ennél a kérdésnél a nyolc tudományterületből maximum hármat lehetett megjelölni. A két fő tudományterület, ami az átlagember-mintában lévő kitöltőket érdekli a természettudományok (63%) és a társadalomtudományok (40%) volt. A művészetek, a műszaki tudományok és a bölcsészettudományok iránt a felmérésben résztvevők több mint a negyede mutat érdeklődést. A MET-ÉSZ-mintában lévőket kiugróan a természettudományok érdeklik (97%), ezenfelül még a műszaki tudományok iránt mutattak nagyobb érdeklődést (45%). Összességében elmondhatjuk, hogy a mintákba bekerülő válaszadók változatosak az érdeklődésüket tekintve is.
- Az időjárás információk használata.** Ez a kérdéscsoport arra irányult, hogy az emberek milyen gyakran, illetve milyen esetekben tájékozódnak az időjárás eseményekről és az időjárás veszélyekről.
- „A mai napon valamilyen formában tájékozódott már az időjárásról” kérdésre az átlagember-minta 67%-a, a MET-ÉSZ-minta 100%-a igennel válaszolt.
  - Az időjárásról való tájékozódás gyakoriságára rákérdezve a 2. ábra szerinti megoszlást kaptuk.
  - A következő kérdés a veszélyhelyzetről való tájékozódás gyakoriságára vonatkozott: „Télen tájékozódik-e az időjárás veszélyekről, mielőtt útnak indul?” Az átlagember-mintában a válaszadók 53%-a választotta az „esetek nagy részében igen” választ. 31%-uk mindig, 16%-uk nem tájékozódik. A MET-ÉSZ-mintában lévő kitöltők sokkal felelősebb magatartást mutattak: 81%-uk mindig tájékozódik, 18%-uk az esetek nagy részében igen, és csak 1% válaszolta azt, hogy nem tájékozódik.
  - Az is érdekelt minket, hogy ha kiadnak a meteorológusok egy riasztást, akkor azt figyelembe veszik-e vagy sem. A kitöltők 85%-a, illetve 98%-a figyelembe szokta venni a veszélyjelzést.
  - Azoknak, akik a „nem” választ jelölték be, még egy kérdésre válaszolniuk kellett. Megkérdeztük tőlük, hogy mi a legfőbb oka annak, hogy nem veszik figyelembe a kiadott riasztást? Az elgondolkodtató eredmény a 3. ábrán látható.
- Az informálódás módja:** Ez a blokk 4 tételt tartalmazott. A feltett kérdésekkel az volt a cél, hogy megtudjuk, a kitöltők milyen forrásokból tájékozódnak, valamint mit tartanak fontosnak egy időjárás-előrejelzés interpretálásánál.
- Az első kérdés arra vonatkozott, honnan tájékozódnak a kitöltők az időjárásról. Ennél a kérdésnél több választ is bejelölhettek, ezért nem adnak ki az adatok 100%-ot. A várakozásoknak megfelelően a leggyakrabban használt információforrásnak a világháló bizonyult (első minta 90%, második minta 100%), ezt követik a televíziós időjárás-jelentések (53% és 54%), majd az okostelefon (39% és 24%). A rádió és a nyomtatott sajtó, mint meteorológiai információforrás a korábbi felmérésekhez képest lényegesen visszaesett (25% és 21%, illetve 4% és 9%). Az is érdekelt bennünket,

hogyan van-e összefüggés a kor és a tájékozódás módja között. Szignifikáns összefüggéseket az átlagembermintában kaptunk. Eszerint a televízióból való tájékozódás az 50 és idősebb kitöltők között népszerű, 77%-uk innen tájékozódik. A világhálóról minden korosztályban nagy százalékban tájékozódnak, a 19–34 év közöttiek 91%-a, de az 50 és annál idősebbek 83%-a is a világhálóról tájékozódik. Az okostelefonról tájékozódást a 18 vagy annál fiatalabb korosztály képviselői részesítik előnyben, 51%-uk választja ezt az információs formát.

- Azokat a válaszadókat, akik bejelölték a világhálóról való tájékozódást, megkértük, hogy a felsorolt honlapok közül jelöljék be azokat, amiket használnak. Szintén több lehetőséget is bejelölhettek a válaszadók, így a végeredmények itt sem adnak 100%-ot. A tanulságos eredményt a 4. ábrán tesszük közzé. A legnépszerűbb oldal a „hétköznapi emberek” körében az idokep.hu, több mint 70%-uk innen tájékozódik az időjárásról.



4. ábra: „Mely honlapokról tájékozódik” kérdésre adott válaszok megoszlása a két mintában

A met.hu-t, ami az OMSZ hivatalos oldala, a kitöltők mindössze 27%-a használja. Az OMSZ-nak szükséges lenne megfelelni az okát annak, hogy az amúgy lényegesen több és hiteles információt tartalmazó met.hu honlap miért nem tud népszerű lenni az átlagemberek körében. A MET-ÉSZ észlelők között természetesen más a helyzet, az ő tevékenységük az OMSZ honlap-hoz kötött, így annak használati aránya 100%

- A következő két kérdés során arról tájékozódunk, hogy milyen tulajdonságokat részesítenek előnyben az emberek a televíziós időjárás-jelentések és az internetes meteorológiai honlapok esetében. Ezeknél a kérdéseknél Likert-skálát alkalmaztunk, a kitöltőknek egytől ötig (egyáltalán nem fontos; nem fontos; közömbös; fontos; nagyon fontos) terjedő osztályzattal kellett jelölni, hogy az előre meg-

adott tulajdonságokat mennyire tartják fontosnak. A kapott eredmények az 5. és 6. ábrán találhatók.

**Időjárési információkra alapozott döntések:** Ebben a blokkban azt vizsgáltuk, hogy az emberek bizonyos élethelyzetekben meghozott döntéseikhez figyelembe veszik-e az időjárési előrejelzéseket, illetve azt, hogy valószínűségi előrejelzések esetében hogyan tudják értelmezni azokat.

- Az első két kérdés azt mérte fel, hogy nyaralás, illetve szabadtéri program előtt az emberek tájékozódnak-e az időjárásról. Örömkre mindkét esetben túlnyomó többséggel „igen” válaszok születtek (a nyaralás esetében 95% és 98%, a szabadtéri program esetében 93% és 99%).

- A következő két kérdést a korábban már említett, Peachey által végzett felmérés ihlette. Két élethelyzetet vázoltunk fel: 1. „Ön a holnapi nap szabadtéri kirándulásra készül. Megnézi a holnapi napra szóló időjárás előrejelzést, amelyben annak a valószínűségét, hogy heves zivatar alakulhat ki, százalékértékben fogalmazza meg az előrejelzés. Hány százalékos zivatar valószínűség esetén döntene úgy, hogy nem megy el erre a kirándulásra?” 2. „Egy meleg, nyári nap után Ön megnézi, hogy az időjárás előrejelzés szerint várható-e másnap kiadós csapadék. Hány %-os valószínűségnél dönt úgy, hogy meglocsolja a kerti növényeket?” Az átlagember kategóriában az első kérdésnél a válaszadók átlagosan akkor döntenek úgy, hogy nem mennek el a kirándulásra, ha 53%-nál nagyobb a valószínűsége annak, hogy lesz zivatar. A második kérdésre adott válaszok alapján a válaszadók akkor locsolják meg a növényeiket, ha 40%-nál kevesebb a valószínűsége annak, hogy lesz kiadós csapadék. A MET-ÉSZ-mintában lévők átlagosan 60%-os zivatar valószínűség felett döntenének úgy, hogy nem mennek el a kirándulásra és 48% valószínűség alatt locsolnák meg a növényeket. Vizsgálatunk e két kérdése igazolta a Peachey-féle kutatás eredményét, vagyis azt, hogy bizonyos élethelyzetekben az emberek ugyanarra a százalékos valószínűségre más-más küszöbértéknél hozzák meg az igen-nem döntésüket. A súlyosabb kockázatokat jelentő esetekben ez a valószínűségi küszöbérték alacsonyabb. Keresztábra elemzéssel megvizsgáltuk azt is, hogy a döntési küszöbök függenek-e a nemtől, illetve az iskolai végzettségtől. Az átlagember kategóriában beigazodott, hogy a férfiak bátrabbak az ilyen döntések meghozatalakor: 59%-os zivatar valószínűségnél mondták, hogy inkább nem mennek el kirándulni, míg a nők esetében ez 51% volt. Az iskolai végzettség és a MET-ÉSZ-minta esetében nem tudunk szignifikáns összefüggéseket kimutatni.

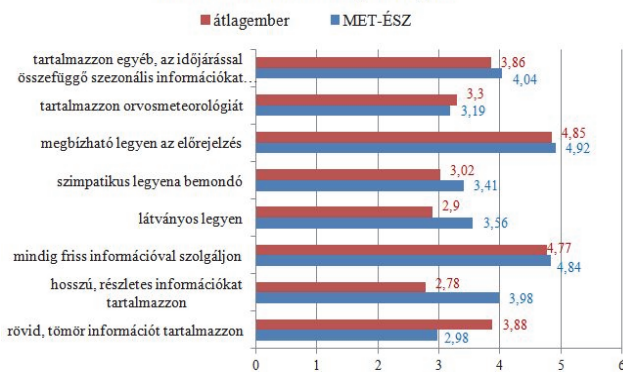
- A blokkot egy népi meteorológiai kérdéssel zártuk: „Mit gondol a népi meteorológiáról?” Az előzetes várározásnál kisebb arányban használják a népi időjóslásokat az emberek, az átlagember kategóriában 71%, a MET-ÉSZ kategóriában 80% nem hisz ezekben a népi regulákban.

**Fogalmi ismeretek.** Az utolsó, legnagyobb blokkban 15 kérdést tettünk fel. A kérdések egy része egyfajta általános tudást hivatott mérni, másik része pedig olyan fogalmakra kérdezett rá, melyek az időjárás-jelentésekben, előrejelzésekben előfordulnak. A megkérdezett fogalmak ismerete sok esetben szükséges az időjárás-előrejelzés megfelelő, helyes értelmezéséhez. Helyhiány miatt nem tudjuk az összes kérdésre adott válasz feldolgozásának eredményét ismertetni, így azt a megoldást választjuk, hogy ismertetjük a kérdéseket, majd néhány érdekes, vagy elgondolkodtató eredményt mutatunk be.

A kérdések, amelyekre előre megadott válaszok közül kellett a helyes megoldást bejelölni, sorrendben a következők voltak: 1. *Melyik esetben fog éjszaka jobban lehűlni a levegő?* 2. *Melyik a helyes magatartás, ha a szabadban van és elkezd villámlani?* 3. *Ha azt mondják az időjárás-jelentésben, hogy északi szél fúj, ez mit jelent?* 4. *Mi az éghajlat definíciója?* 5. *A napsugárzásra vonatkozóan melyik a helyes állítás?* 6. *Mit jelent a napi középhőmérséklet?* 7. *Mit nevezünk izobárnak?* 8. *Mikor*

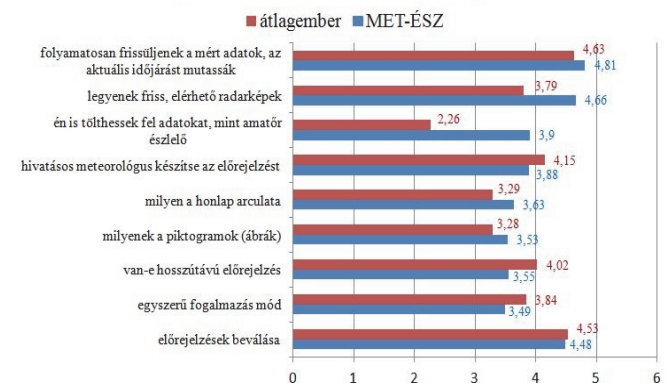
A kategóriákat a percentilis szabály figyelembevételével készítettük el. Először azt néztük meg, hogy az átlagember és a MET-ÉSZ-mintában hány ember tartozik egy-egy kategóriába. Az első mintában a helyesen megválasztott kérdések minimális száma 4, a második mintában 6 volt. A percentilis szabály alkalmazásával az átlagember kategóriában az átlag alatt tájékozott kategória azt jelentette, hogy a válaszadó minimum négy, maximum kilenc kérdésre tudta helyesen a választ. A következő kategóriába azok kerültek, akik tíz vagy tizenegy kérdésre választak jól. Azok, akik tizenkettő vagy több kérdésre jó választ jelöltek, kerülhettek be az átlagon felül tájékozottak kategóriába. A MET-ÉSZ-mintában a kategóriák jelentései annyiban változtak, hogy az átlag alatt tájékozottak kategóriába azok kerültek be, akik minimum hat, maximum kilenc kérdésre tudták a helyes választ. A következő kategóriába ugyanúgy, mint az előbb, azok kerültek, akik tíz vagy tizenegy kérdésre választak jól. Azok, akik tizenkettő vagy több kérdésre jó választ jelöltek, kerülhettek be az „átlagon felül tájékozottak” kategóriába. Összességében a 8. ábrán bemutatott eredm-

Amikor időjárás-jelentést néz a televízióban, mennyire fontosak Önnek a következő tulajdonságok?



5. ábra: „Amikor időjárás-jelentést néz a televízióban, mennyire fontosak Önnek a következő tulajdonságok” kérdésre adott válaszok a két mintában

Amikor az interneten tájékozódik az időjárásról, mennyire fontosak Önnek a következő tulajdonságok?



