

LÉGKÖR

64. évfolyam

2019. 3. szám



ELHUNYT SZÁSZ GÁBOR

GÁBOR SZÁSZ PASSED AWAY



2019. július 17-én, hosszú és gazdag szakmai életút után Debrecenben elhunyt a Magyar Meteorológiai Társaság tiszteletbeli elnöke, a Debreceni Egyetem volt rektora, tiszteletbeli doktora, neves agrometeorológus kutató, nemzedékek nevelője és oktatója. A Debreceni Egyetem professzor emeritusának, aki szinte élete végéig aktív kutató és oktató munkát végzett, kimagasló érdemei vannak a magyar agrometeorológia fejlesztésében. Tudományos munkásságával nagymértékben hozzájárult a magyar mezőgazdaság vízgazdálkodásának fejlesztéséhez. Számos érdeme mellett nem feledkezhetünk meg a távérzékelési módszerek úttörő bevezetéséről sem a magyar agárkutatóban. Elsőként ismerte fel ennek a mérési, megfigyelési módszernek a jelentőségét. Nemcsak alkalmazta a távérzékelést, hanem, mint gyakorlott pilóta, maga is aktívan „távérzékelt”, többször vezetett műszerekkel felszerelt repülőgépet a vizsgált mezőgazdasági területek fölé. Az agráregyetemen végzett hihetetlenül sokrétű és szerteágazó tevékenysége mellett a meteorológus társadalom szakmai közéletében is igen aktívan vett részt, mint meteorológiai társasági tag, 1980 és 1990 között, mint elnök. A Társaság és a meteorológus szakma érdekében kifejtett munkáját, iránta érzett megbecsülését a Társaság 2003-ban tiszteletbeli elnökké való megválasztásával fejezte ki.

1927. szeptember 28-án született Békés nagyközségben. A Debreceni Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karán szerzett földrajz-biológia szakos tanári diplomát 1950-ben. Egyetemi hallgatóként demonstrátor a közben megalakult Természettudományi Kar Meteorológiai Tanszékén. Diplomája megszerzése után gyakornok, majd tanársegéd, s 1952–1955 között a Tudományos Minősítő Bizottság döntése alapján meteorológus aspiráns. Kandidátusi értekezését *Az őszi rozs termesztésének függése az időjárástól és az éghajlattól* címmel 1956-ban védte meg. Az egyetemen először tudományos munkatársi beosztásban oktatott. 1960-tól immár a Debreceni Mezőgazdasági Akadémián, a későbbi Debreceni Agrártudományi Főiskolán, majd Egyetemen docensként tanította az agrometeorológiát. 1958-ban és 1966-ban doktori szigorlatot tett. Oktatói munkáját nyugdíjazásáig és azon túl is folytatta. Egyetemi tanárnak, professzornak 1972-ben nevezték ki. Oktatói és kutatói munkája elsősorban a *mezőgazdasági vízgazdálkodás* kérdésköréhez kapcsolódik. Együttműködött a Wageningeni Egyetem Vízgazdálkodási Kutatóintézetével a különböző talajok párolgásának meghatározása területén. Egész pályafutása alatt mindig arra törekedett, hogy a legújabb, legfrissebb dolgokat építse be oktatói és kutatói tevékenységébe. Elsők között foglalkozott a távérzékelés agrometeorológiai hasznosításának lehetőségeivel. A távérzékelés területén nemzetközi együttműködés keretében is végezte kutatásait, az MTA Interkozmosz Űrkutatási Programban A vízgazdálkodási kérdések vizsgálatakor nemcsak a nagytérségi, átfogó, s inkább statisztikai módszerek kötötték le figyelmét, hanem elmélyülten tanulmányozta a talajközeli légrétegben végbemenő átviteli, párolgási folyamatokat. Élete végéig kutatói szenvedélye volt a talajközeli turbulencia viszonyainak mérése, a mért adatok feldolgozása, értékelése. Erről a kérdésről óráig el lehetett beszélgetni vele. Hasonlóan szenvedélyesen foglalkozott a talajközeli légréteg légköri viszonyait mérő műszerekkel. A több, mint hatvan éves kismacsi agrometeorológiai állomás, amelynek hosszú időn keresztül gazdája és felügyelője volt, mindig a lehető legmodernebb meteorológiai műszerekkel volt felszerelve. Itt folytak és ma is folynak olyan anyag- és energiaáramlás mérések, adatainak feldolgozásából mindig kivette részét. Oktatóként 5 egyetemi jegyzetet és 4 tan-, illetve kézikönyvet írt, melyeknek egy részét a szomszédos országok agrár-felsőoktatásában is használták. Legismertebb tankönyve az 1997-ben megjelent *Meteorológia mezőgazdáknak, kertészeknek, erdészeknek*. A könyv 1997-ben a Magyar Meteorológiai Társaság *Szakirodalmi Nívódíját*, 1998-ban az Oktatási Minisztérium és a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Intézményközi Tankönyvkiadási Szakértői Bizottsága *Nívódíját* is elnyerte. Oktatási tevékenysége mellett széles körű közéleti, vezetői tevékenységet is folytatott. 1970–1980 között tudományos dékánhelyettesként irányította a műszaki-tudományos fejlesztéseket, melyek segítségével az egyetem felzárkózott egyes szakirányokban a nemzetközi élvonalba. 1983–1989 között rektorként az egyetem fejlesztését helyezte előtérbe, többek között a Kémiai Kutatóközpontot. Az 1980-as évek közepétől kezdeményezője, majd támogatója volt a Debreceni Egyetem újjászervezésének, majd több éven át tagja, egy éven át pedig elnöke volt a Debreceni Universitas Szövetségnek. 2000-ben lett az MTA doktora, *A szántóföldi növényállományok szerepe a felszín-légkör kölcsönhatásának alakulásában* című értekezéssel. Több mint 40 éven át folyamatosan részt vett az MTA különböző tudományos bizottságaiban, illetve látott el időszakos megbízások alapján vezetői teendőket. Egyetemi és akadémiai munkája mellett a Magyar Meteorológiai Társaságban is tevékenykedett. A Társaság a meteorológiai szakma érdekében végzett munkáját 1978-ban Steiner Lajos emlékéremmel 1974-ben, 1988-ban és 1998-ban Szakirodalmi Nívódíjjal ismerte el. Számos kitüntetés birtokosa (díszdoktor, prof. emeritus, Munka Érdemrend bronz- és aranyfokozata, Oktatásügy Kiváló Dolgozója, Magyar Köztársasági Érdemrend Tiszti Keresztje, Eötvös Loránd Díj, Nemzetközi Űrkutatási Emlékérem, Scheinzl Guido Díj, Pázmány Péter Emlékérem, Hatvani István Díj, Pro Universitate díj). Tudományos közleményeinek száma 144*.

Tisztelt Professzor Úr, kedves Tiszteletbeli Elnökünk, Gábor Bátyánk,
búcsúzunk, nyugodj békében, emlékedet tisztelettel és szeretettel megőrizzük!

*Szász Gábor publikációs listája és rövid szakmai életrajza a 126–128. oldalakon olvasható.

LÉGKÖR

64. évfolyam
2019. 3. szám

Felelős szerkesztő:

Dunkel Zoltán

a szerkesztőbizottság elnöke

Szerkesztőbizottság:

Barcza Zoltán Budapest

Bartholy Judit Budapest

Bíróné Kircsi Andrea Budapest

Bihari Zita Budapest

Gál Tamás Szeged

Haszpra László Budapest

Hunkár Márta Keszthely

Kolláth Kornél Budapest

Lakatos Mónika Budapest

Molnár Ágnes Veszprém

Péliné Németh Csilla Budapest

Sarkadi Noémi Pécs

Sáhó Ágnes Göd

Somfalvi-Tóth Katalin Kaposvár

Szépszó Gabriella Budapest

Szintai Balázs Budapest

Tóth Róbert főszerkesztő-helyettes

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:

Dr. Radics Kornélia

az OMSZ elnöke

Készült:

Premier Nyomda

Budapest

700 példányban

Felelős vezető:

Király Attila

Évi előfizetési díja:

3000.- Ft

Megrendelhető az OMSZ

Gazdálkodási Osztályán

1525 Budapest Pf. 38.

E-mail: legkor@met.hu

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT
ÉS A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

CÍMLAPON:

Szalai Attila: Holdhalo	89
Elhunyt Szász Gábor	90
Sáhó Ágnes: Varga Miklós 1933–2019	92
Szerzőink figyelmébe	92

TANULMÁNYOK

Varga Zoltán: Mosonmagyaróvári hosszú agrometeorológiai kísérletsorozat tapasztalatai	93
Torma Csaba Zsolt és Dezső Zsuzsanna: Európai példák inverziós helyzetre: 2015. december	100
Mikes Márk Zoltán: A Nyírség és a Felső-Tisza Vidék éghajlati elemzése	105
Kolláth Kornél, Szini Hajnalka és Tóth Zoltán: Füstréteg a sztratoszférában Brit Kolumbiából	109
Hadnagy István és Tar Károly: Szélirányok energetikai paramétereinek területi eltérése Kárpátalján	115
Hágen András: Paleoklíma és a Föld térfogatnövekedése	123

KRÓNIKA

Prof. dr. dr. hc. Szász Gábor professzor publikációs listája	126
Kolláth Kornél és Tóth Zoltán: Kislexikon	129
Bíróné Kircsi Andrea: 2019 nyarának időjárása	130

LIST OF CONTENTS

COVER PAGE:

Attila Szalai: Moonhalo	89
Gábor Szász passed away	90
Ágnes Sáhó: Miklós Varga 1933–2019	92
Instructions to authors of LÉGKÖR	92

STUDIES

Zoltán Varga: Experiences of a Long Series of Agrometeorological Experiments in Mosonmagyaróvár	93
Csaba Zsolt Torma és Zsuzsanna Dezső: European Examples for Inversion: December 2015	100
Márk Zoltán Mikes: Climate Analysis of Nyírség and Upper-Tisza Region	105
Kornél Kolláth, Hajnalka Szini and Zoltán Tóth: Smoke Layer in the Stratosphere from British Columbia	109
István Hadnagy and Károly Tar: Territorial Differences of Energetic Parameters of the Wind Directions in Transcarpathia	115
András Hágen: Paleoclimate and Earth's Volumetric Growth	123

CHRONICLE

Publication list of Prof. dr. dr. hc. Gábor Szász	126
Kornél Kolláth and Zoltán Tóth: Pocket Encyclopedia	129
Andrea Biróné-Kircsi: Weather of Summer of 2019	130

VARGA MIKLÓS

Pécs, 1933. július 13. – Budapest, 2019. július 11.

Sáhó Ágnes

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest Kitaibel Pál utca 1., saho.a@met.hu



Varga Miklós az ELTE TTK meteorológus szakán szerzett diplomát 1956-ban, meteorológusként azonban csak 1958-ban tudott elhelyezkedni, az akkor induló Nemzetközi Geofizikai Év keretében történt létszámbővítéskor. 1958. január 1-én lett az Országos Meteorológiai Intézet Biometeorológiai Osztályának munkatársa. Az akkor zajló Balaton-kutatásban aktív szerepe volt. 1958. szeptember 1-től a Rádiószondázó Osztályra helyezték át, ahol egészen 1990-es korengedményes nyugdíjazásáig dolgozott. 1974-ban vette át az osztály vezetését. Osztályát eredményesen vezette át a különböző rádiószonda-típus váltásokon, először a régi típusú VAISALA szondáról a szovjet gyártmányú A-22-es szondára, majd arról az új automata VAISALA rádiószondára történő átálláson keresztül. Jelentős szerepe volt a második magyar-, a szegedi-rádiószonda állomás létrehozásában és megszervezésében is. Aktív éveiben, s később is gyakran publikált a LÉGKÖR című folyóiratban. A különböző típusú rádiószondák megőrzésével, gyűjtésével, a műszerek rendszerezésével nagyban hozzájárult a Meteorológiai Szakgyűjtemény, a „Múzeum” újjászervezéséhez, a muzeális magaslégköri műszerek nemzetközi összehasonlításban is gazdag bemutatásához. Nyugdíjas éveiben is rendszeresen bejárt az intézetbe, szíven viselte a Meteorológiai Gyűjtemény gondozását, a múzeumi anyagok karbantartását.

Időről időre találkozhattunk vele az intézmény folyosóján, mindig érdekelte az intézmény élete. Szakmai előadásokra, rendezvényekre is szívesen belátogatott, aktív tagja volt a Meteorológiai Társaságnak. Szinte haláláig tartotta a kapcsolatot munkatársaival, akiknek átadta a régi időkben szerzett ismereteit. Kedves és figyelmes személyisége erősítette mindenkiben a szakma szeretetét. Számon tartotta régi kollégáit, figyelemmel kísérte, kivel mi történik, s ha tudott, mindig segített. 2003-ban a Szolgálatot felügyelő miniszter Pro Meteorológia kitüntetéssel jutalmazta munkásságát.

Kedves Miklós! Szomorú szívvel búcsúzunk Tőled, és szeretettel őrizzük emlékedet.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

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

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzőkkel nem közöljük. Közlésre szánt anyagokat kizárólag elektronikus formában fogadunk el. Az anyagokat a legkor@met.hu címre kérjük beküldeni Word-fájlban. A beküldött szöveg ne tartalmazzon semmiféle speciális formázást. Amennyiben a közlésre szánt szöveghez ábra is tartozik, azokat egyenként kérjük beküldeni, lehetőleg vektoros formában. Az ideális méret 2 MB. Külön Word-fájlban kérjük megadni az 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 fogadunk PDF-fájlt is, de csak PDF-fájllal nem foglalkozunk.

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

MOSONMAGYARÓVÁRI HOSSZÚ AGROMETEOROLÓGIAI KÍSÉRLETSOROZAT TAPASZTALATAI

EXPERIENCES OF A LONG SERIES OF AGROMETEOROLOGICAL EXPERIMENTS IN MOSONMAGYARÓVÁR

Varga Zoltán

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Víz- és Környezettudományi Tanszék,
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2., varga.zoltan@sze.hu

Összefoglalás. A fenológia – a Nemzetközi Biológiai Program (International Biological Program – IBP) keretében megalkotott, általánosan használt definíciója szerint – az ismétlődő biológiai események időbeli alakulásának, az azok időbeliségét okozó biotikus és abiotikus kényszerek törvényszerűségeinek és az azonos vagy eltérő fajok fázisai közötti összefüggéseknek a tanulmányozása (Lieth 1974). Ez a meghatározás jól indokolja az agrometeorológiai vizsgálatok fontosságát és aktualitását, valamint érzékelteti a Mosonmagyaróváron 1997-ben megkezdett agrometeorológiai kísérletsorozat eredményeinek lehetséges felhasználási területeit. E cikkben elemezzük a kukorica bázishőmérsékletét, s bemutatjuk a fenológiai és meteorológiai jellemzők időbeli változékonyságát, valamint a meteorológiai viszonyok és a növény fejlődése, növekedése, valamint produktivitása közötti kapcsolatra vonatkozó eddigi eredményeinket a két, hazánkban általánosan termesztett (középkorai és középérésű) kukorica hibrid esetén. Végezetül felvázoljuk a tervezett további főbb kutatási irányvonalainkat is.

Abstract. The International Biological Program (IBP) defined phenology as the study of the timing of recurrent biological events, the causes of their timing with regard to biotic and abiotic forces, and the interrelation among phases of the same or different species (Lieth 1974). This definition justifies the importance and the relevance of agrometeorological studies, as well as the possible uses of our results of the agrometeorological experiments started in Mosonmagyaróvár in 1997. This article analyzes the base temperature of maize and presents our findings about the temporal variability of the phenological and meteorological characteristics as well as the results of the relationship between meteorological conditions and the development, growth and productivity of the two generally cultivated (mid-early and middle maturing group) maize hybrids. Finally our further major research orientations are outlined.

Bevezetés. A párhuzamos meteorológiai és fenológiai adatgyűjtés fontossága a XX. század eleje óta ismert, amikor Brounov az agrometeorológia alapelveként definiálta ennek szükségességét a kvantitatív vizsgálatok megalapozásához (Varga-Haszonits és Varga 2006). Miközben az ilyen jellegű kutatások jelentősége és felhasználhatósága folyamatosan növekedni látszik, igazán hosszú, a pár évet meghaladó tartamú agrometeorológiai kísérletsorozatokkal csak ritkán lehet találkozni a szakirodalomban. A hosszú, párhuzamos meteorológiai és fenológiai adatsorok iránti fokozódó igényt egyfelől indokolja az éghajlatingadozás különböző formáinak, a napjainkban egyértelműen az érdeklődés középpontjába került éghajlatváltozás alakulásának és hatásainak tanulmányozása (Aono and Kazui 2008), valamint a kissé háttérbe szorult, de legalább ugyanilyen fontos éghajlati változékonysággal kapcsolatos elemzések. Másfelől az egyre nagyobb teret nyerő, s mind kidolgozottabb mezőgazdasági döntéstámogató rendszerek által igényelt, kvantifikált alapokon nyugvó információ előállítására szempontjából is szükségesek a hosszú agrometeorológiai kísérletsorozatok.

Rosenzweig et al. (2007) úgy fogalmaztak, hogy a fenológia talán a legegyszerűbb folyamat, melynek tanulmányozásával a fajok éghajlatváltozásra adott reakciói vizsgálhatóvá válnak. Figyelembe véve ezt, továbbá a fenológia több évszázados történetét, s az ilyen jellegű ko-

rábbi, szerteágazó nemzetközi és hazai kutatási előzményeket, melyeket Varga-Haszonits és Varga (2001), valamint Hunkár et al. (2011) foglaltak össze jól áttekinthetően, meglepőnek tűnhet e terület jelenlegi alulreprezentált állapota. Szintén szót érdemel, hogy a rendelkezésre álló, az éghajlati rendszer változásának hatásait elemző hosszabb adatsorokat felhasználó fenológiai vizsgálatok általában vadon termő növényekre irányulnak, s az irodalomban lényegesen ritkábban lehet gazdasági növényekre fókuszáló, ilyen jellegű kutatásokkal találkozni, miközben azokra legalább ugyanakkora szükség lenne a fent említettek tényeknek megfelelően. Ilyen megfontolásból állíthatjuk, hogy hiánypótló jellegűek a Mosonmagyaróváron 1997-ben megkezdett és jelenleg is folyó, kukoricára irányuló agrometeorológiai vizsgálataink.

A kukorica tesztnövényként való használata több szempontból is indokoltnak látszott. Kiemelkedő nemzetközi és hazai termesztési jelentősége éppúgy indokolja ezt, mint a fajon belüli alakgazdagsága (a nagyon különböző éréscsoportok megléte) és nagyfokú alkalmazkodóképessége. Az eredetileg trópusi területekről származó növény termesztési területe már jó ideje a mérsékelt éghajlatú területekre koncentrálódik, s az ezt megalapozó jelentős bázishőmérséklet csökkenés, amely a növény nagyfokú genetikai formálhatóságának bizonyítéka, napjainkban sem állt meg. A pár évtizeddel ezelőtti irodalmak még ál-

talánosan 10–12 Celsius fokos fejlődési minimum hőmérsékletet, azaz bázishőmérsékletet tekintettek a kukoricára érvényesnek (Menyhért 1985). Napjainkban már nem ritkák a 8 fokos értékek sem (Jones et al. 2003, Bocchiola et al. 2013), sőt, esetenként előfordulnak 6 Celsius fokos bázishőmérséklettel kalkuláló irodalmak is (Holzkämper et al. 2015).

Vizsgálataink motivációjaként még azt is érdemes megemlíteni, hogy szerettük volna ütköztetni az általában használatos, naptári időszakokra (hónapokra, évre) koncentráló és a mezőgazdaságilag releváns, a növények természetes fenológiai szakaszait alapul vevő szemléletet.

Módszerek és adatok. A Varga-Haszonits Zoltán professzor által létrehozott és irányított mosonmagyaróvári Agroklimatológiai Kutatócsoport tevékenysége keretében elindított szántóföldi kísérletsorozatunk helyszínéül a jelenlegi Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karának mosonmagyaróvári növénytermesztési kísérleti telepét választottuk. A hazánkban termesztett kukorica hibridválaszték általában több mint 80%-ban a középkorai- (FAO 300-399) és a középérésű (FAO 400-499) éréscsoportokból kerül ki, ezért a vizsgálatba bevont növényállományokat is ezekből választottuk. A párhuzamosan használt meteorológiai adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat és a mosonmagyaróvári kar által közösen üzemeltetett hivatalos meteorológiai állomás mérte. A kukorica állományok évről-évre a meteorológiai adatgyűjtés pár km²-es körzetében voltak megtalálhatók, s az ilyenkor megkövetelt reprezentativitás biztosított volt. Ezzel együtt 2002-től kezdődően a további vizsgálati évek többségében egy az állományba telepített meteorológiai műszeregyüttes segítségével a mikroklíma alakulására vonatkozó adatgyűjtési programot is megvalósítottunk annak érdekében, hogy teljesebb képünk legyen a növényekre hatást gyakorló légköri viszonyok alakulásáról.

A párhuzamos fenológiai és meteorológiai adatgyűjtés az 1997–2013-as időszakban folyt. A középkorai éréscsoport esetén egy évvel később indultak a vizsgálatok. Pár éves kényszerű szünet után 2017-től kibővítve, a kutatásban az 500-as FAO számú éréscsoportot is bevonva és teljes fajtasorokat használva, újrakezdtük az ilyen jellegű adatgyűjtést, de ennek eredményeit terjedelmi okokból most nem közöljük.

A kukoricatermesztést jellemző rendkívül gyors fajtaro-táció miatt nem tudtuk hosszabb ideig ugyanazokat a hibrideket használni kísérleteink során, de az fontos szempont volt a tesztalanyok megválasztásánál, hogy az egymást váltó hibridek érésideje (ún. FAO száma) ne térjen el lényegesen. A mezőgazdasági kultúrnövények fenológiai vizsgálatakor ugyanis fontos annak tisztázása, hogy a fajták közötti különbségek mekkora szerepet játszanak a fenológiai jelenségek eltérő időpontjaiban. Ha ezek a különbségek nagyok, akkor az egyes fajtákat külön kell vizsgálni; ha viszont nem jelentősek az eltérések, akkor ettől eltekinthetünk, s általánosságban az adott faj (vagy

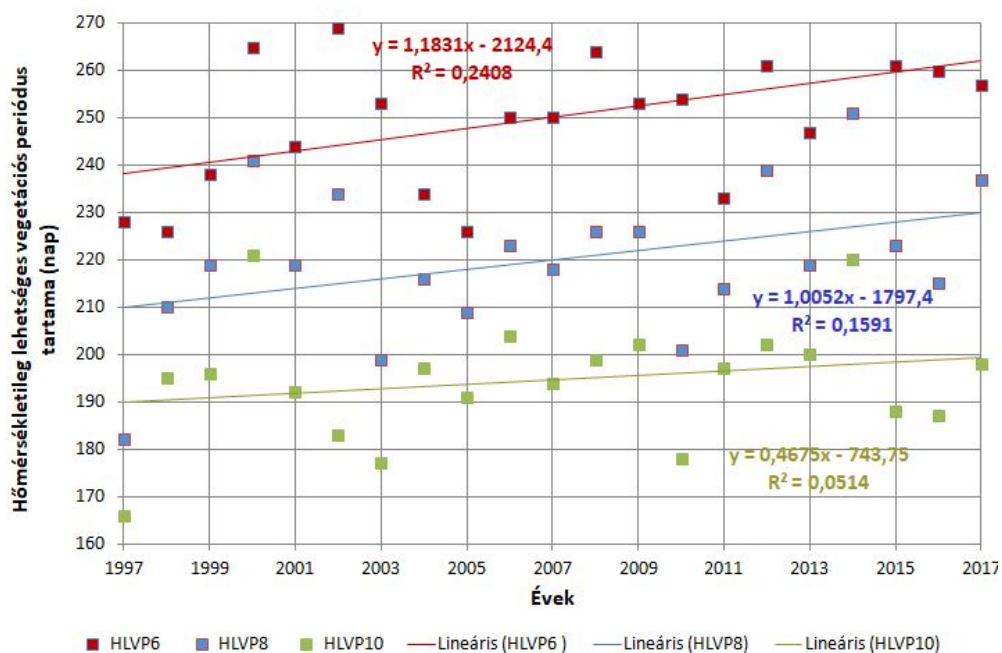
esetünkben éréscsoport) fenológiai eseményeiről beszélhetünk (Szakály 1963, Szakály 1972). A hibridek megválasztásával ez utóbbira törekedtünk. Az általunk alkalmazott hibridek az alábbiak voltak a most elemzett kísérleti időszakban. Középkorai érésűek (FAO 300-as éréscsoport): 1998–2004: Asgrow 043, 2005: Cisco, 2006–2011: LG-3362, 2012–2013: LG-3350; középérésűek (FAO 400-as éréscsoport): 1997–1999: Mv-444, 2000: Dekalb545, 2001–2004: Dekalb471, 2005: Oc-citan, 2006–2013: LG-3475.

Az általunk gyűjtött fenológiai adatok a következők voltak: a fenológiai jelenségek bekövetkezési időpontja, a fontosabb fejlődési szakaszok hossza, az adott szakaszokra jellemző átlagos napi fejlődési ütem, a dekádonkénti növénynövekedési paraméterek (az állomány magassága, levélfelület, szárazanyag gyarapodás), az állomány produktivitását (annak mennyiségét és minőségét) számszerűsítő jellemzők.

A kukorica vegetációs periódusát a kezdeti fejlődés (a vetéstől a kelésig terjedő időintervallum), a vegetatív fejlődés (a keléstől a címerhányásig terjedő periódus) és a generatív fejlődés (a címerhányástól az érésig terjedő periódus) időszakára felosztva végeztük az adatgyűjtést és az adatok elemzését, melyeknek – terjedelmi okokból – ezúttal csak egy rendkívül tömör összegzésére van lehetőségünk. Említést érdemel, hogy ismeretesek a kukorica vegetációs periódusának az itt használnál lényegesen részletesebb felosztásai is (Zadoks skála – Zadoks et al. 1974, BBCH-skála – Weber und Bleiholder 1990, Lancashire et al. 1991), de esetünkben – mint ahogyan az ilyen jellegű vizsgálatok esetében általában – nem látszott indokoltnak azok használata.

A fenológiai adatokhoz a következő mért és számított meteorológiai értékeket társítottuk: átlagos léghőmérséklet, kalkulált (pozitív, aktív és effektív) hőmérsékleti összegek, napi minimumhőmérsékletek átlaga, napi maximumhőmérsékletek átlaga, átlagos talajhőmérséklet 5, 10, 20, 50 és 100 cm-es mélységben, napfénytartam összeg, átlagos relatív nedvesség, csapadékösszeg, átlagos szélesség. A globálsugárzás mért értéke nem állt rendelkezésre a teljes vizsgálati időszakra, ezért a feldolgozásunkban azt nem használtuk. Kiegészítő jelleggel a tenyészidőszak folyamán dekádonként gravimetriás talajnedvesség meghatározást végeztünk, így adatbázisunk a 0–20, 20–40, 40–60 és 60–80 cm-es rétegek talajnedvességi értékeit is tartalmazza. Jelen elemzéseink az állományban mért értékek közül csak az utóbbiakra terjednek ki; a többi meteorológiai elem a hivatalos meteorológiai állomásról származik.

Az adatok gyűjtését, ellenőrzését és rendezését követően egyszerű matematikai statisztikai módszerekkel (trendszámítás, lineáris egyváltozós összefüggésvizsgálat) elemeztük a kukorica fenológiai viszonyainak változékonyságát, illetve az egyes fenológiai szakaszokat jellemző meteorológiai viszonyok időbeli alakulását jellemző alapvető törvényszerűségeket, valamint a kukorica fejlődésére, növekedésére és produktivitására gyakorolt meteorológiai hatásokat.



1. ábra. A kukorica különböző bázishőmérsékleteinek hatása a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs periódus hosszára Mosonmagyaróváron (1997–2017)

Eredmények. Vizsgálataink három nagy csoportba sorolhatók, s ezek eredményeit az alábbiakban összegezzük.

A kukorica bázishőmérsékletére vonatkozó vizsgálatok eredményei. Mint említettük, az irodalomban ellentmondásos közlésekkel lehet találkozni a kukorica bázishőmérsékletével kapcsolatban; egyaránt előfordulnak 6, 8. illetve 10 Celsius fokos fejlődési minimumhőmérséklettel kalkuláló cikkek. Első lépésben azt vizsgáltuk, hogy ezek a különböző értékek milyen hatással vannak a nö-

zishőmérsékletre alapozva számításainkat, még 20%-kal jelentősebb változást tapasztaltunk.

Azt is vizsgálat tárgyává tettük, hogy kísérleti eredményeink alapján mennyire tekinthetők reálisnak az irodalomban megjelenő alacsonyabb kukorica bázishőmérséklet értékek térségünkben. Tettük ezt oly módon, hogy előbb meghatároztuk a két éréscsoport egyes fejlődési szakaszaira és a tenyészidőszak egészére 1997–2013 között átlagosan jellemző pozitív hőmérsékleti összeg, a 6, 8 és 10 Celsius fokos aktív hőmérsékleti összegek, vala-

vény számára potenciálisan rendelkezésre álló hőmérsékletileg meghatározott időszak, azaz a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs periódus hosszára. Az ebben az esetben egészen 2017-ig kiterjesztett vizsgálat eredménye alapján készített 1. ábra szemlélteti, hogy 10 Celsius fokos küszöbhőmérsékletet feltételezve kb. két évtized alatt kétevenként nagyjából 1 nappal hosszabbodott a kukorica fejlődéséhez potenciálisan rendelkezésre álló időszak hossza. 8 Celsius fokos bázishőmérséklet esetén a változás kétszer olyan gyorsnak bizonyult, azaz évente 1 nappal hosszabbodott meg a hőmérsékletileg lehetséges vegetációs periódus a melegedési trend hatására, míg 6 Celsius fokos bázishőmérsékletre alapozva számításainkat, még 20%-kal jelentősebb változást tapasztaltunk.

1. táblázat: A hőmérsékleti összegek hatása a kukorica fejlődésére Mosonmagyaróváron (1997/98–2013)

FAO 300-as éréscsoport	fázisstartam			fejlődési ütem		
	vetés- kelés	kelés- címerhányás	címerhányás- érés	vetés- kelés	kelés- címerhányás	címerhányás- érés
pozitív hőmérsékleti összeg	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
aktív hőmérsékleti összeg - 6 fok	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
aktív hőmérsékleti összeg - 8 fok	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
aktív hőmérsékleti összeg - 10 fok	1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	1%
effektív hőmérsékleti összeg - 6 fok	2%	1%	1%	1%	1%	1%
effektív hőmérsékleti összeg - 8 fok	NS	5%	5%	5%	5%	2%
effektív hőmérsékleti összeg - 10 fok	NS	NS	NS	NS	NS	NS
FAO 400-as éréscsoport	fázisstartam			fejlődési ütem		
	vetés- kelés	kelés- címerhányás	címerhányás- érés	vetés- kelés	kelés- címerhányás	címerhányás- érés
pozitív hőmérsékleti összeg	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
aktív hőmérsékleti összeg - 6 fok	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
aktív hőmérsékleti összeg - 8 fok	0,1%	0,1%	1%	0,1%	0,1%	0,1%
aktív hőmérsékleti összeg - 10 fok	0,1%	0,1%	1%	0,1%	0,1%	1%
effektív hőmérsékleti összeg - 6 fok	1%	1%	5%	0,1%	1%	5%
effektív hőmérsékleti összeg - 8 fok	5%	2%	NS	2%	2%	NS
effektív hőmérsékleti összeg - 10 fok	NS	NS	NS	NS	NS	NS

2. táblázat: Szignifikáns időbeli változást mutató fenológiai és meteorológiai jellemzők Mosonmagyaróváron 1997/1998–2013 között

Éréscsoport	Fenofázis	Vizsgált elem	Szignifikancia
FAO300	vetés-kelés	10 cm-es talajhőmérséklet	gyenge
FAO300	vetés-kelés	20 cm-es talajhőmérséklet	gyenge
FAO300	vetés-kelés	50 cm-es talajhőmérséklet	erős
FAO300	vetés-kelés	100 cm-es talajhőmérséklet	gyenge
FAO300	vetés-kelés	0–20 cm-es talajnedvesség	erős
FAO300	vetés-kelés	20–40 cm-es talajnedvesség	erős
FAO300	kelés-címerhányás	csapadékösszeg	erős
FAO300	kelés-címerhányás	50 cm-es talajhőmérséklet	gyenge
FAO300	kelés-címerhányás	0–20 cm-es talajnedvesség	erős
FAO300	kelés-címerhányás	20–40 cm-es talajnedvesség	erős
FAO300	címerhányás-érés	0–20 cm-es talajnedvesség	gyenge
FAO400	vetés-kelés	10 cm-es talajhőmérséklet	gyenge
FAO400	vetés-kelés	20 cm-es talajhőmérséklet	gyenge
FAO400	vetés-kelés	50 cm-es talajhőmérséklet	gyenge
FAO400	vetés-kelés	0–20 cm-es talajnedvesség	erős
FAO400	vetés-kelés	20–40 cm-es talajnedvesség	gyenge
FAO400	kelés-címerhányás	0–20 cm-es talajnedvesség	erős
FAO400	kelés-címerhányás	20–40 cm-es talajnedvesség	erős
FAO400	címerhányás-érés	0–20 cm-es talajnedvesség	gyenge
FAO400	címerhányás-érés	20–40 cm-es talajnedvesség	gyenge
Éréscsoport	Fenológiai jelenség		Szignifikancia
FAO400	vetés időpontja		gyenge

erős szignifikancia legalább 1%-os szinten szignifikáns

gyenge szignifikancia legalább 10%-os, legfeljebb 2 %-os szinten szignifikáns

mint a 6, 8 és 10 Celsius fokos effektív hőmérsékleti összegek értékeit. A pozitív és aktív hőmérsékleti összegekre kapott értékek bármely változatban csak minimális eltéréseket mutattak – a tenyészidőszak egészére például 2960 és 3003 foknap között változó értékekkel. Ez azt jelzi, hogy még a legmagasabb, 10 Celsius fokos feltételezett bázishőmérséklet alatti hőmérsékletek előfordulása is csak szórványos volt a kukorica tényleges tenyészidőszakában. A kalkulált effektív hőmérsékleti összegek – köszönhetően az eltérő számítási megfontolásoknak – már jelentős különbségeket mutattak. Ezek értéke 1320 és 2024 foknapos tartományban mozgott a tenyészidőszak egészére vonatkozóan.

