

LÉGKÖR

62. évfolyam

2017. 2. szám



300 éves
az első magyar
meteorológiai
műszeres
mérés

A METEOROLÓGIAI MÉRÉSEK KEZDETÉNEK 300. ÉVFORDULÓJA, ÜNNEPSÉG SOPRONBAN

THE 300. ANNIVERSARY OF THE BEGINNING OF HUNGARIAN METEOROLOGICAL MEASUREMENTS, FEAST IN SOPRON



Emléktábla a malom oldalán, ami hirdeti, hogy Gensel János Ádám 1710 körül kezdte meg méréseit Sopronban



Fazekas Sándor földművelésügyi miniszter ajándéka, amit a jubileumi ünnepségen adott át az OMSZ elnökének



A főállomás kertjében felavatott emlékkő



Az egyik emlékpada felirata

Az első orvos, akinek időjárási megfigyeléseket köszönhetünk, az a soproni *Andreas Loew* (1666-1710), akinek fennmaradtak a latin nyelven írt feljegyzései. Halála után *Gensel János Ádám* (1670-1720) lett a város főfizikusa (főorvosa), aki folytatta elődje méréseit, s akinek a megfigyeléseit az 1717-ben indult szászországi *Sammlung* folyóiratban latin nyelven megtalálhatjuk. Gensel rendelkezett higanyos barométerrel (párizsi hüvelyk beosztással) valamint higanyos hőmérővel. Ez utóbbi skálázásáról nincs tudomásunk. Mivel írásos feljegyzés a soproni mérésekről először 1717-ből áll rendelkezésre, így ezt az évszámot tekinthetjük a magyar műszeres mérések kezdetének.

2017. június 21-én a *meteorológiai mérések 300. évfordulója* alkalmából nagyszabású ünnepséget rendezett az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) Sopron városában. Először a Liszt Ferenc Konferencia- és Kulturális Központban került sor ünnepélyes megemlékezésre. Az OMSZ elnöke, *Radics Kornélia* köszöntőjében méltatta Gensel János érdemeit, megemlítve, hogy annak ellenére, hogy sokan végeztek méréseket utána, a mai értelemben vett hálózatszerű mérés csak a XIX. század második felében alakult ki. Megjegyezte, hogy a Szolgálat éves adatforgalma napjainkban már eléri az 50 milliót. A megnyitó szavak után a Szolgálat szakmai felügyeletét ellátó *Fazekas Sándor* földművelésügyi miniszter köszöntötte a megjelenteket és részletesen értékelte nemcsak a történelmi múltat, hanem a Szolgálat jelen tevékenységét is. Előadásában kiemelte a közelmúlt nagy fejlesztését, a negyedik időjárási radar 2015-ban történt üzembeállítását, amely komoly mértékben segíti a veszélyjelzést és a repülésmeteorológiai kiszolgálást is. Szólt a Szolgálat előtt álló kihívásokról, többek között utalt a tervezett országos jégeső-elhárítási rendszerrel kapcsolatos esetleges feladataira. Beszéde végzetével a miniszter egy – erre az alkalomra készítettet ajándékot – *Kósa Klára* kerámia-aját és jubileumi oklevelet adott át az OMSZ elnökének. Utána *Fodor Tamás*, Sopron polgármestere emelkedett szólásra, s örömet fejezte ki, hogy a 300 éves jubileum alkalmából a leghűségesebb városban köszönheti az ünneplőket. Ő is utalt Gensel főorvos úttörő tevékenységére, és arra, hogy büszkeség tölti el a *Hűségés Város* polgárainak szívét, hogy hazánkban, Sopronban végezték az első műszeres meteorológiai méréseket. A polgármesteri beszédet követően került sor a Sopron táncegyüttes műsorának első részére. A táncegyüttes előadását szakmai előadás követte. *Bozó László* akadémikus, szakmai főtanácsadó átfogó előadásában mind időrendben, mind tevékenységben széleskörűen összefoglalta a Szolgálat szakmai munkásságát. Befejezésül a Sopron Táncegyüttes műsorának második részére került sor. A megemlékezést állófogadás zárta, amelyen a résztvevők nemcsak soproni borokat kóstolhattak meg, hanem néhány archaikus műszert is megtekinthettek a Szolgálat Meteorológiai Muzeális Szakgyűjteményéből. A résztvevők távozáskor, ajándékként kaptak egy-egy, a Szolgálat által kiadott Felhőatlaszt, s igazi meglepetésként, az ünnepi alkalomra a Magyar Posta által kibocsátott és alkalmi bélyegzéssel ellátott bélyeg: „300 éve élen a meteorológiai mérésekben”.

Az ünnepi megemlékezés a kurucdombi régi szélmalom – teljes mértékben felújított és műszerekkel bőségesen ellátott – épületében folytatódott, ahol 1974 óta működik az Országos Meteorológiai Szolgálat főállomása. A délutáni eseményen az OMSZ elnökének üdvözlése után *V. Németh Zsolt* környezetügyért, agrárfejlesztésért és hungarikumokért felelős államtitkár tartott köszöntőt, majd *Fodor Tamás* méltatta a főállomás jelentőségét és az itt folyó munkát. Az ünnepségen a hegykői tűzoltó zenekar eljátszotta a Himnuszt, majd *V. Németh Zsolt*, *Radics Kornélia* és *Fodor Tamás* közösen leplezték le az évfordulóra készített emlékkövet az állomás kertjében. Az ünnepségsorozat végén, egy, a magyar meteorológiai gyakorlatban mindenképp újfajta megemlékezésre is került sor. A főállomás bejáratánál két, korábbi állomásvezető tiszteletére emlékpada avattak, *Várkúti János állomásvezető emlékére 1951–1956* és *Pödör János állomásvezető emlékére 1956–1988*, felirattal.

Felelős szerkesztő:
Dunkel Zoltán
a szerkesztőbizottság elnöke

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

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Radics Kornélia
az OMSZ elnöke

Készült:
HM Zrínyi NKft.
nyomdájában
725 példányban

Felelős vezető:
Benkóczy Zoltán
ügyvezető igazgató

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

TARTALOM

CÍMLAPON: Az Országos Meteorológiai Szolgálat soproni főállomása	57
A meteorológiai mérések kezdetének 300. évfordulója, ünnepség Sopronban	58
Szerzőink figyelmébe	81

TANULMÁNYOK

Panayotis Maheras, Konstantina Tolika, Ioannis Tegoulis, Christina Anagnostopoulou, Klicasz Szpirosz és Károssy Csaba: Cirkulációs típusok automatikus és empirikus osztályozásának összehasonlítása magyarországi adatok alapján	60
Ács Ferenc és Szabó László: Köppen-től Prentice-ig	67
Gulácsi András: Az antropogén klímaváltozás és a természetes klímaoscillációk szerepe a szárazodásban és a szélsőséges időjárásban Magyarországon	72
Kordás Nóra és Ács Ferenc: A jégrezecskék szerepe a nem-induktív töltésszétválasztási folyamatokban	82
Mucsy Endre: Szélgépek jelene és jövője, egy magyar szabadalom bemutatása. Miért legyen pneumatikus szélgép?	87

KRÓNIKA

Tóth Róbert és Zsoldos Erzsébet: Jégszakadás Ricsén	89
Andor Csaba: Meteorológiai jelenségek Madách korában	93
Haszpra László: A levegő, az éltető „semmi” – könyvismertetés	95
Horányi András: Vélemény „Jankó Ferenc: Éghajlat, Tudomány, Történetek” című könyvéről	96
Hoffmann Lilla: 2017 tavaszának időjárása	98

LIST OF CONTENTS

COVER PAGE: Synoptic station of Hungarian Meteorological Service in Sopron	57
The 300. Anniversary of the Beginning of Meteorological Measurements, Feast in Sopron	58
Instructions to authors of LÉGKÖR	81

STUDIES

Panayotis Maheras, Konstantina Tolika, Ioannis Tegoulis, Christina Anagnostopoulou, Szpirosz Klicasz and Csaba Károssy: Comparison of Au- tomatic and Empirical Classification of Circulation Types using Hungarian Data	60
Ferenc Ács and László Szabó: From Köppen to Prentice	67
András Gulácsi: The Role of Anthropogenic Climate Change and Natural Climate Oscillations in Aridification and Weather Extremes in Hungary	72
Nóra Kordás and Ferenc Ács: The Role of the Ice Particles in the Non-Inductive Charge Separation Processes	82
Endre Mucsy: Current and Coming Wind Machines; Presentation of a Hungarian Patent. Why the Pneumatic Wind Machine?	87

CHRONICLE

Róbert Tóth and Erzsébet Zsoldos: Hailstorm in Ricse	89
Csaba Andor: Meteorological Phenomena in Madách' Age	93
László Haszpra: The Air, the Vital 'Nothing' – Book Review	95
András Horányi: Review about Ferenc Jankó's Book entitled 'Climate – Science – Histories'	96
Lilla Hoffmann: Weather of Spring of 2017	98

CIRKULÁCIÓS TÍPUSOK AUTOMATIKUS ÉS EMPIRIKUS OSZTÁLYOZÁSÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA MAGYARORSZÁGI ADATOK ALAPJÁN

COMPARISON OF AUTOMATIC AND EMPIRICAL CLASSIFICATION OF CIRCULATION TYPES USING HUNGARIAN DATA

Panayotis Maheras¹, Konstantina Tolika², Ioannis Tegoulia³,
Christina Anagnostopoulou⁴, Klicasz Szpirosz⁵, Károssy Csaba⁶

¹⁻⁵Arisztotelész Egyetem Geológia kar, Meteorológiai és Klimatológiai tanszék, Thesszaloniki, Görögország

¹maheras@geo.auth.gr, ²diatol@geo.auth.gr, ³tegoulia@auth.gr, ⁴chanag@geo.auth.gr, ⁵spiros@hwr.hu, ⁶c.karossy@gmail.com

Összefoglalás. Két makroszinoptikus osztályozási módszert hasonlítunk össze, egyazon terület atmoszférikus cirkulációs típusait alapul véve. A Maheras *et al.* (2000a, 2000b) és Anagnostopoulou *et al.* (2009) által alkalmazott *automatikus osztályozást* vetjük össze a Péczely (1983) és Károssy (2004) *empirikus osztályozási* módszerével, az 1958 és 2010 közötti időszakra vonatkozóan, Magyarország egész területéről gyűjtött adatok alapján. Összességében úgy véljük, a két módszer közül az automatikus osztályozás az, amely a legkevesebb hiányosságot tartalmazza. Megállapításunkat az alábbiakban közölt – mindkét osztályozási módszer vizsgálatából adódó – eredményekre alapozzuk: Az automatikus osztályozás a ciklonális típusok esetében magasabb csapadékmennyiséget mutat a budapesti állomáson, mint az empirikus osztályozás ugyanott, ugyanazon típusok esetében. Ezzel ellentétben az empirikus osztályozás magasabb csapadékmennyiséget mutat anticiklonális típusok esetében, mint az automatikus osztályozás. Az atmoszférikus nyomás, valamint az 1000 hPa-os nyomásszint geodinamikai adatai a központi csomópontban (é. sz. 47,5° és k. h. 20°) pozitív tendenciát mutatnak és statisztikailag jelentősek. Ez a jelenség összhangban áll az anticiklonális típusok pozitív tendenciájával ugyanezen időszakban (automatikus osztályozás); ezzel ellentétben viszont az empirikus osztályozás anticiklonális típusai negatív tendenciát mutatnak. A budapesti állomásnál tapasztalható csapadékmennyiség csökkenő tendenciát mutat, ez pedig összhangban áll az automatikus osztályozás ciklonális típusainak előfordulási aránya csökkenésével. Ezzel ellentétben, az empirikus osztályozás ciklonális típusainak előfordulása emelkedő tendenciát mutat.

Abstract. Two cyclonic scale classification methods were compared using circulation types of the same region. *Automatic classification* method was used by Maheras *et al.* (2000a, 2000b) and Anagnostopoulou *et al.* (2009) was compared with *empirical* predicament method of Péczely (1983) and Károssy (2004) 1958 and onto a period between 2010 – using data collected from all territories of Hungary. The author's opinion is that from among the two methods the automatic categorisation is the one that implies the fewest deficiencies. The presented statement is based on results arising from examination of both predicament methods. The automatic categorisation in case of cyclonic types shows higher amounts of precipitation at Budapest station than the empirical categorisation at the same place in the case of types. As opposed to this the empirical categorisation shows higher amounts of precipitation in case of anti-cyclonic types, than the automatic one. The geodynamical data of atmospheric pressure and the 1000 hPa pressure level in the centre of our investigations (47,5° N and 20° E) show positive tendency and are statistically considerable. This phenomenon coincides with the positive tendencies of anti-cyclonic in the same period (automatic categorisation) but on the other hand the empirical categorisation of the anti-cyclonic types shows a negative tendency. The amounts of precipitation which can be experienced at Budapest station show a downward tendency. The automatic categorisation is consisting with the types of cyclonic types with the decrease of his incidence proportion though. As opposed to this, the empirical categorisation the incidence of the cyclonic types shows a rising tendency.