6. ábra: „Amikor a vilghálón tájékozódik az időjárásról, mennyire fontosak Önnek a következő tulajdonságok” kérdésre adott válaszok a két mintában

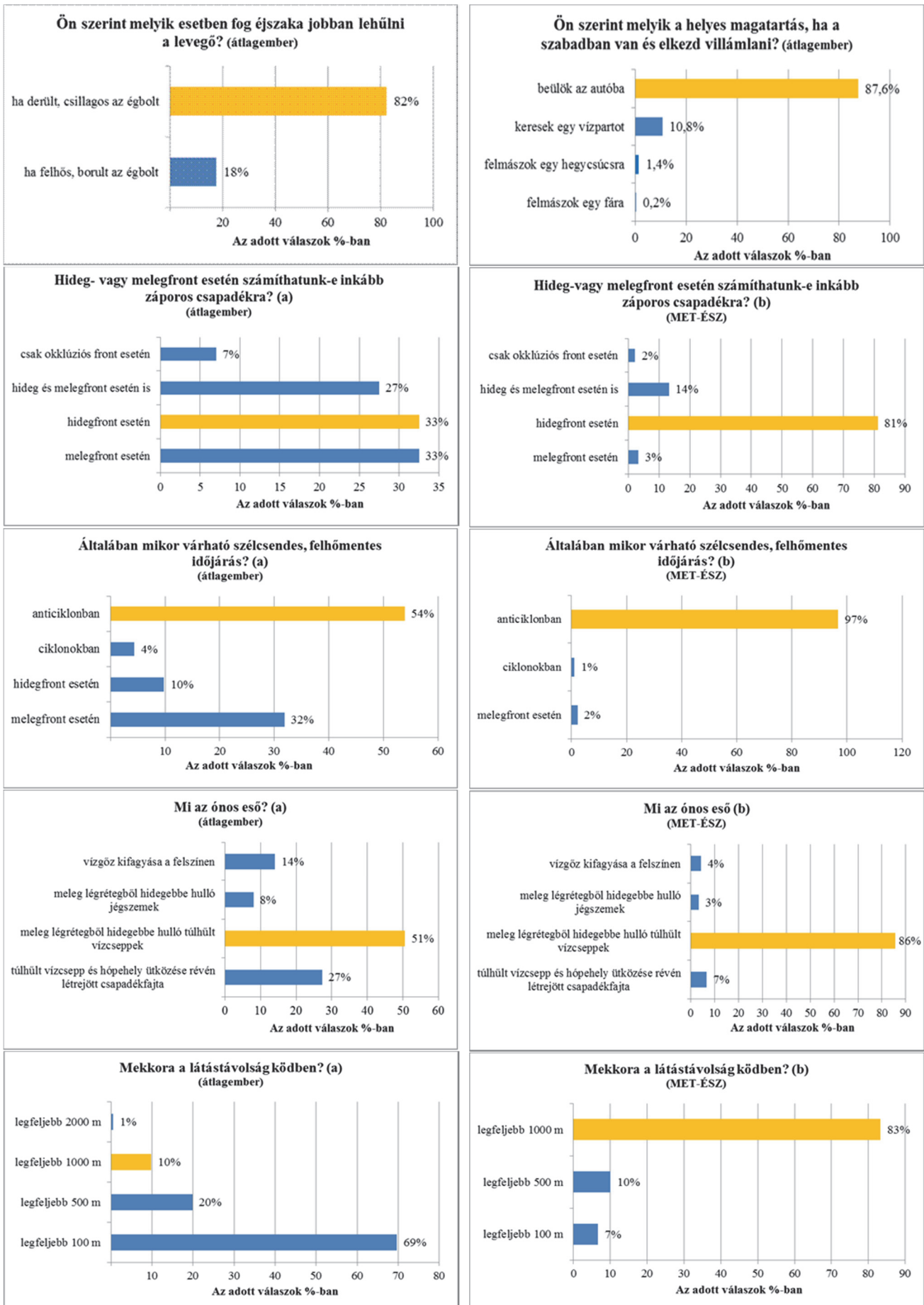
beszélünk hidegfrontról? 9. *Hideg- vagy melegfront esetén számíthatunk-e inkább záporos csapadékra?* 10. *Milyen légnyomás uralkodik a mérsékeltvízi ciklon belsejében?* 11. *Mikor várható szélcsendes, felhőmentes időjárás?* 12. *Mivel jelöljük a hidegfrontot?* 13. *Mi az ónos eső?* 14. *Mekkora a látástávolság ködben?* 15. *Egy négyzetméter felületen mennyi vizet jelent egy milliméter csapadék?*

A kapott válaszok közül a legtanulságosabbakat a 7. ábrán foglaltuk össze.

**Az összefüggések bemutatása.** Az összefüggések vizsgálatánál az SPSS statisztikai program alkalmazásával átkódoltuk a kérdésekre adható válaszokat aszerint, hogy helyesek, vagy helytelenek voltak. Az összes átkódolt tesztkérdésből létrehoztunk egy változót. Az új változóban 3 kategóriát definiáltunk, figyelembe véve, hogy hány kérdésre jött jó válasz: „átlag alatt tájékozottak”, „átlagosan tájékozottak” és „átlagon felül tájékozottak”.

nyekre jutottunk. Az eredmény alátámasztja azt az előzetes feltevésünket, hogy a hivatásos észlelők, illetve hobbiól a meteorológiával folyamatosan foglalkozó kitöltők lényegesen jobb tárgybeli ismeretekkel rendelkeznek.

Ezt követően azt vizsgáltuk, hogy különböző demográfiai tényezők miként befolyásolják a kérdésekre adott válaszokat. Vizsgálatainkat az átlagember-mintával kezdtük. Elsőként a nemek és a teljesítmények között kerestünk összefüggést. Mivel ebben a mintában a nők sokkal többen voltak (70%), mint a férfiak (30%), ezért a keresztábra elemzés során khi-négyzet próbát végeztünk arra vonatkozóan, hogy szignifikáns eredményt kapunk-e. A khi-négyzet próba 0,00-t adott, ami az általánosságban elvárt 0,05-ös szignifikancia szint alatti érték, ami azt jelenti, hogy a férfiak és nők számának megváltozása nem változtatna a kapott eredményen. A vizsgálat eredményét a 9. ábrán mutatjuk be. Ez alapján a nők lényegesen nagyobb hányada (38%) tartozik az átlag alatt tájékozottak kategóriájába, mint a férfiaknak (23%).

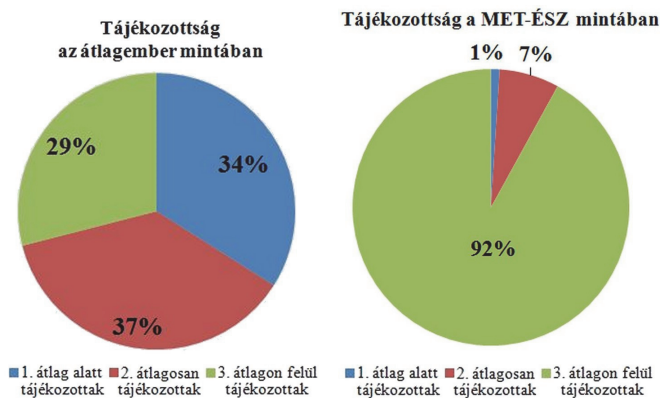


7. ábra: Válogatás a fogalmi ismereteket felmérő kérdésekre adott válaszokból

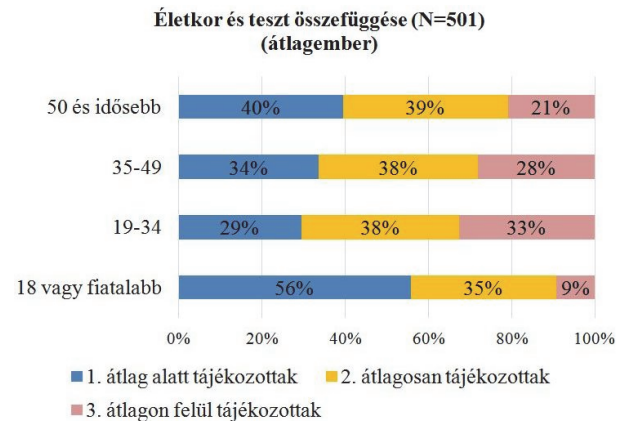
Az átlagon felül tájékozottak kategóriájában a helyzet megfordul (23% és 43%).

A következő vizsgálat tárgya az életkor és a teljesítmény között fennálló összefüggés feltárása volt. Az életkor alapkategóriáin kis változtatásra volt szükség, az 50 és 64 év közötti és a 65 év fölötti korcsoportot egyesítettük, hogy egyenletesebb koreloszlást kapjunk. Hipotézisünk ezzel kapcsolatban az volt, hogy a fiatalabb korosztály jobban fog teljesíteni, mert a fogalmak nagy része, melyekre rákérdeztünk, a kilencedikes földrajz tananyag része. A hipotézis másik fele, hogy a kor előrehaladtával fokozatosan romlik a teljesítmény is. A kereszttábla elemzés előtt megbizonyosodtunk, hogy szignifikánsak-e az eredmények. A kapott eredményeket a 9. ábra mutatja

Vizsgáltuk azt is, hogy milyen összefüggés van az iskolai végzettség és a teszt helyes kitöltése között. Ehhez az iskolai végzettség változón módosítani kellett, mert a legfeljebb 8 általános iskolát és maximum szakmunkás iskolát végzők túl kevesen voltak a többi végzettséggel rendelkezőkhöz képest. A khi-négyzet próba igazolta, hogy folytathatjuk így is az elemzést. A korábban megfogalmazott hipotézis szerint a magasabb iskolai végzettséggel rendelkezők jobb eredményeket érnek el, mint az alacsonyabb végzettséggel rendelkezők. A kereszttábla elemzés során kapott eredmények alátámasztották ezt a hipotézist. A maximum általános iskolát illetve szakmunkásképzőt végzetek 54%-a átlag alatt tájékozott. Ez a százalék a maximum középfokú végzettséggel rendelkezőknél már

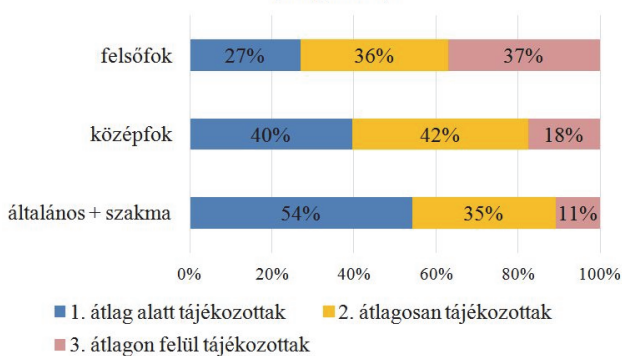


8. ábra: A kitöltők tájékozottság szerinti megoszlása a két mintában



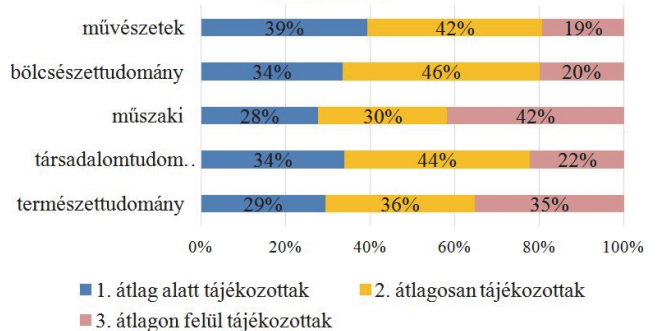
9. ábra: Az életkor és a teszt eredménye közötti összefüggés az átlagember-mintában

Iskolai végzettség és a teszt összefüggése (N=501) (átlagember)



10. ábra: Az iskolai végzettség és a teszt eredménye közötti összefüggés az átlagember-mintában

Tudományterület iránti érdeklődés és teszt összefüggése (N=501) (átlagember)



11. ábra: Tudományterület iránti érdeklődés és a teszt eredményének összefüggése az átlagember-mintában

be. A kutatás során a legmegdöbbentőbb eredmény itt született. A 18 és ennél fiatalabb korcsoportba tartozók teljesítettek a legrosszabbul, 56%-uk az átlag alatt tájékozottak csoportjába sorolható. Mindössze 9%-ról mondható el, hogy átlagon felül tájékozott. Ez az eredmény eléggé elgondolkodtató, érdemes lenne kivizsgálni egy másik kutatás keretein belül, hogy mi lehet ennek a hátterében. A hipotézis második fele viszont részben beigazolódtott. A 19–34 év közötti korosztály bizonyult a legjobban tájékozottnak, 33%-a az átlagon felül tájékozottak csoportjába tartozik. A 35 és 49 év közöttiek 28%-a, az 50 és annál idősebbek 21%-a tartozik ebbe a csoportba. Tehát ha nem is olyan nagymértékben, de a kor előrehaladtával némileg csökkent a helyesen megválasztott kérdések száma.

40%-ra csökkent, a felsőfokú végzettségűeknél pedig már csak 27%. A felsőfokú végzettséggel rendelkezők a legtájékozottabbak, 37%-uk az átlagon felül tájékozott kategóriába került. A középfokú végzettséggel rendelkezők 18%-a, a maximum 8 általános és szakmunkás végzettségűek 11%-a tartozik ide. Az eredményeket a 10. ábra mutatja.

Érdekelt minket az is, hogy ha a kitöltő jelenleg is tanuló, akkor milyen eredmények várhatóak. Mivel korábban a korcsoportok vizsgálatánál az az eredmény jött ki, hogy a 18 évesek és annál fiatalabbak a legkevésbé tájékozottak, ezért fontosnak éreztük megnézni azt, hogy van-e valamilyen összefüggés a középiskolások és a teszt kitöltése között. A gimnáziumba járók 59%-a, a szakközépiskolá-

ba járók 57%-a, a szakmunkásképzősök 100%-a került az átlag alatt tájékozottak csoportjába.

Utolsó vizsgálatunk tárgya a tudományterület iránti érdeklődés és a teszteredmény közötti összefüggés keresése volt. Hipotézisünk szerint azok, akik a természettudományok iránt érdeklődnek, jobb eredményt fognak elérni, mint a többi tudományterület iránt érdeklődők. A 11. ábrán jól látszik, hogy a felállított hipotézis megdőlt, hiszen míg a természettudományok iránt érdeklődők 35%-a tartozik az átlagon felül tájékozottak csoportjába, addig a műszaki tudományok iránt érdeklődők 42%-a. Érdeemes megnézni, hogy a többi tudományterületnél is magas az átlagosan tájékozottak száma.

Terveink szerint a MET-ÉSZ-mintában is szerettünk volna hasonló összefüggéseket kimutatni a demográfiai változók és a teszteredmények között, de a kereszttábla elemzés során egyik esetben sem kaptunk szignifikáns eredményt.

**Összegzés.** Összességében tehát elmondható, hogy az előzetesen felállított hipotézisek közül az első és a harmadik nem nyert igazolást. A várakozással teljesen ellentétes módon a 18 év alatti korosztály elvileg frissen szerzett időjárás ismeretei mutatkoztak a leggyengébbnek. Nem igazolódtott be az a várakozásunk sem, hogy a természettudományok iránt érdeklődők teljesítenek a legjobban a teszt során. Beigazolódott viszont az, hogy minél magasabb a válaszadók iskolai végzettsége, annál biztosabb a tárgybeli tudása, valamint, hogy ez a tudás a kor előrehaladtával kopik. Bebizonyítottuk azt is, hogy a meteorológiával való foglalkozás, akár csak hobbi szinten is, lényegesen biztosabb tudást eredményez. Bizonyítást nyert az is, hogy az emberek időjárás ismereteit, időjárás helyzetekre adott reakcióit befolyásolja nemi hovatartozásukból adódó eltérő habitusok is: a férfiak biztosabb tudással rendelkeznek, és nagyobb rizikót vállalnak fel a döntések során. Beigazolódott az a feltevésünk is, hogy a különböző korú emberek a tájékoztatás más-más eszközt preferálják.