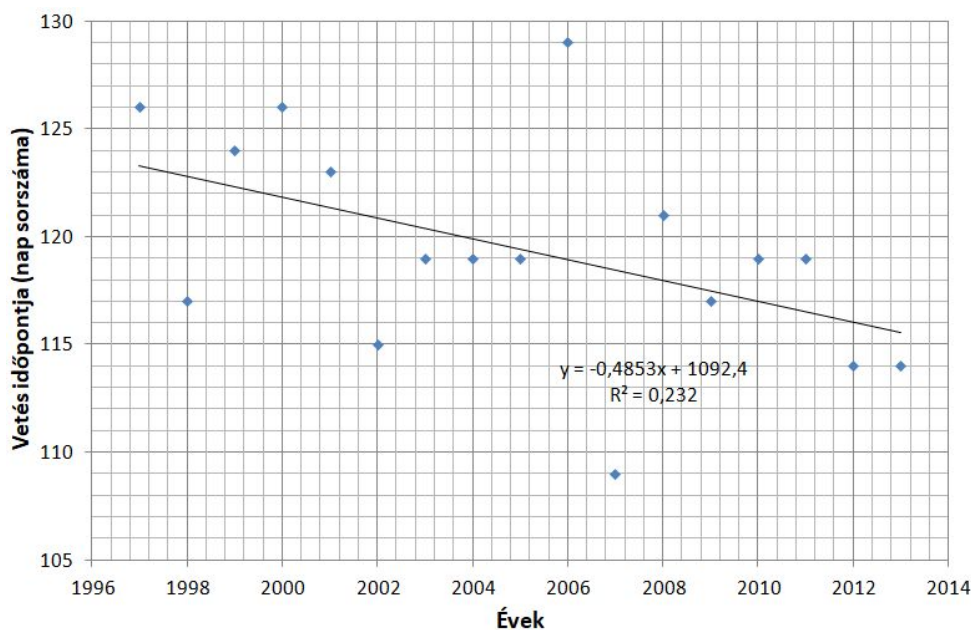
Lineáris egyváltozós összefüggésvizsgálatokkal elemeztük e hőmérsékleti összegek hatását a két éréscsoport fázistartamainak hosszára a fejlődés különböző szakaszaiban, illetve az egyes időszakokat jellemző átlagos fejlődési ütemeire. Ilyen jellegű eredményeinket az 1. táblázat foglalja össze, mely az összefüggésvizsgálatok szignifikanciáját mutatja be. A táblázatból az látható, hogy a pozitív és aktív hőmérsékleti összegek a tenyészidőszak bármely részében erősen meghatározták a két éréscsoport hibridjeinek fejlődését. Ilyen tekintetben nem volt lényeges különbség, hogy melyik bázishőmérsékletet vettük alapul. Az effektív hőmérsékleti összeg viszont sokkal

kevésbé bizonyult alkalmas eszköznek a kukorica fejlődésének nyomon követésére. Az itt tapasztalt nagyobb változások azt mutatják, hogy az alacsonyabb bázishőmérsékletek alapján kalkulált effektív hőmérsékleti összegek szorosabb kapcsolatban állnak a kukorica fejlődésével; a 6 Celsius fokos effektív hőmérséklet mindkét éréscsoportnál az összes fejlődési fázisban erősen szignifikáns összefüggéseket produkált. Ez alapján megkockáztatható az a kijelentés, mely szerint hazánkban sem teljesen megalapozatlan az eddig kevésbé használatos 6 Celsius fokos kukorica bázishőmérséklet.

A fenológiai és meteorológiai elemek időbeli alakulásának elemzésére vonatkozó eredményeink. Vizsgáltuk azt is, hogy a különböző fenológiai tulajdonságok és meteorológiai elemek közül – akár a kibontakozóban lévő éghajlatváltozással összefüggésben – melyek mutatnak egyértelmű eltolódást valamilyen irányban a Mosoni-síkon. Azt tapasztaltuk, hogy az ezredfordulót követő években az globális éghajlati ártrendeződés hatását is tükröző lokális változások – főként a növények fejlődésének kezdeti időszakában – már észlelhetők, de általában még nem jelentősek. A legalább 10%-os szinten szignifikáns módosulást mutató jellemzők összefoglalását a 2. táblázat adja.

Jól látható, hogy a meteorológiai elemek vonatkozásában elsősorban a kezdeti fejlődési időszakban a felszíni (0–40 cm-es) talajnedvességi értékek (általában erősebb szignifikanciával) növekedése és a felszíni (10–50 cm-es) talajhőmérsékletek (általában gyengébb szignifikanciával) csökkenése volt statisztikailag is igazolható, de a felszínközeli talajrétegeket érintő változások a tenyészidőszak egészében megfigyelhetők voltak. Ezek közül a vetés-kelés időszak környezeti ártrendeződése feltehetőleg összefüggésben lehet az egyetlen kimutatható fenológiai változással, a vetés előbbre tolódásának tendenciájával is (2. ábra). A korábban a talajba kerülő magok még hűvösebb és nedvesebb környezetben kezdik meg fejlődésüket, így a léghőmérséklet tendenciaszerűen jelentkező melegedése – ellentmondásos módon – végső soron a kezdeti fejlődés számára hűvösebb feltételeket biztosít. Amint azt láttuk, a kukorica bázishőmérsékletének csökkenésével viszont képes lehet akár ehhez is hatékonyan alkalmazkodni.

A kukorica fejlődésére, növekedésére és produktívására gyakorolt meteorológiai hatások számszerűsítésének eredményei. A következő lépésben lineáris egyváltozós összefüggésvizsgálatokkal kvantitatívan elemeztük a meteorológiai elemeknek a növények fázistartamára, fejlődésére



2. ábra. A középérésű kukorica hibridek vetési időpontjának előbbre tolódása Mosonmagyaróváron (1997–2013)

dési ütemére, a vegetációs periódus alatti átlagos levélfelület indexére (LAI értékére), illetve a terméshozamára gyakorolt befolyását a két kukorica éréscsoport tenyészidőszakának különböző fejlődési szakaszaiban. A területi okokból főként a fejlődéssel kapcsolatos, vonatkozó eredményeinket a 3. táblázat és a 3–4. ábrák szemléltetik, s azok az alábbiakban foglalhatók össze. Azt tapasztaltuk, hogy a meteorológiai elemek alakulása a tenyészidőszak kezdeti szakaszában befolyásolta leginkább a középkorai érésű kukorica fejlődését, míg a tenyészidőszak kezdeti és főként a generatív szakaszában volt nagyobb hatással a középérésű hibridek fejlődésére, viszont a vegetatív szakaszban ezek hatása mindkét éréscsoport esetén gyengébbnek bizonyult. A meteorológiai elemek vonatkozásában főként a hőmérsékleti összeg(ek) és a napfénytartam fejlődést befolyásoló szerepe emelkedett ki – éréscsoporttól függetlenül. A vizsgált higrikus elemek hatása lényegesen gyengébb volt, ezek közül leginkább a felszíni (0–40 cm-es) talajnedvesség befolyása érvényesült a fejlődés kezdetén.

A meteorológiai elemeknek a levélfelület alakulására gyakorolt hatása általában kisebb volt a termésátlagok környezeti befolyásolásánál, s ezek mindegyike elmaradt a fejlődés esetén tapasztalt értékektől. Ebben az is szerepet játszhat, hogy a már idézett, Szakály által a fenológiai adatsorokra megfogalmazott homogenitási kritériumok jobban teljesülnek a kukorica hibridek fejlődési adatsora-ira, mint a növekedést vagy a produktivitást leírókra. Jellemzően a felszínközeli talajnedvességi és –hőmérsékleti viszonyok befolyása volt a legerősebb a levélfelület és a terméshozamok alakulására is. A fenofázisokat tekintve a LAI-ra gyakorolt befolyás szempontjából nem találtunk egyértelműen kiemelkedő jelentőségű időszakot, míg a termésátlagokra leginkább a tenyészidőszak második felének meteorológiai viszonyai hatottak mindkét vizsgált éréscsoport esetén. Kapott eredményeink több vonatkozásban jó egyezésben vannak a szakirodalomban található, más területek kukoricaállományainak fenológiai vi-

szonyaira vonatkozó megállapításával (Tao et al. 2006, Abbas et al. 2017).

További kutatási irányok.

A terjedelmes és folyamatosan bővülő agrometeorológiai adatbázis feldolgozása még számos kutatási irányt tesz lehetővé. Ezek közül az általunk tervezett további vizsgálatokat az alábbiakban összegezzük.

1. Tervezzük a vizsgálatok időbeli kiterjesztését. Az adatsorok hosszának növekedésével még megalapozottabb megállapítások tehetők az itt tárgyalt kérdésekben; arról nem is beszélve, hogy a jelen éghajlatváltozási trendek még

inkább indokolttá teszik az adatgyűjtés és elemzés időbeli korlátainak kitágítását.

- Szintén perspektivikusnak látjuk a kukorica tenyészidőszaka mikroklimatikus viszonyainak részletes vizsgálatát. A most ismertett eredményeink alapjául meteorológiai oldalról szinte kizárólag a hivatalos meteorológiai állomás növényállományon kívül mért adatai szolgáltak. Ugyanakkor az utóbbi években egyre inkább lehetőségünk adódott a kukorica tenyészidőszak mikroklimatikus viszonyait jellemző adatokat is gyűjteni. Bár eddigi elemzéseink alapján jó összefüggést találtunk a makro- és mikroklimát jellemző meteorológiai adatsorok között, hasznosnak látszik a kukorica közvetlen környezetének meteorológiai viszonyai és a növény fejlődése közötti kapcsolatot is számszerűsíteni.
- Távlati terveink között szerepel a meteorológiai viszonyok és a fejlődés, a növekedés, valamint a produktivitás kapcsolatának komplex elemzése is. Erre jó lehetőségeket kínálnak a nemzetközi fenológiai modellek (pl. APSIM-Maize, CERES-Maize, Wang-Engel modell), melyeknek tesztelését és régiókra adaptálását szeretnénk kivitelezni hosszú mérési adatsoraik alapján.

Köszönetnyilvánítás.

A szerző köszönetét fejezi ki az EFOP 3.6.1-16-00017 „Nemzetköziesítés, oktatói, kutatói és hallgatói utánpótlás megteremtése, a tudás és technológiai transzfer fejlesztése, mint az intelligens szakosodás eszközei a Széchenyi István Egyetemen“ projektnek kutatásai támogatásáért.

A szerző továbbá köszönetét fejezi ki Varga-Haszonits Zoltán professzornak, a mosonmagyaróvári Agroklimatológiai Kutatócsoport vezetőjének a támogatásáért.

3. táblázat: A meteorológiai elemek hatása a kukorica fejlődésére Mosonmagyaróváron (1997/98–2013)
(A táblázat az összefüggés-vizsgálatok szignifikanciáját mutatja be.)

FAO 300-as éréscsoport	fázisstartam				fejlődési ütem	
	vetés- kelés	kelés- cimerhányás	cimerhányás- érés	vetés- kelés	kelés- cimerhányás	cimerhányás- érés
5 cm-es talajhőmérséklet	10%	NS	NS	NS	NS	NS
10 cm-es talajhőmérséklet	5%	NS	NS	NS	NS	NS
20 cm-es talajhőmérséklet	NS	NS	NS	NS	NS	NS
50 cm-es talajhőmérséklet	NS	10%	NS	NS	10%	NS
100 cm-es talajhőmérséklet	NS	NS	10%	NS	NS	10%
pozitív hőmérsékleti összeg	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
átlaghőmérséklet	10%	NS	NS	NS	NS	NS
csapadékösszeg	NS	NS	NS	NS	NS	NS
maximumhőmérséklet	10%	NS	NS	NS	NS	NS
minimumhőmérséklet	NS	NS	NS	NS	NS	NS
napfénytartam összeg	1%	10%	5%	0,1%	10%	5%
relatív nedvesség	NS	NS	NS	NS	NS	NS
0–20 cm-es talajnedvesség	NS	NS	NS	10%	NS	NS
20–40 cm-es talajnedvesség	NS	NS	NS	NS	NS	NS
40–60 cm-es talajnedvesség	10%	NS	NS	10%	NS	NS
60–80 cm-es talajnedvesség	NS	NS	NS	NS	NS	NS
FAO 400-as éréscsoport	fázisstartam				fejlődési ütem	
	vetés- kelés	kelés- cimerhányás	cimerhányás- érés	vetés- kelés	kelés- cimerhányás	cimerhányás- érés
5 cm-es talajhőmérséklet	NS	NS	1%	NS	NS	1%
10 cm-es talajhőmérséklet	NS	NS	1%	NS	NS	1%
20 cm-es talajhőmérséklet	NS	NS	1%	NS	NS	1%
50 cm-es talajhőmérséklet	NS	NS	1%	NS	NS	1%
100 cm-es talajhőmérséklet	NS	NS	1%	NS	NS	1%
pozitív hőmérsékleti összeg	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
átlaghőmérséklet	NS	NS	10%	NS	NS	10%
csapadékösszeg	10%	NS	NS	NS	NS	NS
maximumhőmérséklet	NS	NS	NS	NS	NS	NS
minimumhőmérséklet	NS	NS	5%	NS	NS	10%
napfénytartam összeg	0,1%	NS	1%	0,1%	NS	1%
relatív nedvesség	NS	NS	NS	NS	NS	NS
0–20 cm-es talajnedvesség	NS	NS	NS	NS	NS	NS
20–40 cm-es talajnedvesség	5%	NS	NS	1%	NS	NS
40–60 cm-es talajnedvesség	NS	NS	NS	NS	NS	NS
60–80 cm-es talajnedvesség	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Irodalom

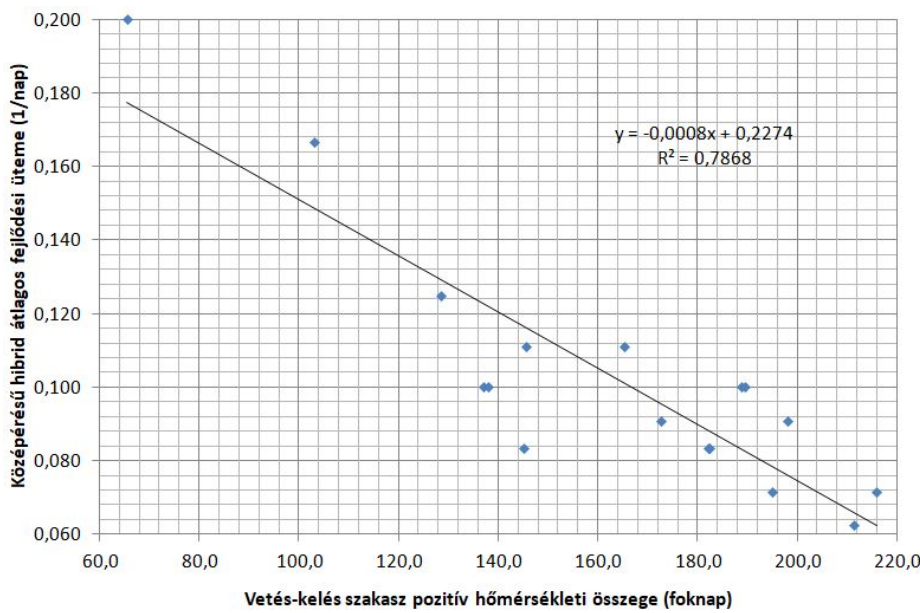
Abbas, G., Ahmad, S., Ahmad, A., Nasim, W., Fatima, Z., Hus-sain, S., Rehman, M.H., Khan, Hasanuzzaman, M., Fahad, S., Boote, K.J. and Hoogenboom, G. 2017: Quantification the impacts of climate change and crop management on phenology of maize-based cropping system in Punjab, Pakistan. *Agric. Forest Meteorol.* 247, 42–55.

Aono, Y. and Kazui, K. 2008: Phenological data series of cherry tree flowering in Kyoto, Japan, and its application to

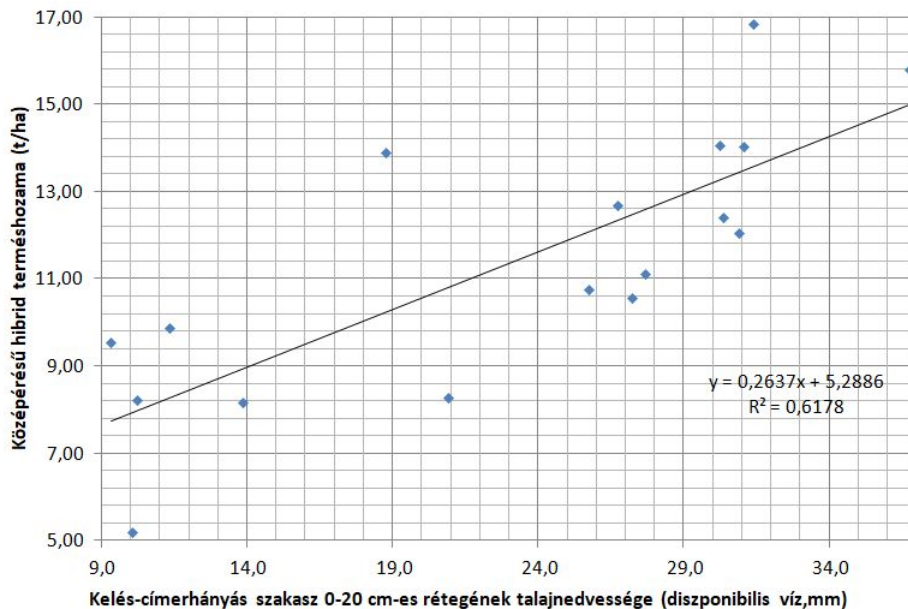
reconstruction of springtime temperatures since the 9th century. *International Journal of Climatology* 28, 905–914.

Bocchiola, D., Nana, E. and Soncini, A. 2013: Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agricultural Water Management.* 116, 50–61.

Holzämper, A., Calanca, P., Honti, M. and Fuhrer, J. 2015: Projecting climate change impacts on grain maize based on three different crop model approaches. *Agricultural and Forest Meteorology.* 214–215, 219–230.



3. ábra: A vetés-kelés szakasz hőmérsékleti összegének hatása a középerésű kukorica hibridek fejlődésére Mosonmagyaróváron (1997-2013)



4. ábra: A kelés-címerhánnyás szakasz felszíni talajnedvességének hatása a középerésű kukorica hibridek produktivitására Mosonmagyaróváron (1997-2013)

Hunkár M., Vincze E., Szenyán I. and Dunkel Z. 2011: A fenológiai megfigyelés szerepe és jelentősége az agrometeorológiai modellezésben és a klímaváltozás kutatásában. Meteorológiai Tudományos Napok. Budapest, 2011. november 24-25. (http://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2011/05_Hunkar.pdf)

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelior, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijssman, A.J., Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.* 18(3-4), 235-265.

Lancashire, P.D., Bleiholder, H., Langeluddecke, P., Stauss, R., van den Boom, T., Weber, E. and Witzen-Berger, A.

1991: A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Ann. Appl. Biol.* 119(3): 561-601.
Lieth, H. 1974. Phenology and Seasonality Modeling. *Springer Verlag*, Berlin.

Menyhért Z. 1985: A kukorica termőhelyigénye. In: *Menyhért Z.* (szerk.): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B. and Tryjanowski, P. 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: *Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. and Hanson, C.E.* (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge UP*, Cambridge, UK, 79-131.

Szakály J. 1963: Hazai őszi búza fajták fenológiai jelenségei. Beszámolók az 1962-ben végzett tudományos kutatásokról. Országos Meteorológiai Intézet, Budapest. 334-348.

Szakály J. 1972: Növényfenológiai vizsgálatok újabb eredményei. Beszámolók az 1969-ben végzett tudományos kutatásokról. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. 413-416.

Tao, F., Yokozawa, M., Xu, Y., Hayashi, Y. and Zhang, Z., 2006: Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000. *Agric. Forest Meteorol.* 138(1-4), 82-92.

Varga-Haszonits Z. és Varga Z. 2001: *Fitometeorológia (A légkör és a növényvilág)*. Oktatási segédanyag, Nyugat-Magyarországi Egyetem. Mosonmagyaróvár.

Varga-Haszonits Z. és Varga Z. 2006: *Agrometeorológia*. Egyetemi jegyzet, Nyugat-Magyarországi Egyetem. Mosonmagyaróvár.

Weber, E. und Bleiholder, H. 1990: Erläuterungen zu den BBCH-Dezimal-Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse - mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen* 42, 308-321.

Zadoks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974: A decimal code for the growth stages of cereals.

Weed Research 14, 415-421.

EURÓPAI PÉLDÁK INVERZIÓS HELYZETRE: 2015. DECEMBER

EUROPEAN EXAMPLES FOR INVERSION: DECEMBER 2015

Torma Csaba Zsolt^{1,2}, Dezső Zsuzsanna¹¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/a és ²Magyar Tudományos Akadémia
tcsabi@caesar.elte.hu, dezsozsuzsi@caesar.elte.hu

Összefoglalás. 2015. év december hónapban Európa-szerte rendkívüli anomáliák mutatkoztak a hőmérsékleti, csapadék valamint légnyomási mérésekben. Jelen munkánkban európai állomási példákra keresztül elemezzük a kialakult inverziós helyzetet, valamint az azt kialakító szinoptikus környezetet. Továbbá rámutatunk a domborzat (tengerszint feletti magasságok közötti különbségekből adódó) időjárást befolyásoló szerepére.

Abstract. Exceptional temperature, precipitation and pressure anomalies were recorded across Europe in December of 2015. In present study, we focus on the inversion situation and assess its forming synoptic conditions based on European station data. In addition, we point out the impact of orography (due to altitude differences) on weather modulation.

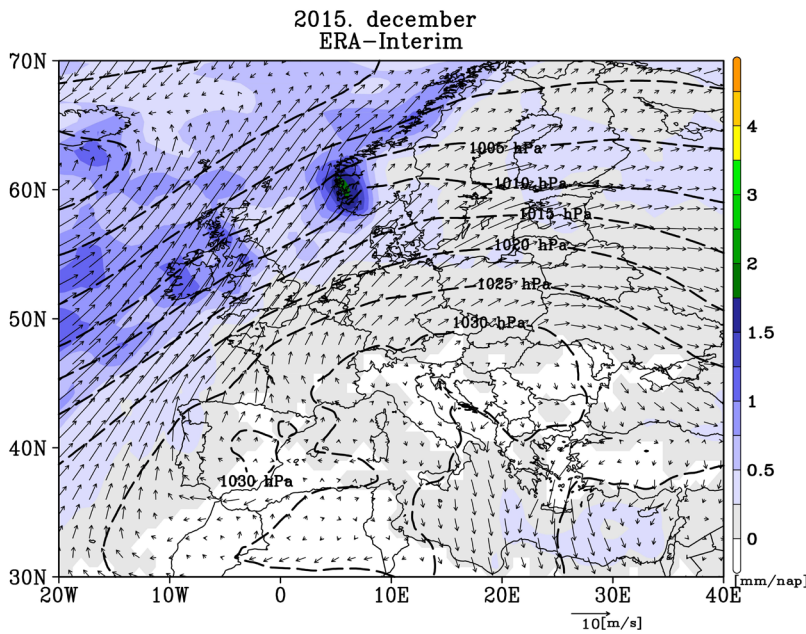
Bevezetés. Európában nagy évenkénti változékonyság tapasztalható a téli csapadékösszegekben (*Reale és Lionello, 2013; Hofstätter et al., 2018*), ami többek között a különböző szinoptikus körülményeknek tulajdonítható (pl. ciklonok). A téli csapadék változékonyságának jellemzésére elég, ha az általunk vizsgált időszak (2015 decembere) gyakorlatilag csapadékmentes időszakára (*Colucci et al., 2017*) és az elmúlt tél (2018/19 tele) Alpok térésségére vonatkozó híreire gondolunk, amelyek többek között a hegység területén lehullott hatalmas hómennyiségről számoltak be. Ezzel kapcsolatban érdekes lehet megjegyezni, hogy az Alpok térségben az intenzív és hosszan tartó havazások többségéért a Van Bebber által definiált Vb ciklonpályán haladó mediterrán ciklonok tehetők felelőssé (*Messmer et al., 2015*).

A különböző nagytérségi, makroszinoptikus helyzetek nagy hatással vannak Európa időjárására. Ilyen például az Észak-atlanti Oszcilláció (North Atlantic Oscillation, NAO), mely az izlandi alacsony nyomású központ és az azori magasnyomással jellemezhető anticiklon központ között tapasztalható nyomáskülönbség ingadozását írja le. A NAO pozitív fázisa esetén az izlandi ciklon az átlagosnál alacsonyabb, az azori anticiklon az átlagosnál magasabb nyomású. Az erős észak-déli irányú nyomási gradiens következtében megerősödnek a zonális szelek, melyek enyhe, nedves légtömegeket szállítanak az európai kontinens északi felére. Az Atlanti-óceán felett gyakrabban alakulnak ki viharciklonok, viszont Dél-Európa felett az átlagosnál szárazabb és hidegebb légtömegek uralkodnak. Ezzel szemben a NAO negatív fázisa esetén az izlandi ciklon leépül, az azori térségben pedig az átlagosnál alacsonyabb a légnyomás. Ilyenkor teret kapnak a meridionális áramlások, szubtrópusi és sarkvidéki légtömegek alakítják Európa időjárását. A sarkvidéki légtömegek déli irányú terjedésének köszönhetően Észak-Európában hidegebbek és szárazabbak a telek, míg a Földközi-tenger térségében nagyobb gyakorisággal alakulnak ki mediterrán ciklonok, így itt az átlagosnál csapadékosabb az időjárás. A Föld északi féltekéjén a téli időszak időjárásának változékonyságáért igen nagymértékben az Észak-atlanti Oszcilláció felelős (*Herceg-Bulić and Kucharski, 2014*).

2015. év decemberének időjárása a hegyvidéki területeken Európa-szerte a sokévi átlagtól igen eltérő képet mutatott. Európában az említett időszakban jellemzően kevés csapadékot, valamint többnyire magas tengerszinti légnyomási értékeket mértek. Az anticiklonális helyzetnek köszönhetően Európa jelentős részén hosszan tartó markáns inverziós helyzet alakult ki, ami azzal járt együtt, hogy szokatlanul magas havi középhőmérsékleti értékeket regisztráltak a magasban fekvő (1000 méterrel a tengerszint felett, illetve annál magasabban fekvő) területeken üzemelő meteorológiai állomásokon. Ezzel szemben, az ennél alacsonyabban (1000 méter) elhelyezkedő állomásokon nem mutatkoztak kiugróan magas, a sokévi átlagtól nagymértékben eltérő havi középhőmérsékleti értékek. E szélcsendes és csapadékban rendkívül szegény időszaknak az Alpok keleti régiójában található gleccserekre kifejtett hatását, valamint lehetséges jövőbeli előfordulását vizsgálta meg Renato Colucci munkatársaival (*Colucci et al., 2017*).

Munkánk során bemutatjuk, hogy a Colucci és munkatársai által feltárt rendkívüli hőmérsékleti, légnyomási és csapadékösszeg megfigyelések nem csupán az említett munkában bemutatott viszonylag kis régió időjárását jellemezték 2015 decemberében, hanem gyakorlatilag az európai kontinens túlnyomó részén hasonló anomáliák fordultak elő.

Adatok, módszerek. Tanulmányunkban a szinoptikus helyzet vizsgálatához felhasznált meteorológiai változók egy részét (szélmező 10 m-es magasságban, tengerszinti légnyomás, csapadék) az ERA-Interim (*Dee et al., 2011*) adatbázisból származtattuk. Az ERA-Interim globális légköri reanalízis adatbázist a Középtávú Időjárás-előrejelzések Európai Központjában (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) állítják elő. Az adatbázis előállításánál során többek között az összetett 4D-var adatasszimilációs eljárást alkalmazzák. A szigorú minőségi ellenőrzést teljesítő adatbázis 1979. évtől kezdődően 80 km horizontális rácsfelbontás mellett 60 nyomási szintre vonatkozóan (a felszíntől egészen a 0,1 hPa nyomási szintig) tartalmaz adatokat napjainkig (a tervek szerint 2019. augusztusával bezáróan, ezt követő-



1. ábra: 2015. december hónap átlagos tengerszinti légnyomása (hPa, szaggatott vonalakkal jelölve), csapadék (mm/nap) és felszínközeli szélirány és szélerősség (m/s) az ERA-Interim reanalízis adatbázis alapján (<http://apps.ecmwf.int/datasets/>)

en az ERA5 veszi át a helyét, Hersbach et al., 2018). A műholdas megfigyeléseket is felhasználó ERA-Interim adatbázist havonta frissítik, két hónapos késleltetéssel. Mindezen tényeket figyelembe véve az ERA ideális adatbázisnak tekinthető az Európában megfigyelt hosszán tartó csapadékmentes, vagy éppen csapadékos időszakok szinoptikai vonatkozású vizsgálataihoz.

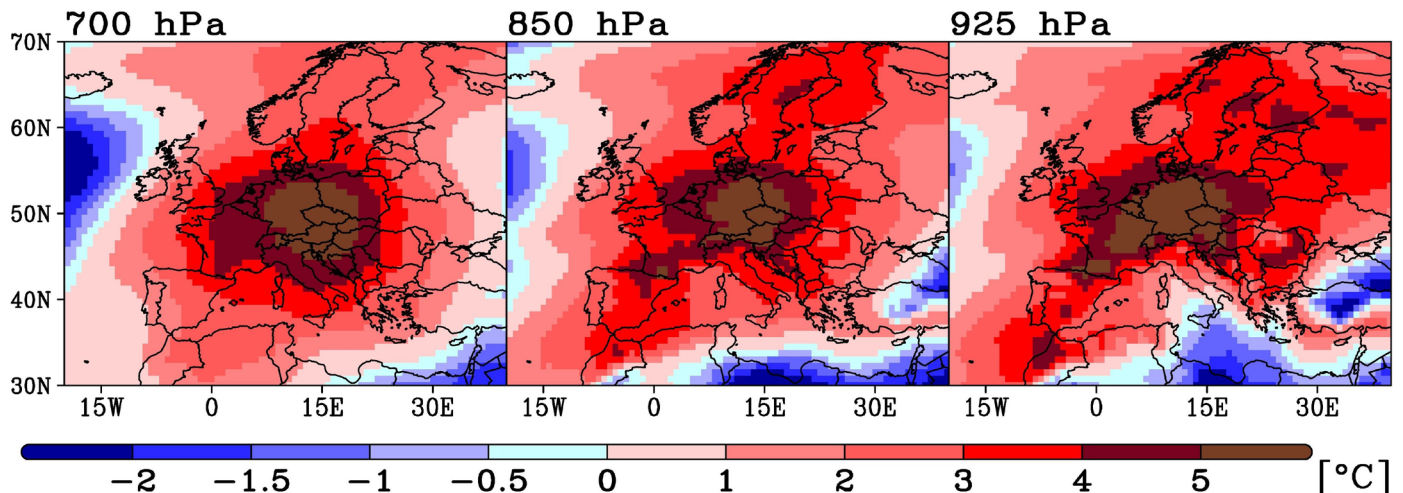
Munkánk során európai meteorológiai állomásokon mért hőmérsékleti adatsorokat is felhasználtunk. Magyarországi mért hőmérsékleti adatsorokat az Országos Meteorológiai Szolgálat bocsátotta rendelkezésünkre Kékestető, illetve Eger állomásokra vonatkozóan (az 1951–2015 időszakot felölelve). A munkánkban szereplő többi állomási adatsorok az amerikai Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal Goddard Űrkutató Intézet (NASA Goddard Institute for space studies) homogenizált adatbázisából származnak (többnyire az 1951–2015 közötti időszakra

vonatkozóan). Az inverziós helyzet további jellemzéséhez felhasznált, Budapestre vonatkozó rádiószondás méréseket a Wyoming Egyetem (University of Wyoming, College of Engineering, Department of Atmospheric Science) publikusan hozzáférhető adatbázisából származtattuk.

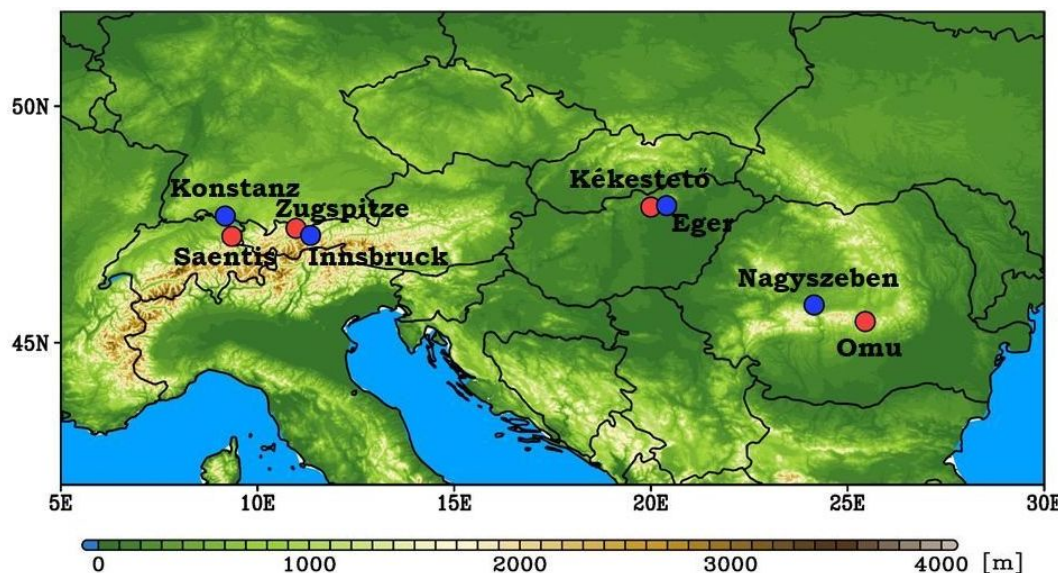
Colucci és munkatársai munkájától eltérően azonban nem egy, hanem négy kiválasztott szűkebb európai régióra vonatkozóan mutatunk be példákat a kialakult inverziós helyzet ismertette, jellemezve. Összesen nyolc állomást választottunk ki az Alpok és a Kárpátok térségéből. Az adatsorok könnyebb összehasonlítása végett a négy hegyvidéki állomás közel azonos földrajzi szélességről került kiválasztásra. Továbbá, minden hegyvidéki állomás közeléből, azzal párba állítva, egy alacsonyabb tengerszint feletti magasságon elhelyezkedő állomást választottunk az inverziós helyzet jellemzésének bemutatásához.

Eredmények. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (www.met.hu) műszeres megfigyelései alapján 2015. december hónap során Magyarország időjárását a szokásosnál jóval melegebb, illetve igen csapadékszegény viszonyok jellemezték. Országosan 2,3 °C-kal volt magasabb a havi középhőmérséklet az 1981-2010-es évek decembereinek átlagértékeihez képest. Ugyanakkor az ország teljes területére vetítve az ilyenkor szokásos csapadékösszeg a sokévi átlag (47 mm) csupán 11,5%-át (5,4 mm) tette ki. A hónap elején egy hullámzó frontál-zónának köszönhetően hullott csapadék Magyarországon. Ezt követően egy anticiklon gátolta a további csapadék kialakulását hazánk felett. Ennek következtében a vizsgált időszakban Magyarország területén a legmagasabb havi csapadékösszeg 22,8 mm (Tiszaújváros), míg a legalacsonyabb 0,2 mm (Homokszentgyörgy) volt.

A továbbiakban ERA-Interim reanalízis adatok segítségével bemutatjuk (1. ábra), hogy milyen szinoptikus viszonyok vezettek az előbb bemutatott hőmérsékleti és



2. ábra: 2015 decemberének havi átlaghőmérsékleti anomáliái (referencia időszak: 1981-2010) a 700, 850 és 925 hPa nyomási szinteken az ERA-Interim reanalízis adatbázis alapján (<http://apps.ecmwf.int/datasets/>)



3. ábra: A vizsgált tartomány domborzata a GTOPO adatbázis alapján, valamint a vizsgált alacsony (kék) és a magas tengerszint feletti magasságú (piros) állomások elhelyezkedése

csapadékmérésekben megmutatkozó rendkívüli értékekhez. Továbbá, európai meteorológiai állomási adatok segítségével megvizsgáljuk, hogy a tengerszint feletti magasság milyen módon befolyásolta 2015. december hónap középhőmérsékleti értékeit, illetve a kialakult inverziós helyzetet.

2015. év decemberének időjárásának jellemzéséhez a 1. ábrán az ERA-Interim adatbázis alapján közlünk havi átlagokat tengerszinti légnyomásra, csapadékra, valamint a 10 méteres magasságban mért szélmezőre. Az 1. ábrán bemutatott értékek alapján, illetve a teljes időszak részletes SYNOP állomási méréseit áttekintve megállapíthatjuk, hogy Európa 2015. év decemberének időjárását egy túlnyomórészt Délkelet-Európa felett elhelyezkedő magasnyomású központtal rendelkező anticiklonális rendszer uralta. Európa északi területeit leszámítva igen kevés csapadék hullott kontinens-szerte (egyes délkeleti területeken akár 0 mm körüli havi csapadékösszegeket mértek, pl.: Magyarországon is). Egy nagyon fontos további tényező is megjelenik az 1. ábrán, mely kedvez az inverziós helyzetek kialakulásának: a szélsend. Európában a vizsgált hónap (2015. december) az Alpok és a Kárpátok térségében kimondottan szélsendes időszaknak mutatkozott. Az eddig bemutatott ismereteket kiegészítendő, a 2. ábrán 2015 decemberének havi átlaghőmérsékleti anomáliáit közöljük a 700 hPa, 850 hPa és 925 hPa nyomási szintekre az ERA-Interim adatbázis alapján (1981–2010 időszak szolgált referencia időszakként, mivel ezen adatbázisban az adatok 1979. évtől kezdődően állnak csupán rendelkezésre).