Bevezetés. Az utóbbi harminc év folyamán számtalan kutatás foglalkozott a különféle területek atmoszférikus cirkulációja közötti kapcsolatok összehasonlításával. Ezek közül kiemelendők van Loon and Rogers (1978), Maheras *et al.* (1999a; b), Kutiel and Benaroch (2002), Kutiel *et al.* (2002) és Anagnostopoulou *et al.* (2004) munkái. Az egyazon régió cirkulációs típusait vizsgáló, egymástól különböző osztályozási módszerek közötti kapcsolatokat viszont mindeddig kevésbé kutatták. Az egyetlen ez irányú munka a Brit szigetek jelenségeit elemzi (Jones *et al.*, 1993). Jelen dolgozatunkban két osztályozási módszert hasonlítunk össze, egyazon terület atmoszférikus cirkulációs típusait alapul véve; a Maheras *et al.* (2000a; b) és Anagnostopoulou *et al.* (2009) által alkalmazott automatikus osztályozást vetjük össze Péczely (1983) és Károssy (2004; 2016) empirikus osztályozási módszerével, az 1958 és 2010 közötti időszakra vonatkozó, Magyarország egész területéről gyűjtött adatok alapján. Munkánkban a kétféle osztályozási modell napokra lebontott eseménynaplóinak elkészítése, és az évszakonkénti előfordulási arány kiszámítása után a

ciklonális és anticiklonális cirkulációs típusok idősorainak tendenciáit számítjuk ki, valamint megvizsgáljuk ezek jelentőségét. A továbbiakban a két osztályozási módszer cirkulációs típusának évszakonkénti előfordulásai között fennálló korrelációs együtthatókat számítjuk ki, végül pedig bemutatjuk a két módszer cirkulációs típusait összehasonlító diagramokat.

Adatok és módszerek. „A cirkulációs típusok” Anagnostopoulou *et al.* (2009) által alkalmazott módszer az 1000 hPa-os szintet vizsgálja. Olyan automatikus osztályozásról beszélünk, amely a topológia és a geometria módszereit használja. Az osztályozás az 1958 és 2010 közötti időszak nappali geodinamikai átlagadatain alapul – (NCEP/NCAR, Kalnay *et al.*, 1996), – 2,5° x 2,5°-os felbontásban, a 20°–65° N, 20° W–50° E által bezárt európai területre vonatkoztatva. A cirkulációs típusok automatikus osztályozása nem közvetlenül az 1000 hPa-os geodinamikai értékek alapján történik, hanem az 1000 hPa-os nyomásszint anomáliáival. Az anomáliák napi értékei az 1970 és 2000 közötti időszak havi

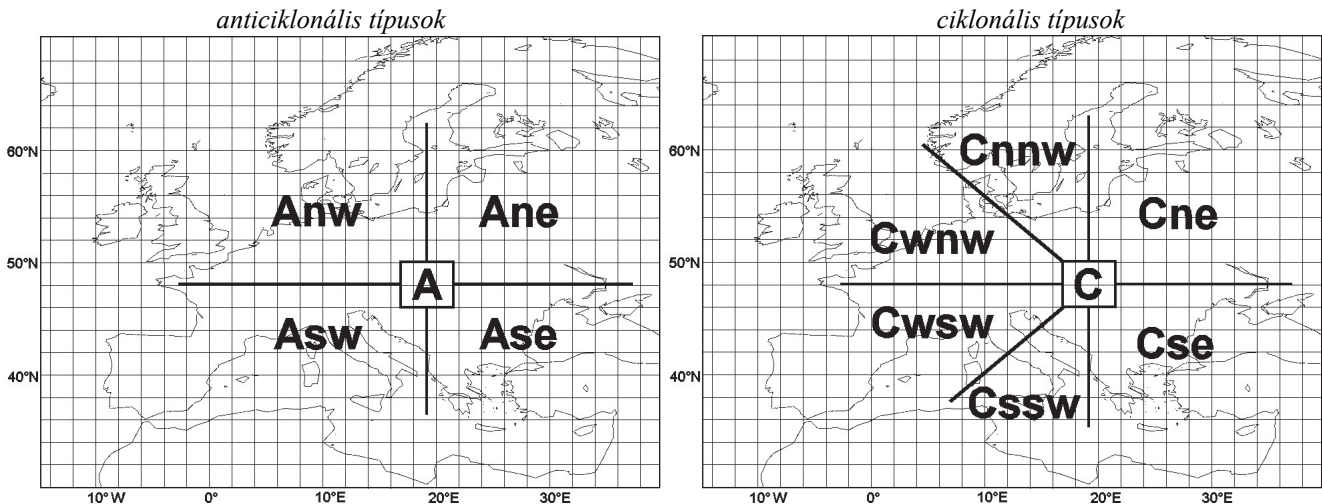
geodinamikai átlagértékeinek segítségével kerültek kiszámításra. A ciklonális és anticiklonális típusok meghatározásához a terület összes anomáliáját a 8 földrajzi pont átlagértékeivel hasonlítjuk össze, ide értve a központi koordináta ($\varphi = 47,5^\circ$, $\lambda = 20^\circ$ E) értékeit is. Egy nap akkor tekinthető anticiklonálisnak, ha a 8 koordináta átlagértéke pozitív, viszont ha ez a szám negatív, akkor ciklonális napról beszélünk. A következőkben a ciklon ill. anticiklon középpontjának meghatározásához az anomáliákat fogjuk vizsgálni. Az 1. ábrán bemutatjuk az automatikus (Macheras-féle) 12 valamint az empirikus (Péczy-féle) cirkulációs osztályozás 13 különböző anticiklonális és ciklonális típusainak logikai elrendeződését (2. ábra).

ciklonális és anticiklonális típusok gyakorisága a két módszer szerint a következően alakul.

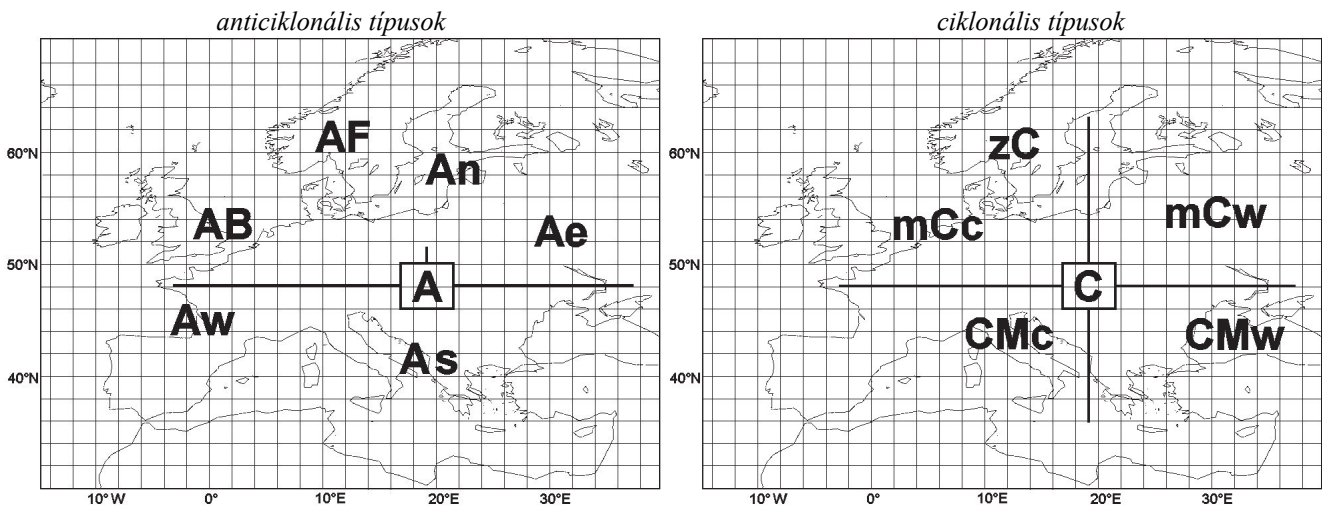
Automatikus osztályozás. Tél: 60,9% ciklonális és 39,1% anticiklonális. Tavasz: 58% ciklonális és 42% anticiklonális. Nyár: 35,3% ciklonális és 64,7% anticiklonális. Ősz: 47,9% ciklonális és 52,1% anticiklonális.

Empirikus osztályozás. A ciklonális és az anticiklonális típusok aránya télen 34,5% és 65,5%, tavasszal 40,7% és 59,3%, nyáron 25,9% és 74,1%, ősszel pedig 30,5% és 69,5%.

Következésképpen a két osztályozási módszer adatai között a legnagyobb eltérést a téli időszakban (26,4%), míg a legkisebbet a nyár folyamán (9,4%) tapasztaljuk.



1. ábra: Az automatikus (Macheras-féle) cirkulációs osztályozás 12 különböző anticiklonális és ciklonális típusainak logikai elrendeződése



2. ábra: Az empirikus (Péczy-féle) cirkulációs osztályozás 13 különböző anticiklonális és ciklonális típusainak logikai elrendeződése

Az 1. és a 2. táblázat pedig a két cirkulációs osztályozás típusainak rövid megnevezését, valamint évszakonkénti előfordulási arányait, továbbá az egész évre vonatkozó csapadék mennyiségeinek %-os arányait mutatja be.

Eredmények. A cirkulációs típusok előfordulási aránya. Az 1. és 2. táblázat összehasonlításából kitűnik, hogy a két osztályozás között a ciklonok és anticiklonok gyakoriságát illetően nagy eltérések tapasztalhatók évre és évszakra lebontva. A Macheras tipizálásánál évente az anticiklonok 49,6%-ban, a ciklonális típusok pedig 50,4%-ban jelennek meg, a Péczy-féle osztályozás viszont 66,1%-os és 33,9%-os eredményt mutat. Évszakra lebontva a

Az automatikus osztályozásnál az anticiklonális típusok közül a leggyakrabban egy éven belül az Ase típus (11,9%) jelenik meg, ezt követi az Asw (10,6%-kal); a ciklonális típusok közül a legnagyobb gyakoriságot a Cne típus mutatja (12,3%), melyet a Cse típus követ (10,7%-kal). Láthatjuk, hogy az anticiklonális típusok közül azok a leggyakoribbak, amelyek középpontja délmagyarországi területeken található. Az empirikus osztályozás szerint az anticiklonális típusok közül évenként az Aw típus jelenik meg leggyakrabban (14,5%), ezt követi az Ae típus (12,6%), míg a ciklonok között a leggyakoribb az mCc (9,7%) és az mCw (7,9%) típus. Megfigyelhető, hogy a leggyakoribb anticiklonális típusok nyugati

és déli irányúak, míg a ciklonális típusok általában északiak, ill. déliek.

Előfordulásuk évszakokra lebontva a következőképpen alakul:

Tél, automatikus osztályozás: a leggyakoribb anticiklonális típus az Anw (9,1%), ezt követi az Asw típus (8,3%). A ciklonális típusok közül leggyakoribb a Cne 16,1%-kal

1. táblázat: A magyarországi cirkulációs típusok empirikus (Maheras-féle) osztályozás szerinti évszakonkénti előfordulásai és a budapesti állomáson mért éves csapadékmennyiségek %-os értékei (1958-2010)

kód	típus	leírás	előfordulási arány (%)				évi csapadék
			tél	tavaszi	nyár	ősz	
1	Anw	anticiklon központja ÉNy vagy Ny M.o. felett	9,1	9	8,6	10,2	4,1
2	Ane	anticiklon központja ÉK M.o. felett	6,2	9,3	15,6	8,4	7
3	A	anticiklon központja M.o. felett	7,4	7,9	9,6	6,5	1,8
4	Asw	anticiklon központja DNy M.o. felett	8,3	8,2	15,4	10,3	4,1
5	Ase	anticiklon központja ÉNy vagy Ny M.o. felett	8,1	7,6	15,3	16,7	5,6
6	C	ciklon központja DK vagy Ny M.o. felett	5,9	8,6	5,6	6,2	16,5
7	Cnnw	ciklon központja É-ÉNy M.o. felett	5	3,6	1,9	3,9	3,6
8	Cwnw	ciklon központja Ny-ÉNy M.o. felett	7	6,2	4	4,7	9,9
9	Csw	ciklon központja Ny-DNy M.o. felett	10,3	8	6,6	8,9	16,7
10	Cssw	ciklon központja D-DNy M.o. felett	3,2	4,6	3,1	4,1	8,7
11	Cse	ciklon központja DK M.o. felett	13,4	11,9	6	11	11,4
12	Cne	ciklon központja É és K Mo. felett	16,1	15,1	8,3	9,1	10,6

(ez közel duplája az anticiklonális Asw értéknek), ezt követi Cse (13,4%). Megfigyelhető, hogy az említett négy típus közül háromnak Dél-Magyarországon van a központja, és mindössze az egyiké található északon.

Tél, empirikus osztályozás: a leggyakoribb anticiklonális típus az Ae (14,2%), amelyet az Aw követ (13,2%); a leggyakoribb ciklonális típus az mCw (9,2%), ezt az mCc (7,3%) követi. Röviden, a három leggyakoribb típus déli, ill. nyugati irányt követ, míg a negyedik északit.