Vizsgálatunk is igazolta, hogy van még bőven mit tenni annak érdekében, hogy az emberek időjárás ismereteit és az időjárás információkhoz való hozzáállását javítsuk. Ennek talán leghatékonyabb eszköze az időjárás ismeretek iskolai oktatásának megreformálása lehetne, hiszen az eredmények jól mutatják, hogy az iskolában elsajátított ismeretek kamatoztatásával nagy problémák vannak. Több gondot kellene fordítani a felnőtteknek szánt ismeretterjesztő előadásokra, írásokra is. Valószínűleg változtatni kellene a kommunikáció módján, nyelvezetén is, hogy az átadott információkat a mindennapok embere könnyebben befogadja. Hogy pontosan hogyan kellene mindezt megtenni, ahhoz további vizsgálatok, kutatások szükségesek az optimális eredmény elérésének érdekében. Az időjárás ismeretek iskolai oktatásának javítására már elindult ilyen kutatás (Buránszkiné Sallai 2013, 2014).

## Irodalom

- Buránszkiné Sallai, M., Ütöné Visi, J., 2013: Korszerű időjárás ismeretek és racionális viselkedés-minták a földrajzoktatásban. Változó föld, változó társadalom, változó ismeretszerzés. Nemzetközi Tudományos Konferencia, *Konferenciakötet*, ISBN 978-615-5297-11-3, 190–197.
- Buránszkiné Sallai, M., 2014: Az időjárás szélsőségei és a racionális viselkedés megismertetése mint nevelési feladat. In: Bárdos, J., Kis-Tóth, L. és Racsko, R. (szerk.): Változó életformák, régi és új tanulási környezetek. 336 p. Eger: *EKF Liceum Kiadó*, ISBN:978-615-5509-17-9, 23–36.
- Campbell, J. M., 1983: Ambient stressors. *Environ. Behav.* 15, 355–380.
- Dragovác, M. és Bódog, J., 1986: Jó-e a hazai meteorológiai ismeretterjesztés? *Léggör* 31(1), 32–34.
- EEA (European Environment Agency), 2012: Climate change, impacts and vulnerability in Europe. *EEA*, Copenhagen.
- Evans, G. W., and Cohen, S., 1987: Environmental stress. In Stokols, D. and Altman, I., (eds.): *Handbook of Environmental Psychology*. John Wiley, 571–610.
- H. Bóna, M., Ádám, F. és Kocsis, F., 2003 : Mi mennyi? – A meteorológiai előrejelzések interpretálásában. *Léggör* 48(1), 22–29.
- H. Bóna, M., 1989: Közvéleménykutatás az időjárás-jelentésről. *Léggör* 34(1), 27–28.
- H. Bóna, M., 2000a: Közszolgálati időjárás információk a WMO felmérések tükrében I. rész: *Léggör* 45(3), 2–7.
- H. Bóna, M., 2000b: Közszolgálati időjárás információk a WMO felmérések tükrében II. rész. *Léggör* 45(4), 14–19.
- Knez, I., 2005: Attachment and identity as related to a place and its perceived climate. *J. Environ. Psychol.* 25, 207–218.
- Little, B. R., 1983: Personal projects: A rationale and method for investigation. *Environ. Behav.* 15, 273–309.
- Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, 2013: Sustainable business and sustainable environment. Global warming. Disaster statistics. Münchener Rück, Geo Risks Research, *NatCatSERVICE*
- Peachey, J.A., Schultz, D.M., Morss, R.E., Roebber, P.J. and Wood, R., 2013: How forecasts expressing uncertainty are perceived by UK students. *Weather* 68, 176–181.
- Stewart, A. E., 2006: Assessing human dimensions of weather and climate: A further examination of weather salience. Preprints, AMS Forum: Environmental Risk and Impacts on Society: Successes and Challenges, Atlanta, GA. *Amer. Meteor. Soc.* ([http://ams.confex.com/ams/Annual2006/techprogram/paper\\_101916.htm](http://ams.confex.com/ams/Annual2006/techprogram/paper_101916.htm))
- Stewart, A. E., Jeffrey, K., Lazo, R., Morss, E. and Demuth, L., 2012: The Relationship of Weather Salience with the Perceptions and Uses of Weather Information in a Nationwide Sample of the United States. *Weather, Climate, and Society* 4, 172–189.
- Stokols, D., 1979: A congruence analysis of human stress. In: Sarason, I. G. and Spielberger, C. D. (eds.): *Stress and Anxiety*. Hemisphere 6, 27–53.
- Taylor, S. E., and Fiske, S. T., 1979: Salience, attention, and attribution: In: Berkowitz, L. (ed.): *Top of the head phenomena*. Advances in Experimental Social Psychology. Vol. 11, Academic Press 249–288.

# A SZIMMETRIKUS INSTABILITÁS MEGJELENÉSE A 2014. DECEMBER ELEJI MAGYARORSZÁGI ÓNOS ESŐS HELYZETBEN

## PRESENCE OF SYMMETRIC INSTABILITY IN THE CASE OF FREEZING RAIN IN HUNGARY AT THE BEGINNING OF DECEMBER 2014

Allaga Tamás, Simon André, Kolláth Kornél

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

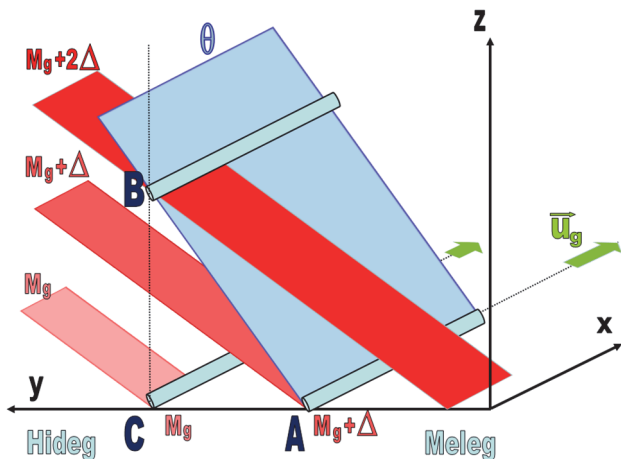
allaga.t@met.hu, simon.a@met.hu, kollath.k@met.hu

**Összefoglalás.** A dolgozat a 2014. december 1-jei nagy mennyiségű csapadék keletkezésének dinamikai okait vizsgálja. A csapadék struktúrája, valamint az ECMWF és AROME numerikus modellek kimenetei alapján arra lehetett következtetni, hogy Magyarország térségében feltételes szimmetrikus instabilitás, illetve gyenge szimmetrikus stabilitás alakult ki. Ez erős ferde áramlásokhoz, ill. konvekcióhoz vezethetett annak ellenére, hogy a légkör rétegződése vertikális irányban többnyire stabil volt. A labilitás feltételeinek teljesülését többféle diagnosztikus eljárás segítségével ellenőriztük: az ekvivalens potenciális örvényesség térképeivel meghatároztuk az instabil területeket, majd az ekvivalens potenciális hőmérséklet és abszolút geosztrófikus momentum mezőkből készített vertikális metszetek segítségével elkülönítettük a különböző labilitási formákat. Az eredmények összhangban vannak a szimmetrikus instabilitásról külföldön publikált ismeretekkel és esettanulmányokkal.

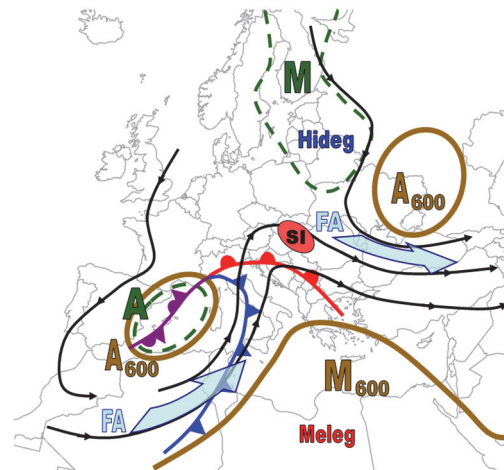
**Abstract.** The study investigates the dynamical background of the heavy precipitation event on 1<sup>st</sup> of December 2014. From the structure of the precipitation and (from) the outputs of the ECMWF and AROME numerical models, it was possible to state that conditional symmetric instability or weak symmetric stability was present in the region of Hungary. This could have triggered intense slantwise motions or convection, despite of the stable vertical stratification of the atmosphere. We provided analyses of the environment with several diagnostic methods, particularly with aid of vertical cross-sections of equivalent potential temperature and absolute momentum and with equivalent potential vorticity charts. The results are in accordance with the known concepts and case studies of symmetric instability published abroad.

**Bevezetés.** A légkör leglátványosabb, legjelentősebb és sokszor leghevesebb mozgásait különböző instabilitások hozzák létre. Ezek irányuk (horizontális vagy vertikális), méretük (mezoskálájú vagy szinoptikus nagyságrendű) alapján csoportosíthatók és vizsgálhatók. Az egyik speciális, átfogóan mindössze a múlt század '70-es éveit vizsgáló jelenség a szimmetrikus instabilitás (Schultz és

medence térségében történő megjelenését ez idáig publikációk nem vizsgálták, esettanulmányok nem születtek, ezért hazánk időjárásának alakításában való szerepe ismeretlen. Jelen tanulmányban ezen speciális, Európában kevésbé kutatott jelenség megjelenését vizsgáljuk a 2014. november végi – december eleji jelentős károkat okozó ónos eső helyzet kapcsán. Az erős melegfront, a



1. ábra: Abszolút geosztrófikus momentum ( $M_g$ ) és izentróp ( $\theta$ ) felületek egymáshoz viszonyított, idealizált helyzete szimmetrikusan instabil esetben (a közép-troposzférában). Az  $u_g$  a geosztrófikus szél irányát mutatja. Az A, B és C helyzetek a szövegben említett idealizált „csövek” áthelyeződésére utalnak.

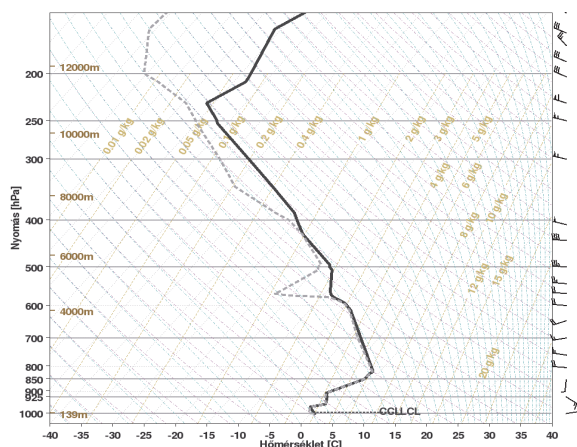
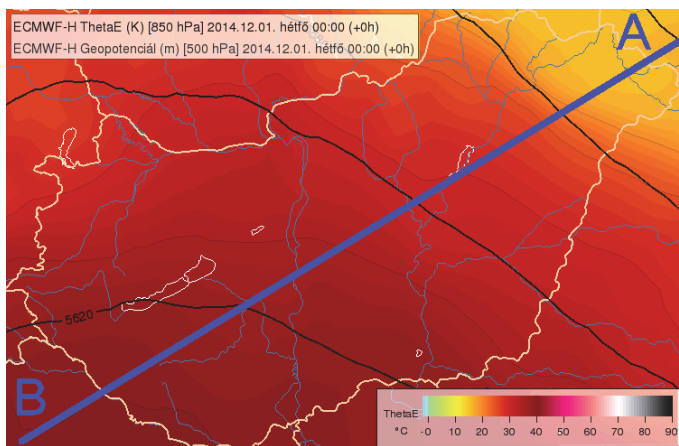


2. ábra: 2014.12.01. (0 UTC) sematikus képe. „A/M”, „A<sub>600</sub>/M<sub>600</sub>” talajszinti, ill. magasabb rétegek (~600 hPa) alacsony és magas nyomás központjai. Nyilazott vonal az áramlás fő iránya 600 hPa-on. „FA” a futóáramlás helye és iránya. „SI”, ahol más konceptuális modellek (Novak et al., 2004) alapján is várható volt a szimmetrikus instabilitás és sávos csapadék előfordulása.

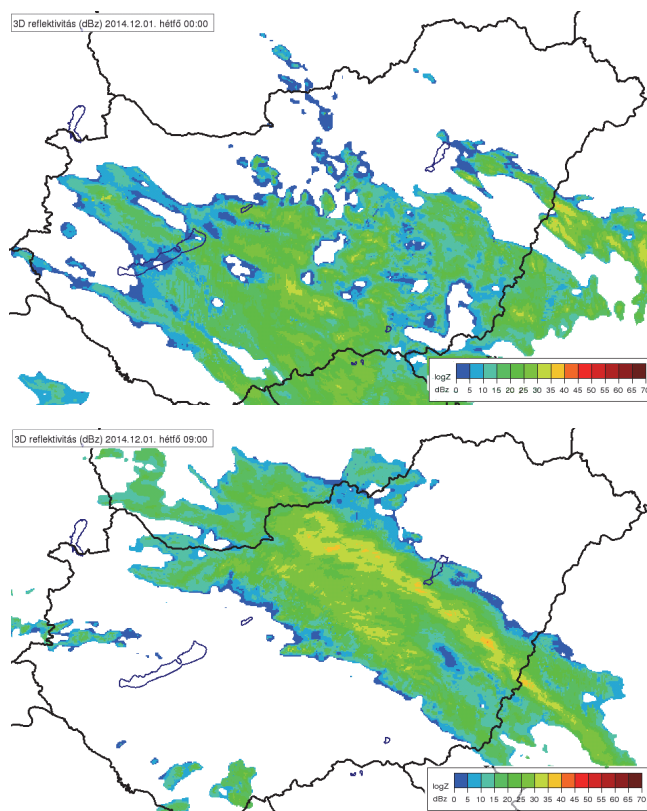
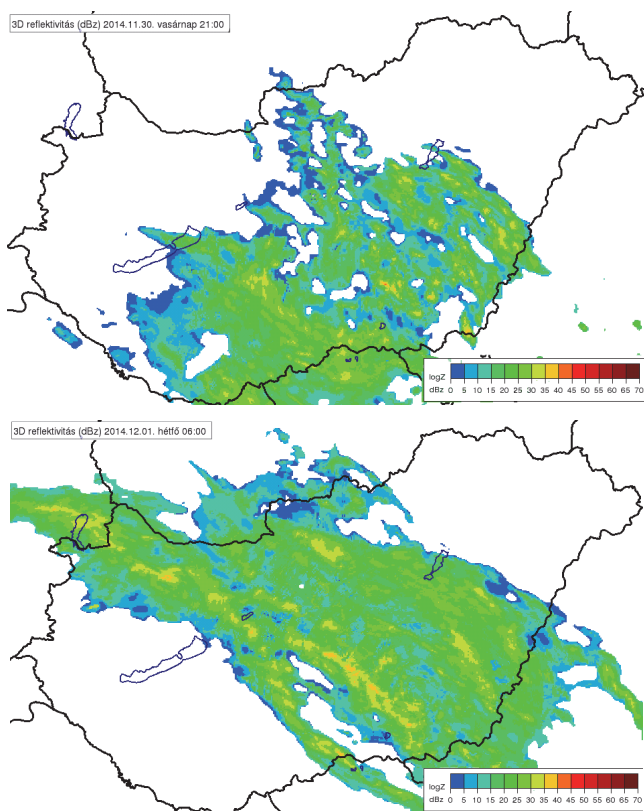
Schumacher, 1999). Jelentőségét az adja, hogy felszabadulása során erős, akár néhány  $\text{ms}^{-1}$ -os ferde feláramlások is létrejöhetnek, melyek heves, sávos csapadékot okozhatnak olyan környezetben is, ahol más instabilitás nem lép fel. Újabb kutatások szerint bizonyos erős futóáramlások (sting jet) létrejötte is ehhez a jelenséghez köthető (Martinez-Alvarado et al., 2008). Az instabilitás Kárpát-

csapadéköna sávos jellege, a telített légkör mind arra engedtek következtetni, hogy fennállhattak a szimmetrikus instabilitás létrejöttéhez szükséges feltételek.