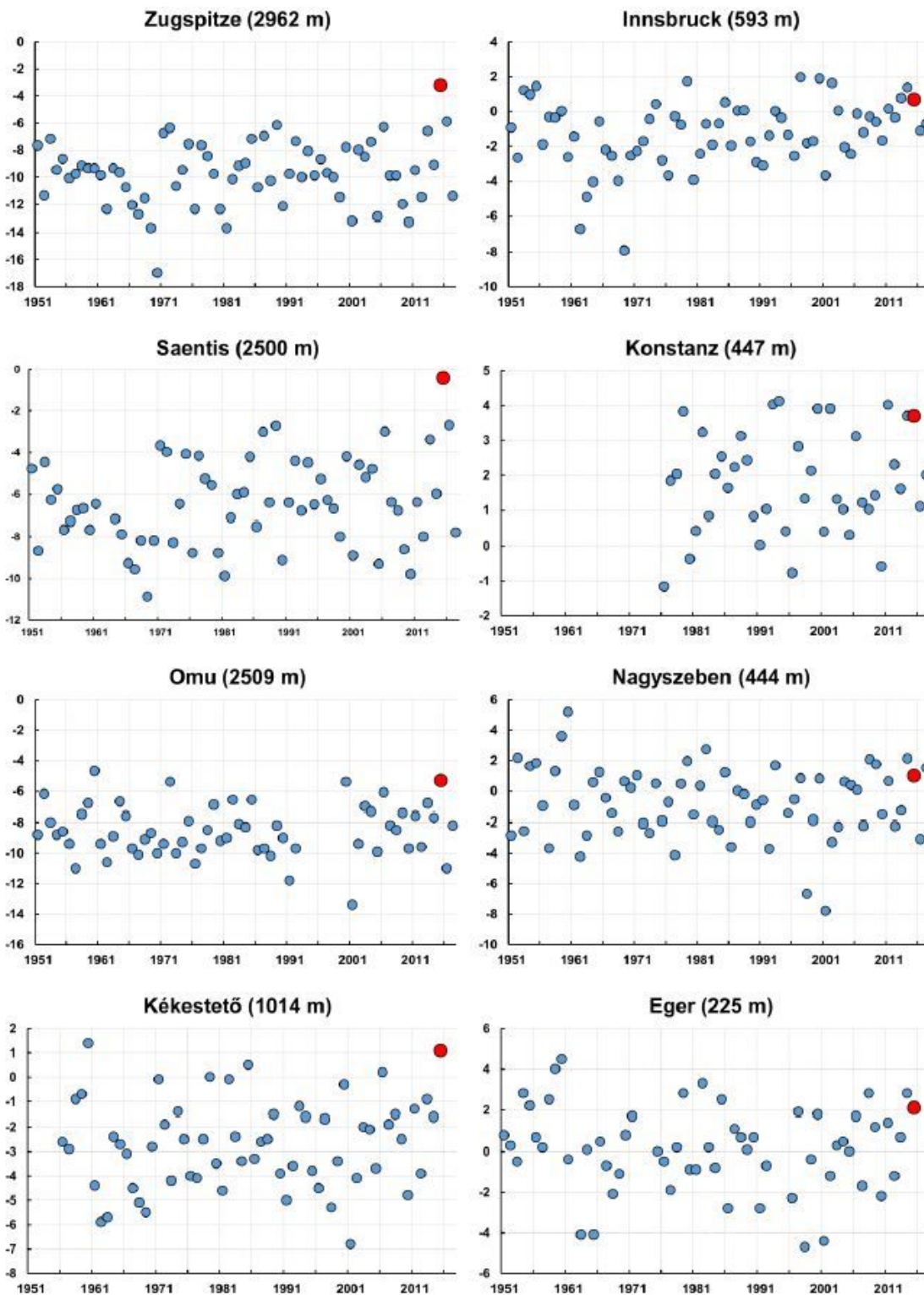
Az eredmények egyértelmű pozitív hőmérsékleti anomáliákat tárnak fel egész Európa területe felett mindhárom nyomási szinten. Ezen anomáliák a kontinens közepén igen markáns, 5 °C-ot meghaladó értékűnek mutatkoztak. A fent felsorakoztatott tények irányítottak bennünket arra, hogy az inverziós helyzet vizsgálatát e térségekben található állomási adatsorokra szűkítsük le (3. ábra).

A 3. ábrán a munkánkhoz felhasznált állomások térbeli elhelyezkedését mutatjuk be. Az Alpok térségéből két

hegyvidéki állomásra vonatkozóan mutatunk be eredményeket: Zugspitze (2962 m) és Saentis (2500 m), valamint ezen állomásokkal párhuzamosan két alacsonyabban fekvő, azonban azok közelében elhelyezkedő állomásokra közlünk további eredményeket: Innsbruck (593 m) és Konstanz (447 m). A Kárpát-medence térségéből szintén két hegyvidéki állomást választottunk: Kékestető (1014 m), valamint Omu (2509 m), továbbá a fent említett hegyvidéki állomásokhoz a lehetőségekhez mérten legközelebb elhelyezkedő

alacsonyan fekvő további két állomási adatsort vizsgáltunk meg: Eger (225 m) és Nagyszeben (444 m).

A megvizsgált, összesen nyolc állomási adatsor alapján a decemberi átlaghőmérsékleteket a 4. ábra foglalja össze. A 4. ábrán az adott régióból származó hegyvidéki (bal oldal) és alacsony tengerszinti magasságon elhelyezkedő (jobb oldal) állomási adatsorokat egymás mellé helyezve közöljük. A kék színtől eltérően pirossal, illetve kissé megnagyobbított szimbólummal jelöljük a 2015. év decemberi átlaghőmérsékleti értékeket. Míg az Alpok térségéből származó hegyvidéki állomási adatok alapján a 2015. decemberi átlaghőmérséklet egyértelműen a valaha mért legmagasabb érték az 1951–2015 időszakot tekintve, addig ugyanazon térségben a jóval alacsonyabban fekvő területeken ugyanazon hónap – bár a melegebb decemberek közé sorolható – egyáltalán nem tekinthető példa nélkülűnek. A Kárpát-medence térségében a Kékestető és az Omu állomásokra vonatkozó adatok az Alpok térségének hegyvidéki területeihez hasonlóan rendkívüli módon meleg decemberről árulkodnak. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy a Kárpát-medencében a 2015. év december havi átlaghőmérsékletek a vizsgált hegyvidéki állomásokon bár rendkívülinek mutatkoztak, de a vizsgált időszakban korábban előfordultak magasabb értékek is. 2015 decemberében a Kárpát-medencében az alacsonyan fekvő állomási adatsorokban (az Alpok térségéhez hasonlóan) nem mutatkoztak kiugróan magas havi átlaghőmérsékleti értékek. Külön kiemelnénk, hogy a Kékestető és Eger között meglévő közel 900 méteres szintkülönbség ellenére a 2015. év decemberében a havi átlaghőmérsékletek között csupán 1 °C-os különbség mutatkozott. Átlagos légköri rétegzettségi viszonyok mellett, 6,5 °C/km hőmérsékleti gradienssel számolva a két állomás havi középhőmérsékleti adataiban a mértnél jóval nagyobb – közel 6 °C-os – eltérést várnánk. E tények igen erőteljes inverziós helyzet jelenlétére utalnak a térségben. A téli időszakban ugyanis a hegyekkel körülvett medencékben viszonylag gyakran alakul ki ún. hideg



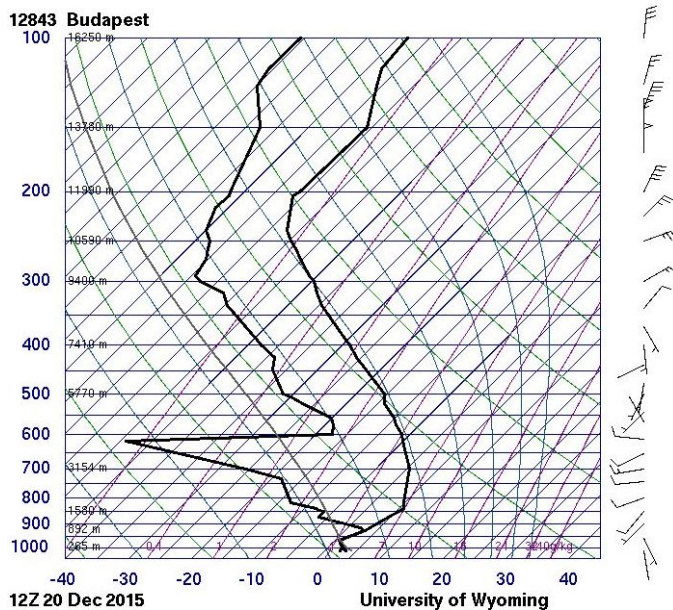
4. ábra: Mért havi decemberi átlaghőmérsékletek hegyvidéki (bal oldal), illetve azokhoz közel elhelyezkedő, de alacsony tengerszint feletti magasságon található állomási adatok alapján (jobb oldal). Forrás: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/stdata/> és Országos Meteorológiai Szolgálat

légpárna. Az erőteljes kisugárzásnak köszönhetően a felszín közelében kisugárzási inverzió, míg az anticiklonban uralkodó leszálló légáramlásnak köszönhetően a magasban zsigorodási inverzió alakul ki. A kettő összekapcsolódása egy igen stabil légréteget hoz létre, ami megakadályozza a medence alján összegyűlt hideg légtömeg átkeveredését. Az inverzió alatti légréteg a felszín kisugárzása miatt bekövetkező hűlés miatt telítetté válik, ki-

alakul a köd. Ha a köd megemelkedik, zárt, alacsony szintű rétegfelhőzet jön létre. Az inverziós réteg felett az anticiklonban a süllyedő levegő adiabatikusan melegszik, így itt nagyon kiszárad a levegő. Az inverziót erősítheti az is, ha a magasban melegadvekción zajlik.

Az így létrejövő alacsony szintű felhőzet lezárja a beérkező rövidhullámú napsugárzást az alacsonyan fekvő területeken (Eger), míg a magasban ragyogó napsütésben lehet részünk (Kékestető). Ezt igazolják a SYNOP táviratok alapján kiszámított napfénytartam adatok is. Míg 2015. decemberében Egerben a napsütéses órák számának havi összege mindössze 41,3 óra volt, addig Kékestetőn ebben a hónapban 134,1 órán át sütött a nap. Különösen szembe-tűnő a különbség a december 20. és 28. közötti időszakban, amikor Kékestetőn 65,1 óra, Egerben viszont mindössze 0,5 óra volt a napsütéses órák száma. Ez adhat magyarázatot a két bemutatott állomás havi középhőmérsékleti adataiban tapasztalt viszonylag kismértékű eltérésre (valamint a többi bemutatott

hegyvidéki – nem hegyvidéki állomáspárosok esetében is a rendkívüli – nem rendkívüli mért december havi középhőmérsékletekre is). Ezek alátámasztására az 5. ábrán közlünk Budapest állomásról indított rádiószondás mérési eredményeket. Rendkívüli hőmérsékleti gradiens olvasható le az 5. ábráról. A magassággal a hőmérséklet is emelkedik, oly mértékben, hogy megközelítőleg 1000



5. ábra: Inverzióra utaló rádiószondás mérési adatok Budapest állomásra vonatkozóan (2015. december 20. 12:00). A baloldali fekete görbe a harmatpontot, míg a jobb oldali a légréteg mért hőmérsékletét jelöli. A vízszintesen futó párhuzamos egyenesek a nyomási szinteket, míg az x tengellyel 45° -os szöget bezáró, egymással párhuzamosan futó vékony fekete egyenesek jelentik az izotermákat (az azonos hőmérsékletű pontokat összekötő egyeneseket). A zöld görbék a száraz adiabatákat, a vékony fekete görbék a nedves adiabatákat, míg a lila színű jobbra dőlő egyenesek a telítési keverési arányt jelölik. Az x tengelyen a hőmérséklet $^\circ\text{C}$ -ban, míg az y tengelyen a nyomás hPa-ban van megadva. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

méterrel a felszín felett több, mint 5°C -kal regisztráltak magasabb hőmérsékleti értéket, mint a talaj közelében. Érdekes megfigyelni, hogy felszínközeli hőmérsékleti értéket csupán közel 3000 méteres felszín feletti magasságban regisztrált újra a szonda. Külön kiemelnénk, hogy az itt bemutatott mérési eredmények nem csupán egy kiragadott példát jelentenek, hanem pár napot leszámítva 2015 decemberében gyakorlatilag teljesen hasonló vertikális hőmérsékleti rétegződés jellemezte az adott térség időjárását.

Összefoglalás. 2015 decemberében a hosszan tartó szélcsendes, anticiklonális helyzet Európa túlnyomó részén (a skandináv országokat kivéve) rendkívüli, gyakran példa nélküli havi középhőmérsékleti anomáliákhoz vezetett a hegyvidéki környezetekben. Ugyanakkor az alacsonyabb tengerszint feletti elhelyezkedésű állomásokon hasonló mértékű havi középhőmérsékleti anomáliák nem mutatkoztak. A kialakult nagytérségű szinoptikus időjárás helyzet jelentős mértékben elősegítette a felszín-közeli inverzió és a hideg légpárna kialakulását, melyre az Alpok és a Kárpátok térségéből mutattunk be példákat. Az általunk közölt eredmények felhívják a figyelmet többek között a téli időszakban megszokott, hó formájában történő vízfelhalmozás/raktározás elmaradásának vagy nagymértékű csökkenésének lehetőségére. További érdekes vizsgálatok tárgyát képezheti a megfigyelt szinoptikus helyzet jövőbeli előfordulási gyakoriságának kutatása is.

Köszönetnyilvánítás. A bemutatott munka az MTA Prémium Posztdoktori, valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

Köszönet illeti az Országos Meteorológiai Szolgálatot, hogy Kékestető és Eger állomásokra a mérési adatokat rendelkezésünkre bocsátotta, a U.S. Geological Survey-t, hogy a GTOPO30 adatbázisaikat közzétették, valamint az ECMWF-et. Amunkában felhasznált adatok többek között a következő honlapokon keresztül érhetők el, illetve tölthetők le:

<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/stdata/>

<https://apps.ecmwf.int/datasets/>

<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Irodalom

- Colucci R. R., Giorgi F. and Torma Cs., 2017: Unprecedented heat wave in December 2015 and potential for winter glacier ablation in the eastern Alps, *Sci Rep*, 7: Paper 7090. 7 p. doi: 10.1038/s41598-017-07415-1
- Dee, D.P., Uppala, S.M., Simmons, A.J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteor. Soc.* 137, 553–597.
- Herceg-Bulić, I. and Kucharski, F., 2014: North Atlantic SSTs as a Link between the Wintertime NAO and the Following Spring Climate. *J. Climate*, 27, 186–201, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00273.1>
- Hersbach, H., de Rosnay, P., Bell, B., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Alonso Balmaseda, M., Balsamo, G., Bechtold, P., Berrisford, P., Bidlot, J., de Boissésion, E., Bonavita, M. Browne, P., Buizza, R., Dahlgren, P., Dee, D., Dragani, R., Diamantakis, M., Flemming, J., Forbes, R., Geer, A., Haiden, T., Hólm, E., Haimberger, L., Hogan, R., Horányi, A., Janisková, M., Laloyaux, P., Lopez, P., Muñoz-Sabater, J., Peubey, C., Radu, R., Richardson, D., Thépaut, J.-N., Vitart, F., Yang, X., Zsótér, E. and Zuo, H., 2018: Operational global reanalysis: progress, future directions and synergies with NWP, *ECMWF ERA Report Series 27*.
- Hofstätter, M., Lexer, A., Homann, M. and Blöschl, G., 2018: Large-scale heavy precipitation over central Europe and the role of atmospheric cyclone track types. *Int. J. Climatol*, 38: e497–e517. doi:10.1002/joc.5386
- Messmer, M., Gómez-Navarro, J. J., and Raible, C. C., 2015: Climatology of Vb cyclones, physical mechanisms and their impact on extreme precipitation over Central Europe, *Earth Syst. Dynam.*, 6, 541–553, <https://doi.org/10.5194/esd-6-541-2015>
- Reale, M. and Lionello, P., 2013: Synoptic climatology of winter intense precipitation events along the Mediterranean coasts, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 1707–1722, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1707-2013>.

A NYÍRSÉG ÉS A FELSŐ-TISZA VIDÉK ÉGHAJLATI ELEMZÉSE CLIMATE ANALYSIS OF NYÍRSÉG AND UPPER-TISZA REGION

Mikes Márk Zoltán

*Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
mikestunyog@gmail.com*

Összefoglalás. A klímaváltozás hatásai már hazánkban is érezhetők, hosszú adatsorainkból egyértelműen látszik a hőmérséklet növekedése. Jelen munkában hazánk egyik legnagyobb mértékben melegező területét, a Nyírséget és a Felső-Tisza vidéket vizsgáltam. A változások teljes megértéséhez a vizsgálódást a múltban kezdtem, több mint 100 éves adatoktól a jelenünkig, majd kitekintést adok a jövőre egy regionális klímamodell alapján.

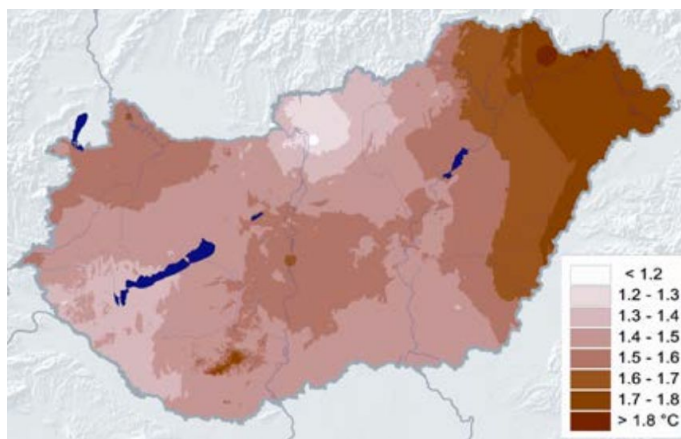
Abstract. We can already feel the effects of climate change in our country. If we look at the long-term data, increasing temperatures can be seen. In this study, I investigated Nyírség and Upper-Tisza region, which have been warming the most in Hungary in the last thirty-years. To fully understand the changes, I began the investigation in the past, starting from more than a hundred-year-old data until observations from the last year. Then I outline the future change by a regional climate model.

Bevezetés. Az éghajlat megváltozása a Föld történetében egy gyakran lejátszódó folyamat. Hidegebb és melegebb periódusok váltják egymást, ennek mind a csillagászati paraméterek, extraterresztriális tényezők, mind a bolygóval együtt élő szervezetek és maga a bolygó is (gondoljunk csak egy vulkánkitörésre) ugyanúgy okai lehetnek. Egy ilyen bonyolult körforgásban a rendszer megpróbálja megtalálni az egyensúlyt, amelynek fázisaihoz folyamatos adaptáció szükséges. Jelenleg egy interglaciálisban (tehát két jégkorszak közti időszakban) éljük mindennapjainkat. Mégis, a folyamatosan változó éghajlat most sokkal nagyobb figyelmet érdemel, mivel az egyik befolyásoló tényező egyre jelentősebb

hatással van a Föld rendszerére: az ember. Az antropogén hatások közül a legismertebb a szén-dioxid koncentráció exponenciális növekedése, mely üvegházhatású gázként melegíti légkörünket. Ezen felül megannyi egyéb hatással vagyunk erre az érzékeny rendszerre, melyeknek negatív következményei lehetnek a jövőben. Felmerül a kérdés tehát: képesek vagyunk-e egyre fejlettebb technológiáinkkal megfékezni az éghajlatváltozást, hogy a bolygó élhető maradjon az emberiség számára?

E tanulmány szorosan kötődik az éghajlatváltozáshoz, ahogyan jómagam is a vizsgált területhez. Magyarország északkeleti részén találjuk a Nyírséget és a Felső-Tisza vidéket. A feldolgozás szempontjából az egész Nyírséget vizsgáltam, a Felső-Tisza vidék részegységeiből a Szatmár-Beregi síkságot és a Rétközt tanulmányoztam, viszont a Bodroghöz nem tartozott a vizsgált területhez. Ennek oka az, hogy a Zempléni-hegység éghajlatot befolyásoló hatásai miatt a vizsgált adatok kevésbé reprezentatívak erre a térségre. A terület az Alföld leghűvösebb része, az évi középhőmérséklet 9–11 °C körül alakul, ennél magasabb értékeket a délebben fekvő területeken mérhetünk. Magyarországon az 1980–2009-ig terjedő 30 éves klímaidőszakban a vizsgált térség melegeedett a leg-

nagyobb mértékben, 1,7–1,8 °C-kal (1. ábra; Lakatos és Bihari, 2011). Ugyanezen időszakban az évszakok tekintetében a nyár (2–2,2 °C), a tél (1,4–1,8 °C) és az ősz (1,1–1,2 °C) is kiemelkedően nagy mértékben melegeedett az ország más vidékeihez képest. Az utóbbi években is



1. ábra: Az évi középhőmérséklet megváltozása 1980 és 2009 között. (Lakatos és Bihari, 2011)

rendre pozitív hőmérsékleti anomáliát tapasztalhattunk a térségben. Az éghajlati vizsgálat célja felderíteni a klímaváltozást különböző módszerekkel, a térségből rendelkezésre álló adatok segítségével, illetve a későbbiekben az alkalmazkodás lehetőségeiről képet adni.

A múltbeli éghajlat vizsgálata. Az embereket már a kezdetektől fogva érdekelte a légkör, s annak megfigyelése. Szabályszerűségeket szerettek volna felfedezni benne (innen származhatnak népi jóslataink, ahol egyes napok időjárásából következtethetünk az aktuális évi termésre), illetve feljegyzések születtek nagyobb időjárási eseményeknél. A térség vizsgálatát a 18. század elejétől kezdtem, segítségemre volt Réthly (1998, 2009) munkássága, amely főleg vizuális észleléseket tartalmaz. A területet átszelő folyók (Tisza, Szamos, Kraszna, Túr) árvizei nagy pusztítást okoztak az itt élő emberek számára. Kiváltó okuk az esetek többségében a Kárpátokban felgyülemlett hó elolvasása volt tavasz elején, de ezen felül az év bármely részében hosszan tartó csapadékos időszak a fenn említett folyók vízgyűjtő területén is árvizeket indított el. Ilyen árvizek pusztítottak 1712-ben, 1716-ban, 1780-ban, 1783 decemberében, 1784-ben, 1785-ben, 1792-ben, 1841-ben, 1847 áprilisában. Jelentős károkat okoztak a térségben a tavaszi fagyok is. A virágzás közben vagy után fagykárt szenvedett növények hatalmas termés kieséssel jártak (főleg a szőlőtermés, amely a vizsgált térségben kevésbé volt jelen, de a Tokaji Borvidék közelsége miatt sok feljegyzést olvashatunk). Ilyen fagyok okoztak termés kiesést 1782 májusában, 1785-ben, 1812-ben és 1836 májusában. A közelmúltban, 2007 áprilisában történt ha-

sonló eset a megyében, amikor az almatermés szinte teljesen megsemmisült abban az évben. A tavaszi fagyok a jövőben is nagy kockázatot jelenthetnek a mezőgazdaság számára.

A 19. század második felében elkezdődtek a meteorológiai mérések Magyarország keleti felén. Debrecenben már 1854-ben, míg Nyíregyházán 1867-ben tesznek említést mérőállomásról. Ezek után egyre több helyen kezdődtek mérések a vizsgált területen, a 20. század elejére kiépült a mérőhálózat is. Így az elmúlt század közepén már elegendő mérési adat állt rendelkezésre, hogy abból éghajlati következtetéseket vonjanak le. 1961-ben jelent meg *Borsy Zoltán: A Nyírség természeti földrajza* című könyve, amiben a vizsgált térség nagyobb részét alkotó Nyírség éghajlatával is foglalkozik (*Borsy, 1961*). Az éghajlati feldolgozásban a következő paramétereket vizsgálta: hőmérséklet, csapadék, szél, napsütés-felhőzet, légnyomás, hótakaró, légnedvesség. Ezek közül részletesebben a hőmérséklettel és csapadékkal foglalkoztam, mivel a későbbi saját feldolgozásban is ezekkel a paraméterekkel számoltam.

A hőmérsékleti adatokat Debrecen-Pallag, Nyíregyháza, Kisvárdra és Mátészalka állomásokon vizsgálta, szinte a mérések kezdetétől (Nyíregyházán 1871-től) 1950-ig. Az 1901-től 1930-ig terjedő időszakban a vizsgált állomásokon az átlaghőmérsékletek:

Debrecenben 10 °C, Nyíregyházán és Mátészalkán 9,7 °C. Kisvárdra átlag-

hőmérsékletét csak az 1901-től 1950-ig terjedő időszakban vizsgálta, ami 9,4 °C-nak adódott. Ugyanezen időszakban (1901–1950) Debrecen évi középhőmérséklete 10 °C, míg Nyíregyházáé 9,8 °C volt. Az évi közepes hőingás Debrecenben 23 °C, Nyíregyházán 22,8 °C, Mátészalkán 22,5 °C volt az 1901-től 1930-ig terjedő időszakban, ÉK felé haladva gyenge csökkenés figyelhető meg az értékekben. Ezen felül megvizsgálta Nyíregyházán a mérések kezdete óta előfordult legmagasabb abszolút és átlagos értékeket. A legmelegebb év az 1871-től 1950-ig terjedő időszakban az 1934-es, ekkor 11,7 °C volt a középhőmérséklet, míg 1940-ben, az azóta is leghidegebb évben 7,4 °C. Az abszolút maximumhőmérsékletet 1928. július 17-én mérték, 38,7 °C-ot, míg az abszolút minimumot 1940. február 18-án, ekkor -27,8 °C volt. Az éghajlati vizsgálat tárgya volt még a különböző hőmérsékleti klímaindexek vizsgálata is (téli napok, fagyos napok, nyári napok, hőségnapok és forró napok). Ezeket három állomáson, Debrecenben, Nyíregyházán és Mátészalkán vizsgálta 1901–1930 közötti időszakban. Mivel nem talált nagy eltérést a gyakoriság értékei között, így ezeket átlagosan írom le. Téli napból átlagosan 29, fa-

gyos nappól 110, nyári nappól 70–80, hőségnappól 18–22, illetve forró nappól 2 volt a vizsgált időszakban évente.

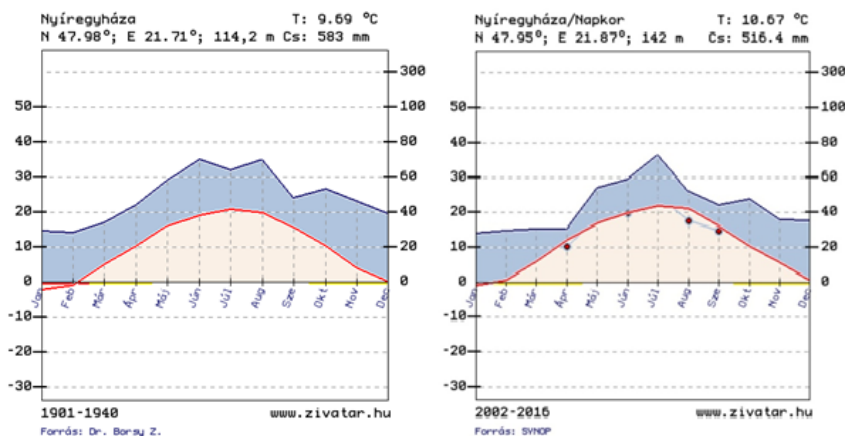
Részletesen tárgyalja a csapadékot is a szerző. A térségben több mint 30 csapadékmérő állomás adataival dolgoztak, 1901–1940-ig. A terület az Alföld csapadékosabb területei közé tartozik, déli részein 550 mm csapadék hull évente, ez É-ÉK felé haladva 650 mm-ig nő (Záhonyban ebben az időszakban az átlagos csapadékmennyiség 643 mm volt). Az átlagos értékek után a szélsőségeket is megnézve látható, hogy az egyes évek között markáns különbségek lehetnek: példaként 1933-ban a terület 700–800 mm csapadékot kapott, míg a következő évben, 1934-ben csak 300–400 mm hullott. Ezek után a különböző csapadékmennyiségű napok számát vizsgálta a Nyírségben. Az 1 mm-t meghaladó csapadéku napok száma átlagosan 85–98 nap között, az 5 mm-t meghaladó napok száma 35–42 között, a 10 mm-t meghaladó napok száma 15–18 között és a 20 mm-t meghaladó napok száma 3–5 között alakult. Ezen felül megvizsgálta a 24 óra alatt lehullott csapadékmennyiségek rekordjait is.

Debrecenben ez 69 mm (1953. július 5.), Nyíregyházán 88 mm (1927. augusztus 30.), de Tégláson (amely település éppen az előbb említett két város között helyezkedik el) 1931. május 5-én 131 mm csapadékot regisztráltak.

A további éghajlati vizsgálatokhoz a megyében található két SYNOP állomás (Záhony, illetve

Nyíregyháza-Napkor) adatait használtam fel. A két állomás méréseit az elmúlt 15 évben (2002–2016) vizsgáltam, mivel azok 2002-től kezdtek el feldolgozható (szinte megszakítás nélküli és digitalizált) adatsorokat küldeni, de terveim között szerepel ezen állomások régebbi idősorainak vizsgálata is. Ezen felül Nyíregyháza 1901–1940-ig terjedő adataiból, illetve a Nyíregyháza-Napkor SYNOP állomás adataiból *Walter-Lieth diagramot* készítettem, összehasonlítás céljából.

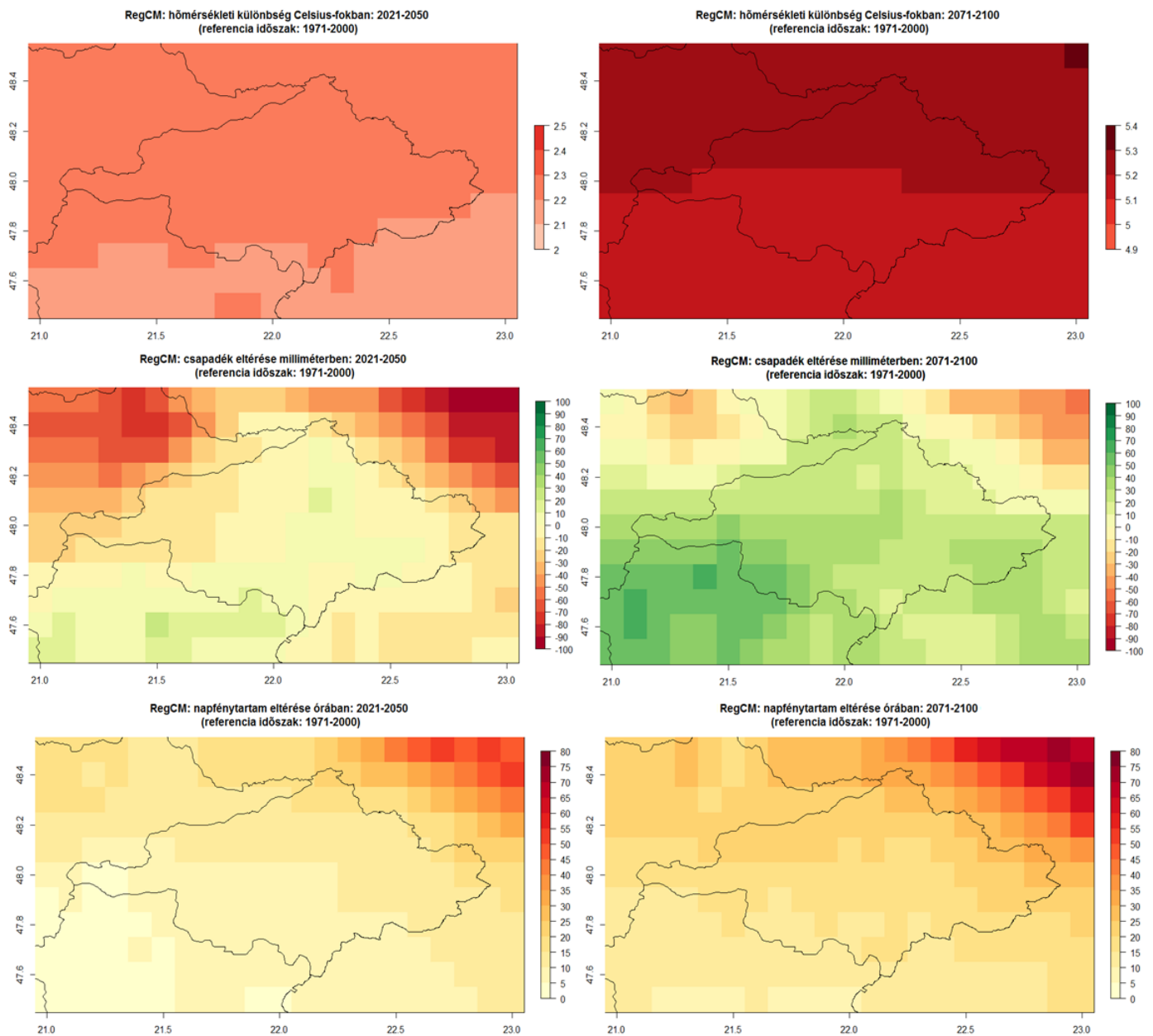
Elsőként a 15 évet felölelő adatsorból kiszámoltam a két SYNOP állomásra a havi átlaghőmérsékleteket és a havi csapadékösszegeket. Az adatsorokban adathiány is előfordul: Záhonyban 2002-ben az első 5 hónapból nincs csapadékadat, míg Nyíregyházán 2016. június-július hónapokból semmilyen adat nem érkezett. Hőmérséklet terén összességében a két állomás szinte azonos (10,7 °C illetve 10,6 °C) értékkel rendelkezett a vizsgált periódusban. Csapadék terén nagyobb a különbség a két állomás között, mivel az évi átlagos csapadékmennyiség Nyíregyházán 516,4 mm, míg Záhonyban 602,3 mm volt. A legcsapadékosabb év mindkét helyen a 2010-es év, amikor Nyíregyházán 927 mm, Záhonyban 976 mm csapa-



2. ábra: Walter-Lieth klímadiagram a Nyíregyházán található állomásokról, a 20. század elején és a 21. század elején

déket regisztráltak. A legszárazabb év tekintetében már adódnak különbségek. Míg Nyíregyházán a 2011 bizonyult annak 368 mm-rel, addig Záhonyban a 2015-ös év 416 mm csapadékkal. Emellett a nyíregyházi állomáson 2003-ban, 2012-ben és 2015-ben is igen kevés csapadék hullott (369 mm, 382 mm, illetve 376 mm). A hőmérsék-

eközben Nyíregyházán napjainkban az augusztus mellett a szeptember, április és június is ilyen hónap. Ezen felül a téli hónapok átlaghőmérséklete is nőtt, az első időszakban a január mellett a február is negatív értékkel rendelkezett, mára már csak a sokévi átlagos januári középhőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti a térségben.