Tavasszal az automatikus osztályozás szerint szinte semmilyen változás nem tapasztalható a téli időszakhoz képest. Anticiklonális típusok közül első helyen az Ane található (9,4%), ezt követi az Anw (9,0%), a ciklonális

típusoknál pedig a sort a Cne vezeti (15,1%), melyet az Ase követ (11,9%). Az empirikus osztályozás szerint a leggyakoribb anticiklonális típusok az An (12,8%) és az Ae (11,8%), a ciklonális típusok közül pedig leggyakrabban az mCc (11,3%) és az mCw (9,7%) típusok fordulnak elő. Az adatokból kitűnik, hogy az anticiklonális típusok közül azok a leggyakoribb, amelyek középpont-

2. táblázat: A magyarországi cirkulációs típusok automatikus (Pécze-féle) osztályozás szerinti évszakonkénti előfordulásai és a budapesti állomáson mért éves csapadékmennyiségek %-os értékei (1958-2010)

kód	típus	leírás	előfordulási arány %				évi csapadék %
			tél	tavaszi	nyár	ősz	
1	mCc	ciklon hidegfronttal ÉK Európa felett, északi szélirány	7,3	11,3	13,1	8	12,5
2	AB	anticiklon központja a Brit szigetek felett, északi szélirány	5,6	7,1	9,6	6,4	4,3
3	CMc	mediterrán ciklon hidegfronttal D Európa felett, északi szél	2,5	3,5	1,8	1,9	3,3
4	mCw	ciklon melegfronttal ÉK Európa felett, déli szélirány	9,2	9,7	5,7	7,2	16,5
5	Ae	anticiklon központja K Európa felett, déli szélirány	12,2	11,3	9,9	17,6	8,2
6	CMw	Mediterrán ciklon melegfront D Európa felett, déli szélirány	8,9	8,7	3,7	8,3	19,9
7	zC	nagy méretű ciklon É Európa felett, nyugati szélirány	5	3,2	3,7	2,9	4
8	Aw	anticiklon központja Ny Európa felett, nyugati szélirány	18,2	11,2	12,9	12,8	6,9
9	As	anticiklon központja D Európa felett, nyugati szélirány	5,6	4,4	2,9	5,6	2,4
10	An	anticiklon központja É Európa felett, keleti szélirány	10,2	12,8	11,3	10,1	7,7
11	AF	anticiklon központja Skandinávia felett, keleti szélirány	2,8	5,2	5,9	3,7	2,9
12	A	anticiklon központja a Kárpát-medence felett, változó szél	10,8	7,3	16,6	13,3	3
13	C	ciklon központja a Kárpát-medence felett, változó szél	1,7	4,3	2,9	2,2	8,4

ja észak-, vagy kelet Európában található, és déli, vagy keleti irányúak; a leggyakoribb ciklonális típusok középpontja észak-, kelet-, vagy nyugat Európában van, szélirányuk pedig északi vagy déli.

A nyári időszakban az automatikus osztályozás szerint leggyakoribb az Ane típus (15,7%), ezt követik az Asw és Ase típusok (mindkettő 15,4%). A ciklonális típusok közül leggyakoribbak a Cne (8,3%) és a Csw (6,6%) típusok. Az empirikus osztályozás alapján a leggyakoribb anticiklonális típus az Aw (20,8%): ez az összes típus közül – minden évszakban – a legmagasabb értékkel is büszkélkedik, mindkét osztályozási módszer alapján. A második leggyakoribb anticiklonális típus az A

(13,3%). A leggyakoribb ciklonális típus itt az mCc (12,1%-kal), ezt az mCw követi (5,7%).

Ősszel pedig, az automatikus osztályozás alapján a leggyakoribb típusok az Ase (16,7%) és az Asw (10,3%), míg a ciklonális típusok közül leggyakoribb a Cse

közül a legnagyobb mértékű esőzést a CWsw -nél (16,7%) és a C-nél (16,5%) tapasztaljuk, utóbbi középpontja Magyarország felett található. Az egyéb ciklonális típus közül jelentős mennyiségű csapadékkal jellemezhető a Cne (10,6%) és a Cse (11,4%) helyzet,

3. táblázat: A csapadék %-os aránya az összes cirkulációs típus esetében, mindkét osztályozási módszer szerint, éves és évszakonkénti bontásban.

Maheras	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Cwsw	Cssw	Cse	Cne	anticiklon	ciklon
tél	1,4	1,6	0,4	1,4	1	15,7	8,2	18,2	23,4	5,7	9,6	13,4	5,8	94,2
tavaszi	5	4,2	1,5	3,5	3,6	22	2,5	7,8	14,8	8,3	13,6	13,2	17,8	82,2
nyár	5,5	15,6	2,8	7,6	11,1	12,4	1,6	6,1	13,7	6,6	8,9	8,1	42,7	57,3
ősz	3,9	3,5	1,9	2,4	4,6	17,2	3	9,6	16,6	14,3	14,1	8,9	16,3	83,7
egész év	4	6,2	1,7	3,7	5,1	16,8	3,8	10,4	17,1	8,7	11,6	10,9	20,6	79,4

Péczely	mCc	AB	CMc	mCw	Ae	CMw	zC	Aw	As	An	AF	A	C	anticiklon	ciklon
tél	7,4	1,8	2,9	25,1	12,9	21,6	6,2	6,1	4,1	5,5	0,8	1,8	3,8	33	67
tavaszi	14,7	4,8	4,3	14,6	4,5	23,9	2,8	4,7	2,1	7,9	3,7	1,8	10,2	29,5	70,5
nyár	15,5	7	2,7	11,2	6,7	9,1	3,4	11,1	1,3	10,6	4,1	5,3	12	46,1	53,9
ősz	11,3	2,4	3,2	17,5	9,3	28,5	3,9	4,5	2,8	5,9	2,3	2,2	6,2	29,3	70,7
egész év	12,2	4	3,3	17,1	8,4	20,8	4,1	6,6	2,6	7,5	2,7	2,8	8,1	34,5	65,5

(11,0%) és a Cne (9,1%). Az empirikus osztályozás alapján a legsűrűbben előforduló anticiklonális típusok az Ae (17,6%) és az A (13,3%). A leggyakoribb ciklonális típusok a CMw (8,3%) valamint az mCc (8,0%).

Általánosságban el kell mondani, hogy a legritkábban előforduló típusok – akár éven belül, akár évszakonként nézzük – az empirikus osztályozás esetében két ciklonális (Cnnw 3,4% és Cwnw 5,4%). Az empirikus módszerrel a legritkább típusok szintén ciklonálisak: CMc (2,5%) és zC (3,4%). Mindkét osztályozási mód esetén jellemző, hogy ezen típusok középpontjai Észak,

míg a sorrendben harmadik és negyedik – a déli szélirányért felelős, ám lényegesen ritkább – típus szintén jelentős mennyiségű esőzéseket okoz (Cwnw 9,9% és Csw (8,7%). Végezetül, a Cnnw típusnál a legalacsonyabb előfordulási arány mellett a legkisebb mértékű esőzést (3,6%) tapasztalhatjuk. Anticiklonális típusoknál a legtöbb esőzést az Ane (7,0%) okozza, míg a legkevesebbet az A típusnál (1,8%) tapasztaljuk, amely középpontja Magyarország felett található (4. táblázat). Télen a legnagyobb arányú csapadékhullást a ciklonális típusok okozzák (94,1%), míg az anticiklonális típusok a legkevesebbet (5,8%). Ciklonális típusok közül a legmagasabb értékeket a Cwsw (23,4%) és Cwnw (18,2%) típusok mutatják, ezeket követi a C (15,6%), a Cne (13,4%), a Cse (9,6%) és a Cnnw (8,2%). A legkevesebb csapadékot az anticiklonális típusok közül az A típus okozza (0,4%).

A tavasz a ciklonális típusok okozta csapadékhullás tekintetében a második helyen áll (82,2%). Természetes, hogy az anticiklonális típusoknál a második legalacsonyabb arányt tapasztaljuk (17,8%). A ciklonális típusok közül a legtöbb csapadék a C típusnál jelentkezik (22,0%), ezt követik a Cwsw (14,8%), Cse (13,6%) és Cne (13,2%) típusok. A legalacsonyabb értékeket a Cnnw (2,5%) mutatja. Az anticiklonális típusok közül a legkevesebb csapadékot újra csak az A típusnál (1,5%) tapasztaljuk.

A nyár folyamán a ciklonális típusok esetében a többi évszakhoz viszonyított legalacsonyabb mértékű csapadékhullás tapasztalható (57,4%), az anticiklonális típusok esetében pedig a legmagasabb (46,1%). A ciklonális típusok közül a legmagasabb értéket a Cwsw (13,6%) mutatja, ezt követik a C (12,4%), a Cse (8,9%) és a Cne (8,1%) típusok. Az anticiklonális típusok közül a legmagasabb értékeket az Ane mutatja (15,6%), míg a legalacsonyabbakat az A (2,8%).

4. táblázat: A ciklonális és az anticiklonális típusok tendenciái a két vizsgált osztályozás szerint, évszakos és éves bontásban

	empirikus osztályozás		Péczely-féle osztályozás	
	anticiklon	ciklon	anticiklon	ciklon
tél	+	-	-	+
tavaszi	+	-	+	-
nyár	+	-	+	-
ősz	+	-	-	+
éves	+	-	-	+

ill. Északnyugat-Európában található.

Cirkulációs típusok és csapadék Budapesten. A magyarországi cirkulációs típusok értékeléséhez legelőször a budapesti állomáson mért csapadék százalékos értékeit számítottuk ki, mindkét osztályozási módszer szerint, az összes cirkulációs típusra, éves bontásban és évszakonként. Az eredményeket a 3. táblázatban közöljük. Az automatikus osztályozás alapján a ciklonális típusok az éves csapadék 77,4%-áért felelnek, míg az anticiklonális típusok 22,6%-ért. A ciklonális típusok

Az őszi időszakban a ciklonális típusok összességében 83,7%-os arányt mutatnak, az anticiklonális típusok pedig 16,3%-ot. A ciklonális típusok közül, csakúgy, mint a tavaszi időszakban a legmagasabb értékeket a C típus mutatja (17,2%), ezt követik a C_{sw} (16,5%), C_{ssw} (14,3%) és a C_{se} (14,1%) típusok. Az anticiklonális típusok közül, a többi évszakhhoz hasonlóan, a legkevesebb csapadékmennyiség az A típusnál tapasztalható (1,9%).

A Péczely-féle empirikus osztályozás a ciklonális típusoknál évenként vizsgálva jelentősen alacsonyabb csapadékmennyiségeket mutat (64,5%), mint az automatikus osztályozás esetében. Logikus, hogy itt jóval magasabb anticiklonális értékeket kapunk (35,6%). A ciklonális típusok között a legmagasabb csapadékmennyiséget a C_{mw} (20,8%) mutatja, ezt sorban az mC_w (17,1%), mC_c (12,2%) és a C (8,1%) típusok követik. A legtöbb csapadékot az anticiklonális típusok közül az A_w típusnál (6,6%), míg a legkevesebbet az A_s típusnál (2,6%) tapasztalhatjuk.

Az évszakok szintjén, télen ciklonális cirkulációs típusok esetén a csapadékmennyiség 67,0%, anticiklonális típusoknál pedig 33,0%. Ezek a számok jelentősen eltérnek az automatikus osztályozás alapján kimutatott eredményektől. A legtöbb csapadékot a ciklonális típusok közül az mC_w (25,1%) és a C_{mw} (21,6%) típusok okozzák; az anticiklonális típusok közül a legmagasabb értékek az A_e típusnál (12,9%) jelentkeznek, a legalacsonyabbak pedig az A_f típusnál (0,8%). Tavasszal a csapadék mennyisége ciklonális cirkulációs típusok esetén 70,5%, anticiklonális típusoknál pedig 29,5%. Ezek az értékek (a téli időszakhoz hasonlóan) jelentősen eltérnek az automatikus osztályozás eredményeitől. A ciklonális típusok közül a legmagasabb csapadékmennyiségeket a C_{mw} (23,8%), mC_c (14,7%), mC_w (14,6%) és C (10,2%) típusoknál tapasztaljuk. Az anticiklonális típusok közül a legmagasabb mennyiséget az A_n típus mutatja (7,9%), a legalacsonyabbat pedig az A_s (2,1%).

Nyáron a ciklonális típusoknál, az automatikus osztályozáshoz hasonló módon, a csapadék átlaga a négy évszak viszonyában a legalacsonyabb (53,9%). Értelemszerűen itt az anticiklonális típusoknál jelentkezik a legmagasabb százalékos arány (46,1%). A ciklonális típusok közül a legmagasabb értékeket az mC_c (15,5%), C (12,0%), mC_w (11,2%) és C_{mw} (9,1%) típusok képviselik. Az anticiklonális típusok közül jelentős mennyiségeket mutatnak az A_w (11,1%) és az A_n (10,0%) típusok, míg a legalacsonyabb érték az A_s típusnál jelentkezik (1,3%).

Végül, az őszi időszakban a legnagyobb csapadékhullást a ciklonális típusok mutatják (70,7%), a legkevesebbet pedig az anticiklonális típusok (29,3%). Ezek az értékek viszont jelentősen eltérnek az automatikus osztályozásnál elértektől. A ciklonális típusok közül a legnagyobb arányt a C_{mw} (28,5%) mutatja; ez a legmagasabb átlagérték az összes típus, a négy évszak és mindkét (automatikus és empirikus) osztályozási módszer viszonylatában. Magas csapadéértékeket mutat emellett az mC_w (17,5%) és az mC_c típus is (11,3%). Az anticiklonális típusok közül a legmagasabb csapadékmennyiséget az A_e típus (9,3%) mutatja, a legalacsonyabbat pedig az A típus (2,2%).

A korrelációk elemzése. A két osztályozási módszer alapján meghatároztuk a cirkulációs típusok éves és évszakonkénti előfordulásának aránya közötti korrelációs együtthatókat, egyrészt a ciklonális és az anticiklonális típusokat összesítve, másrészt pedig az egyes cirkulációs típusokra vonatkoztatva. Az 5. táblázatban csak azokat az eredményeket tüntetjük fel, ahol a korrelációs együtthatók statisztikailag jelentősek, és magasabbak, mint $r \geq 0,40$.

Ahogy az 5. táblázatból kitűnik, a korrelációs együttha-

5. táblázat: Statisztikailag jelentős korrelációs együtthatók ($r > 0,40$ szignifikancia szint 0,05) az automatikus és az empirikus osztályozás között.