A következőkben röviden bemutatjuk a szimmetrikus instabilitás elméletét, a diagnosztikus módszereket, a felhasznált adatokat, valamint eredményeinket és következtetéseinket.



3. ábra: Balra: 850 hPa-os pszeudo-ekvivalens potenciális hőmérséklet (K) és 500 hPa-os geopotenciál (m), további ábrákon megjelenített vertikális metszetek iránya: A–B vonal. Jobbra: a budapesti rádiószondás felszállás eredménye 12.01. 0 UTC.



4. ábra: kompozit radarképek (reflektivitás, dBz) 2014. november 30-án 21 UTC-kor (bal felső), december 1-jén 0 UTC-kor (jobb felső), 6 UTC-kor (bal alsó) és 9 UTC-kor (jobb alsó). A csapadéksáv fokozatosan szűkült és intenzívebbé vált.

**A szimmetrikus instabilitás elmélete.** A vertikális feláramlások létrejöttéhez szükséges a különböző meteorológiai paraméterek instabil rétegződése, például a szélmező vagy hőmérséklet speciális konfigurációja. Tegyük fel, hogy a baroklin légkör mind a horizontális (tehetetlenségi), mind a vertikális (gravitációs) kitérésekkel szemben (legalábbis gyengén) stabil marad. Ilyen helyzetben is lehetséges, hogy egy megfelelő, „ferde” irányban kitérített légrézecske gyorsulást szenved. A szimmetrikus instabilitást kutató tanulmányokban (Schultz and Schumacher, 1999) a labilitási kritériumokat vertikális keresztmetszetek segítségével kutadják. Ezeknek a metszeteknek az iránya általában merőleges a termikus szélvektorra és a meleg le-

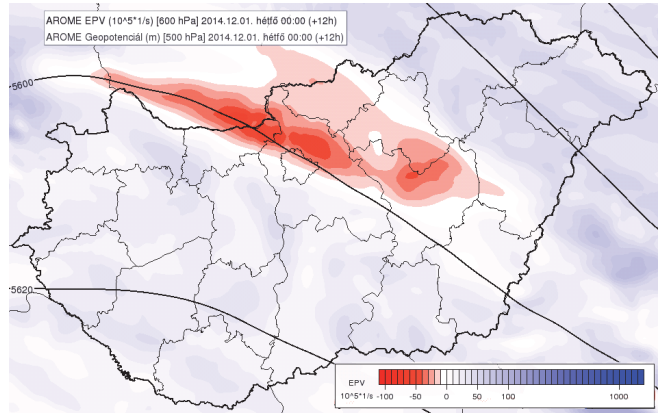
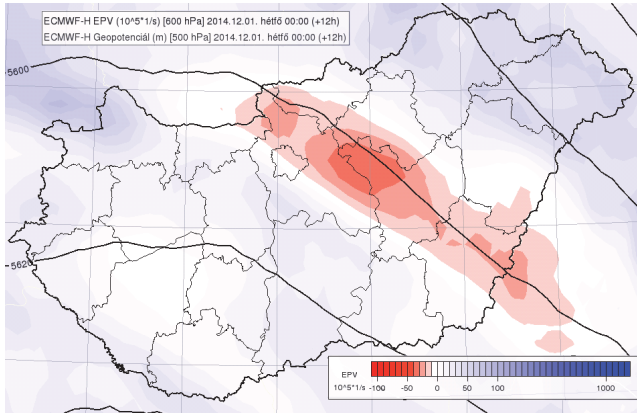
vegő felé mutat. Az elméletben a geosztróf áramlás idealizált, végtelen „csövek” mentén zajlik az x-tengely mentén (nyugatról keletre). A tehetetlenségi (inerciális) stabilitást az abszolút geosztrófikus momentum,

$$M_g = u_g - fy,$$

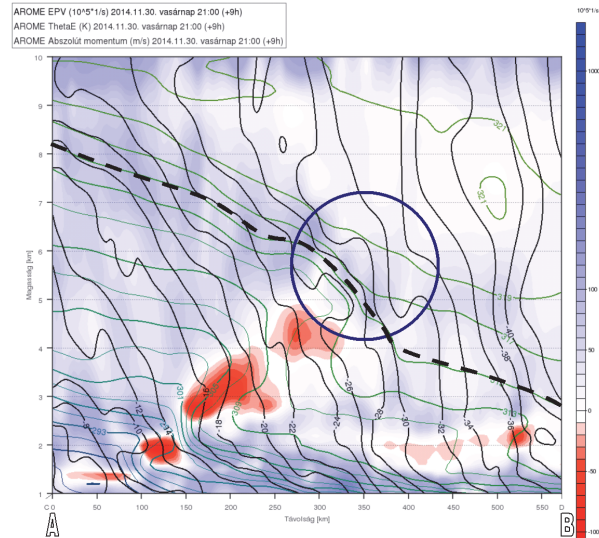
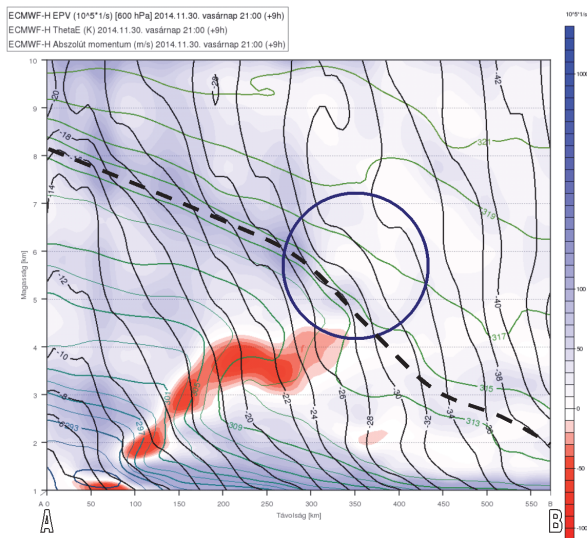
ahol  $u_g$  a geosztrófikus szélkomponens,  $f$  a Coriolis paraméter, segítségével lehet definiálni, melynek részletes levezetése, többek között, Markowski és Richardson (2010) légkördinamikai tankönyvében is megtalálható. Tehetetlenségi instabilitás akkor lép fel, ha az adott nyomási felületre vonatkoztatva észak felé oly mértékben növekszik a nyugati szél sebessége, hogy az anticiklonális relatív örvényesség túlszárnyalja a planetáris örvényességet.

Az 1. ábrán bemutatott helyzetben a momentum a hideg levegő felé csökken ( $\frac{\partial M_g}{\partial y} < 0$ ), emiatt ha a „csövet” az A pontból C-be próbáljuk elmozdítani, olyan erő lép fel, ami azt visszatéríti. Az izentróp felületek mentén viszont a momentum növekszik, ( $\frac{\partial M_g}{\partial y} \theta > 0$ ), emiatt az A-ból B-be elmozdított cső tovább gyorsulhat. A szimmetrikus instabilitás tehát olyan környezetre jel-

(Conditional Symmetric Instability – CSI). Ebben az esetben a csövek a virtuális  $\theta_v$  vagy az ekvivalens potenciális hőmérséklet,  $\theta_e$  felületei mentén helyeződhetnek át. Az instabilitás felszabadulásakor az emelkedő levegőben kondenzáció indulhat meg, mely tovább erősítheti a feláramlást, úgynevezett ferde konvekció (Slantwise Convection) jön létre (Emanuel, 1983). Nem hidrosztatikus légkörben, orografikus vagy más kényszerek miatt a csövek ferde áthelyeződése a konstans  $\theta$  vagy  $\theta_e$  felüle-



5. ábra: 600 hPa-os EPV (kék és piros színezés) és 500 hPa-os geopotenciál (fekete vonalak) 2014. december 1-jén 0 UTC-kor az ECMWF (bal) és AROME (jobb) adatokból számítva. A negatív EPV területeket a fehér és piros színezés jelöli ki. A könnyebb ábrázolhatóság miatt az EPV értékek  $10^5$ -szerese van megjelenítve.



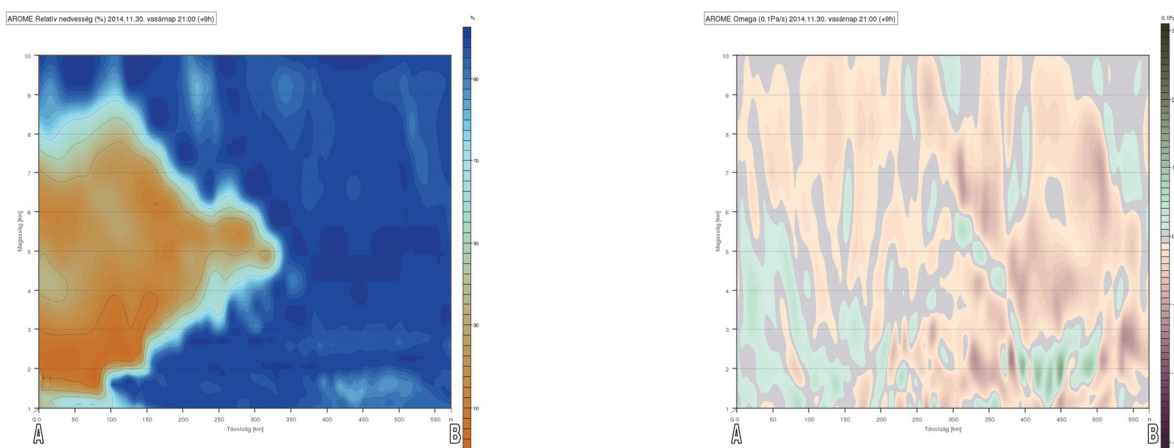
6. ábra: Ekvivalens potenciális hőmérséklet (zöld vonal), abszolút momentum (fekete vonal) és EPV (kék és piros színezés) vertikális keresztmetszete a 3. ábrán bemutatott ÉK-DNy-i vonal mentén, 2014.11.30. 21 UTC, az ECMWF (bal) és az AROME (jobb) adatok alapján. A kék kör gyengén szimmetrikusan stabil területet jelöl. A könnyebb ábrázolhatóság miatt az EPV értékek  $10^5$ -szerese van megjelenítve. A szaggatott vonal a frontális zóna helyzetét mutatja.

lemző, ahol az abszolút momentum felületei jobban dőlnek a hideg levegő felé, mint az izentróp felületek. Az instabilitás felfogható úgy is, mint tehetetlenségi instabilitás izentróp-felületek mentén, illetve gravitációs instabilitás a momentum-felületek mentén. Az elnevezés eredete kissé nehezen visszavezethető a szakirodalomban, de feltehetőleg arra utal, hogy az instabilitás független az egyik horizontális koordinátától (Bennets and Hoskins, 1979). Amennyiben az instabilitás csak akkor lép fel, ha a levegő az áthelyezett rétegekben telítetté válik, akkor feltételes szimmetrikus instabilitásról beszélünk

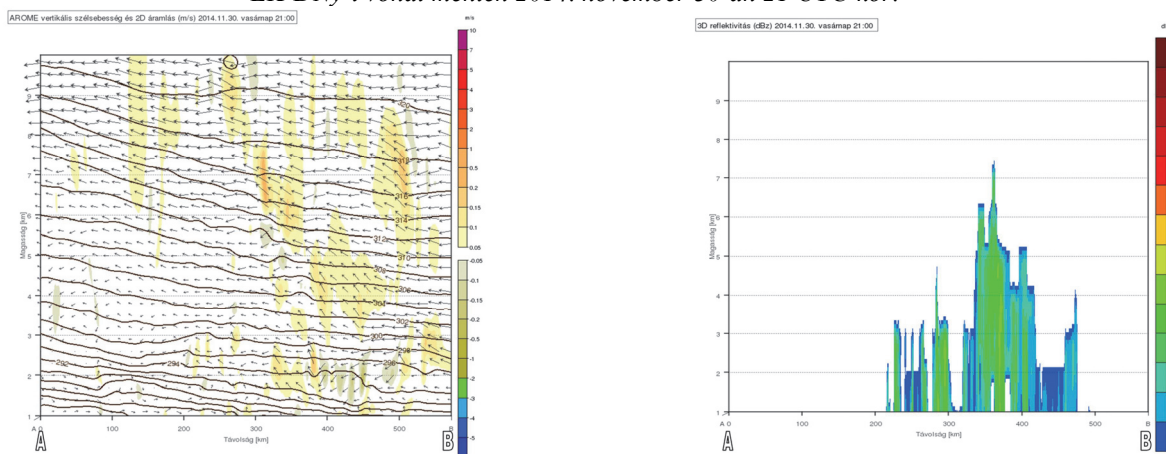
tektől eltérő pályákat is követhet (Bluestein, 1993). A jellegzetes sávos csapadékrendszerek, illetve ferde feláramlások kialakulásához nem feltétlenül szükséges, hogy a légkör szimmetrikusan instabil legyen. A frontogenezis hasonló struktúrákat képes létrehozni, illetve gyakran a két folyamat egyszerre lép fel, ilyenkor elkülönítésük szinte lehetetlen. Kimutatták továbbá, hogy frontogenezis során a feláramlási csatornák beszűkülnek és megerősödnek, ha a légkör szimmetrikusan gyengén stabil (Emanuel, 1985). Baroklin környezetben tehát sávos csapadékrendszerek ezen folyamatok együttese által is létrejöhetnek.