3. ábra: Modelleredmények a hőmérséklet, csapadék és napfénytartam paraméterekre Szabolcs-Szatmár-Bereg megye környékére (2021–2050 illetve 2071–2100)

let évi menete szinte teljesen megegyezik a vizsgált időintervallumban, csupán $0,2\text{--}0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ az átlagos eltérés. A maximális eltérés novemberben tapasztalható, ekkor is csak $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a különbség a két állomás havi középhőmérséklete között, viszont ez az eltérés szinte minden évben előfordul, így Nyíregyházán melegebb a november. Az előző oldalon található *Walter-Lieth diagramon* (2. ábra) szemléltettem az éghajlatváltozást Nyíregyházán. Látható, hogy a csapadék mennyisége csökkent, kb. 70 mm-rel, míg az átlaghőmérséklet megnövekedett $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal. A 20. század első felében a diagram szerint nem volt aszályra hajlamos hónap az állomás környezetében,

Prognózis a jövőbeni klímaváltozásra. A bemutatott éghajlat, illetve éghajlati változások után kíváncsiak lehetünk a jövőbeni tendenciákra. Ennek megismerésére a RegCM regionális klímamodell eredményeit elemeztem (3. ábra). A modell 4.3-as verziójának (Elguindi et al., 2011) felhasználásával készített szimuláció hidrosztatikus, 10 km-es horizontális felbontással rendelkezik, RCP¹ 4.5-ös scenáriót alkalmaz. Annak érdekében, hogy az eredmények jól érzékelthetők legyenek, a modell é. sz. $47,5^{\circ}$ és $48,5^{\circ}$ illetve k. h. 21° és 23° közé eső

¹ Representative Concentration Pathways

területét rajzoltam ki. Ebben a „téglalapban” helyezkedik el Szabolcs-Szatmár-Bereg megye. A 2021–2050-ig illetve a 2071–2100-ig terjedő időszakokban az átlaghőmérsékletet, a csapadékot és a napfénytartamot vizsgáltam. Mindezek előtt elvégeztem a modell validációját a különböző változókra a CarpatClim segítségével. A CarpatClim adatbázisa 1960 és 2010 között elérhető, ebből az időszakból választottam ki a referenciaidőszakot (1971–2000), majd hasonlítottam össze az említett paraméterekre. Hőmérséklet terén a modell a megye területén 0,25–1,25 °C-kal becsülte felül a valós értékeket a múltban, nagyobb területeken 0,5–1 °C a jellemző érték. A megyét körülvevő hegyvidéki területeken változatos a hiba értéke, mind pozitív, mind negatív irányban. Ez abból adódik, hogy a CarpatClim adatbázisa ugyan rácsponti, de pontszerű értékeket tartalmaz, míg a modell egy 10x10 km-es rácspont átlagát. A csapadéknál is hasonlóan nagyobb értékeket produkált a modell, itt 0–300 mm a felülbecslés. Egyértelmű a hiba növekedése a megye DK-i részéről ÉNy felé haladva. A napfénytartam terén tapasztalható a legnagyobb eltérés a modell és a valóság között: a megyében 1050–1250 órával több napsütéses órát számolt a modell, mint a valós érték. Ennek okainak részletesebb vizsgálatát a jövőben tervezem elvégezni.

A validáció után a kapott modelledményeket mutatom be, elsőként az átlaghőmérsékletet. A paraméter terén egyértelmű a növekedés már az első 30 éves periódusban (2021–2050) is. A megye legnagyobb részén 2,2–2,3 °C a melegedés mértéke (az 1971–2000 referencia-időszakhoz képest), míg a század végére (2071–2100) még drasztikusabb kép látszik kirajzolódni. A megye nagy részén 5,1 és 5,3 °C az emelkedés mértéke, Záhony térségében várhatóak a magasabb értékek. A hőmérséklet után a csapadékmennyiség megváltozását vizsgáltam. Az első 2021-től 2050-ig tartó időszakban egyaránt találunk csökkenést és növekedést a megye területén. Összességében a változás -30 és +20 mm között mozog, a középső és délebbi részeken várhatunk kismértékű növekedést, míg a megye többi részén (főleg nyugaton) hasonló mértékű csökkenést. A századvégi időszakban egyértelmű a növekedés a referenciaidőszakhoz képest. Az egész területen 0–60 mm a csapadék megváltozása, a legkisebb értékek az ÉK-i régióban, míg a legnagyobbak a Ny-i, DNy-i részen találhatóak. Érdemes kiemelni, hogy az egyes évek között nagy különbségek fordulhatnak elő és a változás nem szignifikáns. Harmadik változóként a napfénytartamot vizsgáltam a jövőben. Mivel a validáció során nagymértékű volt a többlet, így az érték megváltozását (delta-módszer) mutatom be. Az első 30 éves jövőbeli időszakban nem tapasztalható csökkenés a területen, az értékek 0–20 órával növekedhetnek majd. A 2071–2100-ig terjedő időszakban az előzőekhez képest még több napsütéses órát regisztrálhatunk majd, a referencia-időszakhoz képest 10–35 órával. Az Ukrajnával határos területeken várható a legnagyobb mértékű növekedés, míg délnyugaton a kisebb. Fontos megjegyezni itt is, mint a csapadéknál, hogy az egyes évek között nagy fluktuáció lehetséges.

Összefoglalás, konklúzió. E tanulmány Magyarország egyik legjobban melegező területét, a Nyírséget és a Felső-Tisza vidéket elemzi. Az éghajlati vizsgálat kiterjed a legfontosabb meteorológiai paraméterekre (hőmérséklet, csapadék, napfénytartam, szél), ezek feldolgozása a kezdeti vizuális észlelésektől, napjaink automata-műszeres méréséig terjed. Míg a régmúlt feljegyzéseiből csak a szélsőségek gyakoriságára következtethetünk, addig az első mérőeszközök megjelenése után már összehasonlíthatjuk mért adatainkat. Így került *Borsy Zoltán* munkája is a vizsgálatba, majd munkássága utólagos feldolgozásával, valamint az elmúlt évek adatsoraiból detektálhatóvá vált az éghajlatváltozás a térségben. Nyíregyházán egy évszázad alatt közel 1 °C-kal nőtt az átlaghőmérséklet, míg a csapadék csökkenésével az aszály is egyre gyakoribb veszélyforrás a területen. A már megfigyelt változások után a jövőre adtunk kitekintést egy regionális klímamodell (RegCM4.3–RCP 4.5-ös scenárió) segítségével. Az eredmények alapján egy dinamikusan melegező, több napfénytartamhoz jutó régiót láthatunk a jövőben, változékony csapadékeloszlással. Az éghajlatváltozás (mint eddig annyiszor) folytatódik, a kérdés csupán annyi, hogy képesek leszünk-e alkalmazkodni lokálisan és globálisan egyaránt a megváltozott körülményekhez?

Irodalom

- Bihari, Z. és Lakatos, M., 2011: A közelmúlt megfigyelt hőmérsékleti- és csapadéktendenciái. In: Bartholy J., Bozó L., Haszpra L. (szerk.): Klímaváltozás – Klímaszenáriók a Kárpát-medence térségére. ELTE. Budapest, 145–169, <http://nimbus.elte.hu/~klimakonyv/Klimavaltozas-2011.pdf>
- Borsy, Z., 1961: A Nyírség természeti földrajza. Akadémiai Kiadó, Budapest, 68–97.
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A. and Giuliani, G., 2011: Regional climatic model RegCM user manual version 4.3. 32p. ICTP, Trieste
- Réthy, A., 2009: Időjárás események és elemi csapások Magyarországon 1701–1800-ig. OMSZ, Budapest. pp. 622
- Réthy, A., 1999: Időjárás események és elemi csapások Magyarországon 1801–1900-ig. OMSZ, Budapest. pp 1369
- Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., Lakatos, M., Bihari, Z., Nagy, A., Németh, A., Kovács, T., Mihic, D., Dacic, M., Petrovic, P., Kržič, A., Hiebl, J., Auer, I., Milkovic, J., Štepanek, P., Zahradnicek, P., Kilar, P., Limanowka, D., Pirc, R., Cheval, S., Victor Birsan, M. V., Alexandru Dumitrescu, A., Deak, Gy., Matei, M., Antolovic, I., Nejedlik, P., Štastný, P., Kajaba, P., Bochnicek, O., Galo, D., Mikulová, K., Nabyvanets, Y., Skrynyk, O., Krakovska, S., Gnatiuk, N., Tolasz, R., Antofie, T. and Vogt, J., 2015: Climate of the Carpathian Region in 1961–2010: Climatological and Trends of Ten Variables. *International Journal of Climatology* 35(7), 1322–1341.
- Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T., Štepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Štastný, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skryryk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T. and Spinoni, J., 2013: Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report. www.carpatclim-eu.org

FÜSTRÉTEG A SZTRATOSZFÉRÁBAN BRIT KOLUMBIÁBÓL

SMOKE LAYER IN THE STRATOSPHERE FROM BRITISH COLUMBIA

Kolláth Kornél¹, Szini Hajnalka¹, Tóth Zoltán^{1,2}

¹Országos Meteorológiai Szolgálat, 1525 Budapest Pf. 38., kollath.k@met.hu, szini.h@met.hu

²Stratolab Kutató, Fejlesztő és Innovációs Kft., zoltan.toth@stratolab.hu

Összefoglalás. 2017 augusztusában kanadai erdőtüzek felett kialakuló zivatarfelhők (pyrocumulonimbus, röviden pyroCb felhők) egy csoportja által hatalmas mennyiségű füst jutott fel a sztratoszférába. A füst nyolc nap alatt hazánk fölé került. A fotókon és a műholdképeken kívül a budapesti felhőalaplémérő adatainak, illetve napspektrofotometriás mérések tükrében mutatjuk be az eseményt.

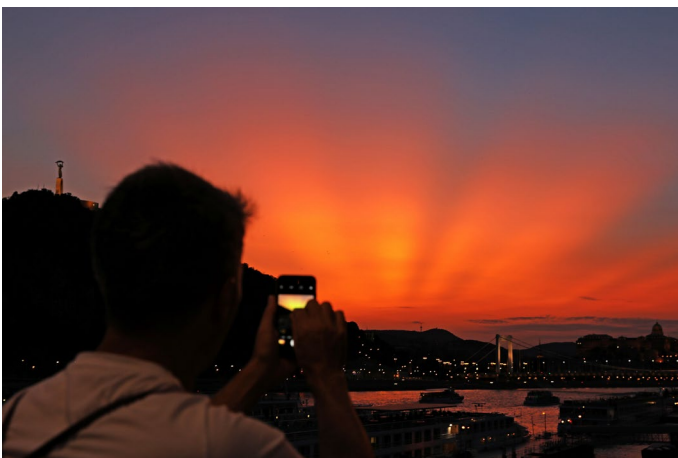
Abstract. Cluster of pyrocumulonimbus (or shortly pyroCb) clouds associated with wildfires in Canada injected an exceptionally high amount of smoke into the stratosphere in August 2017. The smoke transported over Hungary in eight days. Beyond photos and satellite images, interpretation of ceilometer and spectrophotometer measurement data will be shown.

Bevezető. Augusztus 22-én este hazánkban nem mindennapi égi látványosság ragadta meg a bémészködők figyelmét (Veres, 2017). A naplementét követően szokatlanul határozott megjelenésű és hosszúra nyúlt alkonyati sugarak formáltak legyezőszerű alakzatot az északnyugati égbolton (1. ábra). Az eget gyakran kémlelő tájékozottabb észlelők már sejtették a jelenség okát. A megelőző hetekben, napokban komoly erdőtüzekről érkeztek hírek Kanadából. A magassági áramlások által szállított füst pedig már az augusztus 20-i műholdképeken szembetűnő volt Európa felett. A fölöttünk tartózkodó fátyolszerű füst réteg hatása, megfigyelése, mérési adatokban történő megjelenése számos szempontból érdekesnek, tanulságosnak bizonyult (2. ábra).

Vegetáció tüzek – Miért volt kitüntetett a 2017-es kanadai eset? Az erdőtűz, vegetációtűz a bioszféra – részben az emberi tevékenységtől független – természetes folyamatai közé tartozik. Bár a legnagyobb biomassza tömeg az alacsonyabb szélességeken válik a tűz martalékává, a mediterrán területen és a magas szélességek tajga erdőiben is jelentős a vegetációtűzek gyakorisága (Bowman et al., 2009). Az előfordulást, a tüzek intenzitását, kiterjedését nagyban befolyásolja az adott időszak időjárása. A 2017-es év globálisan a második legmele-

gebb év volt a 2016-es rekord után. Júliusban Dél-Európában, főként Portugáliában, az Adrián, Olaszországban a száraz, szeles időjárás következtében rendkívüli erdőtüzek pusztítottak. Az USA-ban az erdőtüzek elleni küzdelem éves költsége 2017-ben minden korábbinál magasabbnak adódott. Kaliforniában és a kanadai Brit Kolumbiában rekordot döntött a leégett terület nagysága. Érdekes, hogy Grönlandon, annak nyugati partjainál is észlelhető volt vegetációtűz, amire korábban csak pár jelentéktelen példa adódott (Evangelidou, 2018). Kanada nyugati részén korán beköszöntött a tavasz, amit hosszú, száraz nyári periódus követett (az augusztusi 850 hPa-os hőmérsékleti anomáliát lásd a 3. ábrán). Az erdőtüzek július elején kezdődtek. A szezon csúcspontjának augusztus 18-a tekinthető, amikor 432 ezer km² összefüggő terület volt érintett. Összesen az év során egymillió hektár égett le és 45 ezer ember kényszerült otthonának legáltalább átmeneti elhagyására Brit Kolumbiában.

Mi köze a fenyőhánccsúnak a pyroCb-hez? A száraz, meleg időjárás következtében kiszáradt aljnövényzet mellett a kártevők miatt megbetegedő, elhaló fák is adott esetben ideális, gyúlékony „üzemanyagát” jelenthetik az erdőtüzeknek. Észak-Amerikában és ezen belül Brit Kolumbiában is jelentős az egyik szűfélé, a nagy fenyő-

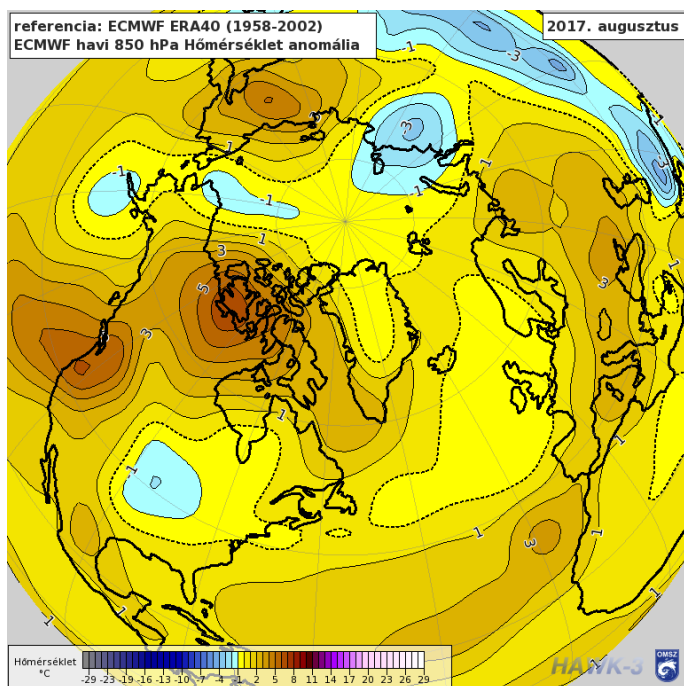


1. ábra: Alkonyati sugarak augusztus 22-én. A horizont alá nyugvó Nap sugarai nyomán nagy távolságban lévő hegyek, felhők árnyéka vetül fel a 14–15 km-es magasságban tartózkodó füst rétegre.

Készítette: Veres Viktor (Veres, 2017)



2. ábra: Krepuskuláris sugarak a tarcali Szent Teréz kápolnával 2017. augusztus 26-án. Készítette: Varga István



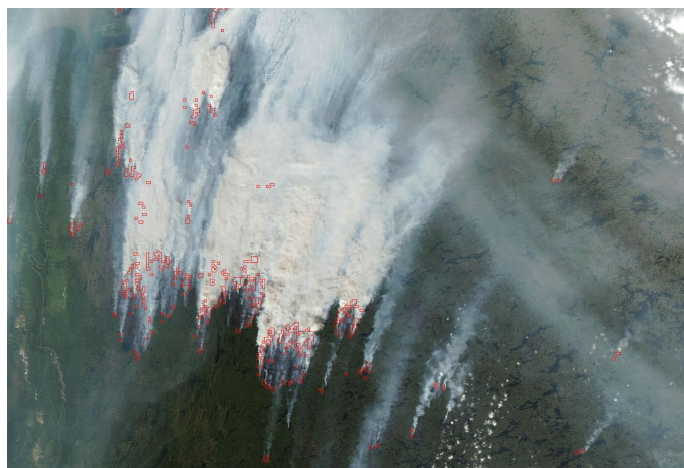
3. ábra: Hőmérsékleti anomália 850 hPa-on, 2017. augusztus

háncsszű kártétele. A logikus feltételezés szerint e kártevő elszaporodása és a tüzesetek gyakorisága között egyenes lehet az összefüggés. Ugyanakkor a megritkuló, lecsupaszodott fenyőfák a tűz terjedését és intenzitását egyben gátolják is. A témában elérhető irodalomban elmentmondásos következtetéseket találunk. Valószínű, hogy a hevesebb koronatüzek kockázata abban az átmeneti periódusban a legmagasabb, amikor a kiszáradt tülevelek még nem hullottak le az ágakról (Hicke et al., 2012; Hart et al., 2016).

Nagyobb erdőtüzek fölött – a felszabaduló hő és nedvesgőgtartalom hatására – alkalmanként zivatarfelhők is kialakulnak, melyeket pyro-cumulonimbusnak, röviden pyroCb-nek nevez az irodalom (Fromm et al., 2010), de a WMO felhőatlaszában a flammagenitus elnevezés jelzi a kialakulás módját. A jelenség nagyban hasonlít a vulkánkitörések fölötti felhőképződéshez. A föláramlás ebben az esetben is koncentráltan és igen nagy mennyiségben

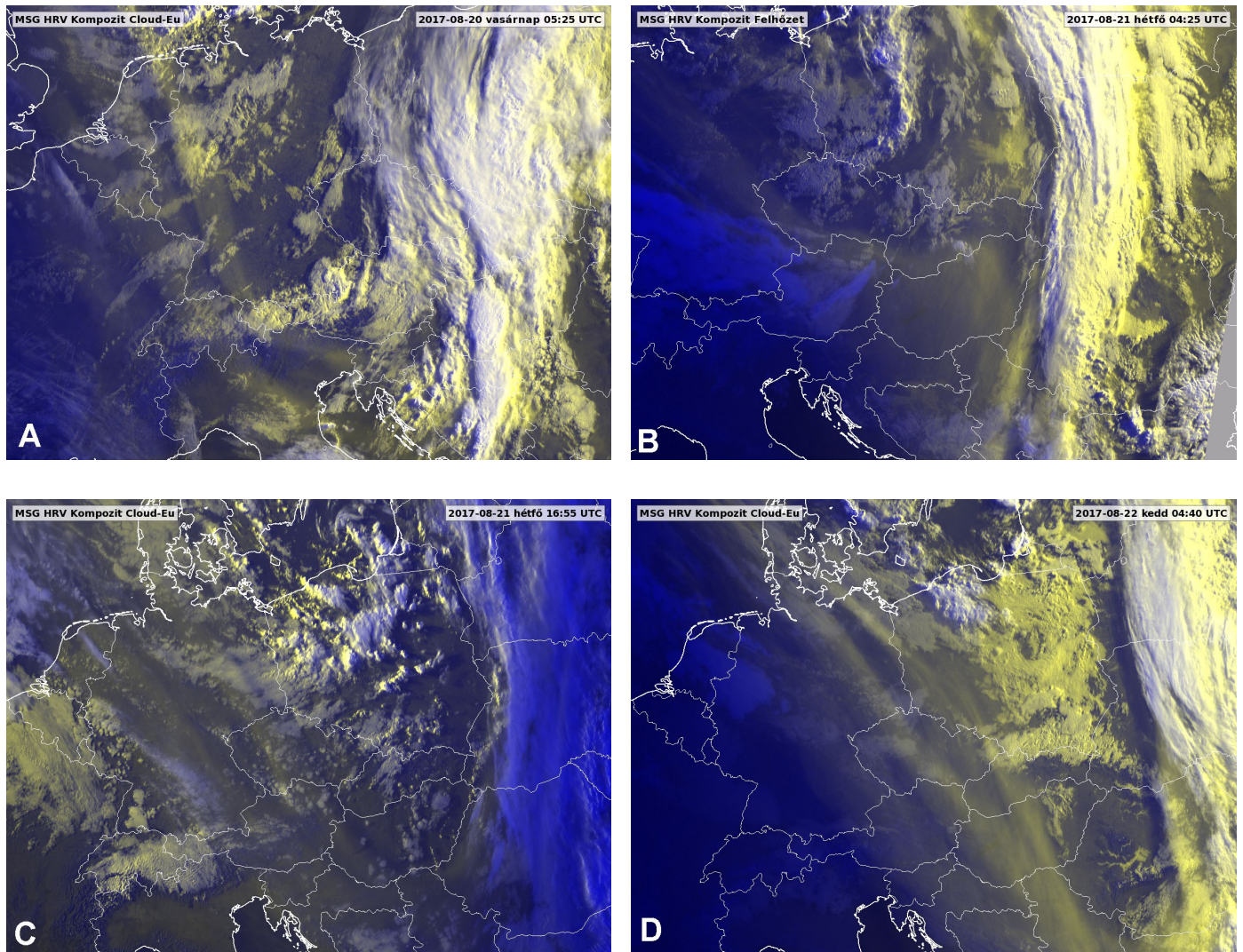
juttat fel füstöt, gázokat, aeroszolt a felső-troposzféra, alsó-sztratoszféra tartományába. A sztratoszférába feljutó füst ezután kimosódás nélkül tartósan a levegőben maradvan nagy távolságra jut el. Kanadában júliustól szeptemberig több esetben is észlelhető volt zivatarfelhők kitörése épp az erdőtüzek gócpontjai fölött.

Detektálás műholdképeken, rekord nagyságú aeroszol index. Augusztus 12-én minden idők egyik legerősebb pyroCb klaszterét detektálták Brit Kolumbiában (hasonló zivatarfelhők és füst látható a 4. ábrán). A sztratoszférába csak ezen esemény során kb. 200 ezer tonna aeroszol jutott fel, ami egy vulkán „teljesítményével” is összemérhető (Fromm et al., 2018). A hullámhossz-függő szóródás és elnyelődés alapján a légköri aeroszol „felhő” bizonyos sugárzási tulajdonságai műholdas mérésekből számszerűsíthetők. A közeli-ultraibolya (300–400 nm) mérési tartomány használata több szempontból is előnyös (Torres et al., 1998). Itt ugyanis, különösen a széntartalmú aeroszol típusok és az ásványi por, jelentős elnyeléssel rendelkeznek, a felszíni albedó alacsony és kevésbé hullámhossz-függő. A gázok elnyelése ugyanakkor általában elhanyagolható, mindössze az ózon jelentősebb abszorbens 330 nm hullámhossz alatt. Az egyik gyakran hivatkozott műholdas paraméter az ún. aeroszol abszorpciós index (AAI), melynek nagysága egyszerre utal a sugárzást elnyelő aeroszol mennyiségére és annak magassági elhelyezkedésére. Az optikailag vastagabb és nagyobb magasságban elhelyezkedő aeroszol esetén egyre nagyobb index értékeket kapunk. A szóban forgó augusztusi pyroCb felhők nyomán kikerült füst augusztus 14-től Kanada északi része felett rendre rekord nagyságú index értékeket produkált (NASA, 2017). Az AAI értéke 16-án volt a legmagasabb, 55,4-es index értékkel. Megjegyezzük, hogy a kibocsátás után az aeroszol felhő vertikálisan mind nagyobb magasságokba keveredhet fel, ennek köszönhetően az aeroszol index értéke növekedhet is az első pár napban (Boers et al., 2010). A vizuális tartományban készült műholdképeken – különösen alacsony napállás esetén – a füst jól követhető volt az észak-atlanti térség, majd augusztus 20-tól Közép-Európa felett is (5. ábra).



4. ábra: Műholdkép az erdőtüzek feletti füsttel és pyroCb felhőkkel augusztus 14-én. A piros négyzetek a műholdas „hot pixeleket” mutatja, ami a tüzesetek pozícióinak felel meg. Forrás: NASA, MODIS Aqua <https://earthdata.nasa.gov>

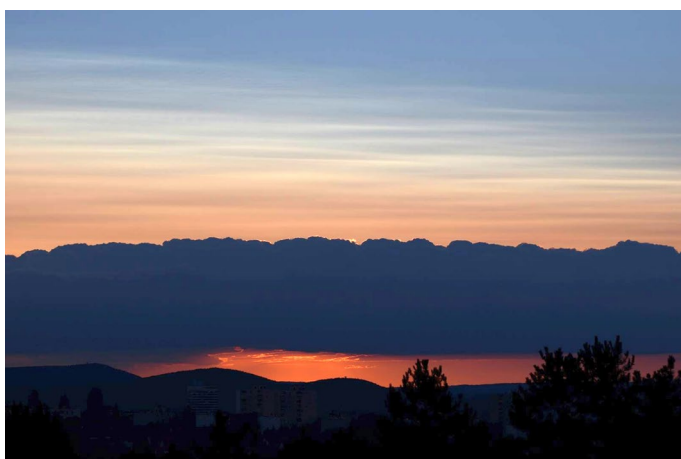
Szürkületi fényviszonyok, krepuszkuláris sugarak. A magasban érkező füst első hulláma augusztus 20-án érkezett az ország fölé. Vizuálisan naplementekor volt szembevetendő a horizont feletti „koszos” sáv. A jelenségre ekkor azonban még inkább csak a szemfülesebb észlelők figyeltek fel. A horizont közelében lévő napmagasság melletti megvilágítás sávos, hullámos szerkezet megjelenését hozta elő, ami már utalt a füstreteg nagyobb magasságára (6. ábra). A sokak figyelmét felkeltő, emlékezetes „show műsor” augusztus 22-én este volt látható az északnyugati égbolton. Napnyugtakor az égbolt nagy részét magas szintű felhőnek tűnő sárgás, fehér fátyol borította be (7–8. ábra). Sokaknak valószínűleg fel sem tűnt, hogy nem szokványos fátyolfelhőkről van szó. A napi gyakorlatban használt infravörös kompozit műholdképek tanúsága szerint továbbra is derült volt felettünk az ég, kizárhattuk a vékony jégfelhők jelenlétét. Napnyugta időpontjában átmenetileg kissé csökkentek a kontrasztok



5. ábra: Műholdképek 2017 augusztusában.

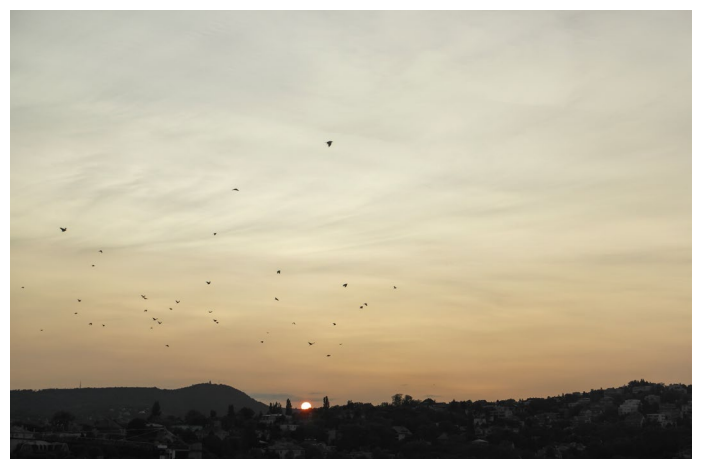
Alacsony napállás esetén igen kontrasztos a magassági teknőt „körbefolyó” füst megjelenése.

A: augusztus 20-án reggel; B: augusztus 21-én reggel; C: augusztus 21-én este; D: augusztus 22-én reggel



6. ábra: Sávos, hullámos megjelenésű füst a magasban a nyugati horizont felett 2017. augusztus 20-án este.

Készítette: Landy-Gyebnár Mónika

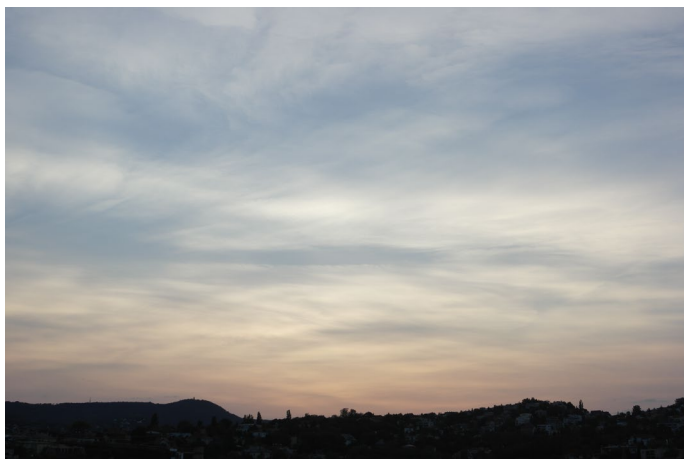


7. ábra: Sztratoszférikus füst réteg megjelenése Budapest felett 2017. augusztus 22-én naplementekor.

Készítette: Kolláth Kornél

a füst rétegen, majd különösen látványos, narancsban pompázó, hosszúra nyúlt alkonyati sugarak tűntek fel. Az árnyéksávok forrása (hegyek, felhők), melyről fölvetül

fény a füst rétegre, akár 500–600 kilométer távolságra is lehetett, valahol már Németország fölött. Hasonló jelenség vulkánkitörések után tapasztalható, amikor szintén a



8. ábra: Naplemente idején a füst réteg kiváló kontrasztokat, részleteket mutat. Készítette Kolláth Kornél

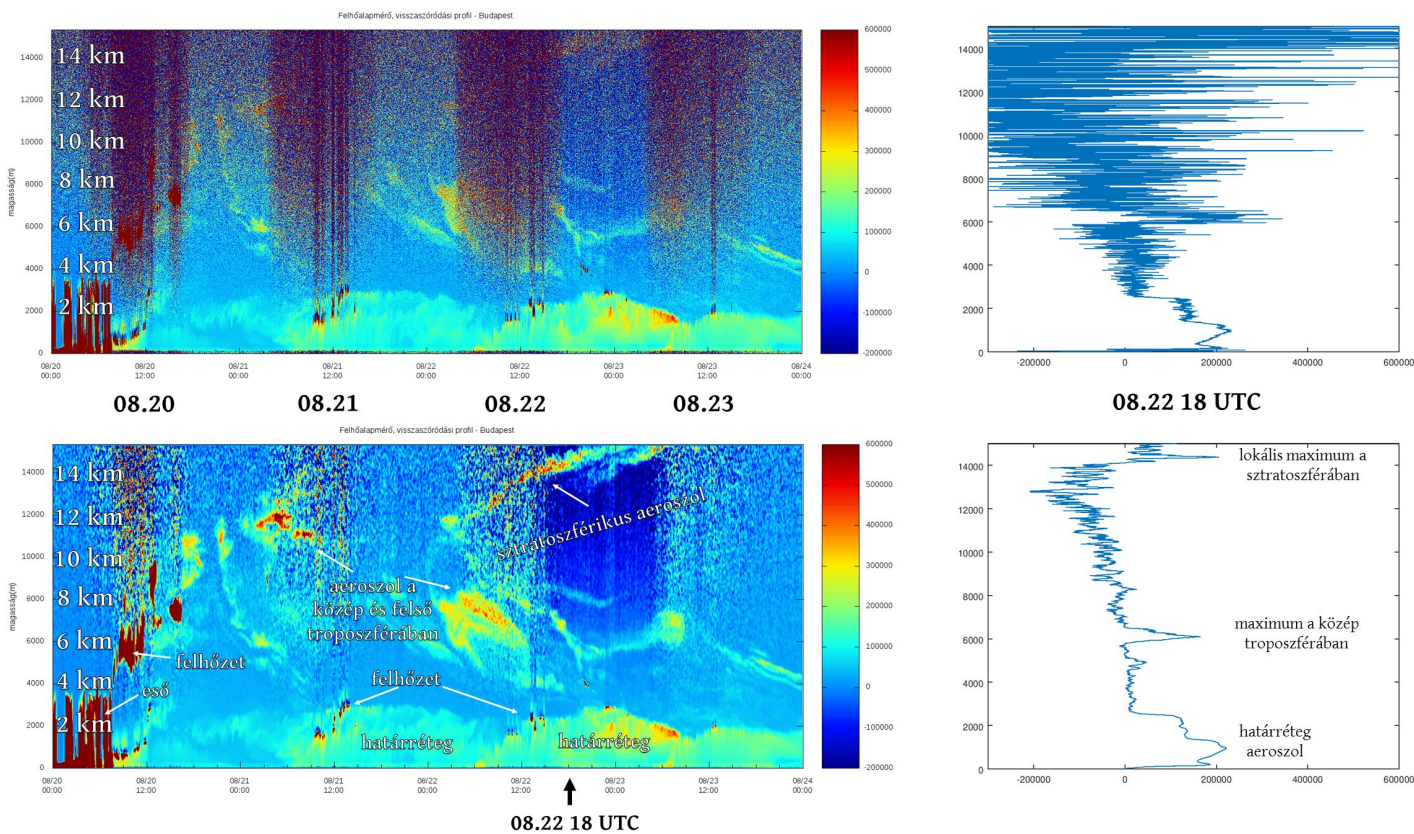


9. ábra: Szeptember 2-án a napkelte előtti fényviszonyok („vulkáni napkelte”) még mindig sztratoszférikus aeroszolra utalnak. Készítette: Kolláth Kornél

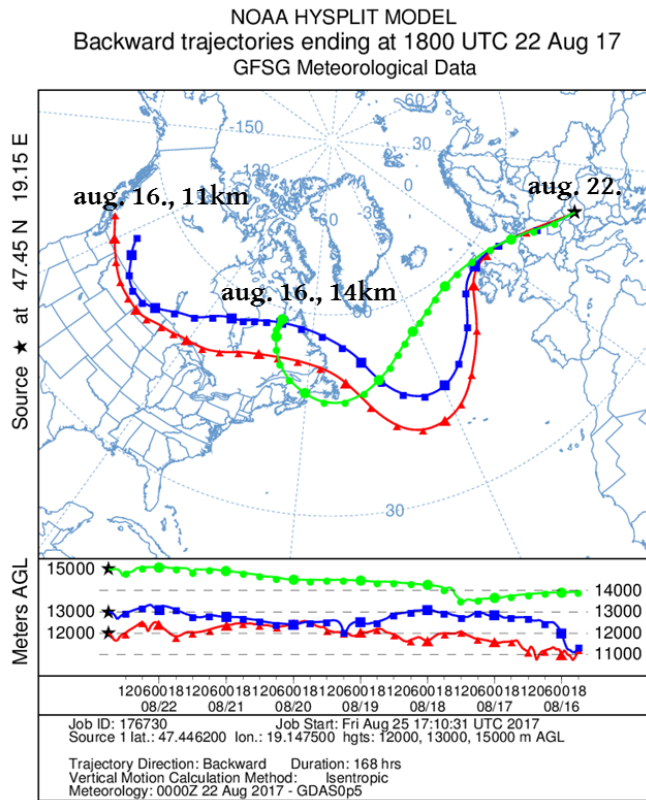
sztratoszféra aeroszolja világitja meg a napfény, miközben a troposféra már földárnyékban van. Hazánk fölött utoljára 2008-ban a *Kasatochi*, 2009-ben a *Szaricsev vulkán* kitörése nyomán láthatunk gyakran lilás árnyalatú „vulkáni naplementéket” (Landy-Gyebnár, 2009). Hasonló színárnyalatok augusztus végén, szeptember elején is felfedezhetők voltak napkelte, napnyugta idején (9. ábra). Érdekesség, hogy a szürkületi fényviszonyoknak – különösen a sztratoszférikus aeroszol jelenléte és magassága tükrében – gazdag irodalma van (Volz and Goody, 1962; Kumari et al., 2008). Manapság az olcsón elérhető digitális kamerákkal is meglepően sok információ ki-

nyerhető a légköri aeroszol profiljára vonatkozóan pusztán a szürkületi időszakban készült fotó sorozatok, illetve mérések alapján (Saito and Iwabuchi, 2015). Sőt a citizen science (magyarul közösségi tudomány) jegyében akár saját fotométert is készíthetünk kifejezetten az aeroszol réteg magasságának behatárolására (Mims, 2015).