	Maheras	Péczely	korreláció
éves	anticiklonális	anticiklonális	0,49
	ciklonális	ciklonális	0,49
tél	anticiklonális	anticiklonális	0,74
	ciklonális	ciklonális	0,74
	A _{nw}	AB	0,53
	A _{ne}	A _e	0,63
	A	A	0,69
	A _{sw}	A _w	0,54
	A _{se}	A	0,55
	C	C _{mw}	0,55
	C _{nw}	mC _w	0,62
	C _{sw}	C _{mw}	0,54
	C _{se}	A _n	0,56
tavasz	anticiklonális	anticiklonális	0,62
	ciklonális	ciklonális	0,62
	A _{ne}	A _e	0,46
	A	A	0,42
	A _{sw}	A _n	-0,58
	C _{nw}	mC _w	0,48
	C _{sw}	C _{mw}	0,53
	C _{ssw}	C _{mw}	0,48
	C _{se}	C _{mw}	0,43
nyár	anticiklonális	anticiklonális	0,46
	ciklonális	ciklonális	0,46
	A _{nw}	AB	0,44
	C	mC _w	0,44
	C _{nw}	mC _w	0,44
	C _{ne}	zC	0,64
ősz	anticiklonális	anticiklonális	0,69
	ciklonális	ciklonális	0,69
	A	A	0,41
	A _{se}	mC _w	-0,47
	C	mC _w	0,42
	C _{nw}	mC _w	0,41
	C _{sw}	mC _w	0,41
C _{se}	mC _w	0,53	

tók a cirkulációs típusok előfordulásának tekintetében nem különösebben magasak, annak ellenére, hogy mindkét osztályozási típus ugyanazt a területet vizsgálja. A legmagasabb értékek a téli időszakban tapasztalhatók, amikor is a többi évszakhhoz képest leginkább érvényesül a légköri cirkuláció időjárást befolyásoló hatása. A ciklonális és anticiklonális típusok közötti legnagyobb korrelációs együttható ($r = 0,74$) mindkét osztályozási módszert figyelembe véve télen tapasztal-

ható. Ezt követik az egyes A típusok közötti együtthatók ($r = 0,69$), ezek szintén a téli időszakokra jellemzőek. Egyedül ezek a típusok (A) eredményeznek a többi évszak során is (a nyarat kivéve) állandóan magas együtthatókat (tavasz: $r = 0,42$, őszi: $r = 0,41$). Viszonylag magas együtthatókat eredményez télen az Ane és Ae ($r = 0,63$), a Cwnw és mCw ($r = 0,62$) típusok, valamint nyáron a Cne és zC ($r = 0,64$) típusok viszonya. Felmerül a kérdés, hogy vajon létezik - olyan pozitív korrelációs együttható télen egy automatikusan osztályozott ciklonális típus (Cse) és egy empirikusan osztályozott anticiklonális típus (An) között, melynek értéke $r = 0,56$, valamint van-e olyan negatív együttható két anticiklonális típus között (Asw és An), melynek értéke $r = 0,58$.

A két osztályozási módszer összehasonlító elemzése.

Ahhoz, hogy jobban megvizsgálhassuk a cirkulációs típusok két osztályozási módszere közti kapcsolatot, minden cirkulációs típus esetében kiszámítottuk az évszakos előfordulási arányt, mindkét módszer alapján. Az eredményeket évszakokra bontott diagramokon ábráztuk, amelyekből kitűnik, hogy az automatikus osztályozás minden egyes cirkulációs típusához megfeleltethetünk ritkább vagy gyakoribb – anticiklonális vagy ciklonális – típusokat az empirikus osztályozás köréből. A négy évszak vizsgálata temérdek diagramot

automatikus osztályozás harmadik, Cne típusát az mCc megjelenése kíséri kb. 31%-ban.

Az őszi időszak legjobb összehasonlításait szintén az automatikus osztályozás három típusa mutatja: A, Asw és Ane. Az első kettő képe igen nagy hasonlóságot mutat egymással: az első túlsúlya esetében azt az empirikus A típus kíséri kb. 32%-ban, míg a másodikat az Aw típus kb. 35%-ban. Az automatikus módszer harmadik, Ane típusát az empirikus A típus megjelenése kíséri kb. 30%-ban.

Következtetések, összegzés. A cirkulációs típusok két, egymástól merőben eltérő, automatikus és empirikus osztályozási módszerének (utóbbi több mint 136 évre terjed ki) magyarországi példák alapján történő összehasonlítása több, igen érdekes eredményt hozott. A cirkulációs típusok gyakoriságát összehasonlítva látjuk, hogy az empirikus osztályozás esetében az anticiklonális típusok előfordulása – évenként és az évszakok esetében is – sokkal magasabb, míg az automatikus osztályozás esetében éves bontásban az anticiklonális és ciklonális típusok gyakorisága szinte teljesen megegyezik. Ez a tény az automatikus osztályozásnál használatos technikákkal magyarázható. Tudjuk, hogy az automatikus módszer a ciklonális és az anticiklonális típusok osztályozására a geodinamikai

6. táblázat: A légköri nyomás és a geodinamikai adatok havi átlagértékei 1000 hPa-on és a felszínen (SLP) az é. sz. 47,5° és k. h. 20° csomóponton.

	január	február	március	április	május	június	július	augusztus	szeptember	október	november	december
1000 hPa	165,8	150,9	135,8	112,2	121,5	122,9	126,5	130,2	147,9	159,3	149,8	154,6
SLP	1019,8	1018	1016,2	1013,2	1014,2	1014	1014,2	1014,7	1017	1018,8	1017,7	1018,4

eredményezett. A téli időszakban a cirkulációs típusok közti legjobb összefüggést az automatikus osztályozás anticiklonális „A” típusa mutatja. Amikor az automatikus osztályozás „A” típusa kb. 45%-os túlsúlyban van, megjelenik az empirikus osztályozás szintén „A” típusa, majd az An típus is hozzávetőlegesen 25%-kal. Emellett, amikor az automatikus módszer Asw típusa kerül túlsúlyba, ugyanúgy túlsúlyba kerül az empirikus osztályozás Aw típusa is 45%-kal. A tél időszakában az automatikus osztályozás leggyakrabban megjelenő típusait (Cne, Cse helyzetek) az empirikus osztályozás típusainak széles spektruma követi; itt a Cne típussal szemben az empirikus osztályozás mCc típusa 20%-kal kerül túlsúlyba, míg a Cse típussal szemben a CMw típus 19%-kal kerül túlsúlyba.

A tavaszi időszakra vonatkozó legjobb összehasonlítást az automatikus osztályozás Asw típusa mutatja, melynek túlsúlyba kerülése magával hozza az empirikus osztályozás Aw típusának kb. 41%-os megjelenését. A második legjobb példát a leggyakrabban megjelenő Ane típus mutatja; ennek túlsúlyba kerülését az empirikus osztályozás mCc típusának kb. 30%-os megjelenése kíséri.

A nyári időszak legjobb összehasonlításait az automatikus módszer három típusánál is láthatjuk (az A, Asw és a Cne helyzetek). Az első kettő túlsúlya esetében szinte egyforma képet kapunk, mindkettőt az empirikus Aw típus kíséri (40% az A típusnál, 30% az Asw-nél). Az

adatok anomáliáinak értékeit használja egy tetszőleges nyomásszinten – esetünkben ez az 1000 hPa-os szint. Mivel az anomáliák napi értékeit külön-külön lebontva számoljuk az 1970–2000 közötti időszak tekintetében, a geodinamikai adatok havi átlagértékeinek segítségével az 1000 hPa-os nyomásszinten, érthetővé válik, hogy amennyiben a vizsgált 8 csomópont geodinamikai adatainak havi átlaga magas, úgy az osztályozás több ciklonális típust tartalmaz, mintha a vizsgált pontok geodinamikai adatainak havi átlaga alacsonyabb lenne. A 6. táblázat a központi csomópont (é. sz. 47,5 és k. h. 20°) geodinamikai adatainak havi átlagértékeit tartalmazza. Kitűnik, hogy a legmagasabb értékek tél folyamán tapasztalhatók, ekkor a ciklonális és anticiklonális típusok előfordulását illetően a két osztályozás között a legnagyobb különbség áll fenn.

Budapest naponkénti csapadékmennyiségét cirkulációs típusonként, éves és évszakos bontásban vizsgálva az látható, hogy a legnagyobb mennyiségeket – az osztályozástól függetlenül – jellegzetesen bizonyos cirkulációs típusok túlsúlyba kerülése okozza: automatikus módszernél ezek a C, Csw, Cse és Cne típusok, míg az empirikus tipizálás esetében a CMw, mCw, mCc és C típusok. Az automatikus osztályozásnál a ciklonális típusok összességében 77,4%-ban felelősek az éves csapadékhullásért, míg az anticiklonális helyzetek 22,6%-ban. Ezzel ellentétben az empirikus osztályozás

esetében a ciklonális típusok éves bontásban 64,8%-ban felelősek a csapadékért, az anticiklonális helyzetek pedig 35,4%-ban. A két osztályozás alapján mért csapadékkülönbség oka az lehet, hogy a ciklonális típusok automatikus osztályozásánál gyakoribbak, mint az empirikus osztályozás esetében.

Miután a két osztályozás alapján meghatároztuk a cirkulációs típusok gyakorisága közötti korrelációs együtthatókat, megállapítottuk, hogy a ciklonális és anticiklonális típusok összességét tekintve a legmagasabb, statisztikailag jelentős együtthatók a téli időszakra jellemzők, mindkét osztályozás szerint. Ugyan jelentős együtthatókat (mindkét osztályozás alapján) a többi évszak során is tapasztalunk, meg kell viszont jegyezni, hogy ezek az értékek nem különösebben magasak. Ennek okai valószínűsíthetően az osztályozási módszerek közti különbségek, vagy az eltérő mérési szintek (1000 hPa és a felszín) lehetnek, de nem elhanyagolhatók az osztályozási módszerek esetleges hibái sem, amelyek azok hiányosságaiból következnek.

Végül, miután összevetettük az automatikus és az empirikus osztályozás összes cirkulációs típusának előfordulási arányait, bebizonyosodott, hogy léteznek olyan, az egyes osztályozási módszerekhez tartozó konkrét típusok, melyeket rendszerint a másik osztályozás bizonyos típusai magas arányban kísérnek. Meg kell viszont említeni, hogy az automatikus módszer cirkulációs típusainak többségéhez (minden évszakban) az empirikus osztályozás típusainak széles skálája társulhat, melyek előfordulási aránya jelentős.

Összességében úgy véljük, a két módszer közül az automatikus osztályozás az, amely a legkevesebb hiányosságot tartalmazza. Megállapításunkat az alábbiakban közölt – mindkét osztályozási módszer vizsgálatából adódó – eredményekre alapozzuk:

- Az automatikus osztályozás a ciklonális típusok esetében magasabb csapadékmennyiséget mutat a budapesti állomáson, mint az empirikus osztályozás ugyanott, ugyanazon típusok esetében. Ezzel ellentétben az empirikus osztályozás magasabb csapadékmennyiséget mutat anticiklonális típusok esetében, mint az automatikus osztályozás.
- Az atmoszférikus nyomás, valamint az 1000 hPa-os nyomásszint geodinamikai adatai a központi csomópontban (é. sz. 47,5° és k. h. 20°) pozitív tendenciát mutatnak és statisztikailag jelentősek. Ez a jelenség összhangban áll az anticiklonális típusok pozitív tendenciájával ugyanezen időszakban (automatikus osztályozás); ezzel ellentétben viszont az empirikus osztályozás anticiklonális típusai negatív tendenciát mutatnak.
- A budapesti állomásnál tapasztalható csapadékmennyiség csökkenő tendenciát mutat, ez pedig összhangban áll az automatikus osztályozás ciklonális típusainak előfordulási aránya csökkenésével. Ezzel ellentétben, az empirikus osztályozás ciklonális típusainak előfordulása emelkedő tendenciát mutat. Véleményünk, hogy az empirikus osztályozás eredményességének javítása érdekében meg kell kísérlni az automatizálást, s ehhez

figyelembe kell venni a lehető legtöbb, az empirikus osztályozáshoz használt adatot.

Irodalom

- Anagnostopoulou, C., Flocas, H., Maheras, P. and Patricas, I., 2004: Relationship between Atmospheric Circulation Types over Greece and Western-Central Europe during the Period 1958–97. *J. Climatol.* 24, 1745–1758.
- Anagoslopoulou, C., Tolika, K. and Maheras, P., 2009: Classification of circulation types: a new flexible automated approach applicable of NCEP and GCM datasets. *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 3–15.
- Jones P. D., Hulme, M. and Briffa K. R., 1993: A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. *International Journal of Climatology* 13, 655–663.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kisdér, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. and Joseph, D., 1996 The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Am. Met. Soc.* 77, 437–471.
- Károssy, Cs., 2004: Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek, 1988–2003. *Kézirat*.
- Károssy, Cs., 2016: A Kárpát-medence Péczely-féle makroszinoptikus időjárás helyzetek katalógusa (1881–2015). Oskar. Szombathely, pp. 35
- Kutiel, H. and Benaroch, Y., 2002. North Sea-Caspian pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: identification and definitions. *Theoretical and Applied Climatology* 71, 17–28.
- Kutiel, H., Maheras, P., Turkes, M. and Paz, S., 2002. North Sea-Caspian pattern – an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean – implications on the regional climate. *Theoretical and Applied Climatology* 72, 173–192.
- Maheras, P., Xoplaki, E. and Kutiel, H., 1999a. Wet and dry monthly anomalies across the Mediterranean basin and their relationship with circulation 1860–1990. *Theoretical and Applied Climatology* 64, 189–199.
- Maheras, P., Xoplaki, E., Davies, T., Martin-Vide, J., Bariendos, M and Alcoforado, M., 1999b: Warm and cold monthly anomalies across the Mediterranean basin and their relationship with circulation: 1860–1990. *International Journal of Climatology* 19, 1697–1715.
- Maheras, P., Patrikas, I. and Anagnostopoulou, Ch. 2000a. Automatic classification of circulation types in Greece. Methodology, description, frequency, variability and trend analysis. *Theoretical and Applied Climatology* 67, 205–223.
- Maheras, P., Patrikas, I. and Anagnostopoulou, Ch. 2000b: An objective classification of circulation types in Greece. In *Proceedings of 8th Hellenic Conference on Meteorology, Climatology and Physics of the Atmospheric Sciences*, National Hellenic Research Foundation Thessaloniki, Greece, 25–33.
- Péczely, Gy., 1983: Magyarországi makroszinoptikus helyzetek katalógusa (1881–1983). Országos Meteorológiai Szolgálat Hivatalos kiadványai LIII., Budapest
- van Loon, H. and Rogers, J.C., 1978: The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part I: General description. *Monthly Weather Review* 106, 296–310.