A szimmetrikus instabilitás megjelenése a valós légkörben radarmérések, szondázások, illetve modelleredmé-

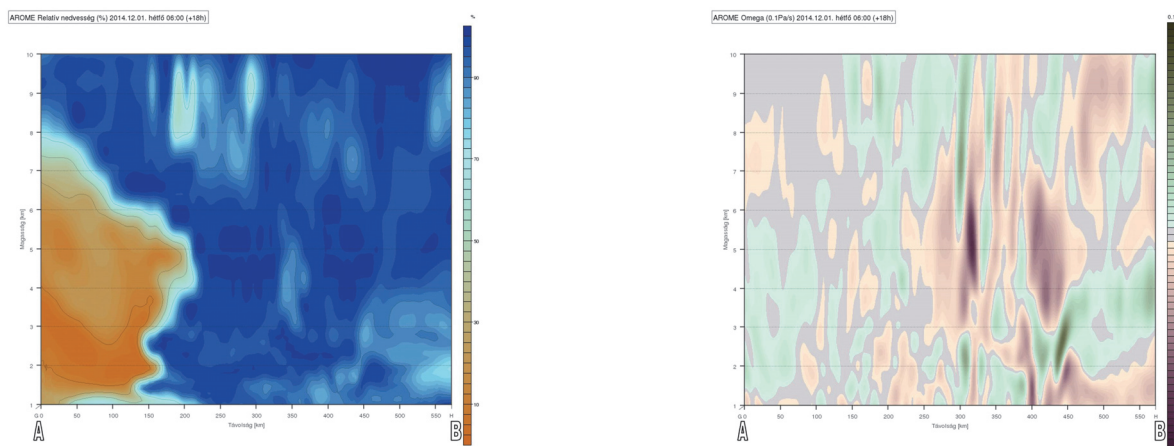
lén, légtömegben belül is nagyméretű konvektív rendszerek környezetében.



7. ábra: Relatív nedvesség (%), bal) és  $\omega$  ( $0,1 \text{ Pa s}^{-1}$ ), jobb) keresztmetszete az AROME modell alapján a 3. ábrán bemutatott ÉK-DNy-i vonal mentén 2014. november 30-án 21 UTC-kor.



8. ábra: Vertikális sebesség ( $\text{ms}^{-1}$ , színezve), potenciális hőmérséklet (K, vonalak) és áramlás ( $\text{ms}^{-1}$ , nyíl) az AROME modell alapján (bal); radar reflektivitás (dBz, jobb) keresztmetszetei a 3. ábra ÉK-DNy-i vonala mentén 2014.11.30. 21 UTC.



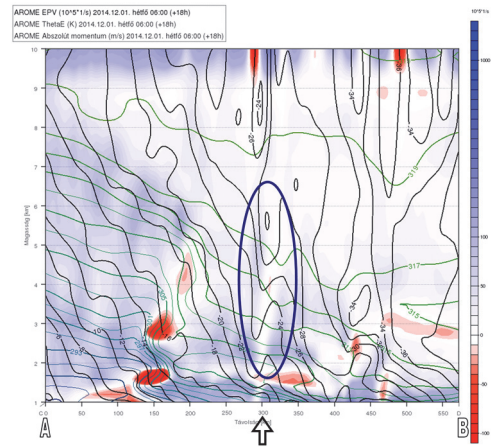
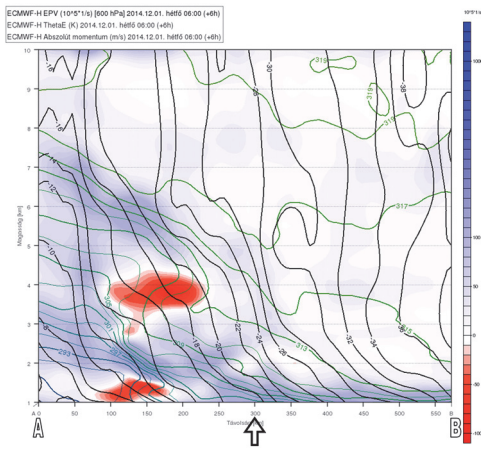
9. ábra: Relatív nedvesség (%), bal) és  $\omega$  ( $0,1 \text{ Pa s}^{-1}$ ), jobb) keresztmetszete az AROME modell alapján a 3. ábrán bemutatott ÉK-DNy-i vonal mentén 2014. december 1-jén 6 UTC-kor.

nyek alapján erős baroklin zónákban jellemző, ahol nagy a vertikális szélnyírás, közelítőleg teljesül a geosztrófia, illetve telített és gravitációsan stabil a légkör. Ilyen területek elsősorban mérsékeltövi ciklonokban fordulnak elő, leginkább melegfrontok felsiklási zónájához kötődve (2. ábra). Ilyenkor a melegebb levegőben jellemzően konvektív, a frontfelület mentén szimmetrikus instabilitás van jelen, a hidegebb levegőben pedig neutrális a rétegződés (Schultz és Schumacher, 1999). Bár az instabilitás főleg frontokhoz kötődik, de kimutatható kisebb ská-

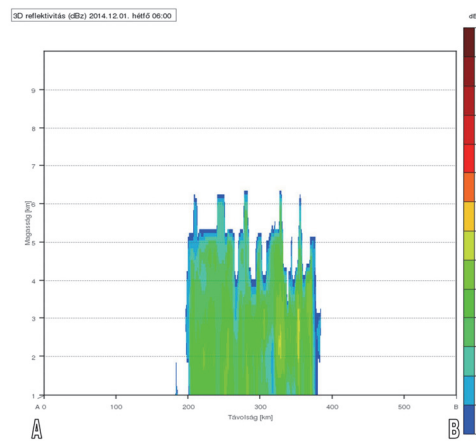
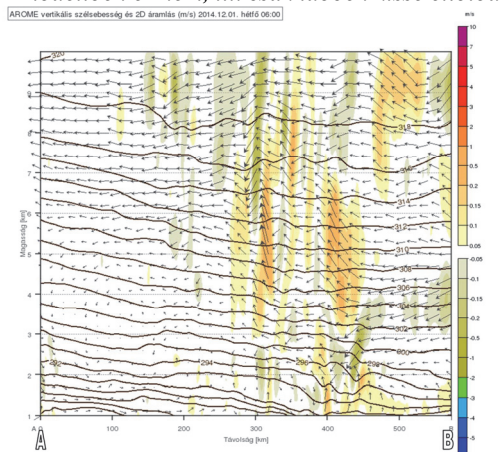
**Diagnosztikus paraméterek.** Bár a szimmetrikus instabilitásnak jelentős szerepe lehet egyes nagy csapadékok adó rendszerek kialakulásában, az operatív munkában előrejelzések készítésekor nem veszik figyelembe. Ennek oka, hogy ugyan a modellek dinamikájukban lehet, hogy képesek leírni ezeket a ferde áramlásokat, de az előrejelzés során felhasznált modell-outputokból ez nem azonosítható egyértelműen. Lehetőség van azonban speciális paraméterek előállítására, melyeket egyéb légköri állapotváltozókkal együtt

vizsgálva következtethetünk a labilitás jelenlétére. A diagnosztikához két módszert használtunk fel: ekvivalens potenciális örvényességi (Equivalent Potential Vorticity – EPV) mezőket (Moore és Lambert, 1993), illetve speciális vertikális keresztmetszeteket hoztunk létre. Az

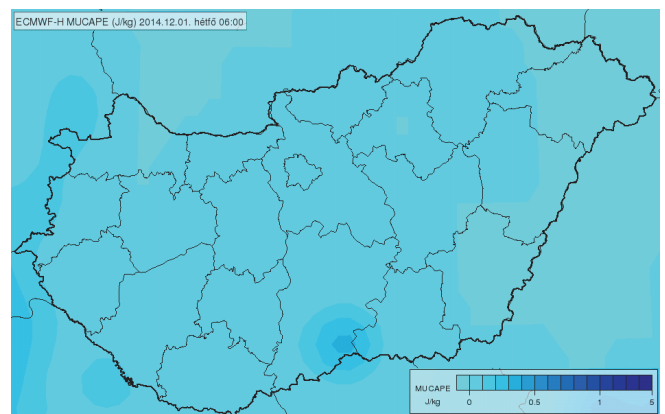
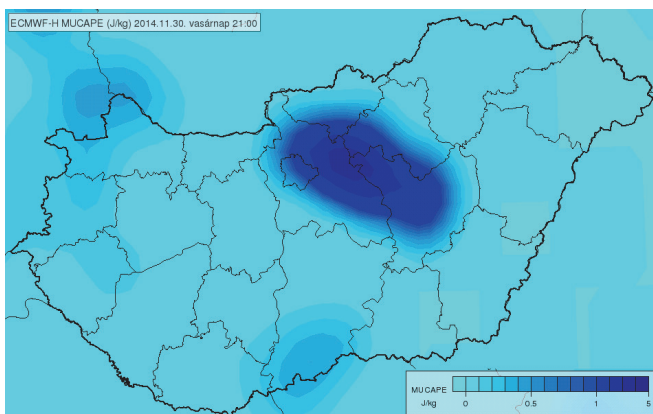
ahol az  $\eta_g$  a geosztrófikus abszolút örvényesség és  $\theta_e$  az ekvivalens potenciális hőmérséklet. Az abszolút geosztrófikus momentum ( $M_g$ ) alkalmazásával átalakítások (és elhanyagolások) után, kétdimenziós áramlás esetén a következő képletet kapjuk:



10. ábra: Ekvivalens potenciális hőmérséklet (zöld vonal), abszolút momentum (fekete vonal) és EPV (kék és piros színezés) vertikális keresztmetszete a 3. ábrán bemutatott ÉK – DNy-i vonal mentén 2014.12.01. 6 UTC; ECMWF (bal), AROME (jobb) adatok alapján. Kék kör szimmetrikusan gyengén instabil, ill. gyengén stabil, valamint inerciálisan instabil (kör bal alsó része) területet jelöl. ECMWF modellben ez nem, ill. csak időben kissé eltolódva jelent meg. Az ábrán az EPV értékek  $10^5$ -szerese van megjelenítve.



11. ábra: Vertikális sebesség ( $ms^{-1}$ , színezve), potenciális hőmérséklet (K, vonalak) és áramlás (nyíl,  $ms^{-1}$ ) AROME modell alapján ( $ms^{-1}$ , bal), radar reflektivitás (dBz, jobb) keresztmetszetei a 3. ábra ÉK – DNy-i vonala mentén 2014.12.01. 6 UTC.



12. ábra: ECMWF adatokból számított MUCAPE ( $Jkg^{-1}$ ) 2014.11. 30. 21 UTC, (bal) és 12.01. 6 UTC (jobb).

EPV a háromdimenziós potenciális örvényesség (Bennets és Hoskins, 1979; Marquet, 2014) egyik formája, és a következő módon definiálják:

$$EPV = -g\eta_g \cdot \nabla\theta_e, \quad (1)$$

$$EPV = g \left[ \left( \frac{\partial\theta_e}{\partial y} \frac{\partial M_g}{\partial p} \right) - \left( \frac{\partial\theta_e}{\partial p} \frac{\partial M_g}{\partial y} \right) \right] \quad (2)$$

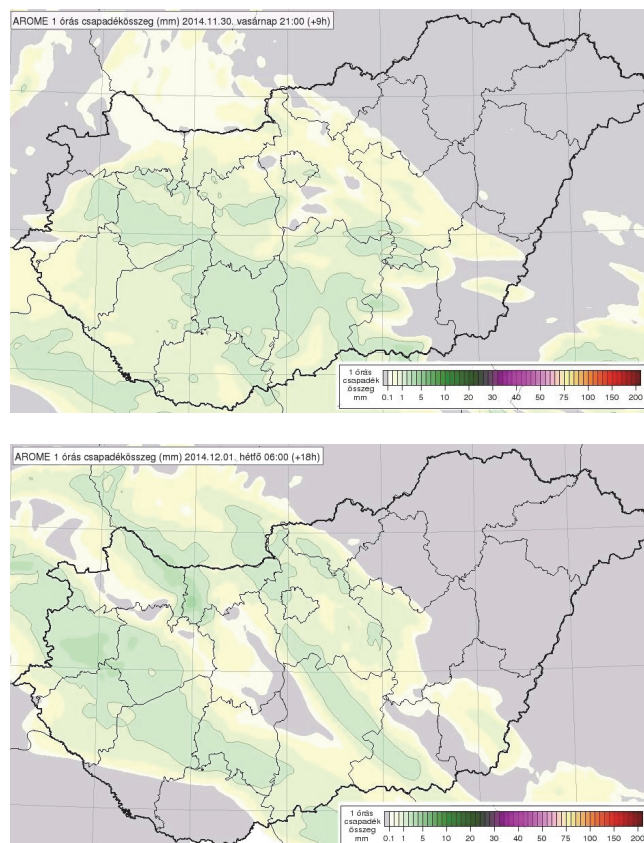
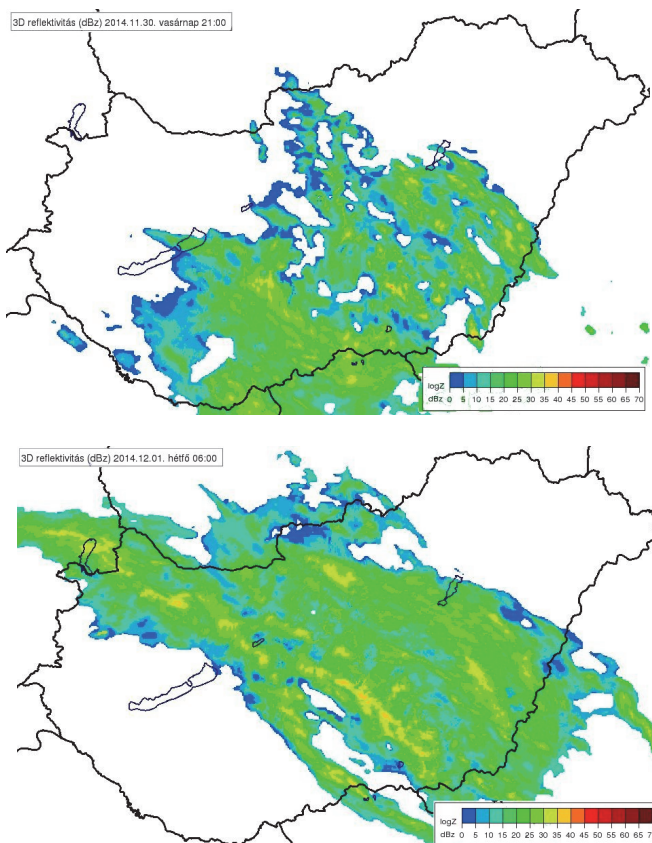
Értéke negatív, ha  $\theta_e$  izovonalai meredekebbek, mint  $M_g$  izovonalai, mely a feltételes szimmetrikus instabilitás kritériuma. Kiszámításával térképesen meghatároztuk

azon területeket, ahol az instabilitás felléphet. A speciálisan irányított vertikális metszetek segítségével, melyeken a  $\Theta_e$  és  $M_g$  izovonalait tüntettük fel, megállapítható, hogy a rétegződés valóban alkalmas volt-e a CSI kialakulásához és felszabadulásához. Ezen kívül a metszeten vizsgáltuk a relatív nedvesség és feláramlás eloszlását is. Előbbit a telítés teljesülése és az instabilitás típusának, utóbbit az  $\omega$  és vertikális sebesség illetve szélvektorok segítségével az áramlások erősségének meghatározására végeztük. A szélvektorok horizontális komponensét a metszetre vetített szélkomponensből számítottuk. A vertikális komponens az ábrázolhatóság miatt százszal szoroztuk, mivel sokkal kisebb (nagyságrendileg néhány  $\text{cm s}^{-1}$  vagy  $\text{dms}^{-1}$ ) a szél horizontális komponenséhez képest.