Mit látott a felhőalpmérő? Az ún. lézeres felhőalpmérők a műszer által függőlegesen kibocsátott lézertény visszaszóródásának detektálásán alapul. A kisugárzott lézert impulzushoz képest a visszaverődő jelek intenzitásai és pontos időpontjai alapján vertikális profil alkotható a



10. ábra: A budapesti felhőalpmérő visszaszóródási profilja, mint időbeni metszet augusztus 20-tól 23-ig (bal oldalt), illetve a 2017. augusztus 22. 18 UTC időpontban (jobb oldalt). A fenti diagramok a műszer nyers visszaszóródási jeleiről mutatja, a lentén a medián zajszűrés utáni értékekről szerepelnek. A skála arányos a visszaverődő jelek távolsággal korrigált erősségével

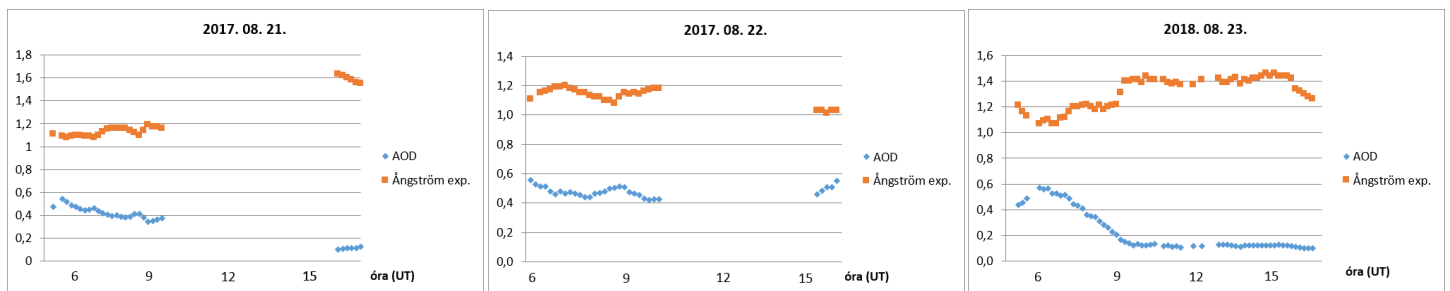


11. ábra: Backward légpályák augusztus 22-i indítással hat nappal visszafelé. Forrás: NOAA, Air Resources Laboratory, HYSPLIT model. <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>

szóró részecskékre vonatkozóan. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál az utóbbi időben Lufft CHM15k típusú műszerek kerültek telepítésre. Az eszköz keskeny sáv szélességű szilárdtest-lézerforrást alkalmaz, 1064 nm hullámhosszúságú (közeli infravörös) tartományban. A detektáló rendszer része az avalanche fotodióda, ami egy nagyon érzékeny félvezető eszköz. A fotodióda a teleszkóp által összegyűjtött fotonokat mozgékony töltéshordozó párok sokszorosává alakítja át, így létrehozva az elektromos impulzusokat. A rendszer 1–2 ns-os jelkibocsátás mellett is képes a fotoelektronok regisztrálására, ami nagyban hozzájárul a mérések pontosságához. Bár a műszer a felhőalap magasság meghatározására optimalizált, a mérésekben jól elkülönül a planetáris határreteg aeroszol profilja, illetve extrém esetben az ennél jóval magasabban elhelyezkedő aeroszol rétegeket is képes detektálni. Fontos megemlíteni, hogy a felhőkben igen gyorsan elgyengül a kibocsátott jel, így gyakorlatilag egy optikailag vastagabb felhőréteg fölé már nem láthatunk. A 10. ábrán a budapesti felhőalpmérő méréseit láthatjuk az augusztus 20-tól 23-ig tartó időszakban, il-

letve egy kitüntetett időpontban 22-én este. Az ábrákon a műszer fölötti légkörből visszaverődő jelerősséget láthatjuk a magasság függvényében. A felhőkről és csapadékról lényegesen erősebb visszaverődések tapasztalhatók, így ehhez képest csak a relatíve gyengébb jelek a számunkra érdekesek. Különösen a magasból visszaverődő gyengébb jelek tartományában jelentős a zaj a nyers adatokban, ami medián zajszűréssel nagyjából orvosolható. (Sajnos a nappali profilokban így is jelentős marad a zaj a közeli infravörösben is jelen lévő háttérsugárzás miatt.) 20-án a nap első felében még frontális felhőzet és csapadék látható a profilokban, ezt követően viszont néhány gomolyfelhőtől eltekintve csak különféle aeroszol rétegekről történő visszaverődések láthatók. A határreteg aeroszolja felett 4 km-től egészen a mérés határt jelentő 15 km-ig láthatunk sávokat. Két periódust különíthetünk el. Az első 20-án este, a második 22-e hajnalban kezdődik. Különösen az utóbbi lefutásában felfedezhető, hogy először 10–12 km környékén jelenik meg a nagyobb visszaverődés, mely fölött és alatt időben fokozatosan eltolódva érkezik a füst. Ezt hozzávetőlegesen a szélesség profiljával magyarázhatjuk (a tropopauza szintje felett és alatt gyengébb az áramlás). Figyelemre méltó, hogy az eltolódás szemmel láthatóan a 15 km-es mérés határ fölött is folytatódna. A légpálya számítások igazolták, hogy a bemért aeroszol rétegek valóban Kanada irányából jutottak el hozzánk (11. ábra).

Napspekrofotometriás mérések. Az Országos Meteorológiai Szolgálat Marcell György Főobszervatóriumában operatív módon folyik az aeroszol optikai mélység (AOD) mérése SolarSIM spektrofotométerrel a 368, 412, 500, 675, 862 és 1024 nm-es hullámhosszokon, ill. Brewer spektrofotométerrel a 320 nm-es hullámhosszon. A sugárzásátviteli problémákban az 500 nm-es AOD az általánosan használt. Ismert, hogy a 0,2 és 0,3 közé eső AOD értékek átlagosan szennyezett légkört jelentenek, a 0,3-nál nagyobb értékek erősebben szennyezett, a 0,2 alattiak pedig kevésbé szennyezett, tisztább légkört. Minél nagyobb az AOD értéke, annál kisebb a légkör sugárzásátbocsátó képessége, azaz gyengébb az átlátszótsága. Minden AOD spektrumból kiszámításra kerül az ún. Ångström exponens, ami a mérés során jelenlévő aeroszol részecskék méreteloszlására jellemző mennyiség. Ez tulajdonképpen nem más, mint az AOD spektrum „meredeksége”. Átlagosnak mondható méreteloszlás esetén értéke 1,3. Az ennél magasabb értékek egyre inkább az 500 nm-esnél kisebb sugarú részecskék dominanciáját jelentik az aeroszol össz mennyiségében, az 1,3 alattiak pedig a nagyobb méretű részecskékét. A 12.a–c ábrákon az



12. ábra: Aeorszol optikai mélység és Angström exponens 2017. augusztus 21-én (a), augusztus 22-én (b) és augusztus 23-án (c),

500 nm-es AOD és az Ångström exponens napi menete látható 2017. augusztus 21–23. napokon (21. és 22. esetén a nap egy részében felhő takarta a napkorongot, így ekkor nincsenek mérési eredmények). Jól látható, hogy 21-én a nap elején magas, 0,5 és 0,6 közötti volt az AOD érték a kanadai füstnek köszönhetően, majd délelőtt fokozatosan csökkent, és később már nem sokkal volt a légkör átlátszósága az átlagnál gyengébb. Az Ångström-exponens 1,1 körül volt a nap elején, ami a nagyobb részecskék dominanciáját mutatja. Késő délutánra a légkör átlátszósága kifejezetten nagy lett, és a lényegesen kisebb részecskék voltak jellemzők az aeroszolban. A napközbeni javulás összhangban volt azzal, hogy a magassági teknő tengelye Budapest fölé került (lásd az 5. ábra műholdképeit). 22-én reggel, délelőtt és késő délután is elég magas volt az AOD értéke, ami magas aeroszoltartalmat mutat. Hullámokban változott, és a napon belüli változékonysága számottevően nagyobb volt a megszokottnál. Az Ångström-exponens értékei (1,1–1,2) alapján a nagyobb részecskék voltak túlsúlyban. 23-án, nagyjából az előző nap este folytatásaként magas volt az AOD, és a nagy részecskék voltak többségben, de aztán gyorsan tisztulni kezdett a légkör, és kb. 10 UTC környékére már az átlagosnál is tisztább lett. Ekkor az aeroszolt már főleg kis részecskék alkották. A fentiekből arra következtethetünk, hogy a kanadai füst „sávos szerkezettel” haladt el hazánk felett, ahogy ez a felhőalpmérő visszaszóródási profiljából is látszik, és 23-án, a délelőtti folyamán nagy része már elhagyta az ország közepe feletti légréteget.

Összegzés. A 2017 augusztusában Közép-Európa fölé kerülő sztratoszférikus aeroszol mennyisége valószínűleg egyedülálló az elmúlt évtizedek idősorában. Az eset feldolgozásával más intézmények, kutatóközpontok is foglalkoztak. *Ansmann et al.* (2018) németországi mérések alapján összehasonlították az esetet más hasonló eseményekkel. Beszédesebb, hogy a Németország fölött a sztratoszférában mérhető legerősebb gyengítési együttható 20-szorosa volt az 1991-es Pinatubo vulkán kitörése utáni mért értékeknek. Ennek azonban fő oka az, hogy a füst a kibocsátás után a futóáramlás közelében az alsó sztratoszféra lamináris áramlási viszonyai között egy viszonylag keskeny zónában maradván jutott el Közép-Európa fölé, így útja során még csak keveset hígulhatott. A pyroCb felhők a globális klíma egy igen komplex működésű és hatású szereplői, melyben a kártevő rovaroktól kezdve az erdőtüzek és konvektív felhők kialakulásán keresztül eljutunk a sztratoszférában lebegő részecskék kémiájához, fizikájához. Érdemes tehát nyomon követnünk ezen – még fiatal – kutatási terület eredményeit. A hasonló esetek felbukkanásakor pedig legyünk résen, hogy hazai megfigyelésekkel is dokumentálhassuk az eseményt.

Köszönetnyilvánítás. Köszönjük a MET-ÉSZ észlelőinek, illetve a facebook *Léggöröptika Csoportjának*, akik számtalan különleges fevételt és beszámolót küldtek. Köszönet *Landy-Gyebnár Mónikának* és *Veres Viktor-nak*, akikkel együtt gondolkodtunk a jelenség egy-egy

aspektusán. Köszönjük *Salavec Péternek* az ötleteket az adatok feldolgozásával kapcsolatban.

Irodalom

- Ansmann, A. Baars, H., Chudnovsky, A., Mattis, I., Veselovskii, I., Haarig, M., Seifert, P., Engelmann, R., and Wandinger, U.*, 2018: Extreme levels of Canadian wildfire smoke in the stratosphere over central Europe on 21–22. 08. 2017. *Atmos. Chem. Phys.* 18, 11831–11845. doi:10.5194/acp-18-11831-2018
- Boers, R., de Laat, A. T., Stein Zweers, D. C., and Dirksen, R. J.*, 2010: Lifting potential of solar-heated aerosol layers. *Geophysical Research Letters*. 37, L24802. doi:10.1029/2010GL045171
- 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, M. 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, <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- Evangelidou, N., Kylling, A., Eckhardt, S., Myroniuk, V., Stebel, K., Paugam, R., Zibtsev, S., and Stohl, A.*, 2018: Open fires in Greenland: an unusual event and its impact on the albedo of the Greenland Ice Sheet, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, doi:10.5194/acp-2018-94
- Fromm, M., Lindsey, D.T., Scrvranckx, R., Yue, G., Trickl, T., Sica, R., Doucet, P., GodinBeckmann, S.*, 2010: The untold story of pyrocumululus. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 91, 1193–1209
- Hart, S. J., Schoennagel, T., Veblen, T. T. and Chapman, T. B.*, 2016: Area burned in the western United States is unaffected by recent mountain pine beetle outbreaks. *National Academy of Sciences*, doi:10.1073/pnas.1424037112
- Hicke, J. A., Johnson, M. C., Hayes, J. L., Preisler, K.*, 2012. Effects of Bark Beetle-Caused Tree Mortality on Wildfire. *Forest Ecology and Management* 271, 81–90. doi:10.1016/j.foreco.2012.02.005
- Kumari, B. P., Kulkarni, S. H., Jadhav, D. B., Londhe, A. L and Trimbake. H. K.*, 2008: Exploring Atmospheric Aerosols by Twilight Photometry, *Indian Institute of Tropical Meteorology*, Pune, India. doi:10.1175/2008JTECHA1090.1
- Landy-Gyebnár, M.*, 2009: Színek és fények a nyári égen. *Meteor* 39 (9), 66–68.
- Mims III, F. M.* 2015: Measure the Altitude of Dust, Smog, Smoke, and Volcanic Aerosols. *Make magazine*, 44 & 45.
- NASA’s Earth Observatory*, 2017: Record breaking smoke over Canada. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/90759/record-breaking-smoke-over-canada>
- Saito, M. and Iwabuchi, H.*, 2015: A new method of measuring aerosol optical properties from digital twilight photographs, *Atmos. Meas. Tech.* 8, 4295–4311, <https://doi.org/10.5194/amt-8-4295-2015>
- Torres, O., Bhartia, P. K., Herman, J. R., Ahmad, Z. and Gleason, J.*, 1998: Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: Theoretical basis. *J. Geophys. Res.*, 103, 17 099–17 110. doi:10.1029/98JD00900
- Veres, V.*, 2017: Ilyen naplementét még nem látott Budapesten. [zoom.hu. https://zoom.hu/hir/2017/08/23/ilyen-naplementet-meg-nem-latott-budapestent/](https://zoom.hu/hir/2017/08/23/ilyen-naplementet-meg-nem-latott-budapestent/)
- Volz, F. E. and Goody, R. M.*, 1962: The Intensity of the Twilight and Upper Atmospheric Dust. *Harvard University*, doi:10.1175/1520-0469(1962)019<0385:TIOTTA>2.0.CO;2

SZÉLIRÁNYOK ENERGETIKAI PARAMÉTEREINEK TERÜLETI ELTÉRÉSE KÁRPÁTALJÁN

TERRITORIAL DIFFERENCES OF ENERGETIC PARAMETERS OF THE WIND DIRECTIONS IN TRANSCARPATHIA

Hadnagy István^{1,2}, Tar Károly¹

¹Meteorológiai Tanszék, Debreceni Egyetem, 4010 Debrecen, Egyetem tér 1., tarko47@gmail.com

²II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Biológia és Kémia Tanszék,
90202 Beregszász, Kossuth tér 6, hadistvan@gmail.com

Összefoglalás. A munkánkban bemutatjuk a Kárpátalja területére jellemző szélirány-mező statisztikai szerkezetében – a viszonylag összetett orográfiai környezet függvényében – meglévő jellegzetes vonásokat és évszakos változásokat. Az adatbázisunkat kilenc meteorológiai megfigyelő állomás 3 óránként regisztrált szélesség és szélirány adatai alkották. Külön vizsgáltuk a síkvidéki és a nem síkvidéki állomások szélirányainak karakterisztikáit. Minden állomás esetében lehatároltuk azokat az időszakokat és kiválasztottuk azokat a szélirányokat, amelyek szélenergiában gazdagabbak a többinél.

Abstract. In our work we present the characteristic features and seasonal changes in the statistical structure of the wind direction field in the Transcarpathian region, depending on the relatively complex orographic environment. Our database was composed of data sets of wind speed and wind direction recorded every 3 hours by nine meteorological observation stations. The characteristics of the wind directions of the lowland and non-lowland stations were examined separately. For each station, we defined the periods and selected the wind directions that are richer in wind power than the others.

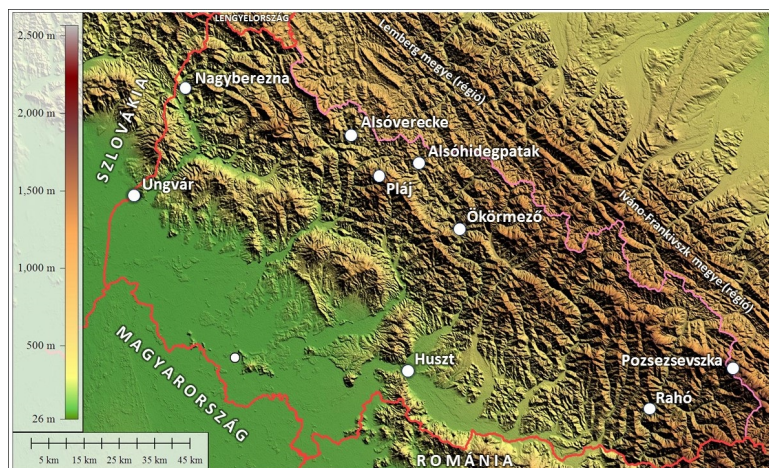
Bevezetés. Az európai és ázsiai mérsékelt övi akciócentrumokban keletkező alacsony vagy magas nyomású légköri képződmények jellemző tulajdonságaik révén lényegesen meghatározzák a Kárpát-medence és ezzel együtt Kárpátalja felett jellemző szélmező tulajdonságait. Az év nagy részében Kárpátalja felett anticiklonális időjárási helyzet uralkodik. A hideg évszakban, akár októbertől májusig, a területre jelentős hatást gyakorol a keleten elhelyezkedő nagykiterjedésű szibériai anticiklon (Andrianov, 1951; Bodnar, 1987; Voropay and Kunitsa, 1966). Északról, a Barents-tenger térségéből, sarkvidéki légtömegek is betörnek ide (Herenchuk, 1981). A hideg levegő a Kárpátokon hirtelen átkelve és az alföld felé zúdulva a hegyvidéken nem ritkán 40 ms^{-1} -os (Salyuk et al., 2013) sebességű szelet okoz. Télen, az anticiklonális időszak mellett, jellemző a nyugatról és délnyugatról beáramló óceáni légtömegek megjelenése is (Bodnar, 1987). A tavasz beálltával a térségben az azori anticiklon légtömegei válnak uralkodóvá. A tavasz végére és a nyár első felére a területen a légáramlást tekintve meghatározóvá válik a nyugati és északnyugati irány (Voropay and Kunitsa, 1996; Herenchuk, 1981). A nyugatról érkező óceáni légtömegek a nyári évszakban viszonylag rövid ideig tartó lehűlést, jelentős mennyiségű csapadékot, esetenként intenzív, pontszerű zivatarok kialakulását eredményezik. A rövid ideig tartó zivatarokat a síkvidéken $20\text{--}25 \text{ ms}^{-1}$ -os, a középhegységi csúcson akár 40 ms^{-1} -os sebességű széllokések

és jégeső kísérik (Lavnyy and Lässig, 2009). Az őszi időszakban fokozatosan felújul a télre jellemző áramlási rendszer, a szibériai anticiklon egyre érzékelhetőbb hatásával, gyenge légmozgással járó, hűvös, ködös időjárással.

A helyi légkörszere lényeges hatást fejtenek ki az itt húzódó Kárpátok, azon belül a Kárpátalját érintő Északkeleti-Kárpátok északnyugat-délkeleti csapásirányú vonulatai. Az 1200–1500 m tengerszint feletti magasságot meghaladó területeken a makroszintoptikus helyzetek a nyugati áramlásnak kedveznek (Buchynszky, 1971): télen – délnyugati, nyáron – nyugati és északnyugati (Tykhanovych and Bilanyuk, 2004). Az alacsonyabban fekvő térségeken, folyó völgyekben a szélmező tulajdonságai ettől jelentősen eltérhetnek, és a lokális domborzati tényezőktől függenek. A nyugati, északnyugati atlantikus légtömegek a hegyvidék csapásirányával közel párhuzamosan haladnak végig, alig változtatva meg irányukat. A délnyugati földközi-tengeri, keleti kontinentális és északkeleti arktikus légtömegek haladási iránya viszont a hegységrendszerre közel merőlegesen történik. Az utóbbi

esetében a hegyvidék visszatartó hatása már fokozottabban érvényesül (Andrianov, 1961).

Az itt működő meteorológiai állomások többsége mély, szélvédett hegyvidéki folyó völgyekben helyezkedik el. A völgyekben a különböző irányból érkező légáramlatok felveszik és követik a völgy hosszanti irányát. A meteorológiai állomások



1. ábra: Az adatbázist alkotó meteorológiai megfigyelő állomások földrajzi elhelyezkedése

kon regisztrált szélirányok ily módon nem a nagytérsegi irányszektorokat, hanem a folyóvölgy földrajzi orientációját tükrözik. A mélyebben fekvő folyóvölgyi állomásokon gyakori a szélsend (Szalyuk et al., 2013).

A munkánk célja, hogy bemutassuk a Kárpátalja területére jellemző szélirány-mező statisztikai szerkezetében a viszonylag összetett orográfiai környezet függvényében meglévő jellegzetes vonásokat és évszakos változásokat.

A felhasznált adatok. Adatbázisunkat kilenc meteorológiai megfigyelő állomás 3 óránként regisztrált szélesebség és szélirány adatsorai alkották. Az adatsorokat a Kárpátaljai Megyei Hidrometeorológiai Központtól vásároltuk meg. Az adatok 2011. január 1-től 2015. december 31-ig terjedő időszakra vonatkoznak. Az állomások földrajzi elhelyezkedését az 1. ábrán mutatjuk be. Az 1. táblázatban pedig megadjuk ezen állomások pontos földrajzi koordinátáit, tengerszint feletti magasságát, valamint a szélesebség-mérő talajfelszín feletti magasságát.

1. táblázat: A meteorológiai állomások pontos földrajzi koordinátái és az anemométer talajfelszíntől mért magasságai (φ : földrajzi szélesség, λ : földrajzi hosszúság, h : tengerszint feletti magasság, h_a : az anemométer felszín feletti magassága)

Meteorológiai állomás		Földrajzi koordináta		h (m)	h_a (m)
WMO index	Állomás név	φ (északi)	λ (keleti)	2011. jan. – 2015. dec.	
33631	Ungvár	48°38'	22°16'	112	14
33638	Huszt	48°11'	23°18'	164	16
33514	Nagyberezna	48°54'	22°28'	205	10
33647	Rahó	48°03'	24°12'	430	10
33633	Ökörmező	48°31'	23°30'	456	10
33517	Alsóverecke	48°46'	23°06'	496	10
33518	Alsóhidegpatak	48°42'	23°22'	615	10
33515	Pláj	48°40'	23°12'	1330	8
33646	Pozsezevszka	48°09'	24°32'	1451	11

A jellemző szélirányok meghatározása. Az energiatartalom a szélmező egyik fontos strukturális eleme, ami szorosan összefügg a szélirányok és szélesebségek gyakorisági eloszlásával külön-külön, de együttesen is. A szélmező bármely karakterisztikájának megváltozása tehát a potenciális szélenergia megváltozását vonja maga után. Ezért olyan indikátor szélirányokat keresünk, amelyek az adott területen és időszakban energetikailag és klimatológiailag meghatározók, a klimatológiai feltételek megmaradása esetén változatlanok, stacionáriusak, az éghajlatban bekövetkező bármiféle változás esetén azonban kicserélődhetnek. A szélirányok gyakorisági eloszlása évszaktól is függően szoros sztochasztikus kapcsolatban van a szélirányok relatív energiatartalmával, átlagsebésségével, illetve átlagos időtartamával, és vannak olyan szélirányok, amelyeknél ezek a karakterisztikák szignifikánsan különböznek a többi szélirány esetében megfigyelttől (Tar, 2013). Annak vizsgálatára, hogy a szélirányok közül melyek azok, amelyek gyakorisága szignifikánsan meghatározott, tehát nem véletlenszerűen vannak jelen az adott helyen az adott időszakban, egy, a

valószínűségek egyenlőségének eldöntésére vonatkozó átalakított statisztikai próbát (Vince, 1975) alkalmaztunk. A statisztikai próba szerint adott valószínűségi szinthez meghatározható egy kritikus tartomány h_1 és $h_2 > h_1$ határokkal úgy, hogy ha van olyan D szélirány, amelynek g_D gyakoriságára teljesül a $g_D > h_2$ egyenlőtlenség, akkor az irányok eloszlása nem tekinthető egyenletesnek. Ilyen irány azonban több is van. Ezeket az adott helyre az adott időszakban jellemző irányoknak, ha $g_D < h_2$, akkor pedig nem jellemző irányoknak nevezzük (Tar and Verdes, 2003; Tar, 2004).

A h_1 és h_2 értékei (Vince, 1975):

$$h_1 = p_0 n - u_\varepsilon \sqrt{np_0(1-p_0)} \quad \text{és} \\ h_2 = p_0 n + u_\varepsilon \sqrt{np_0(1-p_0)} \quad (1)$$

ahol p_0 egy szélirány előfordulásának valószínűsége egyenletes eloszlást feltételezve, azaz most – mivel 8 szélirányt különböztetünk meg – $p_0 = 1/8 = 0,125$, n az összes esetek száma (mintanagyság: 8 [napi 8 mérés] \times napok száma). Az u_ε pedig a

$$2\Phi(u_\varepsilon) - 1 = 1 - \varepsilon \quad (2)$$

összefüggésből határozható meg, ahol $\Phi(x)$ a standard normál eloszlású valószínűségi változó eloszlásfüggvénye. Így, ha $\varepsilon = 0,0027$ (Péczeley, 1957), akkor $u_\varepsilon = 2,28$.

A legnagyobb energiatartalommal bíró jellemző szélirányok meghatározása. A felszínen mért széladatokat felhasználhatjuk az adott szint energetikai jellemzésére. Az energetikai számításoknál meghatározó lehet azoknak az időszakoknak vagy akár szélirányoknak a lehatárolása, kiválasztása, amelyek szélenergiában gazdagabbak a többinél.

Egy adott D szélirány adott időszakra (pl. év, évszak, hónap) vonatkozó átlagos energiatartalmát a D napi átlagos fajlagos szélteljesítményével lehet meghatározni, amely az alábbi összefüggéssel írható le:

$$P_{f1}(D) = \frac{\rho}{2} \sum_{j=1}^k \frac{f_{Dj}}{N} v_j^3 \quad (3)$$

ahol, f_{Dj} annak gyakorisága, hogy D irányú szél sebessége v_j legyen, k a szélesebség-intervallumok, N pedig az adott időszakban figyelembe vett esetek száma. Ha P_{f1} az időszak (irányoktól független) napi átlagos fajlagos szélteljesítménye, akkor a

$$p_D = \frac{P_{f1}(D)}{P_{f1}} \quad (4)$$

arány az adott szélirány relatív energiatartalmát adja meg. A legnagyobb energiatartalommal bíró jellemző szélirányt energetikai uralkodó széliránynak tekintjük (Tar and Verdes, 2003; Tar, 2004).

Az irányoktól független fajlagos szélteljesítmény megadható az adott mérési magasságban előállított relatív gyakorisági eloszlások segítségével (Osadchyi et al., 2015; Moskalchuk, 2017):

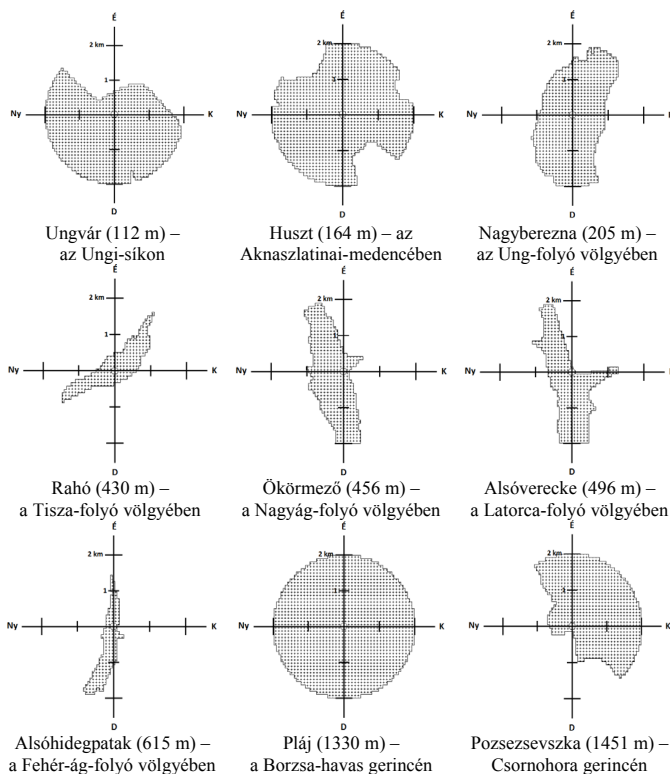
$$P_{f1} = \frac{\rho}{2} \sum_{i=1}^n p_i v_i^3 \quad (5)$$

ahol v_i^3 a sebesség-intervallumok ($\Delta x = 1 \text{ ms}^{-1}$) középpontjainak (v_i) köbös értékei, a p_i a hozzájuk tartozó relatív

gyakoriságok, az n pedig a sebesség-intervallumok száma. Az adott szélirány átlagsebessége erősen függ az anemométer talajfelszín feletti magasságától. Az 1. táblázatban látható, hogy a vizsgálatba vont meteorológiai mérőállomások némelyikén (Ungvár, Huszt, Pláj és Pozsezevszka) a szélesség mérő az előírt 10 m-nél magasabbra vagy alacsonyabbra van elhelyezve. Ezért, az eredmények összehasonlíthatósága érdekében, a mért szélesség adatokon magassági korrekciót végeztünk a WMO által elfogadott félempirikus magassági korrekció felhasználásával (Mezősi és Simon, 1981):

$$v_h = v_{10} [0,233 + 0,656 \lg(h + 4,75)] \quad (6)$$

ahol a v_h – a $h \neq 10$ m-en mért, a v_{10} – a 10 m magasságban mért/számolt szélesség. Így minden állomáson a 10 m-es szintre vonatkozó szélességekkel dolgoztunk.

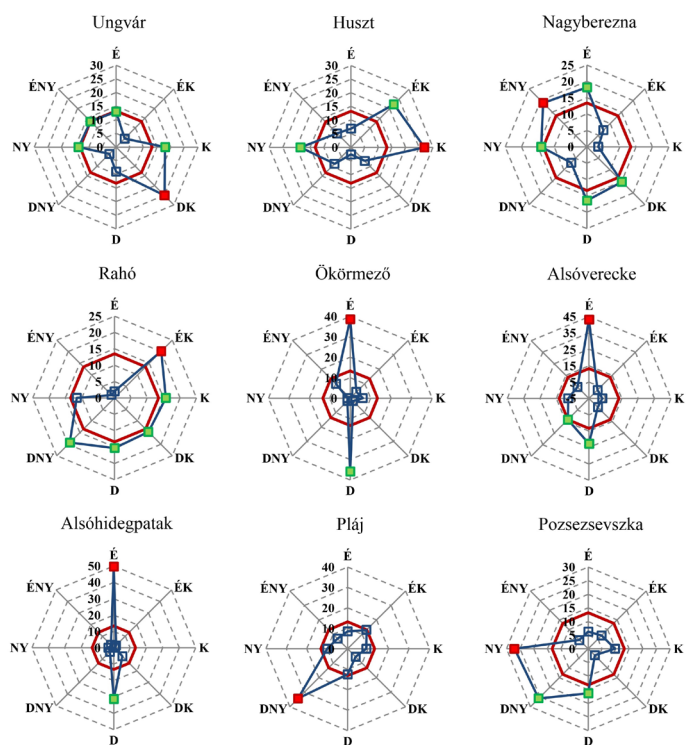


2. ábra: A domborzat horizontkorlátozó hatása az állomások körül (360°-ban) egy 2 km-es sugarú körben, 10 m-es magasságban

Eredmények. A mintaterületen az állomások különböző orográfiai környezetben helyezkednek el. A legalacsonyabban (Ungvár, 112 m) és a legmagasabban (Pozsezevszka, 1451 m) fekvő állomás relatív szintkülönbsége 1339 m. Az ingyenesen elérhető nyilvános SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) topográfiai adatbázis felhasználásával előállítottuk az állomások 2 km-es sugarú környezetében, 360°-ban, a felszíntől 10 m magasságban a domborzat, illetve a SRTM által tartalmazott egyéb felszíni érdekességet befolyásoló elemek (pl. magas épülete, erdő) horizontkorlátozását bemutató kördiagramokat. A 2. ábra jól szemlélteti az egyes égtájak felől a domborzat hatását a felszín közeli szélmező tulajdonságaira. A nyitott hegygerincen található Pláj esetében egész 360°-os kört kapunk, míg a szűk hegyvi-

déki medencében, folyóvölgyben fekvő Nagyberezna, Rahó, Ökörmező, Alsóverecke és Alsóhidegpatak esetében csupán keskeny sávot, amely az adott völgy hosszanti irányát és minden bizonnyal egyben az ott uralkodó szél iránszektorát is ábrázolja.

A tagolt felszín a lokális szélviszonyok kialakulásának elsődleges tényezője. A vizsgált meteorológiai állomások szélirány adatait tekintve megállapítható, hogy a lokális szélviszonyok rendszere és ezek tulajdonságai, a bárium mezők szezonális eloszlása és azok kölcsönhatása által megszabott alapáramlason kívül, a Szász és Tőkei (1997) által leírt hegy-völgyi szél mechanizmusára is visszavezethető. Kárpátalja hegyvidéki részén a sűrűn elhelyezkedő mély folyóvölgyek helyi áramlási mező létrejöttét okozzák. Ennek egyik jellegzetes formája a hegy-völgyi cirkuláció. A hegy-völgyi szelek, gyenge nagytérségi légmozgások mellett, különösen a nyári évszakban, a nap



3. ábra. A szélirányok relatív gyakoriságai és a jellemző szélirányok a vizsgált állomásokon a 2011-2015. közötti időszakban (pirossal kitöltött jelölő a leggyakoribb jellemző szélirány, zölddel kitöltött jelölők a többi jellemző szélirány)

folyamán periodikus járást mutatnak. Nappal a völgy aljától a hegygerinc irányába, felfelé mozog a levegő, sok vízpárát szállítva a magasba. Éjjel viszont az áramlás megfordul, a hegycsúcsok, hegygerinc felől a völgy alsó részébe áramlik a levegő. Ehhez kedvező feltételek adtak az Ung, Latorca, Borzsa, Nagygagy, Tarac és Talabor folyók völgyében.

A szélirányok empirikus relatív gyakorisága és a jellemző szélirányok. Első lépésben elkészítettük a mérőponton a szélirányok empirikus relatív gyakoriságát az egész időszakra és évszakosan is. Az energetikai vizsgálatoknál ugyan a 16 iránszektoros bontás javasolt (Lysen, 1982; Patay, 2003; Pivnyak et al., 2015) a szélirány gyakoriságok ábrázolására, azonban az általunk

felhasznált adatbázis felbontása csupán 8 égtáji felosztást engedett meg. Következő lépésben a bemutatott statisztikai próba segítségével az állomások szélirány eloszlásaira meghatároztuk azt a kritikus tartományt (h_1 és $h_2 > h_1$), amely alapján a $g_D > h_2$ egyenlőtlenség teljesülése esetén kiválaszthatók a jellemző szélirányok, ezekből egy-egy állomáson akár több is lehet. A mérőpontok szélrózsáit az egész időszakra a 3. ábrán mutatjuk be.