KÖPPEN-TŐL PRENTICE-IG FROM KÖPPEN TO PRENTICE

Ács Ferenc, Szabó László

ELTE, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, acs@caesar.elte.hu

Összefoglalás. Prentice (1992) vegetáció-osztályozását ismertetjük és elemezzük a Lamb (1972) féle globális léptékű adatbázison. A környezeti állapot egyszerűbb jellemzése végett a modellt jelentősen egyszerűsítettük, mellőzve a talaj-modul használatát. A vízellátottságot a csapadék és a potenciális evapotranspiráció arányával jellemezzük. Az adatbázis 230 állomás havi csapadék és hőmérséklet adatait tartalmazza. Az állomások területi eloszlása nem egyenletes, de bolygónk összes klímáját lefedti. A módszert Köppen, Thornthwaite és Holdridge éghajlat-osztályozási módszerének tükrében is elemezzük. A vegetáció-típusokat, melyek egyben klímatisípusoknak is tekinthetők, a Köppen-féle klímaképletekhez is viszonyítjuk.

Abstract. The Prentice (1992) vegetation classification scheme is presented and analyzed using Lamb's global scale dataset. To characterize the state of the environment as simply as possible, the scheme is significantly simplified by setting aside the use of soil module. Water availability is characterized by calculating the ratio of precipitation and potential evapotranspiration. The Lamb (1972) dataset contains monthly values of precipitation and temperature data from 230 stations. The areal distribution of stations is not uniform, in spite of this they cover all climate types of the Earth. The scheme is also analyzed with respect to Köppen's, Thornthwaite's and Holdridge's method. The vegetation types, which can be treated at the same time as climate types, are also assigned to Köppen's climate formulae.

Bevezetés. Az éghajlat modellezésében a talaj-növény rendszer szerepe meghatározó (Shuttleworth, 1991; Garratt, 1993) és leginkább a hő és vízellátottságuk hatásán keresztül érvényesül. A szárazföldi felszín (vegetáció + talaj) reprezentálásának komplexitása igen széles határok között változott a legegyszerűbbektől (Manabe, 1969) a közepes komplexitásúakon át (Ács and Hantel, 1998; Ács and Szász, 2002) a legkomplexebbekig (Sellers et al., 1996). A hőellátottságot a sugárzási viszonyok (Montieth, 1977), a vízellátottságot a csapadék és a párolgás mérlege határozza meg. A sugárzási viszonyok leírását általában – amennyire csak lehet – mellőzik (Köppen, 1900; 1936), vagy csak a legegyszerűbb megközelítéseket alkalmazzák az albedó egyszerű parametrizálásával (Noilhan and Planton, 1989). A vízellátottság jellemzésénél a párolgás leírásán van a hangsúly, mely mind talaj- (Ács, 2008), mind vegetáció-függő (de Arellano et al., 2014) folyamat. Első közelítésben azonban mellőzhető e két meghatározó tényező hatása és a sugárzási viszonyok alapján is becsülhető felső határa (Skarbit et al., 2014; Ács et al., 2015; Szelepcsényi et al., 2009). E munkában Prentice (1992) éghajlat-osztályozási módszerének egyszerűsített változatát ismertetjük és egy globális léptékű adatbázis alkalmazásával bemutatjuk legfontosabb tulajdonságait. A módszert összevetjük Köppen (1923) és Thornthwaite (1948) módszerével is.

Anyag és módszer. Prentice vegetáció-osztályozását, ami egyben (Humboldt and Bonpland, 1807)

éghajlat-osztályozásnak is tekinthető, a Lamb (1972) féle adatbázison teszteltük. Az adatbázis 230 állomás havi csapadék- és hőmérsékletadatait tartalmazza többé-kevésbé reprezentálva a Föld éghajlati változékonyságát. Az adatbázis részletes, körültekintő ismertetése Ács és Breuer (2013) könyvében található meg.

Prentice vegetáció-osztályozása. A vegetáció-osztályozást Prentice (1992) munkájában megjelent 1. táblázat szerint végeztük. Kiemelendő, hogy a tanulmányban bemutatott módszer talajadatokat is használt, mivel talajnedvesség előrejelző almodellel is rendelkezik a terület vízellátottságának becslése végett. E tanulmányban a talaj-modul használatát mellőztük, a vízellátottságot pedig igen egyszerűen, a P/PET arány becslésével végeztük. A PET számítását Thornthwaite (1948) módszerével végeztük. Így a módszer továbbra is Prentice (1992) alapú, de jelentősen egyszerűbb. Ezen egyszerűsített Prentice-féle módszer vegetáció-osztályozást az 1. táblázat szemlélteti. A fás és a nem-fás

1. táblázat: Az egyszerűsített Prentice-féle vegetáció-osztályozás környezeti feltételei. Jelölések: $T_{coldest}$ = a leghidegebb hónap átlaghőmérséklete, $GDD =$ az $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bázishőmérséklet feletti aktív hőmérsékleti összeg, $GDD_0 =$ 0°C feletti aktív hőmérsékleti összeg, T_w = a legmelegebb hónap átlaghőmérséklete, P/PET - nedvességi együttható

Fás szárú növények	T		GDD	GDD ₀	T _w	P [mm] PET [mmév ⁻¹]	
	min	max	min	min	min	min	max
Trópusi örökzöld	15,5					0,8	
Szubtrópusi örökzöld	15,5					0,45	0,95
Meleg mérsékelt örökzöld	5					0,65	
Mérsékelt övi lombhullató	-15	15,5	1200			0,65	
Hideg mérsékelt övi fenyves	-19	5	900			0,65	
Boreális örökzöld fenyves	-35	-2	350			0,75	
Boreális lombhullató		5	350			0,65	
Lágy szárú növények, cserjék							
Szukkulensek	5					0,28	
Meleg fű/cserje					22	0,18	
Hűvös fű/cserje			500			0,33	
Hideg fű/cserje				100		0,33	
Forró sivatagi cserje					22		
Hideg sivatagi cserje				100			

növényzetet a GDD, a GDD₀ és a P/PET alapján különböztetjük meg. Nyilvánvaló, hogy a GDD, a GDD₀ és a P/PET érték jóval nagyobb a fás, mint a nem-fás növényzet esetén. Ez olyan szempontból is érthető, hogy a faanyag kialakulásához nyilvánvalóan több hő és víz kell, mint a zöld növényi részek képződéséhez. A táblázatban e megfontoláson alapuló sarokszámok vannak bemutatva. Hasonlóan sarokszámokban gondolkodva, de a fás növényzet fagyűrését illetően ($T_{coldest}$),

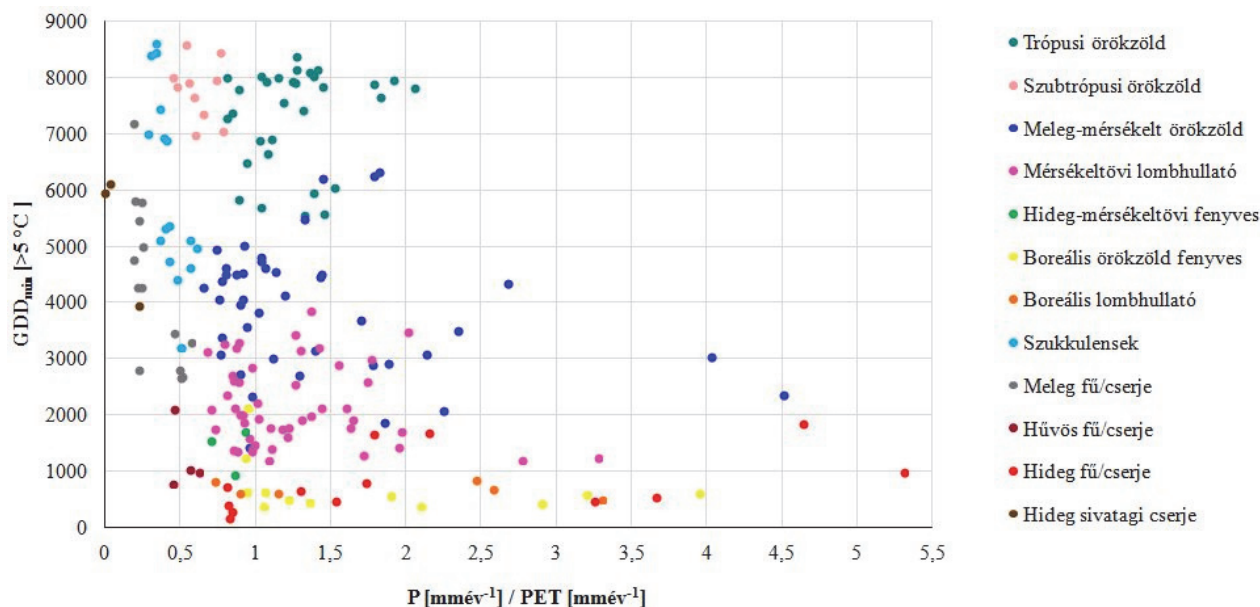
alcsoporthoz különböztethetők meg a fás növényzetben belül. Itt értelemszerűen a P/PET értékek mindig nagyobbak, mint a nem-fás növényzet esetén.

Eredmények. Az egyszerűsített vegetáció-alapú Prentice-modell alkalmazása a *Lamb and Weiss* (1979) féle adatbázison az 1. és a 2. ábrán látható. Az 1. ábra az összes növényzetre, míg a 2. ábra csak a fás szárú növényzetre vonatkozik. A trópusi örökzöld vegetáció vízellátottsága igen jó ($P/PET > 1$), de vannak 1 alatti P/PET értékekkel rendelkező állomások is. A $GDD_{min} [>5\text{ °C}]$ többnyire 7000–8500 °C közötti. A szubtrópusi örökzöld növényzet hőellátottsága megegyezik a trópusiéval, de vízellátottsága egyértelműen kisebb. A fagyűrést illetően értelemszerűen nincs különbség közöttük. A meleg-mérsékelt örökzöld és a mérsékelt övi lombhullató vegetáció víz- és hőellátottsága nagy szóródásokat mutat. A két vegetáció típus között észrevehető egy átfedési tartomány a P/PET 0,7–2, valamint a $GDD_{min} [>5\text{ °C}]$ 2000–4000 °C között. A két vegetáció típus azonban a fagyűrés tekintetében (2. ábra) egyértel-

3 feletti. A következőkben az egyszerűsített Prentice-modell vegetáció-osztályozását összevetjük Köppen, Holdridge és Thornthwaite módszereivel.

Prentice/Köppen összehasonlítás. A Köppen-féle klímaképletek eloszlását az egyszerűsített Prentice-modell hő- és vízellátottsága szerint a 3. ábra szemlélteti. A trópusi égöv Af (esőerdő), Am (trópusi monszon), Aw (szavanna) klímáinak vízellátottságbeli szóródása igen nagy (a P/PET értékek 0,5–2,5 közöttiek). Hőellátottságbeli szóródásuk sem kicsi, hiszen $GDD_{min} [>5\text{ °C}]$ értékük 6000–8500 °C közötti. A BWk (hideg sivatagi klíma), BSh (forró sztyepp), BSk (hideg sztyepp) klímák vízellátottság szerinti szóródása értelemszerűen kicsi ($0 < P/PET < 1$). Hőellátottságuk már nagyobb szóródást mutat, a BSk $GDD_{min} [>5\text{ °C}]$ értékei 2500–5000 °C közöttiek, a BWk ezen értékei megközelítik a 6000 °C-ot, míg a BSh klímák átléphetik a 8000 °C-ot is.

A Csa (meleg mérsékelt klíma nyári csapadék minimummal és forró nyárral), Csb (meleg-mérsékelt klíma



1. ábra: Az egyszerűsített Prentice-modell vegetáció típusainak hő- és vízellátottság szerinti eloszlása

műen elkülönül egymástól.