**Adatok.** A vizsgálatokban segítségünkre voltak az Or-

az előnye, hogy alkalmas az ebben a környezetben megjelenő konvektív jelenségek explicit leírására, melyet az is mutat, hogy a vizsgált helyzetekben a csapadék struktúráját a modell az operatív futás során is igen jól jelezte előre, ezért választottuk az összehasonlítás alapjaként.

**Esettanulmány.** 2014. november végén – december elején egy erős melegfront érte el a Kárpát-medencét (3. ábra bal oldalt), melyből több napig intenzív csapadék hullott, és főleg a Budai-, Pilis-Visegrádi hegység, a Börzsöny és a Mátra magasabban fekvő részein okozott ónos eső formájában jelentős károkat az erdőállományban (Kolláth *et al.*, 2015). A csapadék végig szembetűnően sávós jellegű volt, időnként pedig záporos gócek jelentek meg benne (4. ábra). Egyes tanulmányokban (Horváth és Nagy, 2014) már korábban feltételezték, hogy a csapadék



13. ábra: Mért radar reflektivitás (bal), 1 órás csapadékösszegek (jobb) az AROME modell alapján 2014.11.30. 21 UTC (fent) illetve 2014. december 1-jén 6 UTC (lent)

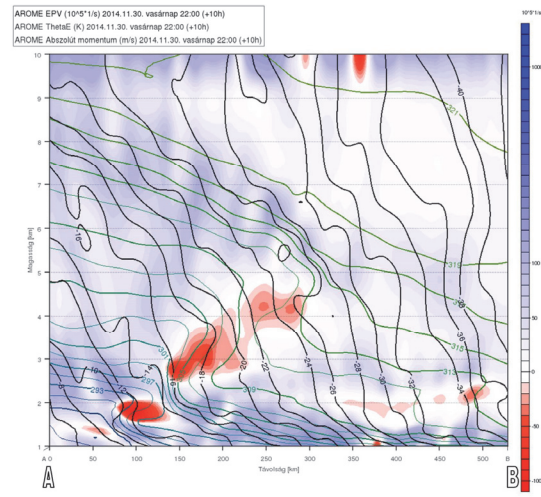
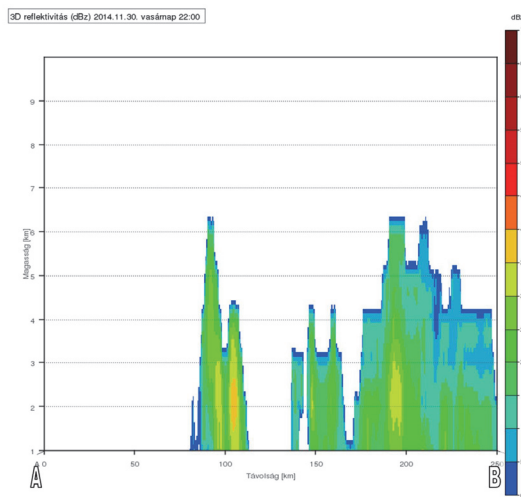
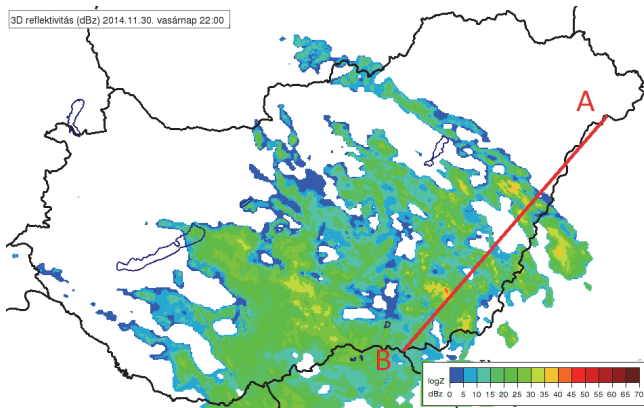
szágos Meteorológiai Szolgálat radarmérései, rádiószondás felszállások, a számításokat pedig az ECMWF (Persson, 2011) és AROME (Szintai *et al.*, 2015) modellek netCDF kimenetein végeztük el. Előbbi 0,125 fokos ekvidisztáns horizontális rácsú és 137 vertikális hibrid szintet tartalmazó hidrosztatikus, utóbbi 2,5 km-es horizontális felbontású és 60 vertikális szintet tartalmazó nem-hidrosztatikus modell. Az EPV számításánál használt AROME modell hőmérséklet, geopotenciál és szél mezőit filterekkel simítottuk, evvel csökkentve a mesterséges vagy nagyon kis skálájú (mezo-gamma) hullámok befolyását. Az EPV ugyanis jellemzően a makroszi-optikus vagy mezo-alfa skálán kialakuló szimmetrikus, illetve feltételes instabilitás körülményeit írja le. A finomfelbontású, nem hidrosztatikus modellnek viszont az

struktúrája és viszonylag erős intenzitása összefügghet a szimmetrikus instabilitással. A két különböző modellből számított 600 hPa-os EPV mezők (5. ábra) alapján látható, hogy december elsejére virradó éjjel Magyarország területén közelítőleg a melegfront vonala mentén megjelentek negatív EPV értékek, ami a konvektív és szimmetrikus instabilitás feltétele. A szükséges vertikális keresztmetszeteket a melegfrontra merőlegesen, ÉK-DNy irányítottsággal készítettük el, hogy eldönthessük, a konvektív és szimmetrikus instabilitás milyen arányban lehetett felelős a csapadék kialakításában.

A november 30. 21 UTC időpontban a vertikális metszetek alapján a front érkezése kissé labilizálta az alacsony szintek légrétegeit (6. ábra), mivel a  $\theta_e$  a magassággal csökken, és emiatt erősen negatív EPV értékeket látha-

tunk. Viszont ezeken a területeken nem állt rendelkezésre elegendő nedvesség a felhő- és csapadékképződéshez (7. ábra). Középszinteken (4–7 km magasságban, a 6. ábrán kék körökkel jelölve) viszont a felsiklási zónában gyenge szimmetrikus stabilitás és telítés jelenléte mellett az AROME modell alapján létrejöttek néhány  $\text{dms}^{-1}$  nagy-

kon nyíllal jelölve) létrejött erősen negatív  $\omega$ -val rendelkező feláramlási sáv keletkezésében olyan nem-konvektív jelenség lehet a felelős, ahol a vertikális szél-nyírás és a meredek izentrópok szimmetrikusan instabil rétegződésre utalnak. Ez a jelleg egész reggel és délelőtt kimutatható volt, és a csapadéksáv fokozatos szűkülésével és erősödésével járt együtt a radarmérések alapján (4. és 11. ábra). A folyamat végén, a 10. ábrán jobb oldalt is láthatóan feltehetőleg a mezoléptékű folyamatok (erős vertikális áramlások, nyomási perturbációk stb.) hatásaként létrejött a feláramlási sáv környezetében kis területen tehetlenségi instabilitás, így ekkor ott már szimmetrikusan feltehetőleg nem volt labilis a légkör. A metszeteken látható, hogy konvektív, tehetlenségi és szimmetrikusan instabil területek igen közel, egymás felett, mellett helyezkedhetnek el. Az egyik instabilitás felszabadulása triggerként hathat a másik felszabadításához, labilizálhatja az addig az adott instabilitásra nézve stabil rétegeket. Esetünkben a csapadéksávok, valamint a rétegződés jellege az ún. leszkázó fejlődésre utal (Schultz



14. ábra: Radar reflektivitás és a vertikális keresztmetszet vonala (balra fent), a reflektivitás vertikális keresztmetszete (bal oldalt), valamint az ekvivalens potenciális hőmérséklet (zöld vonal), abszolút momentum (fekete vonal) és EPV (kék és piros színezés) vertikális keresztmetszete (jobb oldal) 2014. november 30-án 22 UTC-kor.

A záporos, intenzív csapadék az alacsony szintű erősen negatív EPV értékű területen hullott.

ságrendű ferde feláramlások, melyek jól egybeesnek a fő csapadéksávok elhelyezkedésével is (8. ábra). A Sawyer-Eliassen egyenlet alapján frontálzónákban a szimmetrikus stabilitás mértéke, elsősorban a potenciális örvényességen keresztül, szabályozza a feláramlások különböző kényszerekre adott válaszát. Kiseb stabilitás esetén a feláramlás keskenyebb, erősebb lesz, mint nagyobb esetén (Thorpe and Emanuel, 1985). Ebben az esetben feltehetőleg a frontális emelés, a frontogenezis játszhatta a fő szerepet, de a gyenge szimmetrikus stabilitás hatására a feláramlási csatornák beszűkülhettek, intenzívebbé válhattak, hozzájárulva a többszörös sávok kialakításához. December 1-jén reggelre a csapadékszóna egyre inkább egyetlen, keskenyebb, de igen intenzív sávba kezdett rendeződni (4. alsó ábrák). A front felsiklási zónájában továbbra is kimutathatóak emelkedő mozgások, a magassági áramlás erősödésével keskeny és erős feláramlások is diagnosztizálhatók telített környezetben (9. ábra). A  $\Theta_e$  és  $M_g$  izovonalait ábrázoló metszet (10. ábra) alapján látható, hogy hozzávetőleg a 300. horizontális km-nél (az ábrá-

and Schumacher, 1999). A front környezetében kis területen fennálltak a CSI számára alkalmas feltételek, de azt nem lehet tudni, hogy fel is szabadult-e, illetve milyen mértékben vehetett részt a csapadékképződésben. További lehetőség, hogy a CSI hamar vagy korábban felszabadult, és erre csak a szimmetrikusan semleges területek utalnak, ahol  $\Theta_e$  és  $M_g$  izovonalai párhuzamosan futnak. A(z emelt) konvektív instabilitás jelenlétének ellenőrzésére az ECMWF adatokból számított MUCAPE (Most Unstable CAPE) értékeit tekintettük, mely a talaj és az 500 hPa-os szint között több magasságból indítja a légrézecsckét. Bár ennek értéke november 30. 21 UTC és december 1. 9 UTC között nem volt nulla (12. ábra), de a jellemzően 2–5, maximálisan 20  $\text{Jkg}^{-1}$ -os értékek elhanyagolhatóak a komolyabb feláramlások tekintetében. Az AROME által előrejelzett csapadék struktúrájában igen jól tükrözött a valóságos folyamatot, mely jó indikátora lehet annak, hogy a modell képes leírni a szimmetrikus instabilitás és frontogenezis együttes megjelenésével járó folyamatokat (13. ábra). A fő sáv pontos helyzetét, illet-

ve a vezető élénél megjelenő intenzívebb góccokat azonban nem „fogta meg” jól, tehát pusztán a csapadék parametizációra hagyatkozva a lehulló mennyiség helyenként alulbecsülhető volt. A 14. ábrán látható metszetek alapján viszont elmondható, hogy az alacsonyszinten megjelenő erősen negatív EPV értékű terület alapján az emelt konvekció jól előrejelezhető, holott a MUCAPE értékek erre kevésbé utaltak.

**Összefoglalás, a vizsgálat további lehetőségei.** A 2014. december 1-jei helyzet az első jelentősebb, Magyarországon előforduló eset volt, ahol sikerült kimutatni a szimmetrikus instabilitást, bár korábban az EPV-t és a vertikális metszeteket más helyzetekben is vizsgáltuk (Allaga, 2015). A szimmetrikus instabilitás konceptuális modelljei alapján valószínűsíthető, hogy más helyzetekben is, jellemzően a mediterrán ciklonok melegfront előtti szakaszában, hasonló környezeteket találhatnánk. Megfelelő helyzetek jellemzően a téli időszakban fordulhatnak elő, ugyanis nyáron a vertikális instabilitás és mély konvekció a domináns.

Összefoglalásként kiemelhetjük, hogy

- a szimmetrikus instabilitás (vagy gyenge szimmetrikus stabilitás) a Kárpát-medence térségében is megjelenhet, jellemzően téli helyzetekben, frontális zónák mentén. Ilyen régiókban intenzív, konvektív-jellegű csapadéksávok is megfigyelhetők, melyek idővel beszűkülhetnek.
- a gyenge szimmetrikus stabilitással rendelkező rétegekben viszonylag erős vertikális áramlások alakulhatnak ki akkor is, mikor más paraméterek (pl. MUCAPE) alapján vertikálisan stabilnak tűnik a légkör. Ennek jó mutatója a negatív vagy gyengén pozitív EPV közel telített környezetben (80%-nál magasabb relatív nedvesség).
- a felszabadult szimmetrikus instabilitás mértékét és annak pontos hatását a vertikális sebességre vagy a csapadék mennyiségére jelenleg nehéz megállapítani. Valószínű, hogy ez a jelenség kisebb skálán konvektív vagy tehetetlenségi instabilitást triggerelhet, ilyenkor inkább csak közvetett (bár fontos) hatással van az észlelt csapadékrendszerek intenzitására.

További kutatások célja lehet a diagnosztikus módszerek finomítása, pl. az instabilitással kapcsolatos elérhető potenciális energia (SCAPE) kiszámításával. Trajektóriák készítésével lehetővé válna a rétegek ferde irányú áthelyeződésének nyomon követése. Az ilyen és ezekhez hasonló diagnosztikai eszközök segíthetnek az időjárási helyzetek megértésében és a finomfelbontású modellek kimeneteinek (pl. vertikális mozgások, csapadék) értelmezésében. A jelenség észlelések segítségével történő diagnosztikájához speciális mérésekre (pl. Doppler radar mérésekből vagy sűrűbb windprofiler hálózatból származó 3D szél analízisekre) lenne szükség, ami jelenleg nehezen beszerezhető vagy üzemeltethető operatíván. Emiatt a szimmetrikus instabilitás diagnosztikájának verifi-

kációja továbbra is inkább kvalitatív marad (radaros csapadékmérések, illetve modell analízisek alapján).

### Köszönetnyilvánítás.

Köszönjük Steib Rolandnak és Duska Gizellának (OMSZ), hogy a tanulmányhoz szükséges adatokat elérhetővé tették számunkra. Köszönjük továbbá Horváth Ákosnak (OMSZ) az esettel kapcsolatos hasznos személyes konzultációkat.