Általánosan elmondható, hogy az eloszlások erősen tükrözik az orográfiai viszonyokat, különösen a szűk folyóvölgyekben elhelyezkedő állomásokon. A szélrózsák piros jelölői a leggyakoribb jellemző irányokat, a zöld az egyéb jellemző irányokat, a kitöltetlen kék jelölők a nem jellemző irányokat mutatják. A jellemző irányok száma 1 és 5 között változik, az összes gyakoriságuk pedig 34,4% (Pláj) és 85,0% (Alóhidegpatak) között. Az alföldi állomásokon és egy-egy szélesebb folyóvölgyben egyenletesebb eloszlást és több jellemző szélirányt láthatunk (3–5 között), ilyen Ungvár (az Ungi-síkon, az Ung-folyó völgyében, az alföld és a vulkanikus-vonulat határán), Huszt (a Huszti-kapuban, a Tisza völgyében, a Kárpátaljai-alföld és az Aknaszlatinai-medence határán), Nagy-berezna (az Ung-folyó völgyének egy kiszélesedő szakaszán), Rahó (a Fekete-Tisza-folyó egy kiszélesedő szakaszán). A magasabb tengerszint feletti területeken, a felszínbe mélyen bevágódó folyóvölgyek állomásain viszont legfeljebb 1–3 meridionális jellemző irányt találunk, ezek: Ökörmező (a Nagygagy folyó völgyében), Alsó-verecke (a Latorca folyó völgyében), Alsóhidegpatak (a Fehérgagy folyó völgyében). Ez összefüggésben áll azzal is, hogy az Északkeleti-Kárpátoknak 1000 m alatt húzódó gerincvonala utat nyit a mérsékelt öv ezen részén uralkodó északnyugati, nyugati áramlásoknak, melyek megkerülik a hegyláncot folyóvölgyeken keresztül, illetve a hegy-völgyi cirkuláció is okozója lehet a meridionális áramlásnak. A hegygerincen elhelyezkedő Pláj és Pozsezszevszka egy más légréteg áramlási viszonyait mutatja, a nyitott környezet ellenére 1–3 jellemző irány adódik D, DNY és NY felől. A jellemző irányok egyes éves és évszakos statisztikai értékeit a 2. táblázatban mutatjuk be. Megállapítható, hogy évsza-

2. táblázat: A leggyakoribb szélirány (MFWD) és relatív gyakorisága (MFWD_F), a jellemző szélirányok (CWD), $g_D > h_2$ egyenlőtlenség h_2 értéke, a jellemző szélirányok együttes és átlagos relatív gyakorisága (CWD_F és CWD_{F1}) a 2011–2015-ös időszakban (kiemelve: félkövér – a legnagyobb, dőlt – a legkisebb érték)

Időszak	MFWD	MFWD _F (%)	CWD	h_2 (%)	CWD _F (%)	CWD _{F1} (%)
Ungvár (112 m)						
éves	DK	25,1	K,DK,NY,ÉNY	13,2	83,0	16,6
tél	DK	40,1	DK	14,0	40,1	40,1
tavaszi	K	18,8	É,K,DK,NY,ÉNY	13,9	82,0	16,4
nyár	K	19,3	É,K,DK,NY,ÉNY	14,0	78,9	15,8
ősz	DK	29,5	K,DK	14,0	50,7	27,3
Huszt (164 m)						
év	K	26,9	ÉK,K,NY	13,2	67,7	22,6
tél	K	29,5	ÉK,K,NY	14,0	70,6	23,5
tavaszi	ÉK	24,8	ÉK,K,NY	13,9	65,8	21,9
nyár	K	23,1	ÉK,K,NY	13,9	63,5	21,2
ősz	K	33,3	ÉK,K,NY	14,0	71,7	23,9
Nagyberezna (205 m)						
éves	ÉNY	18,9	É,DK,D,NY,ÉNY	13,4	82,6	16,5
tél	D	22,6	É,DK,D,ÉNY	14,3	74,8	18,7
tavaszi	ÉNY	22,1	É,ÉNY	14,1	43,7	21,9
nyár	ÉNY	21,4	É,DK,NY,ÉNY	14,3	77,5	<u>15,5</u>
ősz	D	21,1	É,DK,D,NY,ÉNY	14,5	84,1	16,8
Rahó (430 m)						
éves	ÉK	20,2	ÉK,K,DK,D,DNY	13,5	85,2	17,0
tél	ÉK	21,6	ÉK,DNY	14,5	46,4	23,2
tavaszi	ÉK	23,4	ÉK,K,D,DNY	14,2	74,3	18,6
nyár	K	<u>16,6</u>	ÉK,K,DK,D,DNY	14,4	81,6	16,3
ősz	ÉK	19,5	ÉK,DK,D,DNY	14,6	71,6	17,9
Ökörmező (456 m)						
éves	É	38,5	É,D	13,4	74,4	37,2
tél	D	46,8	É,D	14,2	80,8	40,4
tavaszi	É	40,9	É,D	14,1	69,7	34,8
nyár	É	40,9	É,D	14,4	69,4	34,7
ősz	D	39,7	É,D	14,5	78,1	39,0
Alsóverecke (496 m)						
éves	É	43,2	É,D,DNY	13,3	79,2	26,4
tél	É	35,9	É,D,DNY	14,0	85,2	28,4
tavaszi	É	49,3	É,D	14,0	67,5	33,7
nyár	É	46,7	É,D	14,0	63,1	31,6
ősz	É	40,7	É,D	14,1	66,6	33,3
Alsóhidegpatak (615 m)						
év	É	49,6	É,D	13,3	80,9	40,4
tél	É	44,1	É,D	14,0	85,0	42,5
tavaszi	É	56,0	É,D	14,0	80,5	40,2
nyár	É	51,6	É,D	14,1	75,2	37,6
ősz	É	46,1	É,D	14,2	82,5	41,2
Pláj (1330 m)						
éves	DNY	34,4	DNY	13,2	<u>34,4</u>	34,4
tél	DNY	44,6	DNY	13,9	44,6	44,6
tavaszi	DNY	30,4	ÉK,DNY	13,8	49,4	23,2
nyár	DNY	25,9	ÉK,DNY	13,8	42,9	21,4
ősz	DNY	36,9	D,DNY	13,9	53,5	26,7
Pozsezszevszka (1451 m)						
éves	NY	27,1	D,DNY,NY	13,3	69,1	23,0
tél	DNY	36,7	D,DNY,NY	14,0	81,4	27,1
tavaszi	NY	30,3	DNY,NY	14,0	50,3	25,2
nyár	NY	29,7	DNY,NY	14,0	48,6	24,3
ősz	DNY	27,6	D,DNY,NY	14,0	72,3	24,1

3. táblázat: Az állomások szélirányainak átlag szélessége (ms⁻¹); (kiemelve: félkövér – az adott állomáson belüli legnagyobb szélesség, piros – a leggyakoribb jellemző szélirány, zöld – egyéb jellemző szélirányok)

Szélirány	Ungvár (112 m)	Huszt (164 m)	Nagyberezna (205 m)	Rahó (430 m)	Ökörmező (456 m)	Alsóverecke (496 m)	Alsóhidegpatak (615 m)	Pláj (1330 m)	Pozsezszevszka (1451 m)
É	3,3	1,2	3,1	2,3	2,6	3,0	2,2	5,2	3,3
ÉK	2,9	1,0	2,5	4,6	2,2	2,3	2,2	5,6	3,6
K	2,2	1,0	2,0	3,6	2,2	1,7	2,2	4,6	3,4
DK	2,6	1,0	2,4	2,7	2,2	1,6	2,5	4,4	3,1
D	2,1	1,1	2,1	2,5	2,3	2,5	2,7	5,5	5,2
DNY	2,1	1,2	2,2	3,3	2,4	2,5	2,3	6,3	5,7
NY	2,0	1,2	2,7	2,5	2,3	2,4	2,1	5,3	5,2
ÉNY	3,1	1,1	3,2	2,7	2,5	2,8	2,4	4,7	3,3

kos eloszlásban három állomáscsoportot lehet megkülönböztetni:

- ahol az éves és egyes évszakos leggyakoribb szélirány megegyezik (Alsóverecke, Alsóhidegpatak és a Pláj);
- ahol az éves és a tavaszi, nyári leggyakoribb szélirány megegyezik (Nagyberezna, Ökörmező és a Pozsezszevszka);
- ahol az éves és a téli, őszi leggyakoribb szélirány megegyezik (Ungvár, Huszt és Rahó).

A leggyakoribb jellemző szélirányokat tekintve tehát az első csoportba tartozók a legkevésbé változékonyak, ahol a leggyakoribb szélirány kevés eséllyel esetleg egy-egy hónapban térhet el az évestől. A többi állomáson a változások az éves irányhoz képest leggyakrabban télen és ősszel, nagyon ritkán tavasszal és nyáron következnek be. A leggyakoribb szélirány relatív gyakorisága Alsóhideg-

patakon tavaszra esik, amikor a völgy irányával megegyező É szélirány 56,0%-os relatív gyakorisággal érvényesül. Az egy jellemző szélirány átlagos gyakoriságának maximuma pedig a Plájon, télen jelentkezik 44,6%-al.

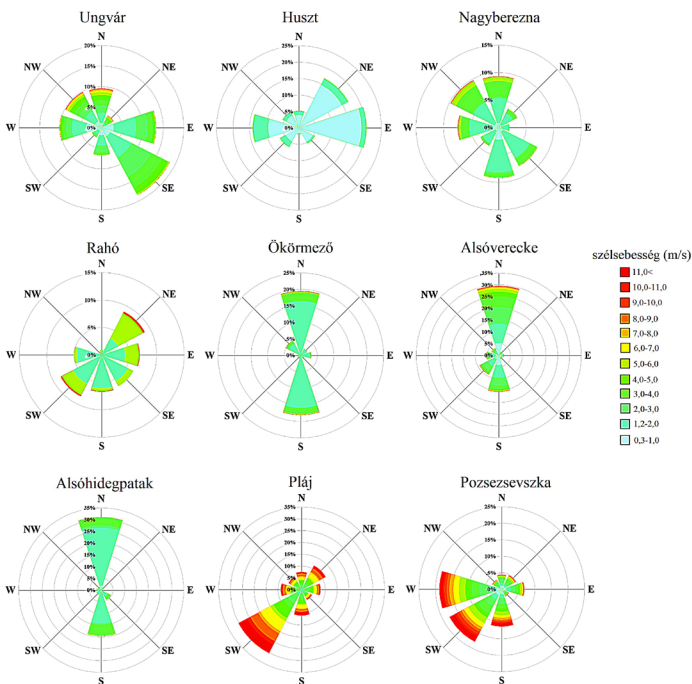
A szélirányok átlagsebességeinek jellemzői. A 3. táblázatban látható az állomások szélirányainak átlagszélessége. A 1000 m feletti légrétegben elhelyezkedő két állomás legszelesebb DNY-i irányát (átlagosan 6,0 ms⁻¹) nem számítva Kárpátalján az északias (ÉNY, É, ÉK) szelek rendelkeznek a legnagyobb átlagsebességgel (2,5 ms⁻¹).

A táblázatból kiderül az is, hogy a maximum átlagsebesség

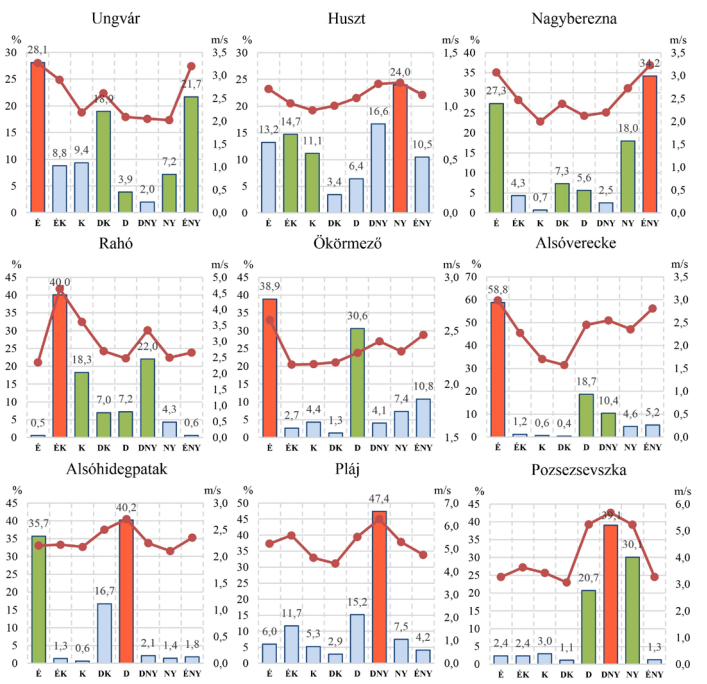
- a leggyakoribb szélirányhoz (Nagyberezna, Rahó, Ökörmező, Alsóverecke és a Pláj) vagy
- egy jellemző szélirányhoz (Ungvár, Huszt, Alsóhidegpatak és Pozsezszevszka) tartozik.

A szélirányok szélesség értékeinek szemléletesebb megjelenítése érdekében elkészítettük az állomások szélirányonkénti szélesség eloszlásait (4. ábra). Megfigyelhető, hogy minden állomás sajátos, egyedi mintázattal rendelkezik. Az alföldi és folyóvölgyi mérőpontok irányonkénti sebességeloszlásaiban is érvényesül az orográfiai hatás, mivel a legnagyobb átlagsebességek a nyitott égtájak felől jelentkeznek. A jellemző szélirányok átlagsebessége 1,2 ms⁻¹-mal nagyobb, mint a nem jellemzőké, 1,0 ms⁻¹-mal pedig az állomások éves átlagsebességénél. A jellemző irányok átlagsebességei legnagyobbak a Plájon (6,3 ms⁻¹), a Pozsezszevszkan (5,4 ms⁻¹) és Rahón (3,3 ms⁻¹), legkisebbek Huszton (1,1 ms⁻¹). A nem jellemző irányok átlagsebessége szintén Huszton (1,0 ms⁻¹) a legkisebb és a Pozsezszevszkan (1,3 ms⁻¹) a legnagyobb.

A hegységi állomások jellemző szélirányainak átlagsebessége átlagosan 2,5-szer nagyobb, mint az alföldi és folyóvölgyi állomásoké, a nem jellemző irányok eseté-



4. ábra.: A szélirányszektorokhoz tartozó szélesség eloszlás az egyes állomásokon a 2011–2015. közötti időszakban



5. ábra. A különböző szélirányok relatív energiatartalma (%), azok átlagsebessége (piros vonal), az energetikai uralkodó szélirányok (piros oszlop) és a többi jellemző szélirányok (zöld oszlop) az egyes állomásokon a 2011–2015. közötti időszakban

ben pedig ez az arány 2,0. Mérőpontonként megvizsgálva a jellemző és a nem jellemző szélirányok sebességeloszlásaiban a $v_i \geq 3 \text{ ms}^{-1}$ szélességek (a szélérőművek leggyakoribb indító sebessége) kumulált gyakoriságait megállapítható, hogy átlagosan a $v_i \geq 3 \text{ ms}^{-1}$ szélességek 74,8%-a a jellemző és 23,1% a nem jellemző szélirányokra esik. A jellemző irányok tekintetében a növekvő sorrend a következő: Pláj (37,0%), Huszt (55,0%), Ökörmező (75,4%), Alsóhidegpatak (78,1%), Pozsezsevszka (78,2%), Ungvár (79,1%), Alsóverecke (86,5%), Nagyberezna (90,0%), Rahó (94,2%). A $v_i \geq 3 \text{ ms}^{-1}$ szélességek megjelenésének gyakorisága alapján az állomások szélirány szélesség-eloszlásában az látható, hogy a orográfiai hatás a szélirányok-sebesség-eloszlásaira legerősebben Alsóvereckén, Alsóhideg-patakon és Ökörmezőn jut érvényre. Ezek az állomásokon tapasztalható az egyes jellemző szélirányokhoz tartozó $v_i \geq 3 \text{ ms}^{-1}$ szélességek kumulált gyakoriságainak maximuma, mégpedig Alsóvereckén az É irányra 59,2%-a, Alsóhideg-patakon a déli irányra 45,5%-a, Ökörmezőn szintén egy meridiális É irányra 43,8%-a esik.

A szélirányok relatív energiatartalma. A (4) képlet szerint meghatároztuk az egyes szélirányok relatív energiatartalmát. A legnagyobb energiatartalommal bíró jellemző szélirányt az uralkodó széliránynak tekintjük. A definíciót követve az 5. ábrán minden állomáson kijelöltük az energetikai uralkodó szélirányt. Mivel a szélteljesítmény a szélesség harmadik hatványával egyenlő (Patay, 2003), ezért az uralkodó szélirány egyben a legnagyobb átlagsebességű is. A jellemző szélirányok összes relatív energiatartalma éves viszonylatban 47,4% (Pláj) és 94,6% (Rahó) között változik. A jellemző szélirányok átlagos relatív energiatartalma 16,0% (Ungvár) és 47,4% (Pláj) között van. A kevés jellemző iránnyal rendelkező folyóvölgyi és hegységi állomásokon jelentkeznek a magasabb értékek. A nem jellemző szélirányok átlagos relatív energiatartalma éves tekintetben 1,8% (Rahó) és 10,0% (Huszt) közötti értékeket vesz fel. Egy jellemző szélirány éves átlagban 8,0-szor több energiát szállít, mint egy nem jellemző irány, bár ennek értéke az állomások között erősen változik. A minimuma az orográfiailag legkevésbé zavart Ungváron (2,4), míg a maximuma a szélárnyékolás tekintetében legrosszabb környezetben fekvő Alsóvereckén (12,2) van (4. táblázat). Az uralkodó szélirányok nagyobb relatív energiatartalma szintén az összetett orográfiajú állomásokon tapasztalható, 24,0% (Huszt) és 58,8% (Alsóverecke) között alakul. Évszakos bontásban vizsgálva a szélességek relatív energiatartalmát (4. táblázat) elmondható, hogy a jellemző szélirányok összes relatív energiatartalma az alföldi és folyóvölgyi állomásokon télen és ősszel kisebb, míg tavasszal és nyáron nagyobb, mint a hegységi állomásokon. Az alföldi és folyóvölgyi állomásokon a jellemző szélirányok átlagos relatív energiatartalma legkisebb ősszel (26,5%), ezt követi a nyár (26,9%), a tavasz (29,4%) és legnagyobb télen (30,5%).

4. táblázat: A jellemző szélirányok együttes és átlagos relatív energiatartalma (CWD_E és CWD_{E1}), egy nem jellemző (NWD_{E1}) szélirány átlagos relatív energiatartalma, az energetikai uralkodó szélirányok (EPWD), azok energiatartalma ($EPWD_{E1}$), egy jellemző és nem jellemző szélirány energiatartalmának aránya (CWD_{E1}/NWD_{E1}) a 2011–2015-ös időszakban (kiemelve: **félkövér** – a legnagyobb, **dölt** – a legkisebb érték)

Időszak	CWD_E (%)	CWD_{E1} (%)	NWD_{E1} (%)	EPWD	$EPWD_{E1}$ (%)	CWD_{E1}/NWD_{E1}
Ungvár (112 m)						
év	79,8	16,0	6,7	É	28,1	2,4
tél	39,9	39,9	8,6	DK	39,9	4,7
tavasz	87,6	17,5	4,1	É	36,9	4,3
nyár	72,5	18,1	6,0	É	27,4	3,0
ősz	36,6	18,3	10,6	DK	24,3	1,7
Huszt (164 m)						
év	49,9	16,6	10,0	NY	24,0	1,7
tél	46,1	15,4	10,8	NY	29,7	1,4
tavasz	41,5	13,8	11,7	NY	19,2	1,2
nyár	61,7	20,6	7,7	NY	27,9	2,7
ősz	68,6	22,9	6,3	NY	28,3	3,6
Nagyberezna (205 m)						
év	92,4	18,5	2,5	ÉNY	34,2	7,4
tél	82,5	20,6	4,4	É	32,7	4,7
tavasz	69,2	34,6	5,1	ÉNY	39,0	4,8
nyár	86,0	21,5	3,8	ÉNY	36,4	5,7
ősz	93,2	18,6	2,3	É	24,1	8,1
Rahó (430 m)						
év	94,6	18,9	1,8	ÉK	40,0	10,5
tél	71,6	35,8	4,7	ÉK	40,1	7,6
tavasz	90,1	22,5	2,5	ÉK	40,6	9,0
nyár	88,3	17,7	3,9	ÉK	34,3	4,5
ősz	77,3	19,3	5,7	ÉK	42,4	3,4
Ökörmező (456 m)						
év	69,5	34,7	5,1	É	38,9	6,8
tél	60,1	30,0	6,7	D	37,8	4,5
tavasz	73,8	36,9	4,4	É	51,5	8,4
nyár	67,2	33,6	5,5	É	40,4	6,1
ősz	82,3	41,2	2,9	É	46,9	14,2
Alsóverecke (496 m)						
év	87,9	29,3	2,4	É	58,8	12,2
tél	92,6	30,9	1,5	É	57,5	20,6
tavasz	77,4	38,7	3,8	É	66,5	10,2
nyár	71,4	35,7	5,6	É	59,3	6,4
ősz	75,9	37,9	4,0	É	46,6	9,5
Alsóhidegpatak (615 m)						
év	75,9	38,0	4,0	D	40,2	9,5
tél	82,1	41,0	3,0	D	54,9	13,7
tavasz	82,9	41,5	2,8	É	59,5	14,8
nyár	82,3	41,2	2,9	D	49,3	14,2
ősz	52,2	27,6	7,5	D	34,7	3,7
Pláj (1330 m)						
év	47,4	47,4	7,5	DNY	47,4	6,3
tél	63,3	63,3	5,2	DNY	63,3	12,2
tavasz	55,2	27,6	7,5	DNY	35,3	3,7
nyár	45,6	22,8	9,1	DNY	29,0	2,5
ősz	68,9	34,5	5,2	DNY	49,3	6,6
Pozsezsevszka (1451 m)						
év	89,9	30,0	2,0	DNY	39,1	15,0
tél	94,6	31,5	1,1	DNY	45,3	28,6
tavasz	71,1	35,6	4,8	NY	44,2	5,3
nyár	64,6	32,3	5,9	NY	39,7	5,5
ősz	88,8	29,6	2,2	DNY	42,1	13,5

A hegységi állomásokon a sorrend: nyár (27,6%), tavasz (31,6%), ősz (32,1%) és tél (47,4%). Az uralkodó szélirány Huszton, Rahón, Alsóvereckén és a Plájon évszakonként változatlan marad, míg a többi állomáson egy-egy évszakban megváltozik, leggyakrabban télen és ősszel. Az uralkodó szélirányok átlagos relatív energiája télen a legnagyobb és ősszel a legkisebb. Egy jellemző szélirányra télen átlagosan 10,9-szer, tavasszal 6,9-szer, nyáron 5,6-szor és ősszel 7,1-szer több energia esik, mint egy nem jellemző irányra. Az abszolút maximum a Pozsezevszka télen jelentkezik, amikor egy jellemző szélirány átlagosan 28,6-szor több energiát szállít. A szélirányok gyakorisága és sebessége, illetve relatív energiatartalma közötti kapcsolatot lineáris korrelációval és regresszióval vizsgáltuk. Az 5. táblázatban megadjuk a lineáris korrelációs együttható és a regressziós együttható értékeit. A korrelációs együttható 0,05 szignifikancia szinthez tartozó kritikus értéke esetünkben ($n = 8$) $r_{0,05} = 0,6319$, vagyis a kapcsolat Ungvár és Huszt esetében sehol sem szignifikáns, míg Nagybereznán, Rahón, Alsóvereckén, a Plájon és a Pozsezevszka mind a szélesség és a relatív energiatartalom összefügg a szélirányok gyakorisági eloszlásával. Alsóvereckén csak az energia esetében mutatható ki szignifikáns összefüggés, emellett minden állomáson a relatív energia korrelációs együtthatói nagyobbak, tehát a kapcsolat a relatív energiatartalom esetében tekinthető statisztikai értelemben meghatározottnak. Ez azt is jelenti, hogy a szélirányok energiatartalmát nem a sebesség, hanem az előfordulás gyakorisága határozza meg elsősorban. Az $y=a+bx$ egyenletben a b regressziós együttható a függő változónak a független változó értékének egységnyi megváltozására való érzékenységét is mutatja (Obádovics, 2003). A szignifikáns esetekben ez a következőképpen alakul: a relatív gyakoriság 1%-nyi megváltozása a Plájon okozza az energiatartalom legnagyobb (0,99%), Huszton pedig a legkisebb (0,19%) változását. Az egyes állomások esetében az 1 körüli értékek arra utalnak, hogy a szélirányok gyakorisága és relatív energiatartalma lényegében együtt változik.

Irodalom

- Andrianov, M., 1951: Az USzSzk nyugati megyéinek éghajlati-cirkulációs tényezőiről (О циркуляционных факторах климата западных областей УССР). *Lembergi Egyetem kiadványa*, „Geograf” 1, 24–29. (in Russian)
- Bodnar, V. (szerk.), 1987: Kárpátalja természeti kincsei (Природні багатства Закарпаття). *Kárpáti Kiadó, Ungvár*, 50–66. (in Ukrainian)
- Buchynszkyu, I., 1971: Az Ukrán-Kárpátok éghajlata (Климат Українських Карпат). *Naukova dumka Kiadó, Kijev*, 12–25. (in Russian)
- Herencsuk, K. (szerk.), 1981: Ukrán-Kárpátok természete (Природа Українських Карпат), *Viscsa skola, Lembergi Egyetem, Lemberg*, pp. 156 (in Ukrainian)
- Lavnyu, V. and Lässig, R., 2009: Erős szelek az Ukrán-Kárpátokban (Сильні вітри в Українських Карпатах). *Naukovij visznik NLTU Ukrajini* 19(14), 239–246. (in Ukrainian)

5. táblázat: Lineáris korreláció (r) és regresszió (b) a szélirányok relatív gyakorisága, valamint az átlagos szélesség és relatív energiatartalom között (kiemelve: **félkövér** – szignifikáns esetek)

Korreláció és regresszió		Ungvár (112 m)	Huszt (164 m)	Nagyberezna (205 m)	Rahó (430 m)	Ökörmező (456 m)	Alsóverecke (496 m)	Alsóhidegputak (615 m)	Pláj (1330 m)	Pozsezevszka (1451 m)
		átlagos sebesség	r	0,084	-0,346	0,702	0,652	0,545	0,651	0,280
	b	0,01	0,12	0,49	0,43	0,30	0,42	0,08	0,73	0,88
relatív energia	r	0,489	0,439	0,774	0,779	0,979	0,980	0,917	0,994	0,967
	b	0,24	0,19	0,60	0,61	0,96	0,96	0,84	0,99	0,93

- Lysen, E.H., 1982: Introduction to Wind Energy. *Publication CWD 82-1, Amesfoort*
- Mezősi, M. és Simon, A., 1981: A meteorológiai szélmérési elmélete és gyakorlata. *Meteorológiai Tanulmányok 36, OMSZ, Budapest*
- Moskalchuk, N.M. and Pryhodko M.M., 2017: The assessment of wind energy potential with in the Carpathian region of Ukraine. *Naukovij visznik NLTU Ukrajini*, 27(1), 125–128. (in Ukrainian)
- Obádovics, J. Gy., 2003: Valószínűségszámítás és matematikai statisztika. *Scolar Kiadó, Budapest*
- Osadchyi, V. I., Skrynyk, O. A., Skrynyk, O. A. and Skrynyk, O. Ya., 2015: Estimation of a modern stage of wind resources in the Ukrainian Carpathians and their changes regarding the base climatological period. *Dopovigvi NAN Ukrajini* 8, 95–99. (in Ukrainian)
- Patay, I., 2003: A szélenergia hasznosítása. *Szaktudás Kiadó Ház, Budapest*, pp. 119
- Péczezy, Gy., 1957: Áramlási viszonyok Magyarországon különböző makroszinoptikus helyzetekben. *Időjárás* 61, 408–419.
- Pivniak, H., Skrabets, F., Neuberger, N. and Cyplenkov, D., 2015: A szélenergetika alapjai (Основи вітроенергетики). *NHI, Dnipropetrovszk*, pp. 335 (in Ukrainian)
- Szalyuk, M., Melnychuk, V. and Mykyta, M., 2013: Kedvezőtlen meteorológiai jelenségek vizsgálata Kárpátalján (Аналіз несприятливих метеорологічних явищ на Закарпатті), *Naukovij visznik Uzshorodszkoho Univerzitetu: Geografia. Zemleusztrij. Prirodokorisztuvannya* 2, 32–42. (in Ukrainian)
- Szász, G. és Tőkei, L., (szerk.) 1997: Meteorológia mezőgazdákknak, kertészeknek, erdészeknek. *Mezőgazda Kiadó, Budapest*. pp. 722
- Tar, K., 2004: A szélirányonkénti energetikai paraméterek időbeli és területi eltérése Magyarországon. *Földrajzi Értesítő* 53(3–4), 219–233.
- Tar, K., 2013: Designer Parameters of the Wind Directions. *Geographical Locality Studies* 1(1), 132–149.
- Tar, K. and Verdes, E., 2003: Temporal change of some statistical characteristics of wind direction field over Hungary. *Időjárás* 107(2), 153–170.
- Tykhanovych, E. and Bilanyuk, V., 2014: A szél harása a lavina helyzet kialakulására (Вплив вітру на формування лавинної ситуації). *Geopolitika i ekogeodinamika rehionov* 10(1), 227–230. (in Ukrainian)
- Vince, I., 1975: Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal. *Műszaki könyvkiadó, Budapest*
- Voropay, L. and Kunica M., 1996: Ukrán-Kárpátok. Természetföldrajzi jellemzők (Українські Карпати. Фізико-географічний нарис). „Ragyanszka skola” Kiadó, Kijev, pp. 168 (in Ukrainian)

PALEOKLÍMA ÉS A FÖLD TÉRFOGATNÖVEKEDÉSE

PALEOCLIMATE AND EARTH'S VOLUMETRIC GROWTH

Hágen András

Arany János Általános Iskola, 6447, Felsőszentiván, Szent István utca 19., hagena@freemail.hu

Összefoglalás. A 20. században forradalmi újítások következtek be a földtan tárgyában. Wegener – és Eötvös – elméletében prioritást élvez a kontinensek mozgása. Egy-egy nagyobb volumenű kontinens-mozgás évmilliókon át tartó tektonikai fázisok sora. A geológiai kutatások azt derítették ki, hogy nagyobb fázisok végén általában jégkorszak alakul ki a Földön (pl. variszkuszi hegységképződés lezárulásaként a permokarbon jégkorszak). Ezt az összefüggést írta le és támasztotta alá geofizikai adatokkal Egyed László. Elmélete szerint 50 millió évenként 0,5 mm/év sugárnövekedés volt megfigyelhető. Egyed teóriáját felhasználva, majd azt bővítve Szádeczky-Kardoss Elemér kimondja, hogy a sugárnövekedés során elvész a tektonikai fázisokhoz köthető vulkáni tevékenység során felszabaduló CO₂, és az üvegházhatást felváltja a globális lehűlés. Szádeczky-Kardoss elméletét Dobosi a gyakorlatba is bevezette. Elmélete szerint, ha a földugár 15 km-rel növekszik, akkor a hőmérséklet 0,16 °C-kal csökken, ha 37,5 km-rel növekszik, akkor 0,4 °C-kal csökken a hőmérséklet. Természetesen ezen teóriák ma már pusztán tudománytörténeti érdekességek, de véleményem szerint megérdemelne egy paleoklimatológiai és geológiai említést, mint „Egyed-Szádeczky-Dobosi-ciklus”.

Abstract. Revolutionary innovations took place in the subject of geology in the 20th century. In Wegener's – and Eötvös's – theory, the movement of continents has got priority. A larger-scale continental movement occurs in tectonic phases for million of years. Geological research has found that, at the end of larger phases, there is usually an ice age on Earth, e.g. as the end of the formation of the variscan mountains, the permocarbonic ice age. This connection was described by László Egyed and supported by geophysical data. According to his theory, 0,5 mm/year radius increase was observed every 50 million years. Using Egyed's theory and later extended it, Elemér Szádeczky-Kardoss states that the radius increases the CO₂ released during volcanic activity linked to tectonic phases and that the greenhouse effect is replaced by global cooling. Zoltán Dobosi also introduced Szádeczky-Kardoss's theory into practice. According to his theory, if the Earth's radius increases by 15 km, the temperature decreases by 0,16 °C, if by 37,5 km, the temperature decreases by 0,4 °C. Of course, these theories are only interesting in the history of science, but in my opinion they deserve to be mentioned in paleoclimatology and geology as the 'Egyed-Szádeczky-Dobosi cycle'.

Bevezetés. Az 20. század közepén, Alfred Wegener és Eötvös Loránd munkásságának köszönhetően a kontinensvándorlás elmélete teljesen új dinamikát kölcsönöz a Föld belső struktúrájáról alkotott elképzeléseinknek. Egy jeles magyar kutató, Egyed László, teljesen új alapokra helyezte a geofizikai kutatásokat. Az általa kifejlesztett modell már dinamikai földmodell volt. Elméletének lényege a degenerált anyag csökkenése a normál anyag javára. Ez térfogatnövekedést eredményez, ennek a következménye pedig az, hogy a Föld térfogata állandóan növekszik. Ezen elképzelés természetesen felkeltette a földtörténeti klíma kutatóinak az érdeklődését is.

Tektonikai fázisok és az éghajlat. A Föld éghajla időbeli változásának felkutatása számos földtudományi ágazat vizsgálatát képezi, többek között a geológiáét és a geokémiáét. A rétegek ősmaradvány tartalmának változásából következtethetünk az egykori környezet klímájára, míg a kőzetekben, vagy a rétegek között „elraktározott” vegyületekből a légkör kémiájára. A klasszikus földtan nemcsak e tekintetben alkalmazható a paleoklíma megállapításához. Érdekes egybeesés figyelhető meg a főbb tektonikai mozgásokat lezáró jégkorszakok között. E jelenségre elsőként Brooks (1926) figyelt fel. Ezen gondolatmenetet fejlesztette tovább Flint (1957) a „szoláris topografikus” elméletével. Eszerint a hegységképződési időszakban kiemelkedő hegytömegek akadályt jelentenek a légkör általános cirkulációjára, s ennek hatására kevesebb hő áramlik az Egyenlítőtől a sarkok irányába, s így csökken a pólusok hőmérséklete. A bekövetkező eljegesedést Flint pedig a primer napsugárzás ingadozásával, valamint a Föld pályaelemeinek periodi-

kus változásával (nagy valószínűséggel a Milanković–Bacsák-ciklus felhasználásával) magyarázza.

Budyko (1972) vizsgálataiban arra mutatott rá, hogy a jégtakaró keletkezéséhez és eltűnéséhez elegendő az átlagos hőmérséklet egészen kismértékű megváltozása, feltéve, ha a hőmérsékletváltozás egyirányú és geológiai időben mérve is tartós.

Numerikus számításai szerint Földünk átlaghőmérsékletének 0,15 °C értékét kitevő felmelegedése hosszú időn át elegendő az északi pólus jégtakarójának eltűnéséhez. Ha a melegedés mértéke elérné a 0,4 °C-ot, akkor az Antarktisz 3000 m vastagságot kitevő jégpáncélja is elolvadna. Budyko hasonlóan Flinthez a paleoklíma változását nem földtani (terresztrikus) okokkal magyarázza, hanem a Nap sugárzásingadozásával (extraterresztrikus). Flint és Budyko modellje a jégkorszakok kialakulását földönkívüli (extraterresztrikus) okokkal magyarázza. Összességében nehéz is elképzelni, hogy a „születő” hegységvonulatok a légáramlások útjában állnának, hiszen a lepusztulás átlaga 1 mm/év, vagyis a gyakorlatba áttűtetve 1 millió év elegendő 1 km magas hegy lepusztulásához, pl. az 1013 m magas Kékes 1 millió év alatt lepusztul. A főbb tektonikai mozgások időtartama pedig 200–250 millió év. Így ha tartanánk magunkat a lepusztulás-időtartam átlagához, akkor 200–250 km-es erodálás lenne megfigyelhető az újonnan kiemelkedő hegyiségekben.

A tektonikai fázisok és a paleoklíma alakulása a nemzetközi tudósgárdán kívül a magyar Szádeczky-Kardoss

Elemérét is felkeltette. Szádeczky-Kardoss teljesen más aspektusból – az Egyed László által megálmodott dinamikai Föld-modell felhasználásával – vizsgálta meg a tektonika kapcsolatát a klímához.