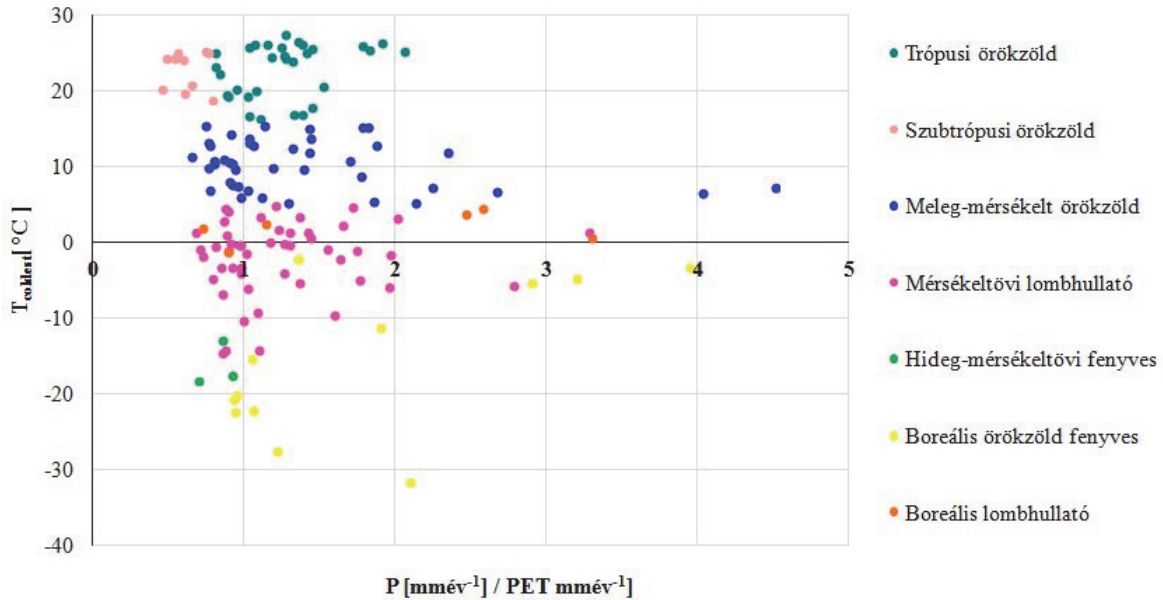
A boreális örökzöld fenyves és a boreális lombhullató vegetáció típusok vízellátottsága is nagy szóródást mutat. Láthatunk 1 alatti, de jóval 1 feletti értékeket is. Megfigyelhető, hogy a boreális örökzöld fenyves esetében van egy délebben fekvő állomás, mely $GDD_{min} [>5\text{ °C}]$ értéke jóval magasabb, mint a többi állomásé. A két vegetáció típus azonban a fagyűrés vonatkozásában elkülöníthető egymástól, hiszen a boreális örökzöld fenyves kifejezetten hidegtűrő, míg a boreális lombhullató nem. A lágyszárúak és a cserjék közös jellemzője, hogy a vízellátottságukat reprezentáló P/PET érték az esetek többségében kisebb, mint 1. A hőellátottságukat illetően nagy a szóródás, hiszen a szukkulensek és a meleg fű/cserjék jól elkülönülnek a hideg fű/cserjéktől. A hideg fű/cserjék $GDD_{min} [>5\text{ °C}]$ értékei bőven 1000 °C alattiak, míg a szukkulenseké akár 8000 °C feletti. Egyébként található néhány extrém esetet mind a fák, mind a fű/cserjék esetében. Így pl. a boreális örökzöld fenyves, vagy a meleg-mérsékelt örökzöld vegetáció típus egyes állomásokra vonatkozó P/PET értékei bőven

nyári csapadék-minimummal és meleg nyárral), Cfa (meleg-mérsékelt klíma forró nyárral és egyenletes éven belüli csapadékeloszlással), Cfb (meleg mérsékelt klíma meleg nyárral és egyenletes éven belüli csapadékeloszlással) és Cwb klímák víz- és hőellátottsága egyaránt nagy szóródásokat mutat. Ezen klímák között észrevehető egy átfedési tartomány a P/PET 0,5–1,5, valamint a $GDD_{min} [>5\text{ °C}]$ 2000–5500 °C között. A Dfb, Dfc (hideg mérsékelt klíma egyenletes éven belüli csapadékeloszlással és hideg nyárral) klímák vízellátottsága is hasonlóan nagy szóródást mutat, hőellátottságuk tekintetében azonban már kisebb a szóródás. A $GDD_{min} [>5\text{ °C}]$ értékeik 2000 °C alatti tartományban találhatóak. Az ET (tundra) klímák vízellátottságbeli szóródása meglehetősen nagy, láthatunk 1 alatti, de jóval 1 feletti P/PET értékeket is. Ehhez képest a hőellátottságbeli szóródásuk meglehetősen kicsi, a $GDD_{min} [>0\text{ °C}]$ értékek 1000 °C körüliek.

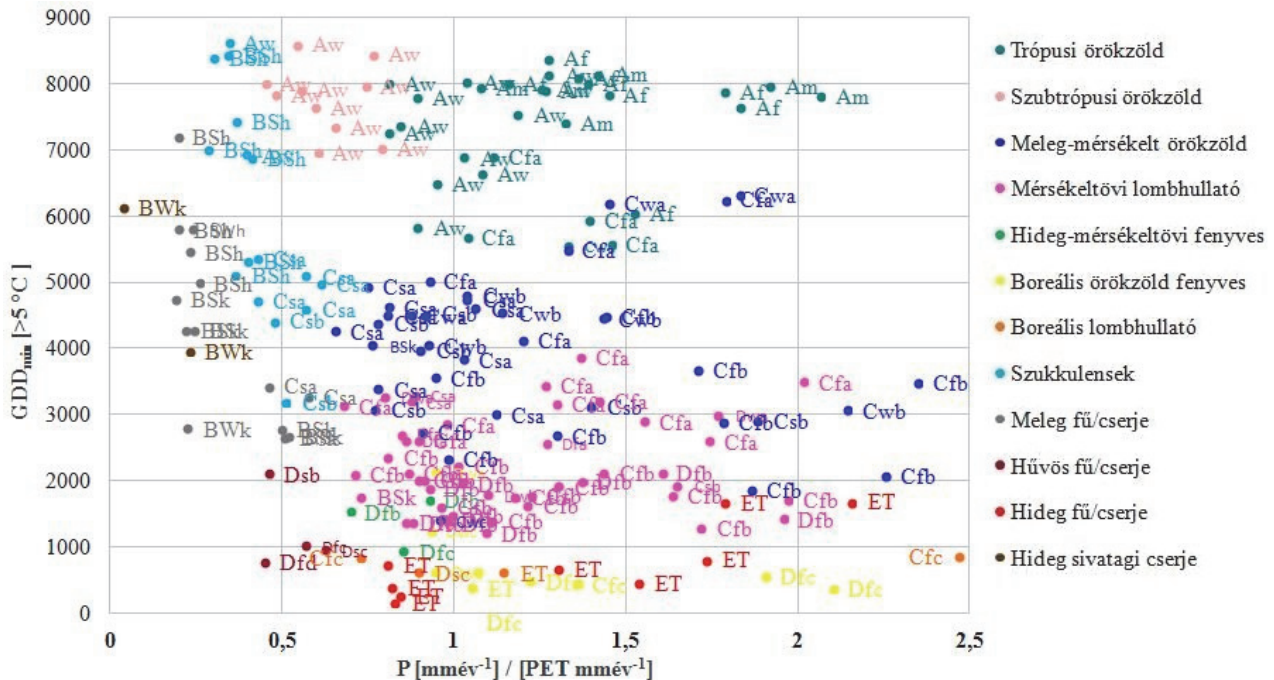
Prentice/Holdridge összehasonlítás. Az egyszerűsített Prentice-modell vegetáció típusainak eloszlása a Holdridge-féle klasszifikáció nedvességi és hőmérsékleti

kategóriái szerint a 4. ábrán látható. A trópusi és a szubtrópusi vegetáció hőellátottsága a meleg-mérsékelt/trópusi kategóriák határánál, míg a vízellátottságuk a szubhumidtól a perhumidig változik. Hasonló a vízellátottságbeli szóródás a meleg-mérsékelt örökzöldek és a mérsékeltövi lombhullatók esetében is. Noha a két vegetáció típus között van részleges átfedés is, a biohőmérséklet szerinti elkülönülés egyértelmű. A

mérsékelt övön kívül a hideg-mérsékelt és a trópusi övben is. A meleg fű/cserjék vízellátottságbeli szóródása meglehetősen nagy, megtalálhatók mind az arid, mind a szubhumid kategóriában. A szukkulensek többnyire a szemi-arid kategóriába lokalizálódtak. A hideg fű/cserjék hőellátottságbeli szóródása a legnagyobb, előfordulnak mind a boreális, mind a szubpoláris, mind a poláris övezetben. Ehhez képest a vízellátottságbeli szóródásuk



2. ábra: Az egyszerűsített Prentice-modell fás szárú vegetáció típusainak eloszlása a minimális havi hőmérséklet és a vízellátottság szerint



3. ábra: A Köppen (1923) féle klímaképletek eloszlása az egyszerűsített Prentice-modell hő- és vízellátottsága szerint

meleg-mérsékelt örökzöldek a meleg-mérsékelt, míg a mérsékeltövi lombhullatók a hideg-mérsékelt tartományba összpontosulnak. A boreális örökzöldek és a boreális lombhullatók vízellátottságbeli szóródása igen nagy, a humidtól a szuperhumidig terjedően. A boreális örökzöldek hőellátottságbeli szóródása szintén nagy, a hideg-mérsékelt övtől a boreális övön át a szubpoláris övig. A szukkulensek és a meleg fű/cserjék hőellátottságbeli szóródása sem hanyagolható el, megtalálhatók a meleg-

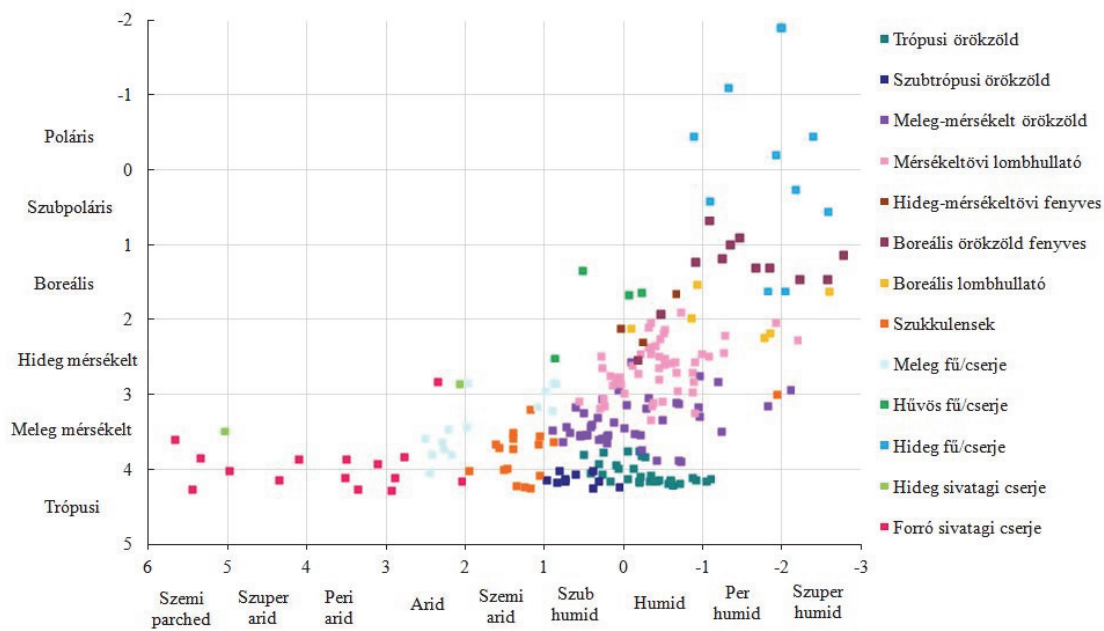
egyértelműen kisebb. Ezzel ellentétben a forró sivatagi cserjék vízellátottságbeli szóródása igen nagy, a szemi-parchedtól kezdve a szuperaridon és a peraridon át az arid kategóriájáig.

A hűvös fű/cserjék és a hideg sivatagi cserjék állomásszáma kicsi, és szóródásuk meglehetősen nagy. A hűvös fű/cserjék a boreális és hideg-mérsékelt, valamint a szubhumid és a humid kategóriákban, míg a hideg sivatagi cserjék a hideg-mérsékelt és a meleg-mérsékelt, valamint a szemiparched

és az arid/szemi arid kategóriákban található meg.

Prentice/Thornthwaite összehasonlítás. Az egyszerűsített Prentice-modell vegetáció típusainak eloszlását a Thornthwaite-féle (1948) hő- és vízellátottsági kategóriák szerint a 5. ábra szemlélteti. A trópusi örökzöldek legnagyobb részének hőellátottsága megatermális (A'), vízellátottsága viszont széles határok között változik, a száraz szubhumidtól (C₁) a humidig (B₄). Kihangsúlyozandó, hogy a C₁, C₂ kategóriák Magyarországon is megtalálhatók. A szubtrópusi örökzöldek vízellátottsága száraz szubhumid és szemi arid (D), a hőellátottságuk szintén megatermális. A meleg-mérsékelt örökzöldek és a mérsékelt övi lombhullatók eloszlása nagy szóródásokat mutat mind hőellátottság, mind vízellátottság tekintetében. A vízellátottság a száraz szubhumidtól (C₁) a perhumidig (A) terjed, a hő-ellátottság a mezotermális (B₂) a

láthatjuk. Ha ezt az ábrát összevetjük tanulmányunk 4. ábrájával, kapcsolatot teremthetünk a vegetáció típusok és a Köppen-féle klímaképletek között. A trópusi és a szubtrópusi örökzöldek az Aw klímaképlet jellemzi. A meleg-mérsékelt örökzöldekhez tartozó klímaképletek a Cs, Cf, Cw és a Dw, melyek között részleges átfedés figyelhető meg. Ugyanezen klímaképletek – a Dw kivételével – láthatók a mérsékelt övi lombhullatók esetében is. A hideg mérsékelt övi fenyveshez tartozó klímaképlet a Ds. A boreális örökzöld fenyvesekhez a Df és a Dw, míg a boreális lombhullatókhoz tartozó klímaképlet a Cf és Df. Látható tehát, hogy a Df klímaképlet megtalálható mind a boreális örökzöldek, mind a boreális lombhullatók esetében. A szukkulensekhez és a meleg fű/cserjékhez ugyanazon klímaképletek (BS, Cs), a hűvös fű/cserjékhez a Dw klímaképlet tartozik. A hideg fű/cserjéknél is megjelenő Bw klímaképlet legnagyobb része viszont a forró és a hideg siva-



4. ábra: Az egyszerűsített Prentice-modell vegetáció típusainak eloszlása a Holdridge-féle (1947) klasszifikáció nedvességi és hőmérsékleti kategóriái szerint

mikrotermálisig (C₂). A hideg-mérsékelt övi fenyvesek hőellátottsága gyakorlatilag megegyező a meleg-mérsékelt örökzöldek hőellátottságával, B₂ és C₂ kategóriák közötti. A boreális örökzöld fenyvesek és a boreális lombhullatók vízellátottságának szóródása igen nagy (C₁-től A-ig). Ezek – néhány eset kivételével – a C₂ mikrotermális kategóriába esnek. A szukkulensek és a meleg fű/cserjék hőellátottság szerinti szóródása nagy (megatermálisról mezotermálisig), míg a vízellátottság szerinti szóródása kisebb (száraz szubhumidtól aridig). A hideg fű/cserjék esetében viszont a vízellátottság szerinti szóródás szembetűnően nagy. Az esetek az arid kategóriától (E) a perhumid kategóriáig (A) terjednek, miközben a hőellátottságuk mikrotermális (C₁ vagy C₂ kategória).