### Irodalom

- Allaga T., 2015: Szimmetrikus instabilitási helyzetek azonosítása és diagnosztikája a Kárpát-medence térségében. Diplomamunka. ELTE. pp. 58
- Bennets D. A. és Hoskins B. J., 1979: Conditional symmetric instability – a possible explanation for frontal rainbands. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 105, 945–962.
- Bluestein, H.B., 1993: Synoptic-Dynamic Meteorology in Mid-Latitudes. Volume II: Observations and Theory of Weather Systems. *Oxford University Press*. 594 pp.
- Emanuel, K. A., 1983: The Lagrangian parcel dynamics of moist symmetric stability. *Journal of the Atmospheric Sciences* 40, 2368–2376.
- Emanuel, K. A., 1985: Frontal Circulations in the Presence of Small Moist Symmetric Stability. *Journal of the Atmospheric Sciences* 42, 1062–1071.
- Horváth, Á. és Nagy A., 2014: A 2014. december 1-jei ónos eső néhány meteorológiai sajátossága. *Tanulmány*, OMSZ, pp.4
- Kolláth, K., Horváth, Á., Simon, A és Nagy A., 2015: Mi okozta a pusztító ónos esőt? *Természet világa* 146, 61–63.
- Markowski, P. and Richardson, Y., 2010: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. *Wiley and the Royal Meteorological Society*. pp. 430
- Martinez-Alvarado, O., Gray, S. and Baker, L., 2008: Conditional symmetric instability and the development of sting jets. *Presentation*. European Meteorological Society Annual Meeting, 29.09.–03.10. 2008. Amsterdam, The Netherlands
- Marquet, S., 2014: On the definition of a moist-air potential vorticity. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 140, 917–929.
- Moore, J. T. és Lambert, T. E., 1993: The Use of Equivalent Potential Vorticity to Diagnose Regions of Conditional Symmetric Instability. *Weather and Forecasting* 8, 301–308.
- Novak, R. D., Bosart, L. F., Keyser, D. and Waldstreicher, J. S., 2004: An Observational Study of Cold Season–Banded Precipitation in Northeast U.S. Cyclones. *Weather and Forecasting* 19, 993–1010.
- Persson, A., 2011: User guide to ECMWF forecast products. *Meteorological Bulletin M3.2*, ECMWF, 127.
- Schulz, D. M., and Schumacher, P. N., 1999: The Use and Misuse of Conditional Symmetric Instability. *Monthly Weather Review* 127, 2709–2732.
- Szintai, B., Szűcs, M., Randriamampianina, R. and Kullmann, L., 2015: Application of the AROME non-hydrostatic model at the Hungarian Meteorological Service: physical parameterizations and ensemble forecasting. *Időjárás* 119, 241–265.
- Thorpe, A. J. and Emanuel, K. A. 1985: Frontogenesis in the Presence of Small Stability to Slantwise Convection. *Journal of the Atmospheric Sciences* 42, 1809–1824.

## SÁROSPATAKON TARTOTTÁK A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG 36. VÁNDORGYŰLÉSÉT

### THE 36<sup>TH</sup> BIENNIAL ITINERANT CONFERENCE OF HUNGARIAN METEOROLOGICAL SOCIETY WAS HELD IN SÁROSPATAK

A Meteorológiai Társaság 1955 óta, eleinte évente, majd két évente megrendezésre kerülő Vándorgyűlését, amely immár a 36. ebben a sorozatban, 2016. augusztus 25–26-án, Sárospatakon tartotta. Legutóbb 1967-ben volt a Vándorgyűlés Patakon, a *Jégeső elhárítás Magyarországon* témában, ami akkor egy nagyon új, fejlesztésre váró területnek számított. Az idei év témaválasztása szélesebb volt: *Meteorológia, Fenntarthatóság, Éghajlatváltozás*. A hely kiválasztásában közrejátszott, hogy Patakon majd félvív százada járt a Társaság, s az is, hogy a helyiek nagyon szívesen invitálták közösségünket. Köszönetet kell mondanunk a szervezés megkezdésekor még főiskolai kar vezetőjének *Kelemen Judit*nak, az ötlethez való készséges hozzáállásáért, és *Stóka György* intézetigazgatónak, aki személyes közreműködésével, egyszerű helyi szervezőként mindent megtett azért, hogy a meteorológusok összejövetele zavartalanul megvalósuljon, s a kollégák nemcsak szakmai, hanem egyéni látogatóként is nagyon jól érezzék magukat a magyar történelem fontos színhelyén, Árpád-házi Szent Erzsébet szülőhelyén, az ősi diákvárosban. A Vándorgyűlés szakmai előadásait az Eszterházy Károly Egyetem (Eger) Sárospataki Comenius Campusának dísztermében tartottuk. A korábbi gyűlések gyakorlatától eltérően, ezúttal nem volt regisztrációs díj, annak reményében, hogy a díjmentes konferenciára többen fognak jelentkezni. Ez a várakozás sajnos nem teljesült. A Vándorgyűlésre 54-en regisztráltak. Az 5 protokoll résztvevő mellett még 3 külső érdeklődő is felkereste a gyűlést. Hagyományosnak mondható módon az ELTE Nyári iskolájának mintegy tucatnyi résztvevője is meghallgatott néhány előadást. Elmondhatjuk, hogy a Vándorgyűlést felkeresők száma elérte a 75 főt. A Vándorgyűlésre 24 előadással és 8 poszterrel jelentkeztek. A szakmai program előtt meleg szavakkal és az éghajlatváltozás kérdése iránti őszinte érdeklődéssel köszöntötte a megjelenteket *Hörccsik Richárd*, a térség országgyűlési képviselője *Sikora Attila*, Sárospatak alpolgármestere, *Kelemen Éva* a járási hivatalvezető, *Ollé János*, az EKE rektorhelyettese és *Kelemen Judit* főigazgató. A megnyitó keretében az MMT egy szerény ajándékkal köszöntötte meg *Stóka György*nek szíves közreműködését. A plenáris ülés keretében *Feiler József* Nemzetközi klímapolitika - Párizs után, *Mika János* A meteorológia kihívásai és lehetőségei az ENSZ Fenntartható Fejlődési Célok (2016–2030) megvalósításában, majd az MMT külföldi tiszteleti tagja *Pavol Nejedlik* tartott előadást Drought monitoring in Slovakia címmel. A szekciót *Puskás János* tudománytörténeti előadása zárta: Reformátusok a klímakutatásban. A *Statistikus és alkalmazott klimatológia* szekció levezető elnöke *Radics Kornélia*, míg a szekció összefoglalója, a Vándorgyűlések történetében először élve ezzel a lehetőséggel, *Pongrácz Rita* volt. Az elhangzott előadások: *Kocsis Tímea, Töröcsvári Zsolt, Anda Angéla*: Különböző időszerelemzési vizsgálatok eredményeinek összehasonlítása egy meteorológiai adatsoron; *Bihari Zita, Lakatos Mónika, Szentimrey Tamás*: Rácsponi adatbázisok az éghajlat megfigyelésére Magyarországon és környezetben; *Dobi Ildikó*: Műholdas alapú szolár atlaszok áttekintése; *Baranka Györgyi*: Várostervezési eszközök a hőszigetelhetőség csökkentésére; *Németh Ákos*: Amit ma a turisztikai klímaindexekről tudni lehet; *Sebők István*: Milyen kihívásokkal kell szembenéznünk a klíma, az éghajlat megfigyelésekor? *Lakatos Mónika, Wiedinger Tamás, Bihari Zita*: PannEx – egy formálódó kutatási együttműködés a Kárpát-medencében.

A tervezett poszter-bemutató szekció az eredetileg tervezett formájában, az erős időbeli csúszás miatt elmaradt, de a poszterek kiállítása természetesen megtörtént, s szintén újdonságként a Vándorgyűlések történetében poszter-versenyre került sor. A résztvevők szavazhattak a legjobb poszterre. A legtöbb szavazatot kapott poszter kiállítóinak díja egy üveg tokaji bor és oklevél volt, amit a záró ceremónia során adtak át *Lakatos Mónikának* és *Hoffmann Lillának*. A kiállított poszterek: *Skarbit Nóra, Gál Tamás, Unger János*: Szegedi városklíma mérőállomás-hálózat; *Biróné Kircsi Andrea, Hoffmann Lilla, Szentimrey Tamás, Bihari Zita, Lakatos Mónika*: A csapadék 30 évi havi átlagainak tulajdonságai Magyarországon; *Csákberényi-Nagy Gergely, Bedő Domonkos, Lázár István, Mika János*: A helyi időjárás hatása a napelemek ha-

tásfokára; *Bottyán Emese, Bellocchi Gianni, Sándor Renáta, Dobor Laura, Horváth Ferenc, Barcza Zoltán*: Gyepes területek szénmérlegének modellezése a Biome-BGCMuSo modellel; *Dian Csenge, Pongrácz Rita, Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit*: Hősziget intenzitás vizsgálatok Budapest IX. kerületében helyszíni mérések alapján; *Fricke Cathy, Dezső Zsuzsa, Pongrácz Rita, Bartholy Judit*: A vegetáció felszíni hőszigetle gyakorolt hatásainak elemzése NDVI vegetációs index felhasználásával Budapest XII. kerületére; *Göndöcs Júlia, Breuer Hajnalika, Pongrácz Rita, Bartholy Judit*: WRF modellel készített városi hősziget jelenség vizsgálata és validációja Budapest térségére; *Zsilinszki Anna, Dezső Zsuzsanna, Bartholy Judit, Pongrácz Rita*: A Kárpát-medence magaslégtér körüli cirkulációs viszonyainak szinoptikus-klimatológiai vizsgálata; *Hoffmann Lilla, Lakatos Mónika*: Az éghajlatváltozás hatása az intenzív csapadékok alakulására.

Az első nap estéjére *A Boros borbárban* szervezett hagyományos baráti vacsora előtt az érdeklődők meglátogathatták a Református Kollégium Könyvtárát, ahol a vezető néhány meteorológiai, időjárás-régiséggel is rendelkezett a Könyvtár bemutatása mellett. A háromfogásos vacsora borkóstolóval volt egybekötve, ahol négy tokaji bort ízelhettek meg a vendégek. A második nap első szekciójának, az *Éghajlatváltozásnak* *Kovács László* volt az elnöke és *Lakatos Mónika* a riportőre. Az elhangzott előadások: *Piecza Ildikó, Pongrácz Rita, Bartholy Judit, Szabóné András Karolina*: Regionális klíma-modell-szimulációk eredményei az új RCP-szenáriók figyelembevételével; *Csorvási Anett*: Kihívások és eredmények - Az ALADIN-Climate regionális klíma-modellel végzett vizsgálatok bemutatása; *Kis Anna, Pongrácz Rita, Bartholy Judit, Szabó János Adolf*: A Felső-Tisza vízgyűjtő vizsgálata éghajlati és hidrológiai szimulációk felhasználásával; *Kovács Erik, Puskás János*: A szélsőséges éghajlati paraméterek változása a Kárpát-medence nyugati részén; *Tarcsay Klára*: A klímaváltozás kihívásai a méhekre és méhészetre; *Dunkel Zoltán*: Magyarországi klímaváltozások nyomon követése a hőmérsékleti térképek alapján. A záró szekció, az *Alkalmazott meteorológia* elnöke *Puskás János*, a szekció összefoglalója *Molnár József* volt. Az elhangzott előadások: *Weidinger Tamás, Nagy Balázs, Mádlné Szőnyi Judit, Tordai Ágoston*: Energiamérleg-komponensek: mikro-meteorológiai mérések a Gellért-hegy belsejétől a Magas-Andokig; *Kinyó Zsolt*: V.S.M. és az időjárás; *Bonta Imre*: Veszélyjelzések készítése az OMSZ-ban; *Molnár Gergely, Gyöngyösi András Zénó, Gál Tamás*: A WRF modell városi paramétereinek módosítása szegedi statikus adatok felhasználásával; *Lázár Dóra, Weidinger Tamás*: Ozonkoncentráció-előrejelzés és érzékenységi vizsgálat a WRF-SMOKE-CMAQ modellrendszer felhasználásával a Kárpát-medencére; *Szabóné András Karolina, Bartholy Judit, Pongrácz Rita*: Hideg léggpárnák vizsgálata az ERA-Interim reanalízis felhasználásával; *Nyitrai László, Tóth Róbert*: Globális aerológiai adatbázis és ami mögötte van.

A konferencia zárása után, a még megmaradt hallgatóság a Rákóczi Panzióban fogyasztott el egy egyszerű menüt, majd ezt követően a vállalkozó és érdeklődő résztvevők megtekinthették a Comenius Campus vendégeként, szakszerű vezetéssel a sárospataki várat. Akikben még ezután is volt energia, azok elmentek a Tengersizem nevű elhagyott bányához, ami egy igazi természeti érdekesség. Augusztus 26-án, szombaton a Társaság szervezésében, *Molnár József*nek, a beregszászi magyar főiskola tanárának lelkes vezetése mellett, a Vándorgyűlés 25 résztvevője látogatott Kárpátaljára. Először a Beregszászi Főiskola –valamikor magyar királyi bíróság– szépen helyreállított épületében ismerkedhettek meg a kirándulók az ott folyó magyar nyelvű oktatással és képzéssel. A Beregszász városában tett rövid séta, –amelynek során a híres piacot is meglátogatta a társaság–, után elmentünk a beregszászi meteorológiai állomásra, amely, nem meglepő módon a legmelegebb pont Nyugat-Ukrajnában. A hagyományos műszerek mellett számos sugárzás és háttérszennyezettség-mérő eszköz között felfedezhettünk egy hagyományos napfénytartam-mérőt is. A szakmai látogatás után először Cseffelva református temploma a csodás kazettás mennyezettel és a fa haraglábbal, majd a munkácsi vár felkeresése volt a program.

## 2016 NYARÁNAK IDŐJÁRÁSA WEATHER OF SUMMER 2016

**Bíróné Kircsi Andrea**

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

A nyár az átlagosnál melegebb volt, hiszen a június 1,3 °C-kal, a július 0,7 °C-kal melegebb, míg az augusztus 0,6 °C-kal hűvösebb volt a megszokottnál. Az átlagos hőmérséklet 20,7 °C volt, ami 0,5 °C-kal haladta meg az 1981–2010-es országos átlagot (20,2 °C). Az 1901–2016 közötti sorban ez a nyár a 20. legmelegebb volt. Az előző évtől eltérően idén egy hóhullám volt (június 23–26.). A nyár igen csapadékos volt, de augusztusban 11%-kal kevesebb hullott, mint a sokévi átlag. A nyári hónapok csapadékösszege (253 mm) országos átlagban 60 mm-rel haladta meg az 1981–2010-es átlagot (193 mm). Az évszakos átlagban 30%-os többlet néhány napon belül hullott térben és időben szélsőségesen. A nyáron 4 helyen mértünk 100 mm-t meghaladó csapadékot (Gyomaendrőd, Lácacséke, Nemeskísfalud, Poroszló). A záporok és jégesők több helyen okoztak károkat (06.23., 07.16., 08.22.). A nyári csapadék-maximum 450 (Gyomaendrőd) míg a minimum 152,8 mm (Fertőszentmiklós) volt. A globálsugárzás legnagyobb értékeit a Balaton nyugati medencéjében, a Dél-Alföldön és a hegységeink déli előterében detektáltuk.