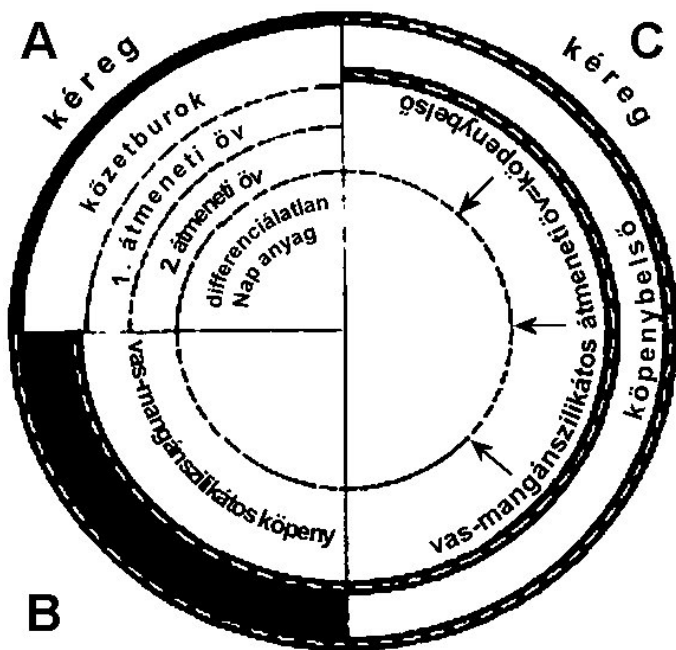
Egyed László és a táguló Föld-modell. Egyed László 1914-ben született az erdélyi Fogarason. Számos publikációja jelent meg folyóiratokban és könyvek formájában. Foglalkozott a gravitációs állandó csökkenésével. E mellett foglalkozott bolygónk méretnövekedésével is. Egyed (1957) tágulásos földmodellje az 1950-es években világszerte nagy figyelmet váltott ki. A magyar tudós volt a legelső, aki felismerte, hogy „A helyes földmodellnek a Földdel kapcsolatos összes jelenségeket egységesen kell magyaráznia”.

„Anyagi összetétel szempontjából, a köpeny felső részétől eltekintve, a Föld homogén. A magbelső, a maghéj és

Az Egyed által vázolt Föld-modell (1. ábra) a Wegener-féle elméletet természetes következményeként magába foglalja.

Az ösföldrajzi térképek az bizonyítják, hogy a Föld térfogata állandó növekedésben van, a sugárnövekedés mértéke – fizikai számításai szerint – 0,5 mm/év (Egyed, 1970). A tengervíz előrenyomulását és visszahúzódását ábrázoló ösföldrajzi térképek közül Sztrahov 12 darabot, Termier et Termier (1952) 34 darabot transzformált gömbfelületre. A Sztrahov-adatok alapján 0,66 mm/év sugárnövekedési sebességet, míg a Termier-féle adatok alapján 0,4 mm/év sugárnövekedési sebességet kapunk. Az adatok középértéke 0,5 mm/év.

A Föld belsejében végbemenő térfogatnövekedés az összefüggő és rugalmas földkéregben feszültséget hoz létre, mivel kitágítja. E feszültségfelhalmozódás addig tart, amíg a feszültség értéke el nem éri a kéreg alkotó köze-



1. táblázat: A vízzel borított kontinentális területek a különböző földtörténeti korokban (Termier 1952)

	Eltelt idő években	Millió km ²		Eltelt idő években	Millió km ²
Kambrium	505	34,80	Júra	155	16,06
	480	31,57		145	24,87
	455	32,99		135	26,62
Ordovicium	425	28,36		130	27,21
	400	46,15	Kréta	115	15,17
375	33,97	105		28,94	
Szilur	345	52,55		85	35,86
	325	55,15	70	34,71	
Devon	310	28,74	60	30,57	
	290	43,11	Paleocén	55	15,52
Alsókarbon	275	32,79	Eocén	45	18,08
	255	32,04	Oligocén	35	20,81
245	42,78				
Felsőkarbon	235	17,61	Miocén	15	10,69
	220	31,61			
Perm	210	38,21	Pliocén	7	3,78
	190	20,92			
Triász	180	19,05	Pleisztocén	0,5	0,13
	165	22,84			

1. ábra: Vasmag nélküli földmodellek: A – Kuhn-Rittman – Naptól szakadt ki a Föld, csak a felsőrése differenciálódott, B – Ramsey – fémfázisos modell, anyagi összetétel nem differenciálódott, alul kritikus nyomás, C – Egyed – asztrofizikai modell – belül – nagy nyomás miatt degenerált mag van.

a köpeny ugyanannak a szilikátos anyagösszegnek három módosulata. Az egyes módosulatokat a 2900 km mélységben levő Gutenberg-Wiechert, ill. az 5000 km mélyen levő Lehmann-féle törésfelület választja szét. A Föld belső magját alkotó ultranagynyomású állapotban levő anyag állandó és irreverzibilis, meg nem fordítható átalakulásban van a maghéj állapotán át a köpenynek megfelelő végleges módosulatba. A köpenyben további változást csak a felsőbb részeken fellépő szétkülönülés, differenciáció okoz; ez azonban nem jelent lényeges változást. Mivel a belső mag sűrűbb, mint a maghéj, ez pedig sűrűbb, mint a köpeny, következik, hogy az állandó átalakulás következtében a Föld átlagsűrűsége állandóan csökken, térfogata tehát növekszik. Az adott Föld-modell így arra a meglepő eredményre vezet, hogy a Föld térfogata állandóan nő, a Föld tágul.”

tek szakítási szilárdságát. Ebben az esetben a kéreg szétszakad, s a kéregben lévő feszültségek felszabadulnak. A szétrepedési, vagy szutura vonal mentén új tengermedencék keletkeznek (1. táblázat), amely megszilárdulása után újból kezdődik a feszültségfelhalmozódás a kéregben.

E periódikus ismétlődés a térfogatnövekedés következménye. Egy ilyen periódus a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$\Phi = \frac{2p}{3k} \tag{1}$$

ahol $k=1,16 \cdot 10^{12}$ dincm⁻¹ az inkompresszibilitási együttható, míg p a húzófeszültség. Ezt felhasználva azt kapjuk, hogy a húzófeszültség időtartama 50 millió éves periódust ad.

Ha egy transzgressziót és regressziót egy periódusnak tekintünk, akkor a Termier-adatokból szerkesztett diagram szerint 400 millió évre éppen 8 és fél ilyen periódus esik, azaz egy periódus ideje 47 millió év, feltűnően jó egyezésben a 0,5 mm/év sugárnövekedés feltételezése mellett számított 50 millió éves elméleti értékkel (Egyed, 1970). Ezek a periódusok és a sugárnövekedés nemcsak a bolygó fizikai alakjára volt hatással, hanem Szádeczky-Kardoss szerint a jégkorszakokra is.

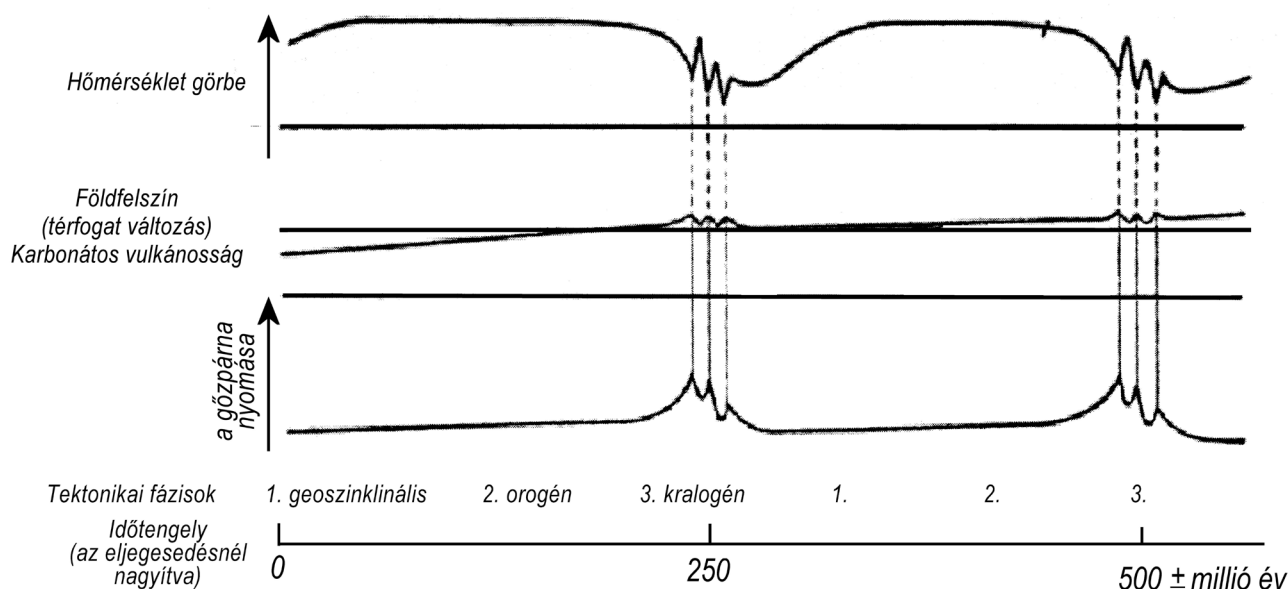
Szádeczky-Kardoss Elemér és a gőzpárnamagmatizmus. Szádeczky-Kardoss 1903-ben született Kolozsváron. 1921 és 25 között az Eötvös-kollégium tagjaként diplomát szerzett természettudományból a Pázmány Péter Tudományegyetemen. Hosszú kitérő után 1951-től 1969-ig az Eötvös Loránd Tudományegyetem Ásvány- és Kőzettani, majd a Kőzettani és Geokémiai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára volt. 1965-ben megszervezte a Magyar Tudományos Akadémia X., a Föld- és Bányászati Tudományok Osztályát.

át. Az egyik megjelenési mód a H₂O gáz (vízgőz), míg a másik a szerves anyagokban és karbonátásványokban (mésziszap) megkötött CO₂ magasnyomású gázzá alakulása.

A korán felszabaduló gázok elillannak, míg a hátramaradó részek a szilárd litoszféralemezek alatt raktározódnak el, majd onnan a – szénhidrogén vegyületekhez hasonlóan – a kontinentális táblák és a magasabb óceáni lemezek alá migrálnak.

A legjobban e jelenséget a vulkanizmus alkáli-, és területi eloszlásában követhetjük nyomon. A hagyományos értelmezés szerint, minél távolabb fekszik a bazalt az óceáni területtől, ill. szubdukciós zónától, annál nagyobbá válik az alkáli, különösen a kálium tartalma. A tektonikai fázis végén és az újabb kezdetén fejlődnek ki a karbonátos alkáli vulkánok.

Bazalt utánpótlás hiányában pedig a CO₂ önálló gázzá különül el. A felszabaduló gáz táblák lapos boltzatai alatt felhalmozódva kevés olvadékkal CO₂ dús gőzként tör a felszínre.



2. ábra: A hőmérsékleti görbék, a földfelszín tágulásának és a hegységképződési fázisnak összevetése. A harmadik szakaszban, a „kratonban” láthatók a főbb változások mindhárom tényezőn (Szádeczky-Kardoss, 1973).

Szádeczky-Kardoss Elemér a X. osztályon belül életre hívta a Geonómiai Tudományos Bizottságot. Úgy gondolta, hogy a Földdel foglalkozó tudományágak a biológiával komplex egészet alkotnak, hiszen bolygónkon az élő és élettelen anyag szoros kölcsönhatásban fejlődött az évmilliárdok folyamán. Tudatában volt annak, hogy a Föld egyes tartományaiban (víz, levegő, talaj, litoszféra) és a tartományok között az anyag és energia állandóan áramlik, és ez az anyagáramlás biztosítja a Föld szféráinak kémiai és biológiai állandóságát, szabályozva a földi életet és nem utolsósorban a legfontosabb környezeti elem-együttest, az éghajlatot. Szádeczky-Kardoss (1968, 1973) komplex kutatásai során felfigyelt a tektonikus mozgások éghajlatmódosító hatására is.

Értelmezése szerint a betolódott óceáni lemezek üledékes fedőjéből metamorf és magmás kőzetek keletkeznek, amivel egy időben a mélyben kiszáradás megy végbe, ami illóanyagok termelésében nyilvánul meg. A betolódott üledék a szubdukciós sávban kétféle módon alakul

E gondolatmenetet összefoglalva a szén-dioxidnak komoly éghajlatmódosító szerepe van. Szádeczky-Kardoss négy tényezőt sorolt fel, amelyek közül az első kettő a szén-dioxid és a hidrogén, ill. hidrogénvegyületek közötti kölcsönhatást tárgyalja. A harmadik tényező a földszögár növekedésével kapcsolatos. A tágulás mértéke egészen alacsony (~0,5 mm/év), azonban ez az érték 100 millió év alatt eljegesedéshez vezet, mégpedig úgy, hogy a tágulás növekedésével elvész a szén-dioxid mennyiség, és az üvegházhatást felváltja egy lehűlési periódus, amelyet majd a negyedik tényező, a karbonátos vulkanizmus szüntet meg, így létrehozva az interglaciálisokat, majd végül megszünteti a glaciális korszakot (2. ábra). Az így túlsúlyba került CO₂ pedig a következő hegységképződési fázist megelőző időszakában karbonátos üledékek formájában emészthető fel.

Hogy Szádeczky-Kardoss Elemérnek e gondolatmenetét igazolják, szükséges volt matematikai formában alátá-

masztani kutatásait. E feladatra Dobosi Zoltán volt a legalkalmasabb.

Dobosi Zoltán és az eljegesedések kifejlődése. Dobosi Zoltán 1915-ben született. A budapesti Pázmány Péter Tudományegyetemen szerzett matematika-fizika szakos tanári oklevelet. Pályafutását 1939-ben a M. kir. Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézetben kezdte, majd a Meteorológiai Tanszéken folytatta, aminek 1970-től vezetője lett nyugdíjba vonulásáig. Kutatási témája többek között a paleoklíma volt, különösképpen a negyedkorban. Ennek ismeretében nem meglepő, hogy matematika alkalmazásával egészítette ki, tette teljesebb Szádeczky-Kardoss Elemér által preferált elméletet.

Dobosi egyetértett azzal a gondolatmenettel, hogy a föld-sugár növekedésével fordított arányosságban csökkent a légkör vastagsága, vagyis bolygónkon nem képződött üvegházhatás. Napjaink albedójával számolva üvegházhatás nélkül bolygónk hőmérséklete 32 °C-kal hidegebb lenne (Dobosi 1973).

Eredményét számításokkal is alátámasztotta, az adott föld-sugárból (R), a növekedés mértékéből (ΔR) és mennyiségi változásából (ΔF) a Föld felszínén (F), továbbá a légkör magassági (M) és mennyiségi (ΔM) változásának felhasználásával, a következő képlet felhasználásával:

$$\frac{M}{M + \Delta M} = \frac{F + \Delta F}{F} = \frac{R^2 + 2R \times \Delta R + (\Delta R)^2}{R^2} \sim 1 + \frac{2\Delta R}{R} \quad (2)$$

ugyanis $\frac{(\Delta R)^2}{R^2}$ elhanyagolható.

Ha például a föld-sugár 30 km-rel nő, azaz $\Delta R = 30$ km, akkor

$$\frac{2\Delta R}{R} = 0,01 \quad (3)$$

azaz

$$\frac{M}{M + \Delta M} \sim 1,01 \quad (4)$$

Összességében például, ha a föld-sugár 30 km-rel megnő, akkor 1%-kal magasodik a légkör. Az éghajlatra gyakorolt hatása ennek megfelelően függ a sugárváltozástól. Ha a föld-sugár 15 km-rel növekszik, akkor a hőmérséklet 0,16 °C-kal csökken, ha 37,5 km-rel, akkor 0,4 °C-kal.

Ezek az eredmények nem tűnnek nagyoknak, de ha geológiai időléptékben vizsgáljuk (100 millió évre osztva, az első érték esetében 0,15 mm/év, míg a második érték esetében 0,375 mm/év lesz), akkor már egybeesnek a Budyko-féle modell küszöbértékekkel (0,35=35%) (MacAyeal, 1979).

Tágulás és klímaingadozás. Két kutató, más és más tudományterületek művelői, a klímaváltozás kérdésében azonos következtetésre jutottak. A tektonikai ciklusok második felében kialakuló sugárnövekedéssel vékonyabb lett a légkör, ezért csökkent az üvegházhatás, és nagyobb

lett a felszíni kisugárzás. Az előrenyomuló jégtakaró magasabb albedója pedig fokozta a lehűlést.

A Dobosi–Szádeczky-Kardoss-elmélet választ ad a jégkorszakok megszűnésére is. A hegységképződés lezárulásával a föld-sugár ellentétes irányban megváltozik, ebből következően vastagabb lesz a légkör, és a CO₂-szint emelkedésével növekszik az üvegházhatás is, és olvadni kezdenek a jégtáblák.

A Dobosi–Szádeczky-Kardoss(–Egyed) elképzelés az eljegesedések kialakulásáról egy lehetőségre mutat rá, amelyet, ha földtani aspektusból vizsgálunk, akkor egyezést találunk a földtörténet geológiája és paleoklimája között. A Kaledóniai-hegységrendszer „születésének” végső fázisa felé, kb. 430 millió éve az ordovicium végén jégkorszak alakult ki a Földön. A Variszki-hegységrendszer kialakulásának végső fázisában, a permokarbonban ugyancsak.

Az Alpi „születést” már nem helyezem bele e sémába, hiszen kialakulása még napjainkban is tart, igaz az utóbbi 1 millió évben egy jégkorszak alakult ki a bolygónkon, amely csak 10 000 éve ért véget.

Ha igaz Egyed feltételezése a földtágulásról, amely a fő tektonikai fázisok idején játszódik le, és ezzel párhuzamosan vékonyodik a légkör – így csökken az üvegházhatás – is, akkor nem tudhatjuk milyen következménye lesz az Alpi-hegységképződést lezáró retrográd sugárcsökkenésnek, hiszen az emberi tevékenység folytán nagymennyiségben juttatunk üvegházhatású gázokat a légkörbe, ami már most is globális szinten klímaváltozást okoz.

Dobosi Zoltán, Egyed László és Szádeczky-Kardoss Elemér elképzelése és vizsgálatai oly korban kerestek választ a földtörténeti korokban kimutatható klímaváltozásra, amikor ennek a kérdésnek inkább elméleti jelentősége volt, de legkevésbé se globális politikai jelentősége. Talán érdemes emlékeztetnünkben tartani munkásságukat.

Irodalom

- Brooks, C. E. P., 1926: *Climate through the Ages*. London
- Budyko, M. I., 1972: *Stability of the climate of our age*. – Budapest
- Dobosi, Z., 1973: Az eljegesedések kifejlődése az új globális tektonika alapján. *Geonómia és Bányászat* 6, 189–192.
- Egyed, L., 1957: Új elmélet a Föld szerkezetéről és fejlődéséről. *Természettudományi Közlöny* 88 (4) 164–167.
- Egyed, L., 1970: A Föld méreteinek változása a paleogeográfiai adatok alapján. *Földtani Közöny*, 86(2), 120–125.
- Flint, R. F., 1957: *Glacial and paleistocene geology*. New York
- MacAyeal, D. R., 1979: *A catastrophe model of the paleoclimate*. *Journal of Geology* 24. 90. 245–257.
- Szádeczky-Kardoss, E., 1968: *A Föld szerkezete és fejlődése*. Akadémiai Kiadó. Budapest
- Szádeczky-Kardoss, E., 1973: Szublitoszferikus gőzpáramagmatizmus és klímaingadozás. *Geonómia és Bányászat* 6, 163–169.
- Termier, H. et Termier, G., 1952: *Historie Géologique de la Biosphère*. Par

PROF. DR. DR. HC. SZÁSZ GÁBOR PROFESSZOR PUBLIKÁCIÓS LISTÁJA

PUBLICATION LIST OF PROF. DR. DR. HC. GÁBOR SZÁSZ

- Szász, G., 1952: A szinoptika tanításának kérdése geográfiai szempontból. *Időjárás* 56, 155–156.
- Szász, G., 1954: A légnemesség nyugtalansága Debrecenben. *Időjárás* 58, 104–110.
- Szász, G., 1955: Az őszi rozs termesztésének függése az időjárástól és az éghajlattól. *Kandidátusi értekezés*. Debrecen
- Szász, G., 1956: Az őszi árpa állományéghajlata. *Acta Univ. Debr. L. Kossuth. Nom.* Tom. III/2, 251–269.
- Szász, G., 1956: Kalászos növények állományéghajlata. *KLTE Meteorol. Int. Tud. Közl.* N° 1
- Szász, G., 1956: Talajkülönbségek hatása az őszi árpa állományéghajlatára. *Agrokémia és Talajtan* 5, 471–484.
- Szász, G., 1957: Havi közép-hőmérsékletnek a sokéves átlagtól való eltéréseinek vizsgálata. *KLTE Meteorol. Int. Tud. Közl.* N° 2
- Szász, G., 1959: A talajművelés hatása a talaj hő- és vízgazdálkodására. *Acta Univ. Debr. L. Kossuth Nom.*, 311–328.
- Szász, G., 1959: Borsod-Abaúj-Zemplén megye éghajlati viszonyai. *Borsodi Földrajzi Évk.* II. sz., 55–62.
- Szász, G., 1960: A rozs elterjedésének éghajlati feltételei. *Debreceni Mezőgazd. Akadémia Évk.* 139–151.
- Szász, G., 1960: A szántóföldi növénytermesztés időjárási vonatkozásai. *OMGK.* Budapest, pp. 108
- Szász, G., 1961: A rizs termesztésének időjárási feltételei a fő termőterületeken. *Növénytermelés* 10, 193–204.
- Szász, G., 1961: Makro- és mikroklimatikus hatások a köszmeté boggyók növekedésére és beltartalmára. *Időjárás* 65, 279–288.
- Szász, G., és Bocz, E., 1962: A nagyadagú műtrágyázás jelentőségének felmérése hazánkban. *Debreceni Agrártud. Főiskola, Növ. Term. Tanszék.* 1–17.
- Bocz, E. és Szász, G., 1962: A műtrágya szerepe a kiegyenlített nagy termések elérésében. *MTA Agr. Tud. Oszt. Közl.*, 20(1–2), 109–132.
- Szász, G., 1962: Az őszi búza és a rozs fenoklimatológiai termélemzése. *Debreceni Mezőgazd. Akadémia Évk.*, 51–64.
- Szász, G., 1962: Különböző termesztett növények állományainak evapotranspirációs vízvesztése. *Debreceni Agrártud. Főisk. Tud. Közl.*, 157–174.
- Szász, G., 1963: A vízháztartás klimatikus tényezőinek vizsgálata Magyarországon. *Debr. Agrártud. Főiskola, Tud. Közl.*, 49–71.
- Szász, G., 1964: A talaj hővezetőképessége napi változásának mérése. *Agrokémia és Talajtan* 13, 137–148.
- Szász, G., 1964: Bestimmung der nächtlichen Mikroadvекtion durch Ausstrahlungsmessungen in der bodennahen Luftschicht. *Angew. Meteorol. Bd.*, 5, 7–12.
- Szász, G., 1964: Über den Zusammenhang des Wasserhaushaltes von Kulturpflanzen und der Akkumulation der radioaktiven Spaltprodukte. *Wiss. Zeitschr. Kar.-Marx-Univ. Leipzig. Ig. Math.-Naturw. Reihe.* H.4, 813–819.
- Szász, G., 1966: A nyári félév csapadékviszonyainak vizsgálata az öntözés szükségességének megítélésére szempontjából. *Hidrol. Közl.*, 560–566.
- Szász, G., 1967: Kondenzációs folyamatok megfigyelése és mérése homoktalajban. *Agrokémia és Talajtan* 16, 663–668.
- Szász, G., 1967: Sűrűségeloszlás vékony hótakaróban. *Debreceni Agrártud. Főisk. Tud. Közl.*, 243–251.
- Szász, G., 1967: Magyarország agroklimatológiai körzetfelosztásának alapjai. *Debreceni Agrártud. Főisk. Tud. Közl.* 253–268.
- Szász, G., 1968: Az öntözés alapkérdéseinek energetikai és vízháztartási vonatkozásai. *CIGR. Kongr.* Budapest, Ser. 3, 1–13.
- Szász, G., 1968: A kukorica és lucerna állomány nyári vízfogyasztásának meteorológiai vizsgálata. *Növénytermelés* 17, 129–138.
- Szász, G., 1968: A csapadékoság mértékének megmaradási hajlama. *Debreceni Agrártud. Főisk. Tud. Közl.*, 211–238.
- Szász, G., 1968: A csapadékoszegek szórásának vizsgálata Magyarországon (1901–50). *Debreceni Agrártud. Főisk. Tud. Közl.* 185–210.
- Szász, G., 1968: A globálsugárzás napi összegeinek meghatározása számítás útján. *Debreceni Agrártud. Főisk. Tud. Közl.* 239–259.
- Szász, G., 1968: Az öntözés néhány kérdésének klimatológiai vizsgálata a debreceni löszháton. *Debreceni Agrártud. Főisk. Centr. Ünnepe. 257–262.*
- Szász, G., 1969: Untersuchung der räumlichen Homogenität von Niederschlagssummen. *Acta Geographica Debrecina.* Tom. XV-XVI. Ser. VIII-IX, 227–239.
- Szász, G., 1970: A debreceni löszhát talajának hőforgalma. *Időjárás* 74, 383–392.
- Szász, G., 1970: A téli csapadékoszegek szekuláris változása Debrecenben 1856–1964. *Hidrol. Közl.* 6, 65–72.
- Szász, G., 1971: A természetes csapadékviszonyokra épülő agrometeorológiai kérdések Magyarországon. *MTA Földtud. Oszt. Közl.* 2–4, 187–198.
- Szász, G., 1972: A talajfelszín közelében képződő csapadékmennyiség meghatározása. *Időjárás* 76, 208–222.
- Szász, G., 1973: A potenciális párolgás meghatározásának új módszere. *Hidrol. Közl.* 9, 435–442.
- Szász, G., 1973: A termesztett növények vízigényének és az öntözés gyakoriságának meteorológiai vizsgálata. *Növénytermelés* 22, 241–258.
- Szász, G., 1973: Az őszi búza tavaszi öntözésének hidrometeorológiai tapasztalatai. *Növénytermelés* 22, 341–350.
- Szász, G., 1974: A hajdúsági löszhát természetes felszínének sugárzási energiaforgalma. *Időjárás* 78, 267–280.
- Szász, G., 1974: A hajdúsági löszhát talajának vízháztartási vizsgálata. *MTA Agrártud. Közl.* 33, 419–432.
- Szász, G., 1974: Energetikai tényezők hatása a gyep potenciális termésére. *Debreceni Agrártud. Egyetem. Tud. Közl., Nemzetközi Tud. Ülésszak* 5, 21–23.
- Szász, G. und Justyák, J., 1975: Lage und Aussichten der agrarmeteorologischen Forschung und des agrarmeteorologischen Unterrichts in Ungarn. *Hydrometeorologický Ustav.* Bratislava, 23–32.
- Szász, G., 1976: A fotoszintézis biofizikájának vizsgálata fokozott transzspiráció esetén. (A szoláris energia hasznosulása a szántóföldi növénytermesztésben). *Agrártud. Egyet.* Debrecen. pp. 65
- Szász, G., 1977: Formulae of Calculating Evapotranspiration and their Application in the Practice of Hungary. ICID Internat. Round Table Conf. on „Evapotranspiration”. Question 3, 1–13.
- Szász, G., 1977: Bestimmung der Globalstrahlungssummen durch Berechnung. *Folia Agrarmeteor.*, 2. Debrecen, 1–33.
- Szász, G., 1977: Dichtenverteilung in dünner Schneedecke. *Folia Agrarmeteor.* 3, Debrecen, 1–13.
- Szász, G., 1977: Meteorologische Untersuchungen zur Bestimmung der optimalen Wasserversorgung von Kulturpflanzen und der Häufigkeit der Bewässerung. *Folia Agrarmeteor.* 4. Debrecen, 1–40.
- Szász, G., 1977: Untersuchungsergebnisse über Wasserhaushalt der Tschernosjom Boden im Gebiet der Hajdúság (Ungarn). *Folia Agrarmeteor.* 5 Debrecen, 1–24.
- Szász, G., 1978: Eine Studie über die Dreistufige Entwicklung der Agrarmeteorologischen Wissenschaft. *Folia Agrarmeteor.* 1. Debrecen, 1–41.
- Szász, G., 1979: Az öntözéses gazdálkodás 1976. évi tapasztalatai. *MTA Agrártud. Oszt. Közl.* 38., 49–54.
- Szász, G., 1979: A klímaérték fogalma, meghatározásának módjai és értékei Magyarországon. *Agrártud. Egyet.* Debrecen. pp. 73
- Szász, G., 1981: Az időjárási folyamatok és a termés közötti kapcsolat modellezésének alapjai. *Időjárás* 85, 334–345.
- Szász, G., 1982: A légköri széndioxid koncentráció változásának hatása a kultúrnövények produktivására. *MTA X. Oszt. Közl.* 14, 277–291.
- Szász, G., 1982: Az éghajlati világprogram és a mezőgazdaság. *OMSZ Meteorológiai Tanulm.* No. 38. Budapest. pp. 16
- Szász, G., 1982: A szoláris energia hasznosulása a növénytermesztésben. *MTA Meteorol. Tud. Napok. Orsz. Meteorol. Szolg. Hiv. Kiadv.* Budapest
- Szász, G. és Mikó, S., 1982: A természeti és antropogén irányítású energiák aránya a növénytermesztésben. *Stud. Univ. In. Agr. Debreniensis. Tiszántúli Tudományos Napok*, 122–123.

- Szász, G., 1983: A termőhely minőségének szerepe a természeti erőforrások kihasználásában. *XXV. Georgikon Napok*, Keszthely, 1, 57–64.
- Szász, G. and Ruzsányi, L., 1983: The Complex Effect of Some Agronomical Procedure and Hydrometeorological Factors on the Water Budget of the Soil. In: *Ground Water In Water Resources Planning. Int. Symp. UNESCO-IAHS*, Koblenz, 2, 619–633.
- Szász, G., 1983: Klimapotential und landwirtschaftliche Produktion in Ungarn. *Ann. d. Meteorologie* 20. *Deutsche Meteorologen - Tagung*, Offenbach, 127, 4
- Szász, G., 1984: A simulation model of grass yields based on ecological factors. in: Riley-Skjelvag (eds.): *The Impact of climate on Grass-production and Quality. Proc. 10th Gen. Meet. European Grassland Feder.* Norway, As., 525–529.
- Szász, G., 1984: A természetes vízellátottság helyzete a hazai növénytermesztésben. Melioráció-, Öntözés és Tápanyaggazdálkodás. *Agroinform.* Budapest, 1, 1–17.
- Szász, G., 1984: *Az elsődleges biomassza felhasználásának és növekedésének lehetősége Kelet-Magyarországon.* MTA-DAB., Szolnok, 39–42.
- Szász, G., 1985: A klímapotenciál fogalma és alkalmazása a mezőgazdasági termelésben. *Magyar-Csehszlovák Meteorológiai Társaságok XXIII. vándorgyűlése.* MMT, Budapest, 33–49.
- Szász, G. and Mikó, S., 1985: Measuring the Reflection and Emission of Small Surfaces with Diaphragm Sensors. *Agricult. and Forest. Meteorol.* 36, 121–127.
- Szász, G., 1985: Az őszi búza lehetséges és tényleges termésének függése az időjárástól különböző talajú termesztési körzetekben: in Bajai, J. és Koltay, Á.: *Búzatermesztési kísérletek 1960–79 Akadémiai Kiadó*, Budapest, 39–58.
- Szász, G., 1985: A spektrális reflexió alkalmazása a növényállományokra vonatkozó információs rendszer bővítésére. In: Berényi D. (szerk.): *Fizikai módszerek az emberi környezet kutatásában és védelmében. Az atomenergia- és magkutató újabb eredményei 5.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 256–266.
- Szász, G., 1985: A talaj vízkészletében bekövetkező változás modellezése és becslése különböző termesztett növénykultúrák alatt. *Agrokémia és Talajtan.* 34, 300–316.
- Szász, G., 1985: Az őszi búza potenciális és tényleges produkciója és az időjárás közötti kapcsolat. in: Bajai, J. és Koltay, Á. (szerk.): *Búzatermesztési kísérletek 1970–80. Akad. Kiadó*, Budapest, 39–58.
- Szász, G., 1985: Magyarország agroklimatológiai körzetfelosztása és tájainak éghajlati dokumentációja. *MÉM-NAK*, Budapest pp. 255
- Szász, G., 1985: Klimapotential und landwirtschaftliche Pflanzenproduktion in Ungarn. *Meteorol. Rundschau.* Stuttgart 38, 8–14.
- Szász, G., 1986: Die Bedeutung der Fernerkundung in der großräumigen phänologischen Beobachtungen. *Arboraeta Phaenologica.* Frankfurt a. M. 31, 111–119.
- Szász, G., 1987: A mezőgazdasági célú távérzékelés jelentősége az agrometeorológiában. *Időjárás* 91, 88–103.
- Szász, G., 1987: A távérzékelés hasznosításának jelentősége az erőforráskutatásban. in: Simon, K. (szerk.): *MTA Regionális Kut. Közp. Alföldi Kut. Csop. Kiadv.* 45–51.
- Szász, G., 1987: Possibilities of the use of remote sensing in research for natural resources. in: Enyedi, Gy. (ed.): *Remote Sensing Applications.* MTA. *Centr. Reg. Stud.* 24–25.
- Szász, G., 1987: The Role of Climate in the Intensive Development of Agriculture. *Proc. X. Czechoslovak-Hungarian Meteor. Conf.* Brno, 43–56.
- Szász, G., 1988: Agrometeorológiai, általános és speciális. *Mezőgazd. Kiadó*, Budapest, pp. 461
- Szász, G., 1989: Die Bedeutung der Wasserversorgung in der Pflanzenbau. in: Seiffert, M. (Ed.): *Pflanzenbaulicher Forschung zur Steigerung der Körnerfruchtproduktion. II. WPU*, Rostock, 88–116.
- Szász, G., 1991: Die Anwendung der Spektrometrie für der ökologischen Fernerkundung. *Zentr. Inst. Physik der Erde* 118, 339–352.
- Szász, G. és Lakatos, L., 1991: A légköri hatások szerepe a talajok N-szolgáltató képességének alakulásában. *Időjárás*, 95, 289–300.
- Szász, G., 1991: A nyári aszályhajlam területi eloszlása Magyarországon. *Acta Geographica Debrecina 1989–90*, 28–29, 299–308.
- Szász, G., Karácsonyi, Z., Lakatos, L. and Zilinyi, V., 1992: Climate Change – Strategy of Plant Production in Hungary. IC1D. *16th European. Conference*, Budapest 1, 463–477.
- Szász, G., 1992: A Tisza szabályozásával kapcsolatos klimatológiai nézetek. in: Fejér, L. és Kaján, T. (szerk.): *Mérlegen a Tisza-szabályozás.* MHT-OVH, Budapest, 19–24.
- Szász, G., 1992: Agrometeorológia. *Egyet. jegyzet, DATE*, Debrecen, pp. 265
- Szász, G. and Dunajszky, E., 1992: The Drought in the Northern Region of the Carpathian Basin in 1992, Columbia University, New York. *Pollution and Water Resources* 26, 187–195.
- Szász, G., 1993: Az éghajlatváltozás és szerepe a növénytermesztés stratégiájában. *OMSZ. Hiv. Kiad.* LIX. (*Meteorológia és növénytermesztés*), 9–23.
- Szász, G., 1993: Gondolatok az éghajlat fogalmáról és értelmezéséről. *Léggör* 37, 21–26.
- Szász, G., 1993: The Effect of Climatic Changes on the Accumulation of Wastes in Europe. Columbia University, New York. *Pollution and Water Resources* (1991–92) 24–25, 112–123.
- Szász, G., 1993: A debreceni éghajlati megfigyelések rövid története I. rész. *Léggör* 38(2), 10–14.
- Szász, G., 1993: A debreceni éghajlati megfigyelések rövid története II. rész. *Léggör* 38(3), 11–13.
- Szász, G., 1993: Az időjárás változásának hatása Észak-Kelet-Magyarország térségében. in: Ináncsy, F. (szerk.) *Integrált gyümölcsstermesztés.* Újfehértó, 114–120.
- Szász, G., Cselőtei, L. and Kovács, G., 1994: Az időjárás és a növénytermesztés. „*Agro-21*” *Füzetek, No. 1.* 50–87.
- Szász, G., 1994: Szántóföldi növények szoláris energiahasznosítása Magyarországon. *Növénytermelés* 43, 403–416.
- Szász, G., 1994: Magyarország éghajlata és annak változékonysága. in: Cselőtei, L. and Harnos, Zs. (szerk.): *Éghajlat, időjárás, aszály MTA Aszály Bizottság* Budapest, 59–103.
- Szász, G., 1994: A fenntartható növénytermesztés és a prognosztizált éghajlatváltozás kapcsolata. „*A Debreceni Agrártud. Egyetem 125 éve*” DATE 2, 151–155.
- Szász, G., and Zilinyi, V., 1994: The spectral reflection of different soils and soil ingredients. *Időjárás* 98, 23–35.
- Szász, G., 1994: Determination of the value of atmospheric drought. *Időjárás* 98, 237–249.
- Szász, G., 1995: A szélsőségek szerepe a növényállományok termikus állapotának szabályozásában. *KLTE, „Berényi” Jub. kötet* 7–33.
- Szász, G., 1995: A vízhasznosulás meghatározása vízháztartási és energetikai módszerrel. *Debreceni Agrártud. Egyetem Tud. Közl.* 31, 113–131.
- Szász, G., 1995: Főbb termesztett növények természetes vízhasznosulása Magyarországon. *Orsz. Meteorol. Szolg., Égh.-i és Agrometeor.-i Tanulm.* 3, Budapest, 11–31.
- Szász, G., Nagy, G. and Ferencz, G., 1996: Ecological Constraints on Continuous Set Stocking in Eastern-Hungary. *Grassland and Land Use.* 1, 123–126.
- Szász, G., és Zilinyi V., 1996: Mezőgazdasági célú távérzékelés alapjai. *Jegyzet, DE*, Debrecen, pp. 155
- Szász, G. és Tőkei, L., (szerk.) 1997: *Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek.* Mezőgazda Kiadó. Budapest. pp. 722
- Szász, G., 1998: Az energia- és vízellátottság szerepe a növénytermesztésben. *Debreceni Agrártud. Egy. Tud. Közl.*, pp. 38
- Szász, G., 1998: A növényzet övezetes rendje a Földön. *Erdő-Klíma Konf.* Sopron, KLTE Debrecen
- Szász, G., 1998: Az időjárás és a termény minősége közötti kapcsolat ökológiai aspektusa. *MTA Agro-Qualitás*
- Szász, G., and Zilinyi V., 1998: A sugárzás eloszlása különböző típusú növényállományokban. *Erdő-Klíma Konf.* Sopron, KLTE Debrecen
- Szász, G., 1998: A természetes vízhasznosulás agrometeorológiai vizsgálatának eredményei. *Növénytermelés* 47, 253–265.
- Szász, G., 1998: Distribution of Solar Radiation in Crop Canopy. *Acta KLTE*, 29, 45–53.
- Szász, G., 1998: Aerodynamical Structure of the Near Ground Atmosphere. *Met. Zeitung* 2, 34–41.
- Szász, G. és Loch, J., 1999.: Az éghajlati stressz szerepe a cukorrépa termesztésében Magyarországon. in: Buzás, J. and Johnson, A. E.