Prentice/Holdridge összehasonlítása Köppen/Holdridge-al. A Köppen-féle klímaképletek eloszlását a Holdridge-féle osztályozás nedvességi és hőmérsékleti kategóriái szerint Ács és Breuer (2013) munkájának 3.4-es ábráján

tagi cserjékhez tartozik. Hasonló eredményeket kapunk akkor is, amikor a Prentice/Thornthwaite összehasonlítást (5. ábra) összevetjük a Köppen/Thornthwaite összehasonlítással (Ács és Breuer, 2013; 3.10-es ábra).

Konklúzió. Lassan egy évszázada, hogy megszülettek az első éghajlat-osztályozó módszerek. A legismertebb éghajlat-osztályozók (Köppen – botanikus, Thornthwaite – geográfus, Holdridge – botanikus, Prentice – botanikus) nem meteorológusok, se nem klimatológusok, hanem – Thornthwaite kivételével – botanikusok voltak, olyan szakemberek, akik legalább annyira ismerték a növényvilágot, mint a légkört vagy a Föld éghajlatát. Az is megfigyelhető, hogy a Köppen-féle (1936) rendszerben a növényzet leírása a lehető legegyszerűbb, a skála, amelyen szemlélődött, a biomok skálája volt, míg a Prentice-féle (1992) rendszerben ez a leírás már komplexebb, a „növényi életformák” (angolul: plant functional types, Bonan (2002) 342. old.) meglehetősen egyszerű jellem-

zésén alapul, és a használt skála mind térben, mind időben már kisebb a biomok skálájánál. A mai diagnosztikus vagy prognosztikus célokat szolgáló klímamodellekben már az utóbbi leírás terjedt el a növényi tulajdonságok jellemzésére. A megtett fejlődés íve egyértelmű. Köppen már nem él (Ács és Breuer, 2013), Colin Prentice, aki 2002-ben megkapta a Milutin Milankovitch érdemrendet, jelenleg az Imperial College London (teljes neve: The Imperial College of Science, Technology and Medicine) professzora és a *Bioszféra és éghajlat hatások AXA Programjának* elnöke.

Irodalom

Ács F. and Hantel, M., 1998: The land-surface flux model PROGSURF. *Global Planet. Change* 19, 19–34.

Ács, F., 2008: A talaj-növény-légkör rendszer meteorológiai alkalmazású modellezése. *Eötvös Kiadó* Budapest, ISBN: 9638689511, pp. 249

Ács, F. and Szász, G., 2002: Characteristics of microscale evapotranspiration: a comparative analysis. *Theor. Appl. Climatol.* 73, 189–205.

Ács, F., Breuer, H., 2013: Biofizikai éghajlatosztályozási módszerek. Elektronikus könyv, pp. 244, http://elte.prompt.hu/sites/default/files/elte-ttk/kozos/tananyagok/acs-ferenc_biofiz-eghajlatoszt-modszer.pdf.

Ács, F., Breuer, H. and Skarbit, N., 2015: Climate of Hungary in the twentieth century according to Feddema. *Theor. Appl. Climatol.* 119, 161–169.

Ács, F. és Szinyei, D., 2008: A csupasz talaj- és a növényi párolgás összehasonlító vizsgálata. *Légkör* 53(1), 26–29.

Bonan, G., 2002: *Ecological Climatology. Concepts and Applications.* Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 0 521 80032 3, pp. 678

de Arellano, J., Ouwersloot, H., Baldocchi, D. and Jacobs, C., 2014: Shallow cumulus rooted in photosynthesis. *Geophys. Res. Lett.* DOI:10.1002/2014GL059279.

Garratt, J. R., 1993: Sensitivity of Climate Simulations to Land-Surface and Atmospheric Boundary-Layer Treatments – A Review. *J. Climate* 6, 419–449.

Humboldt, A. and Bonpland, A., 1807: *Ideen zu einer Geographie der Pflanzen nebst einem Naturgemalde der Tropenlander.* J. G. Cotta, Tübingen, Paris, pp.182

Köppen, W., 1900: Versuch einer Klassifikation der Klimata, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzen. *Geograph. Zeitschr.* 6, 593–611, 657–697.

Köppen, W., 1923: *Die Klimate der Erde, Grundriss der Klimakunde.* Walter de Gruyter. Berlin, pp. 369

Köppen, W., 1936: *Das geographische System der Klimata.* Handbuch der Klimatologie, Band 1, Teil C, eds.: W. Köppen und R. Geiger. *Gebrüder Borntraeger*, Berlin, pp. 44

Lamb, H. H., 1972: British Isles types and register of daily sequence of circulation patterns, 1861–1971. *Geophysical Memoir* 116, HMSO, London, pp. 85

Lamb, H. H. and Weiss, 1979: On recent changes of wind and waves regime of North Sea and outlook. *Fachliche Mitteilungen* 194, 108–120.

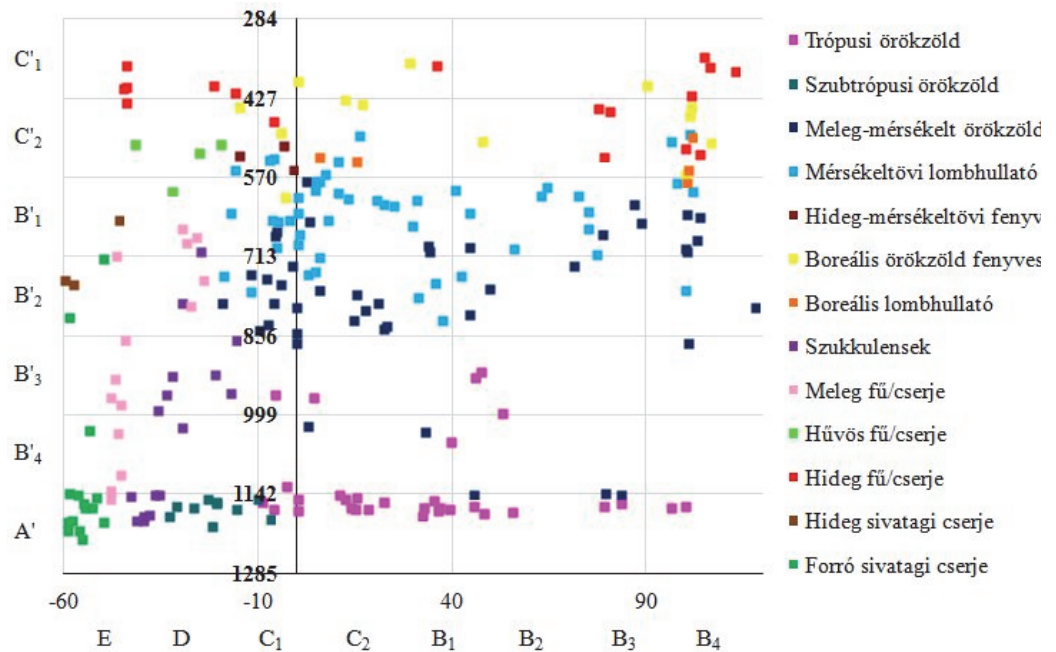
Manabe, S., 1969: The atmospheric circulation and the hydrology of the earth’s surface. *Mon. Wea. Rev.* 97, 739–774.

McKenney, M. S., Rosenberg, N. J., 1993: Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. *Agric. For. Meteorol.* 64, 81–110.

Montieth, J. L., 1977: Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* 281, 277–294.

Noilhan, J. and Planton, S., 1989: A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models. *Mon. Wea. Rev.* 117, 536–550.

Prentice, I. C., Cramer, W., Harrison, S. P., Leemans, R., Monserud, R. A. and Solomon, A. M., 1992: A Global Biome Model Based on Plant Physiology and Dominance, Soil Prop-



5. ábra: Az egyszerűsített Prentice-modell vegetáció típusainak eloszlása a Thorntwaite-féle (1948)

Klimaklasszifikáció hő- és vízellátottsági kategóriái szerint

erties and Climate. *Journal of Biogeography.* 19, 117–134.

Sellers, P.J., Randall, D.A., Collatz, G.J., Berry, J.A., Field, C.B., Dazlich, D.A., Zhang, C., Collelo, G.D. and Bounoua, L., 1996: A Revised Land Surface Parameterization for Atmospheric GCMs. Part I: Model Formulation. *J. Climate* 9, 676–705.

Shuttleworth, W.J., 1991: The modellion concept. *Reviews of Geophysics* 29, 4, 585–606.

Skarbit, N., Ács, F., Breuer, H. és Krakker, D., 2014: Magyarország éghajlatának változásai a 20. században (Péczely György osztályozása alapján). *Földrajzi Közlemények* 138, 261–276.

Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Ács, F. és Kozma, I., 2009: Biofizikai Klimaklasszifikációk. 2. rész: Magyarországi alkalmazások. *Légkör* 54(4) 18–24.

Thorntwaite, C.W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, 38, 55–93.

AZ ANTROPOGÉN KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS A TERMÉSZETES KLÍMAOSZCILLÁCIÓK SZEREPE A SZÁRAZODÁSBAN ÉS A SZÉLSŐSÉGES IDŐJÁRÁSBAN MAGYARORSZÁGON

THE ROLE OF ANTHROPOGENIC CLIMATE CHANGE AND NATURAL CLIMATE OSCILLATIONS IN ARIDIFICATION AND WEATHER EXTREMES IN HUNGARY

Gulácsi András

Szegedi Tudományegyetem Földtudományok Doktori Iskola, 6722 Szeged, Egyetem u. 2–6., gulandras90@gmail.com

Összefoglalás. A szárazodás, melyben szerepet játszik az éghajlatváltozás, széles körben kutatott téma Magyarországon. E tanulmányban áttekintést nyújtok a jövőben feltételezhető hazai éghajlati kilátásokról, amely jellemzően az átlaghőmérséklet emelkedő és az évi csapadékösszeg csökkenő trendjében mutatkozik meg. A tanulmány az alábbi fő kérdésekre fókuszál: a globális felmelegedés a jövőben hogyan befolyásolhatja a ciklonok pályáit, a csapadékeloszlást, a hőmérsékletet, illetve járulhat hozzá a szélsőséges időjárási eseményekhez? A természetes klímaoszcillációk hogyan befolyásolják a ciklonok pályáit, a csapadékeloszlást, a hőmérsékletet, és járulnak hozzá a szélsőséges időjárási eseményekhez? Van-e kimutatható statisztikai kapcsolat a hazai csapadék és hőmérséklet idősorok és a regionális klímaoszcillációk között? Megfigyelhető, hogy rövid időre egyeduralkodóvá válhat valamelyik természetes éghajlati oszcilláció hatása, ami szélsőséges időjárási eseményhez vezethet (pl. hőhullámhoz, aszályhoz). Regresszióelemzést és hierarchikus osztályozást végeztem, kapcsolatot keresve néhány hazai meteorológiai állomás nyilvánosan hozzáférhető adataira és az éghajlati oszcillációk között. Rengeteg más tényező befolyásolja a Kárpát-medence időjárását és éghajlatát, mégis kimutatható a klímaoszcillációk hatása vizsgált hőmérsékleti és csapadék idősorokon.

Abstract. Aridification, in which climate change plays a role, is a widely researched topic in Hungary. This study provides an overview about the assumed future national climate prospects reflected in the increasing trend of average temperature and the decreasing trend of annual precipitation sum, focusing on the following questions: How global warming will affect the storm tracks, the distribution of precipitation, the temperatures, and contribute to extreme weather events in the future? How climate oscillations are affecting the storm tracks, the distribution of precipitation, the temperatures, and contribute to extreme weather events? And finally, is there any statistical connection between precipitation and temperature time series and regional climate oscillations? It can be easily observed that for a shorter time interval (weeks or months, or even a year) the effect of either climate oscillation become dominant, leading to extreme weather events like heat waves or droughts. I performed regression analysis and hierarchical classification on publicly available data sets of five national meteorological stations looking for connections with climate oscillations. A great deal of other factors have influence on the weather and climate of the Carpathian Basin, yet the effects of the climate oscillations on temperature and precipitation time series are demonstrable.

Bevezetés. Hazánkat erősen sújtja az évi csapadékmeny-nyiség csökkenő és a középhőmérséklet emelkedő trendje, melynek negatív hatásai legszembetűnőbben a Duna-Tisza közén mutatkoznak meg a szárazodás részletesen megkutatott jelenségén keresztül (Rakonczai, 2013; Kohán, 2014; Rakonczai és Fehér, 2015). A talajvízkészlet csökkenése a Duna–Tisza közén az 1970-es évek óta folyamatos, egy-egy csapadékos időszak csak a vízkészlet részleges visszapótlódását teszik lehetővé középtáji léptékekben. Az átlaghőmérséklet országosan 1,1 °C-kal, míg a nyári középhőmérséklet az Alföldön 2,2 °C-kal emelkedett 1901–2013 között. Az évi csapadékösszeg pedig 7%-kal csökkent ugyanebben az időszakban (Lakatos et al., 2014). A jövőbeli kilátások szerint sem várható fordulat (Blanka et al., 2014).