**Június.** A havi középhőmérséklet az ország nagy részén 20 °C felett, országosan 20,4 °C volt. Az 1981–2010-es normálhoz képest az idei június egész hazánkban melegebb volt az átlagnál. A Balaton keleti medencéjében, a Bakonyban, Budapest környékén és az Északi-középhegységben közel 2 °C-kal haladta meg a közép az átlagot. A hónap elején a csapadékos időjárás miatt a hőmérséklet a sokévi átlag alatti volt. Medárd napján Nyírlugoson mindössze 2,4 °C-ot mértünk. A 15-én indult felmelegedésnek egy gyorsan fejlődő ciklon vetett véget, számos felhőszakadással a keleti országrészben. A hónap végén, 23. után egy erőteljes anticiklon kiépülésének köszönhetően 3 napon át az átlaghőmérséklet meghaladta a 27 °C-ot. A II. fokú hőségridót az országos tisztii főorvos 23–26. között rendelte el. A hóhullám során mértük a legmagasabb hőmérsékletet, Kecskemét K-pusztán (36,7 °C). Átlagosan 19 nyári nap volt, a legtöbbet, 26-ot Kecskeméten jegyeztük fel. Hat hőségnap fordult elő a hónap második felében. Tápiószelén a napi maximum 11 napon át volt 30 °C felett. Mind a nyári, mind a hőségnapok száma néhány nappal több volt, mint az 1981–2010-es normálérték. 17-én Sándorfalván 24,3 fokkal megdőlt a legnagyobb napi minimum hőmérséklet rekord.

*A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:*

**36,7 °C, Kecskemét K-pusztá (Bács-Kiskun megye), június 24.**

*A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:*

**2,4 °C, Nyírlugos (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye), június 8.**

A havi csapadék 9,7%-kal volt több, mint az 1981–2010-es normálérték. A hónapban több mint 20 állomás jelentett nagy mennyiségű (> 30 mm) napi csapadékot (1–2., 4–5., 13., 15., 19. és 26.). Az OMSZ hálózatában átlagosan 11 nap volt csapadékos, a legtöbbet (18) Makón és Söjtörön jegyeztük, míg a legtöbb zivataros napot (13) Békéscsabán és Szombathelyen regisztráltuk. Az 1981–2010-es átlag több, mint kétszerese hullott Békés megyében, a Berettyó-Körös-vidéken és a Körös-Maros-közben. A legnagyobb havi összeget Gyomaendrődön mértük, (228,7 mm). Ennek közel a fele (102,2 mm) esett le 26-án. Ugyanakkor a sokévinek alig 10%-a hullott a Sajó-völgy északi részén. Itt mindössze 20–40 mm volt a havi összeg. Sátán a teljes hónapban mindössze 3,5 mm hullott.

*A hónap legnagyobb csapadékösszege:*

**228,7,0 mm, Gyomaendrőd (Békés megye)**

*A hónap legkisebb csapadékösszege:*

**3,5 mm, Sata (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)**

*24 óra alatt lehullott maximális csapadék:*

**102,2 mm, Gyomaendrőd (Békés megye), június 26.**

**Július.** Az országos átlaghőmérséklet júliusban 21,8 °C volt, 0,7 °C-kal magasabb, mint az 1981–2010-es átlag. A normálnál melegebb értékek voltak a Dunántúlon, s főleg a Balaton térségében. A napi középhőmérséklet országos átlagban közel 2 fokkal volt a sokévi átlagok felett a hónap elején és 21-e után. A pozitív anomália 11–13 között elérte a 4–5 °C-ot. Egy frontrendszer gyorsan megfordította a helyzetet és a napi országos középhőmérséklet 16–17-én 5–6 °C-kal maradt el a sokévi átlagtól. Kelebián 14-én a hőmérsékletsökkenés 24 órán belül elérte a 10 fokot. Ugyanakkor Budapesten 18-án 1 nap alatt több, mint 6 °C-ot emelkedett a napi közép. Átlagosan 10 napon át volt a maximum 30 fok fölött, a legtöbb hőségnapot Budapesten és Kecskeméten (17 nap) mértük.

*A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet*

**36,9 °C, Kecskemét K-pusztá (Bács-Kiskun megye), július 12.**

*A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:*

**4,7 °C, Zabar (Nógrád megye), július 7.**

Július folyamán országos átlagban 121,5 mm csapadék hullott, amely kétszerese az átlagnak, 1901 óta a 2. legmagasabb havi összeg.

(Abszolút maximum: 1913-ban 132,3 mm). Az országban jórészt 100 mm felett alakult a havi összeg. A legcsapadékosabb területek 150–170 mm területi átlaggal: a Balaton térsége, a Dunántúli középhegység, a Mátra és a Bükk területe. A legnagyobb havi csapadékot Hidegkúton mértük (281,9 mm). Az Alpok felől érkező hidegfront egy nap alatt (13-án) Nemeskísfaludon 103,2 mm, Poroszlón 138,5 mm csapadékot hozott. A hónap második felében főként helyi hatásokra képződő nyári záporok, zivatarok okoztak helyenként kiadós csapadékot. Országos átlagban 11 csapadékos nap (> 0,1 mm) fordult elő, ami több mint a normál (9 nap). Hat zivataros napot regisztráltunk (átlag 2), a legtöbbet Füzérkomlóson (14 nap). 13 napon regisztráltak a hagyományos állomások jégesőt. A legtöbb jégeső 9-én a Nyírségben; 12–13-án a Dunántúlon, a Mátra és a Bükk térségében; 26-án Tokaj-Hegyalján és 31-én az osztrák határ közelében fordult elő.

*A hónap legnagyobb csapadékösszege:*

**281,9 mm, Hidegkút (Veszprém megye)**

*A hónap legkisebb csapadékösszege:*

**43,6 mm, Magyarcsanak Bökény (Csongrád megye)**

*24 óra alatt lehullott maximális csapadék:*

**138,5 mm, Poroszló (Heves megye), július 13.**

**Augusztus.** A havi középhőmérséklet 15–21 °C között alakult. Legmelegebb az Alföld középső, délkeleti térsége volt 22 °C feletti értékekkel. Országos átlagban az augusztus a sokévi átlagnál 0,6 °C-kal volt hűvösebb. A hónap közepén változékony idő volt az egymás után érkező frontok miatt. Egy markáns hidegfront után 11-én komoly lehűlés történt, a napi átlaghőmérséklet ekkor 6 °C-kal maradt el a szokásostól. Augusztus 12-én Tésán és Murakeresztúron 4,5 °C-ot mértünk, ezzel megdőlt az addigi minimum rekord (Zabaron 2003. augusztus 12-én mért 4,7 °C). Augusztus 13-án Zabaron is új hidegrekord született. (A korábbi rekord Kecskemét Miklós-telep 1912: 4,2 fok). A hónap végén szokásos lehűlés helyett már felmelegedés kezdődött. Átlagosan négy napon mértünk 30 °C feletti maximumot, ami a sokévi átlag fele. A legtöbb hőségnapot Körösszakál (15 nap) rögzítettük. A sokévi átlaggal egyezően 22 nyári nap volt.

*A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:*

**34,3 °C, Körösszakál (Hajdú-Bihar megye), augusztus 5.**

*A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:*

**4,0 °C, Zabar (Nógrád megye), augusztus 13.**

53,7 mm csapadék hullott, ami 11%-kal marad el az 1981–2010-es átlagtól (60,2 mm). A legkevesebb a Körös-Maros-közben és a Kiskunsági-homokháton hullott, ahol az átlag a 25 mm-t se érte le. Minimum: Medgyesegyháza (10,3 mm). A legcsapadékosabb területeket – 100 mm feletti átlaggal – a Tokaj-Zempléni- és az Aggtelek-Rudabányai-hegyvidéken, a Bükk és a Börzsöny-hegységben, illetve Dél-Dunántúlon és a Kis-Balatonnál találjuk. A legnagyobb összeget Felsőberekken mértük (156,3 mm). Hét csapadékos nap volt, mely 1 nappal marad el a sokévi átlagtól. 17 állomás mért napi 50 mm felett. A zivataros napok száma a sokévi átlagnak megfelelően 3 volt, legtöbb Atkárón (9 nap). 20-a után meleg és csapadékmentesen volt az időjárás.

*A hónap legnagyobb csapadékösszege:*

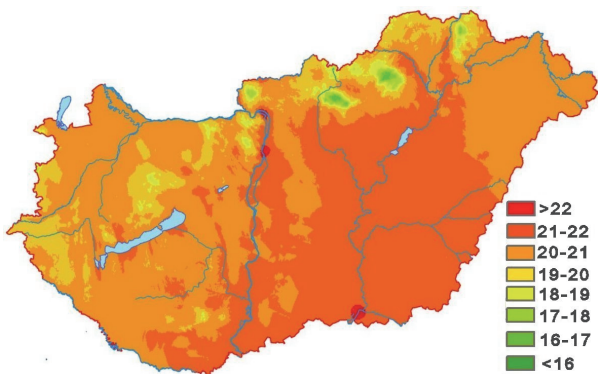
**156,3 mm, Felsőberekki (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)**

*A hónap legkisebb csapadékösszege:*

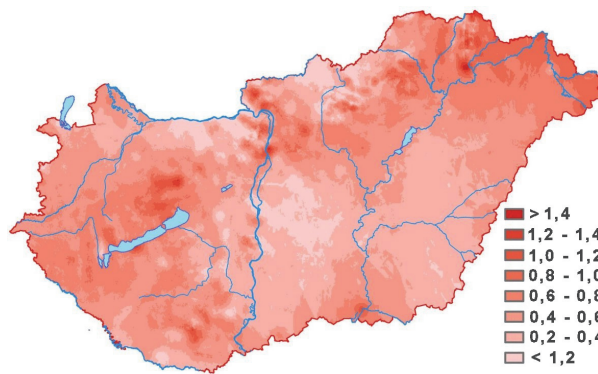
**10,3 mm, Medgyesegyháza Bánkút-Rózsamajor (Békés megye)**

*24 óra alatt lehullott maximális csapadék:*

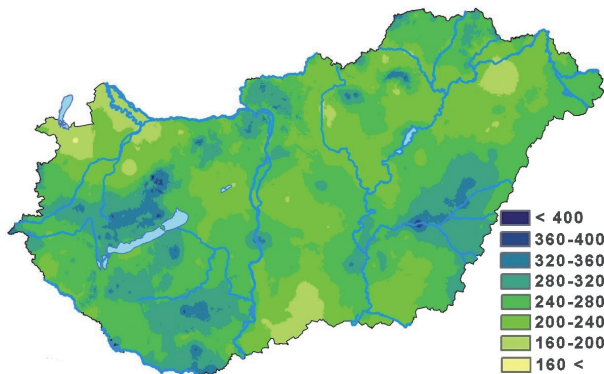
**86,5 mm, Kenderes (Jász-Nagykun-Szolnok megye), augusztus 21.**



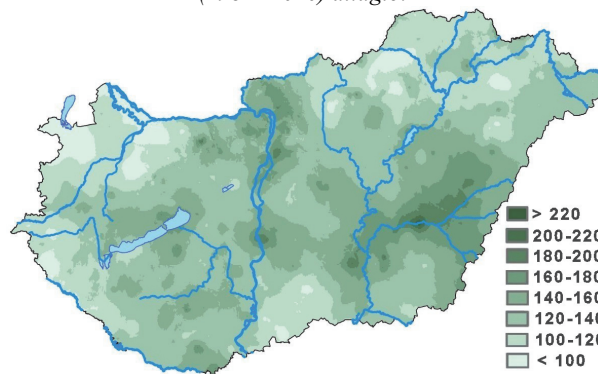
1. ábra: A 2016-os nyár középhőmérséklete (°C)



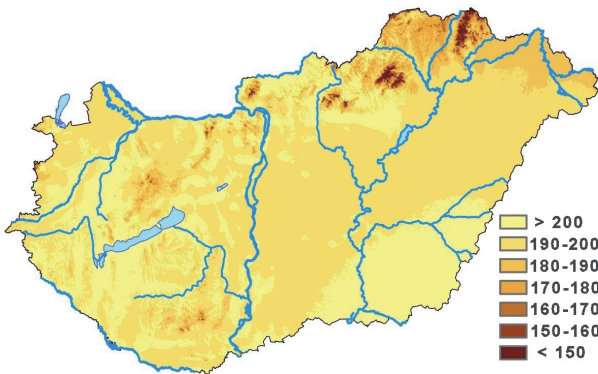
2. ábra: A 2016-os nyár középhőmérsékletének eltérése a sokévi (1981–2010) átlagtól



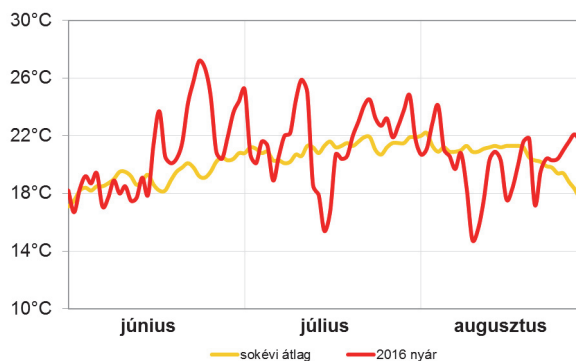
3. ábra: A 2016-os nyár csapadékösszege (mm)



4. ábra A 2016-os nyár csapadékösszege a sokévi (1981–2010) átlag százalékos (%) arányában kifejezve



5. ábra: A 2016-os nyárglobálisugárzás összege (kJ/cm<sup>2</sup>)



6. ábra: A 2016 évi nyár napi középhőmérsékletei és az 1981–2010 sokévi átlag (°C)

### 2016. nyár időjárás adatainak összesítője

Állomás	Napsütés (óra)		Sugárzás (kJ/cm <sup>2</sup> )	Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél viharos napok
	évszak összes	eltérés		évszak összes	évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	
Szombathely	860	123	200,8	20,2	0,6	33,4	07.11	6,1	08.12	261	116	27	8
Nagykanizsa			200,6	20,2	0,8	33,8	06.24	5,4	08.12	238	98	26	6
Pér				20,3		33,6	07.11	5,7	08.12	198	108	15	11
Siófok			204,2	22,0	0,8	35,5	06.24	12,6	06.08	294	169	21	18
Pécs	888	61	201,7	21,4	0,7	33,8	07.12	10,4	08.12	316	152	26	7
Budapest	918	89	197,5	21,5	0,5	34,8	06.24	10,1	06.08	276	156	20	1
Miskolc	894	121	190,1	21,3	1,3	34,8	06.24	9,3	08.12	239	109	24	1
Kékestető	782	10	185,5	15,8	0,8	27,1	06.24	6,2	08.12	288	110	27	9
Szolnok	818	3	200,2	21,6	0,5	34,9	06.24	9,5	08.13	276	152	23	5
Szeged	944	121	206,3	21,8	0,8	35,7	07.13	8,6	06.08	248	137	23	5
Nyíregyháza			199,7	20,8	0,8	34,0	06.24	7,9	06.08	192	108	25	9
Debrecen	966	139	195,1	21,0	0,6	34,1	06.24	9,1	08.13	324	178	30	7
Békéscsaba			205,7	21,1	0,4	34,2	06.24	6,4	08.13	263	141	22	5