- (eds): Balanced Plant Nutrition in Sugar Beet Cropping Systems for High Yield and Quality. *Reg. Workshop*. Budapest, 140–154.
- Szász, G., 1999: A szántóföldi növényállományok szerepe a felszín-légkör kölcsönhatásának alakulásában (energia- és vízforgalom). *MTA Doktori Értekezés*, Debrecen pp. 153
- Ács, F., Molnár, I. and Szász, G., 2000: Microscale Bare Soil Evaporation Characteristics: A Numerical Study, *Időjárás* 104, 143–159.
- Szász, G., 2001: Advekción folyamatok szerepe a mikroklíma kialakulásában. „*Dr. sen. Berényi Dénes jub.*” Debrecen, DE. 215–236.
- Szász, G., 2002: A mikroadvekción energetikai és aerodinamikai hatása a mikroklímátikus légtér fizikai állapotára. In: „*Levegő-növény-talaj rendszer 2002. október 29.*” 53–68.
- Ács, F. and Szász, G., 2002: Characteristics of Microscale Evapotranspiration: a Comparative Analysis. *Theor. Appl. Climatol.* 73, 189–205.
- Szász, G., 2002: Surface Energy Budget Between the Atmosphere and the Surface in the Vegetation Period During 1963–94, *Időjárás* 106, 161–184.
- Druca, M., Ács, F. and Szász, G., 2003: A transpiráció, a talajnedvesség-tartalom és a felszíni hőmérséklet kapcsolatrendszere. In: Simon, G. (szerk.): *Lippay J. – Ormos I. – Vas Károly Tudományos Ülésszak előadásainak és posztereinek összefoglalója*. Budapest, 568–569.
- Druca, M., Ács, F. és Szász, G. 2004: A felszíni energiaegyenleg modell alkalmazhatóságáról a talajnedvesség meghatározásra. *Erdő és Klíma IV*, 123–132.
- Szász, G., 2004: A feltételezett éghajlatváltozás és a szántóföldi növények terméshozadása közötti összefüggések vizsgálata. *MTA AGRO-21 Budapest*
- Szász, G., 2004. A reprezentativitás kritériuma a mikroklímátológiában. *Földtud. Tanulmányok – Jub. Kötet*, Debrecen, 181–193.
- Szász, G., 2004. A légköri tényezők szerepe a talaj-növény-levegő rendszerben. In: Rajkai, K. Szász, G. és Huzsvai, M (szerk.): *Agroökológiai modellek, Egyetemi jegyzet*, Debrecen, 17–99.
- Ács, F., Szász, G., and Druca, M., 2004: Estimating Soil Moisture Content of a Grass Covered Surface Using an Energy Balance Equation and Agrometeorological Observations. *Deutsch-Österreich-Schweizerische Meteorologen Tagung*, 7–10. September 2004, Karlsruhe
- Szász, G., 2005. Az éghajlat-változékonyság és a szántóföldi növények terméshozadása. „*Agro-21*” *Füzetek* 38, 59–77.
- Szász, G., 2005: Terméshozadás és éghajlati változékonyság a Kárpát-medencében. „*Agro-21*” *Füzetek* 40, 33–69.
- Ács, F., Szász, G. and Druca, M., 2005: Estimating Soil Moisture Content of a Grass-Covered Surface using an Energy Balance Approach and Agrometeorological Observations. *Időjárás* 109, 71–88.
- Szász, G., Ács, F., Breuer, H. and Szalai, Sz., 2006: Modeling of Climate and Net Ecosystem Exchange in Debrecen. *Cereal Research Communications* 34, 9–12.
- Szász, G., Ács, F., Breuer, H. and; Szalai, Sz. 2006: Climate of Debrecen from the point of view of Thornthwaite.
- 5th ALPS-ADRIA Scientific Workshop, 6–11. March 2006., Opatija, Croatia
- Szász, G. és Rácz, Cs., 2006: A csapadék évi ingása Magyarországon (1881–2000). In: Tóth, T. és Biróné Kircsi, A. (szerk.): *Kedvező széllel Kunhegyestől Debrecenig. Tiszteletkötet Tar Károly 60. születésnapjára*. DE-TEK, Debrecen, 291–303.
- Szász, G., Ács, F. and Breuer, H., 2007: Estimation of Surface Energy and Carbon Balance Components in the Vicinity of Debrecen using Thornthwaite's Bucket Model. *Időjárás* 111, 239–250.
- Ács, F., Breuer, H. és Szász, G., 2007: A tényleges párolgás és a talaj vízkészlet becslése tenyészidőszakban. *Agrokémia és Talajtan* 56, 217–236.
- Sisák, I., Máté, F., Bámer, B. és Szász, G., 2007: A csapadék eróziós potenciáljának becslése a Balaton vízgyűjtőjén és lehetséges változása a globális felmelegedés következtében. In: Palkovics, M. és Weisz, M. (szerk.): „*Agrárgazdaság a vidékért, a környezetért, az életminőségért*” 49. Georgikon Napok. Keszthely
- Szász, G., Ács, F., Seres, A. és Horváth, Á., 2007: A zivatarok statisztikai elemzése Debrecenben. *Légkör* 52(3), 22–25.
- Máté, F., Makó, A., Sisák, I. és Szász, G., 2008: Talajaink klímaérzékenysége - talajföldrajzi vonatkozások. *Talajvédelem Különszám*, 141–146.
- Nagy, Z., Szász, G., Weidinger, T., Szalai, S., Tóth, Z., Nagyné, Kovács E., Debreceni, B., Matyasovszky, I. and Gyöngyösi, A. Z., 2008: Baseline climate network in Hungary for high accuracy detection of the local effects of climate change. *Geophysical Research Abstracts* 10.
- Sisák, I., Máté, F., Szász, G. és Hausner, Cs., 2008: Lehetőségek a csapadék eróziós potenciáljának meghatározására különböző részletességű adatbázisok alapján. *Talajvédelem*, 155–162.
- Máté, F., Makó, A., Sisák, I. and Szász, G., 2009: Talajzónáink és a klímaváltozás. *Klíma 21 Füzetek* 56, 36–42.
- Makó, A., Máté, F., Szász, G., Tóth, G., Sisák, I. és Hernádi, H., 2009: A talajok klímaérzékenysége vizsgálat a kukorica termésreakciói alapján. *Klíma 21 Füzetek* 56, 18–35.
- Sisák, I.; Máté, F., Makó, A., Szász, G. és Hausner, Cs., 2009: A talajok klímaérzékenysége. *Klíma 21 Füzetek* 57, 30–42.
- Szász, G. és Rácz, Cs., 2010: A harmonikus víz- és tápanyagellátás kutatása (1960–2010). In: Pepó, P. (szerk.): *Termesztési tényezők a fenntartható növénytermesztésben DE ATC*, 204–217.
- Szász, G. and Rácz, Cs., 2010: A harmat képződése kukoricaállományokban. *Növénytermelés* 59, 65–84.
- Szász, G., 2010: A Hortobágy éghajlata. *Acta Biologica Debrecina. Supplementum oecologica hungarica* 24, 31–41.
- Ács, F., Breuer, H. and Szász, G., 2011: Estimation of Actual Evapotranspiration and Soil Water Content in the Growing Season. *Agrokémia és Talajtan* 60 Supplementum, 57–74.
- Szász, G., 2013: Agrometeorological Research and its Results in Hungary (1870–2010). *Időjárás* 117, 315–358.

Szász Gábor (Békés, 1927. szeptember 28. – Debrecen, 2019. július 17.), biológia-földrajz szakos tanár, agrometeorológus. A Debreceni Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karán szerzett középiskolai tanári diplomát 1950-ben. Demonstrátor a KLTE Meteorológiai Tanszékén, majd ugyanott gyakornok, tanársegéd. 1952–1955 között a Tudományos Minősítő Bizottság meteorológus aspiránsa. Kandidátusi fokozatot 1956-ban szerzett („Az őszi rozs termesztésének függése az időjárástól és az éghajlattól”). Kismacsi agrometeorológiai állomás létrehozása (1957). Tudományos munkatárs (Debreceni Mezőgazdasági Akadémia, később Debreceni Agrártudományi Főiskola majd Egyetem, 1960). Egyetemi docens (1963), egyetemi tanár (1972). Az agrometeorológiai tantárgycsoport oktatója. MTA doktora 1999 („A szántóföldi növényállományok szerepe a felszín-légkör kölcsönhatásának alakulásában – energia- és vízforgalom). Kutatási területei a mezőgazdasági vízgazdálkodás, a távérzékelés agrometeorológiai hasznosításának lehetőségei, a talajközeli légrétegben végbemenő átviteli, párolgási folyamatok, fluxusmérések értelmezése és értékelése. Fontosabb publikációk: A szántóföldi növénytermesztés időjárási vonatkozásai (1960), A fotoszintézis biofizikájának vizsgálata fokozott transpiráció esetén. (A szoláris energia hasznosulása a szántóföldi növénytermesztésben, 1976), Magyarország agroklimatológiai körzetfelosztása és tájainak éghajlati dokumentációja (1985), Agrometeorológiai, általános és speciális (1988), Agrometeorológia (1992), Mezőgazdasági célú távérzékelés alapjai (társszerző Zilinyi, V. 1996), Meteorológiai mezőgazdálkodás, kertészeknek, erdészeknek (társszerk. Tőkei, L. 1997), Characteristics of Microscale Evapotranspiration: a Comparative Analysis (társszerző Ács, F. 2002, Agrometeorological Research and its Results in Hungary, 1870–2010 (2013). Közéleti, vezetői tevékenység: MTA tudományos bizottságai, 1970–1980 tudományos dékánhelyettes, 1987–1993 tanszékvezető, 1983–1989 rektor, 1989–1992 rektorhelyettes. A Magyar Meteorológiai Társaság elnöke, 1980–1990. Elismerései: Munka Érdemrend Bronz fokozat (1974), MMT Szakirodalmi Nívódíj (1974, 1988, 1997), MMT Steiner Lajos emlékérem (1978), Munka Érdemrend Arany fokozat (1984), Universitát Nadel Rostocki Egyetem (1986), Interkozmosz Nemzetközi Űrkutatási Emlékérem (1988), Eötvös Loránd díj (1989), MMT Berényi Dénes díj (1992), OM és VM Intézményközi Tankönyvkiadási Nívódíj (1994), Doctor honoris causa (1997), Schenzl Guido miniszteri kitüntetés (1997), Professzor Emeritus (1997), Pázmány Péter díj (1999), MMT Tiszteletbeli Elnök (2003), Magyar Köztársasági Érdemrend Tiszti Keresztje (2007), Életfa Emlékplakett Arany fokozata miniszteri kitüntetés (2017).

KISLEXIKON POCKET ENCYCLOPAEDIA

Kolláth Kornél¹, Hágen András², Tóth Zoltán^{1,3}

¹Országos Meteorológiai Szolgálat, 1525 Budapest Pf. 38., kollath.k@met.hu, ²Arany János Általános Iskola, 6447, Felsőszentiván, Szent István utca 19., hagena@freemail.hu, ³Stratolab Kutató, Fejlesztő és Innovációs Kft., zoltan.toth@stratolab.hu

aeroszol optikai mélység, *aerosol optical depth (AOD)*, a légszlop teljes aeroszol tartalma által okozott sugárzásgyengítésre jellemző dimenzió nélküli mennyiség. A $\delta_A(\lambda) \sim$ monokromatikusan definiált fizikai mennyiség, amely a Beer-Bouguer-Lambert törvényből vezethető le:

$$\delta_A(\lambda) = \frac{1}{m} \ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)S} \left(\frac{P}{P_0} \delta_R(\lambda) + \delta_0(\lambda) \right),$$

ahol $I_0(\lambda)$ az extraterresztriális irradiancia közepes naptávolságnál, $I(\lambda)$ az irradiancia az észlelési pontban, S a naptávolságra vonatkozó korrekciós faktor, m a relatív optikai légtömeg. $\delta_R(\lambda)$ a légköri molekulák Rayleigh-szórásának optikai mélysége, $\delta_0(\lambda)$ az ózon-abszorpció optikai mélysége: $(\delta_0(\lambda) = a_0(\lambda) \eta)$, ahol $a_0(\lambda)$ az ózon abszorpciókoefficiens és η az össz-ózon-tartalom). P és P_0 az aktuális nyomás és standard tengerfelszíni nyomás. Az \sim -et azon hullámhosszokon érdemes meghatározni, ahol vagy nincs számottevő gázabszorpció, vagy pedig az elnyelő gáz(ok) össz mennyisége a mérési időpontban pontosan ismert. Sugárzásátviteli problémákban az 500 nm-en meghatározott \sim használatos, de a különböző hullámhosszokon meghatározott \sim értékek között nagy az autokorreláció. Az 500 nm hullámhosszra, ha $0,2 < \delta_A < 0,3$, akkor átlagosan szennyezett, ha $0,3 < \delta_A$, akkor az átlagosnál szennyezettebb, nagyvárosi, iparvidéki jellegű, ha $\delta_A < 0,2$, akkor pedig az átlagosnál tisztább, vidéki jellegű a légkör.

bázishőmérséklet a növény növekedéséhez, fejlődéséhez szükséges legkisebb hőmérséklet. Értéke fajta- és fenofázisfüggő. (Varga Zoltán: *Mosonmagyaróvári hosszú agrometeorológiai kísérletsorozat tapasztalatai*)

citizen science <ang.> *közösségi tudomány*, a közvélemény bevonása a tudományos kutatásba, akár közösségi kutatásba vagy globális vizsgálatba. (Kolláth Kornél, Szini Hajnalka és Tóth Zoltán: *Füstréteg a sztratoszférában Brit Kolumbiából*)

gőzpárnamagmatizmus Szádeczky-Kardoss Elemér szerint az üledékek pórus-, ill. adszorbeált és kémiaiilag gyengén kötött vize kipréselődik. ill. aránylag kis, mintegy 400 °C alatti hőmérsékletig felszabadul, és felfelé eltávozik, aktiválva a gravitációs tektonikát. Az üledékes ásványok kémiaiilag erősebben kötött OH-tartalma a kísérleti vizsgálatok szerint csak 500–600 °C közt szabadul fel. Ezt a hőmérsékletet 0,2 mm/év sebességgel a 250 km széles üledékgyűjtőben felhalmozódó és 15 mm/év sebességgel betolódó üledékek 16 km vastag rétegcsoportjai komplex termikus folyamat útján 40 km-nél nagyobb mélységben érik el. Ily módon a nagy hegyképződési réteg alatti mélységben az agyagásványokból nagy mennyiségű és nyomású gőz szabadul fel, amely az itt már nagy vastagságú fedőközetek alatt felhalmozódva gőzcentrumot hoz létre a kőzetek pórusaiban. (Hágen András: *Paleoklíma és a Föld térfogatnövekedése*)

GTOPO30 <röv., ang.> *Global 30 Arc-Second Elevation Data Set*, globális 30 ívmásodpercű domborzati adatbázis, melyet az Egyesült Államok Geológiai szolgálat (United States Geological Survey, USGS) készített, felbontása kb. 1 km, 30 ívmásodperc. (Torma Csaba Zsolt és Dezső Zsuzsanna: *Európai példák inverziós helyzetre: 2015. december*)

kraton, *őskontinens*, a földkéreg stabil, konszolidálódott, merev része, amelyben a tektonikus igénybevételekre (a mozgékony övezetekenél megfigyelhető gyűrődések helyett) törések keletkeznek. (Hágen András: *Paleoklíma és a Föld térfogatnövekedése*)

krepuszkuláris sugár, *crepuscular ray* <lat. ang.>, *alkonyati sugár*. *Crepusculum* <lat.> esthomály, szürkület. Kevéssel napnyugta után, illetve napkelte előtt a horizont alatt tartózkodó napkorong irányából látszólagosan széttartó fény- és árnyéksávok. A jelenséget a távoli hegycsúcsok, felhők kis szögben fölfelé vetülő árnyékainak köszönhetjük. (Kolláth Kornél, Szini Hajnalka és Tóth Zoltán: *Füstréteg a sztratoszférában Brit Kolumbiából*)

litoszférolemez a Föld külső, a kéregből és a felső földképeny merev szilárd részéből álló kőzetburok, amely a köpeny asztroszféra nevű képlékeny részén úszik. A litoszféra szokásos vastagsága 70–150 km. Az óceánok alatt vékonyabb, a kontinensek alatt vastagabb. Nem egységes héj, hanem több, különböző méretű kőzetlemezből áll. (Hágen András: *Paleoklíma és a Föld térfogatnövekedése*)

pyroCb <röv., gör.> *pyrocumulonimbus*, felhőtípus, egy zivatarfelhő-fajta, amely hóforrás (erdőtűz, vulkáni kitörés) felett alakul ki. A WMO általi hivatalos elnevezése *cumulonimbus flammagenitus (Cb flgen)*. A \sim vagy *Cb flgen* eléri a felső troposzférát, vagy akár az alsó sztratoszférát. Először 1998-ban említik. (Kolláth Kornél, Szini Hajnalka és Tóth Zoltán: *Füstréteg a sztratoszférában Brit Kolumbiából*)

RCP <röv., ang.> *representative concentration pathways*, *jellemző koncentráció változás*, üvegházhatást okozó gázok koncentrációjának lehetséges jövőbeli változása. Az IPCC ötödik értékelő jelentése (AR5 – 2014) hatályon kívül helyezte a 2000-ben közölt, a kibocsátások jövőbeli alakulásának, forgatókönyveinek (SRES) előrejelzéseire vonatkozó külön jelentést. Négy lehetséges koncentráció változási scenáriót, forgatókönyvet választottak ki az éghajlat-modellezés -kutatás leírásához, különböző lehetséges üvegházgáz kibocsátásnak megfelelően. Négy \sim t határoztak meg, $\sim 2,6$, $\sim 4,5$, ~ 6 , és $\sim 8,5$, amely rendre 2,6, 4,5, 6,0 és 8,5 Wm⁻² sugárzási kényszernek felel meg. (Mikes Márk Zoltán: *A Nyírség és a Felső-Tisza Vidék éghajlati elemzése*)

szubdukciós az olyan földszerkezeti változás, melynek során az óceáni kőzetlemez a rajta levő üledékek egy részével ferde sík mentén egy másik kőzetlemez alá süllyed. (Hágen András: *Paleoklíma és a Föld térfogatnövekedése*)

szutura, *sutura* <lat.> varrás. Két lemez érintkezési felülete mint varratvonal marad fenn, ami a továbbiakban többnyire nem válik újra aktív mozgási felületté. (Hágen András: *Paleoklíma és a Föld térfogatnövekedése*)

transzgresszió, tengerelőntés, A tenger előrenyomulása és a szárazföld nagyobb területeinek előntése. Kiváltó oka lehet a tenger vízszintjének emelkedése vagy a szárazföld lassú süllyedése. (Hágen András: *Paleoklíma és a Föld térfogatnövekedése*)

2019 NYARÁNAK IDŐJÁRÁSA WEATHER OF SUMMER 2019

Bíróné Kircsi Andrea

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

Összefoglalás: A 2019. évi nyár is a szokásosnál melegebben alakult, az évszak középhőmérséklete 22,3 °C-nak adódott, ami 2,1 °C-kal haladja meg az 1981–2010-es átlagot, ezzel 1901 óta a 2. legmelegebb nyár volt. Országosan 13 napon fordult elő 25 °C feletti napi középhőmérséklet, Az év első hóhullámát június közepén tapasztaltuk, a következőt augusztus 10–12-én. Országos átlagban 2 forró nap ($T_{\max} \geq 35$ °C) fordult elő, mely megegyezett a sokévi átlaggal. A háromhavi csapadékmennyiség országos átlagban 178 mm volt, mintegy 11%-kal kevesebb az 1981–2010-es normálnál. Az egész évszakban gyakoriak voltak a károsító felhőszakadások, jégesők. A legtöbb felhőszakadás június 16 és 23 között, valamint július végén, augusztus 1 és 13-án alakult ki. Az évszak napi csapadékrekordját (154,9 mm) Terpesen mértük. A nyári csapadékösszeg maximuma 432,7 mm volt, mely a Bükk keleti előterében található Varbó állomáson adódott, míg a legalacsonyabb évszakos csapadékmennyiséget (60,4 mm) a Hanságban fekvő Bősárkány állomáson regisztráltuk.

Június 3,6 °C-kal volt melegebb az 1981–2010-es átlagnál. Az országos átlagban 22,6 °C havi közép a legmelegebb június 1901 óta. A hónap minden napján magasabb hőmérséklet uralkodott, mint a sokévi átlag. Az első hóhullám, június 12–16 között volt. Június 15-én Budakalászon (35,8 °C), míg június 16-án Kiskunhalason (35,7 °C) dőlt meg a napi csúcshőmérséklet. Az utolsó dekádban uralomra jutó anticiklon egy rövid, de igen intenzív hóhullámot okozott június 25–27 között. 26 °C-ot is meghaladó napi átlagok 6–7 fokkal melegebbek a szokásosnál. Mind a nyári, mind a hőségnapok száma (11 és 7) több, mint az 1981–2010-es normálérték.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

36,4 °C, Zagyarékas (Jász-Nagykun-Szolnok m.), június 27.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

5,8 °C, Zabar (Nógrád megye), június 10.

A júniusi csapadékösszeg országos átlagban 71,4 mm-t tett ki, amely közel megegyezik a sokévi átlaggal (97%-a). Igen jelentős területi különbségek mutatkoztak: az Ipoly mentén és a Kisalföldön alig 20 mm érkezett, míg az északkeleti országrészben a lehulló csapadék helyenként megközelítette a 200 mm-t. Különösen csapadékos időjárás jellemezte a Bükk-

hegység környezetét. Napi csapadékrekordot döntött Rakamaz (144,4 mm, június 16.) és Fonyód (117,8 mm, június 19.).

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

248,8 mm, Terpes (Heves megye)

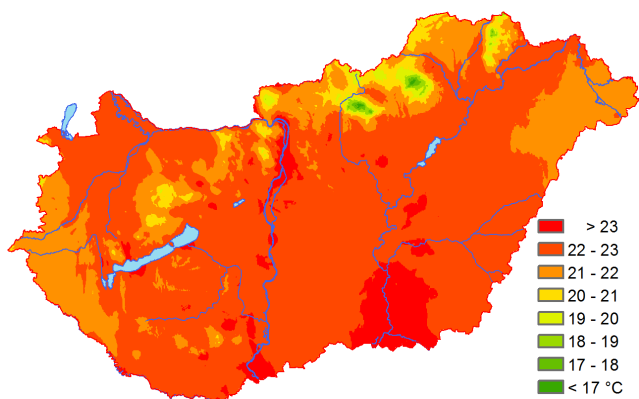
A hónap legkisebb csapadékösszege:

5,2 mm, Tésa (Pest megye)

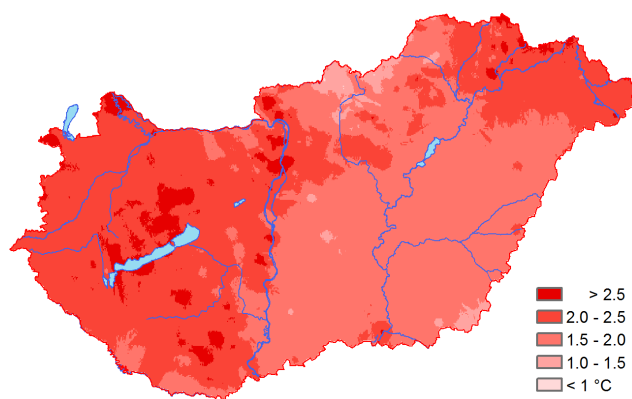
24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

154,9 mm, Terpes (Heves megye), június 23.

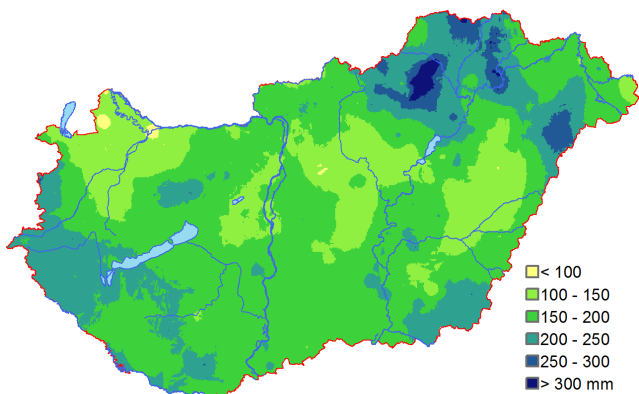
Július mindössze 0,4 °C-kal volt melegebb az 1981–2010-es átlagnál. Az országos 21,6 °C-os júliusi közép úgy alakult, hogy a Dunától keletre a szokásosnál inkább hűvösebb, míg a Dunántúlon az átlagosnál melegebb volt. A legmelegebb területek ezúttal északnyugaton, a Fertő-tó térségében, a főváros környezetében és az Alföld középső-déli tájain fordultak elő. A legmelegebb időszak a hónap első napjai voltak, majd hosszabb hűvösebb periódus következett. Országos átlagban a leghűvösebb július 10–14 között volt, közel 3 °C-kal a sokévi átlag alatt. A fagyzugos Zabaron két napon is megdőlt a minimumhőmérséklet napi rekordja: július 10-én és 12-én a legalacsonyabb hőmérséklet 4 °C alatt maradt. Az utolsó dekádban újra emelkedett a napi közép, amikor Nyugat-Európát afrikai eredetű forró légtömegek árasztották el.



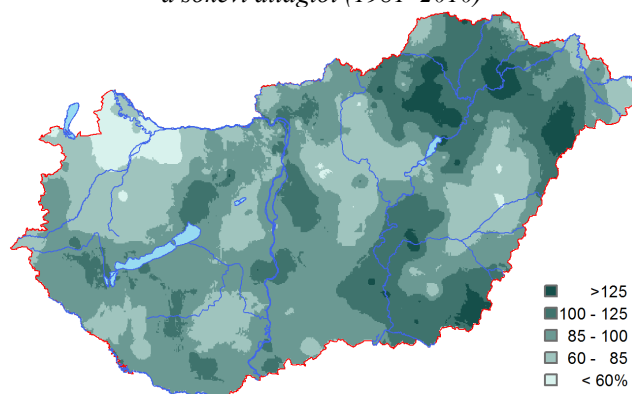
1. ábra: A 2019-es nyár középhőmérséklete (°C)



2. ábra: A 2019-es nyár középhőmérsékletének eltérése (°C) a sokévi átlagtól (1981–2010)



3. ábra: A 2019-es nyár csapadékösszege (mm)



4. ábra: A 2019-es nyár csapadékösszege a sokévi (1981–2010-es) átlag százalékos (%) arányában kifejezve

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

37,5 °C, Tiszaalpár (Bács-Kiskun megye), július 1.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

3,5 °C, Zabar (Nógrád megye), július 10.

A júliusi csapadékösszeg országos átlagban 63,4 mm volt, a sokévi átlagnál csupán 1%-kal kevesebb. Júliusban a Kisalföldön érkezett kevés csapadék, a havi összeg 20 mm alatt maradt. A heves zivatarok, felhőszakadások miatt számos állomáson jegyeztünk fel 100 mm feletti havi csapadékot. Jelentős mennyiség július 7-én, július 27–28-án és 31-én hullott. 17 állomáson volt legalább egy olyan nap, amikor a napi összeg meghaladta az 50 mm-t. Július 7-én a Dunántúlon, míg 26-án, majd 27-én egy tőlünk északra haladó magassági hidegfront hatására jöttek létre pusztító viharok, főleg a Nyírségben. Július 28-án egy markáns mediterrán ciklon hatására létrejövő zivatarok hoztak özönvízzerű esőt országszerte. Kunmadarason 28-án délután 40 ms^{-1} (144 km/h) erősségű szellőkést mért az automata. A hónap utolsó napján labilis légtömegek biztosítottak lokálisan kedvező körülményeket záporok kialakulásának.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

158,5 mm, Bátorliget (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

12,8 mm, Hegyeshalom (Győr-Moson-Sopron megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

111,2 mm, Bátorliget (Szabolcs-Szatmár-Bereg m.), július 27.

Augusztus 2,2 °C-kal volt melegebb a sokévi átlagnál. A 22,7 °C-os országos havi közép a 7. legmelegebb 1901 óta. Az egész országban melegebb volt a szokásosnál, a legnagyobb eltérést Budapest és a Dél-Alföld mellett főként a hegységeink-

ben tapasztaltuk. A hónap elején változékony időjárás uralkodott, majd délnyugati irányból egyre melegebb légtömegek érkeztek, s elkezdődött az év legmelegebb periódusa. A legmelegebb augusztus 12-én volt. A kánikulának egy érkező frontrendszer vetett véget, mely után néhány napig az átlagosnál hűvösebb időjárás volt. Az utolsó dekádban egészen a hónap végéig kitartó meleg, nyári időjárás uralkodott. Ekkor a napi átlag 5–6 °C-kal a normál felett volt.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

38,0 °C, Derekegyház Kéktó (Csongrád megye), augusztus 12.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

6,8 °C, Nyírlugos (Szabolcs-Szatmár-Bereg m.), augusztus 16.

Az augusztus száraz időjárású volt, jelentős területi különbségekkel. A havi csapadék országos átlagban 43,2 mm volt, a sokévi átlag 69%-a. A Tisza vonalától keletre, különösen Békés és Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében alig esett eső. Ugyanakkor a Bükk és a Cserehát térségében a lehulló csapadék mennyisége megközelítette, vagy jóval meghaladta a 100 mm-t. A havi csapadék jelentős része augusztus 1-jén és 13-án hullott, sok helyen a szokásos havi érték többszöröse. Ezen a napon számos településen pusztított felhőszakadás és jégeső. A hónap végére újra csapadékmentessé vált az időjárás.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

171,0 mm, Szőlősdárdó (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

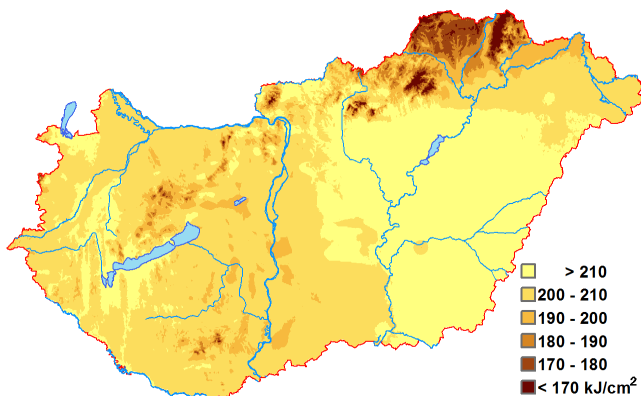
A hónap legkisebb csapadékösszege:

3,1 mm, Kondoros (Békés megye),

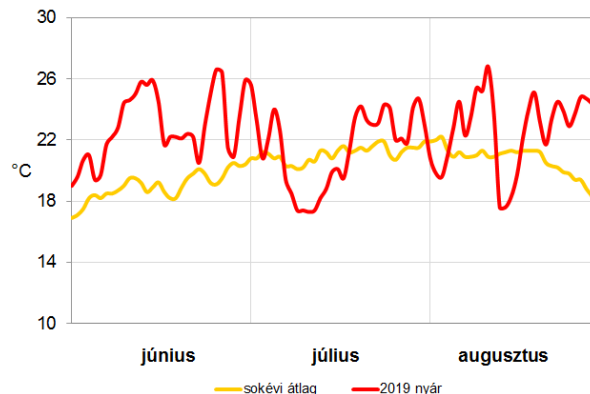
Fehérgyarmat (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

126,1 mm, Varbó (Borsod-Abaúj-Zemplén m.), augusztus 13.



5. ábra: A 2019-es nyár globálsugárzás összege (kJ/cm^2)



6. ábra: A 2019 évi nyár napi középhőmérsékletei és az 1981–2010-es sokévi átlag ($^{\circ}\text{C}$)

2019. nyár időjárási adatainak összesítője

Állomás	Napsütés, óra		Sugárzás, kJcm^{-2}	Hőmérséklet, $^{\circ}\text{C}$						Csapadék, mm			Szél ($f_x \geq 15 \text{ ms}^{-1}$)
	évszak összes	eltérés		évszak összes	évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %- ában	
Szombathely	879	142	205	21,9	2,3	34,6	07.01	8,7	07.11	222	99	18	3
Nagykanizsa			209	21,6	2,1	34,5	07.01	7,4	07.11	216	89	19	2
Pér			210	22,4		35,1	08.10	7,4	07.11	104	57	14	10
Siófok			209	23,8	2,5	35,5	07.01	13,6	08.15	166	95	19	11
Pécs	957	131	212	22,8	2,2	34,0	07.01	12,6	07.11	265	128	22	7
Budapest	966	136	206	23,3	2,3	35,0	08.12	11,3	07.11	201	113	13	1
Miskolc	945	172	198	22,2	2,2	36,0	06.27	9,5	07.12	246	112	22	2
Kékestető	856	84	201	17,3	2,3	26,6	06.16	8,0	08.14	213	81	22	5
Szolnok			218	22,9	1,8	35,6	08.12	9,5	07.12	188	103	18	3
Szeged	982	159	213	23,0	2,1	36,9	08.12	8,1	07.11	170	94	18	2
Nyíregyháza			214	22,2	2,2	34,9	08.12	8,5	07.12	164	92	20	11
Debrecen	1032	206	209	22,7	2,3	35,3	08.12	7,9	07.12	123	69	18	4
Békéscsaba			220	22,5	1,8	35,1	07.02	8,6	07.12	184	99	22	8