Magyarország éves vízmérlege szerint 5 km³ hazánk vízháztartási hiánya, azaz a beérkező vízfolyások több vizet vezetnek le (117 km³-t), mint amennyi vizet hoznak (112 km³-t). A hazánk területén lehulló csapadék mennyisége 56 km³ évente, míg a párolgás 49 km³-t emészt fel, így évente 7 km³ hasznosítható víz származik belőle. Ebből 6 km³ kifolyik az országból. Ezen felül további 1

km³ vizet használunk fel a felszín alatti vízkészletekből (Somlyódy, 2011). Ebből világosan következik, hogy elemi érdekünk lenne a folyóvizeinket, a vízpotenciálunkat nagyobb mértékben kihasználni. A változások nyomán követése fontos feladat a vízgazdálkodás számára. Rendszeresen felmerül a duzzasztás és a vele járó vízpótlási, öntözési, hajózási, turisztikai stb. célú csatornaépítések igénye a szárazodás elleni védekezésben és az aszálykárak mérséklésére. A távérzékelésen alapuló monitoring vizsgálatokkal jól megfigyelhető, hogy a vegetáción, a levélzet klorofill- és nedvességtartalmának változásain keresztül visszatükröződnek a csapadékel-ellátottság, és a léghőmérséklet változásai (Gulácsi, és Kovács, 2015). A tanulmány a jövőben feltételezhető éghajlati kilátásainkkal kapcsolatban az alábbi kérdésekre helyezi a súlypontot: a globális felmelegedés a jövőben hogyan befolyásolhatja a ciklonok pályáit, a csapadékeloszlást, a hőmérsékletet, illetve járulhat hozzá a szélsőséges időjárási eseményekhez? A természetes klímaoszcillációk hogyan befolyásolják a ciklonok pályáit, a csapadékeloszlást, a hőmérsékletet, és járulnak hozzá a szélsőséges időjárási eseményekhez? Van-e kimutatható statisztikai kapcsolat a hazai csapadék és hő-

mérséklet-idősorok és a regionális klímaoscillációk között?

Áttekintés. Globális felmelegedés. A globális felmelegedésben, vagyis a rendszeres, megbízható műszeres mérések kezdetétől (1880-tól) megfigyelt hőmérséklet-emelkedésben döntő szerepet játszik az antropogén széndioxid kibocsátás (IPCC, 2013). Azt rögtön hozzá is tenném, hogy a CO₂-kibocsátással nem lehet mit kezdeni, mert a fejlett civilizációról nem mondhatunk le. Amennyiben a 2015. évi, párizsi klímaegyezményben lefektetett széndioxid emissziócsökkentési vállalásokat teljesítené az emberiség, akkor az 2100-ig gyakorlatilag elenyésző hatással lenne a globális átlaghőmérsékletre. Ha 2030-ig teljesítenék a nemzetállamok az ígéreteiket, akkor mindössze 0,048 °C-kal csökkenne az átlaghőmérséklet (Lomborg, 2016). Még ha drasztikusan le is tudnánk vinni a légköri széndioxid koncentrációt, a hőmérsékletemelkedés akkor sem állna meg addig, amíg el nem értük az új sugárzási és hőmérsékleti egyensúlyt (Planck-visszacsatolás).

A globális felhőzet kiterjedése évtizedenként átlagosan 0,4%-kal csökkent az 1971–2009 közötti időszakot tekintve. A Kárpát-medencében 0,7%-os csökkenés volt megfigyelhető a felhőborítottságban (Eastman and Warren, 2013). Ezzel egy időben azonban a légkör vízgőztartalma más adatok alapján emelkedett. A HadISDH¹ majdnem teljesen globális lefedettségű légköri specifikus nedvesség (gkg⁻¹) adatbázis adatainak tanúsága szerint, az 1973–2012 közötti időszakban szignifikánsan emelkedett a specifikus nedvesség értéke globálisan, és ezen belül Európában is (Willett et al., 2013). A globális nedvesedési trend: +0,089 (0,080–0,098 CI 95%) gkg⁻¹évtized⁻¹. Ennek roppant egyszerű a magyarázata, ugyanis ismeretes, hogy adott hőmérsékleten mennyi vízpárát képes a levegő magában tartani. Ezt a Clausius–Clapeyron-egyenlet írja le, mely szerint egy anyag gőznyomása a hőmérséklet emelkedésével exponenciálisan növekszik. Tehát amikor a légköri CO₂-koncentráció emelkedése miatt növekszik az üvegházhatás mértéke, és ebből következően emelkedik a hőmérséklet (a tengervíz fajhője igen nagy, ezért lassan), akkor több víz párolog el a felszínről, így megemelkedik az abszolút páratartalom (illetve a specifikus nedvesség), azaz magasabb hőmérsékleten több vízgőz képes a légkörben tartózkodni anélkül, hogy kondenzálna. A melegedésből és a nagyobb légköri vízpára mennyiségből nem feltétlenül következik a felhőborítottság növekedése; ennek éppen az ellenkezőjét mutatják az adatok. Ezért a jövőben is számítani kell a csapadékhiányra és a szárazodásra, ami a Homokhátságot különösen súlyosan érinti, hiszen a felszín alatti vízkészletek egyedüli bevételi forrása a csapadékhullás, és a talajvízszint-csökkenést döntően (Völgyesi, 2000) a csapadékhiány okozza. Shaw et al., (2016) kitűnő áttekintést ad az Európa éghajlatát meghatározó mérsékelt övi ciklonpályák (viharvonal) helyzetének változásairól és hogy azokra milyen befolyással lehet az antropogén globális felmelegedés a jövőben, amit globális klímamodellekkel

(GCMs) próbálnak számszerűsíteni. Hatalmas azonban a bizonytalanság, ugyanis számos kis léptékű fizikai folyamat nincs meghatározva a GCM-ekben, így csak találgathatunk a mérsékelt öv jövőbeli éghajlati kilátásait illetően, de várhatóan fontos következményei lehetnek a szinoptikus viharok pályaváltozásainak is a Kárpát-medencében. Az extratropikus ciklonok viharrendszerek, amelyek megfigyelhetően elsősorban a viharvonalnak (*storm track*) nevezett szűk, nagy eddy² kinetikus energiájú régióban haladnak, és csapadék, szél és hőmérsékleti szélsőségekhez járulnak hozzá a közepes szélességeken. Statisztikailag a leggyakrabban a 30–60° szélességek között található (Észak-Atlanti-, Észak-Pacifikus-Óceán, Déli óceánok és a Földközi-tenger). A ciklonok ott szoktak képződni, ahol a horizontális felszínhőmérsékleti gradiens nagy, és a futóáramlás befolyásolja a haladási sebességüket és irányukat. Amikor nagy a horizontális nyomásgradiens, az áramlás erőteljesebb és zónális, míg, amikor meggyengül, kisebb lesz a nyomásgradiens. Elkezd nagyobb amplitúdóval a hosszúsági körök mentén kitérni, azaz meridionális lesz az áramlás és a csapadékot hozó ciklonpályák is ezzel együtt eltérülnek. A ciklonok hatással vannak a teljes éghajlatra az energia- és az impulzusmomentum-transzporton keresztül. A viharvonalak erőssége és helyzete évszakosan váltakozik a természetes változékonyság hatására, mint például a trópusi tengerfelszín hőmérsékleti változásai (El Niño–Déli Oszcilláció, ENSO). A globális felmelegedés is befolyással lehet, bár nagy bizonytalanság övezi ennek mikéntjét. A szinoptikus viharútvonalak jövőbeli helyzete és erőssége azon folyamatoktól függ, amelyek módosítják a horizontális hőmérsékleti gradienst (Shaw et al., 2016). Bizonyos esetekben egyértelmű a globális felmelegedés hatása, így például:

1. A telítési specifikus nedvesség hőmérséklettel való emelkedése (Clausius–Clapeyron egyenlet) nedvesebb alacsony szintű levegőhöz és nagyobb látens hő leadáshoz vezet a trópusi konvekcióban, ami a trópusi felső-troposzférát a felszínhez képest melegíti és a tropopauzát megemeli.
2. A felszíni albedó-hőmérséklet visszacsatolások a globális átlaghoz képest az Északi-sark fokozott melegedéséhez vezetnek, amit Északi-sarki Felerősítésnek (Arctic Amplification, AA) neveznek. Más különböző termodinamikai folyamatok azonban egymással ellentétes hatással vannak a gradiensre (Shaw et al., 2016), például:
3. A trópusi felső troposzféra melegedése növeli a baroklinitást és a viharok pályáit a pólusok felé tolja el. Az Északi-sarkvidék felszíni melegedése csökkenti az alsó-troposzférikus baroklinitást és az Egyenlítő felé tolja el a ciklonok pályáit.
4. A poláris alsó-sztratoszférának az ózonréteg helyreállása miatti melegedése csökkenti a baroklinitást és az Egyenlítő irányába tolja a viharvonalat; ezzel szemben a növekvő üvegházgáz-koncentrációk a trópusi felső-troposzféra melegedéséhez vezetnek, hűtve az alsó sztratoszférát – a troposzféra több hosszúhullámú inf-

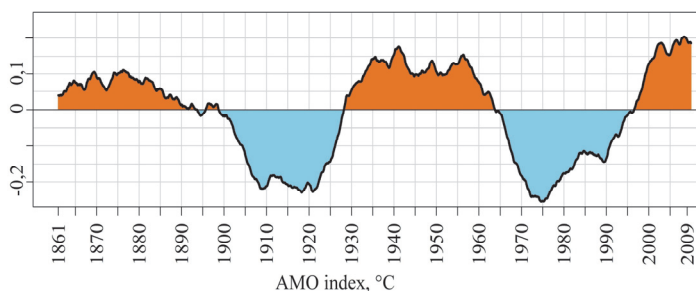
¹ HadISDH globális rácspontokra előállított átlagos felszíni légnedvesség adatbázis: <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisdh/>

² Az eddy-k vagy baroklin hullámok örvényszerű légköri áramlatok.

ravörös sugárzást tart vissza, ami nem lesz elérhető a sztratoszféra számára, s az emiatt hűl –, ellentétes irányú eltoláshoz vezetve.

5. Ahogy az éghajlat melegszik, úgy a felszíni rövidhullámú felhő-sugárzási változások növelik az Egyenlítő és a sarkok közötti hőmérsékleti gradienst. Ezzel egy időben a hosszuhullámú felhő sugárzási változások csökkentik ezt a gradienst.

Többek között ezek miatt nagy kihívás előrejelezni a ciklonpályáknak a jövőbeli klímaváltozásra adott választát. Az ötödik pont bővebb magyarázatot igényel: a szimulációk feltártak egy lehetséges vetélkedést a hosszuhullámú és a rövidhullámú felhő sugárzási hatások között. A rövidhullámú változások kiváltotta lehűlés növeli a felszíni baroklinitást és fokozná a futóáramlás pólus felé történő eltolódását. Ezzel szemben a hosszuhullámú változások (felszín melegítése) csökkentik a baroklinitást. A „harc” kimenetele nem egyértelmű. A modellezett klímaérzékenységben (a légköri CO₂-koncentráció megkétszereződéséből származó globális hőmérsékletemelkedés) lévő bizonytalanságok jelentős hányadát a felhők jelentik (Shaw et al., 2016). Erős, zónális futóáramlás esetén a ciklonok pályái északabbra



1. ábra: Az Atlanti Több-évtizedes Oszcilláció (AMO) pozitív és negatív fázisai. A havi tengerfelszín-hőmérsékletekre számolt 10 éves mozgó átlag a NOAA ESRL Physical Sciences Division adataiból.

húzódnak, és Európa északi felében csapadékos, hűvös nyarat, míg a déli felében száraz és meleg időjárást eredményeznek. Ezzel ellentétben, amikor az áramlás meggyengül, meridionálisá válik, a ciklonpályák lehúzódnak délebbre, és ha a trópusokkal összeköttetésben álló nedvesség (légköri folyamatok) bejut a mediterrán ciklonok képződési helyére a Földközi-tenger medencéjébe, akkor kiemelkedően csapadékos évet hozhat Európa déli részén, illetve a Kárpát-medencében. Ekkor az északi részekon szárazabb az időjárás.

Éghajlati oszcillációk. Ezek a nagy térségekre kiterjedő éghajlati ingadozások kisebb időléptékben (heti, havi, éves) jelentős hatással vannak a léghőmérséklet, a csapadékmennyiség és a szél klimatikus változókra. Kivéve az AMO (Atlanti Több-évtizedes Oszcilláció, Atlantic Multidecadal Oscillation) esetén, ami több évtizedes ciklikusságot mutat. Az időjárásra, annak szélsőségeire komoly hatással lehetnek (pl. a mérsékelt övi viharútvonalak befolyásolása, a ciklonpályák időszakos északabbra tolodása, atmoszférikus blokkolás), ezért az aszályok kialakulása szempontjából is fontos a témával behatóan foglalkozni. A nyári aszályos viszonyokra Európában befolyással vannak az előző téli tengerfelszín-

hőmérséklet anomáliák és a különböző óceáni-légköri csatolt folyamatok: az AMO és a NAO (Észak-atlanti Oszcilláció, North-Atlantic Oscillation; Ionita et al., 2012). E oszcillációk kiváltó okai még ma is ismeretlenek, de az biztosan kijelenthető, hogy a napaktivitás változása – a 11 éves napfoltciklusnak megfelelően – elhanyagolható hatással van az éghajlatra: mindössze +0,05 Wm⁻² a sugárzási kényszert jelent (IPCC, 2013).

Az Atlanti Több-évtizedes Oszcilláció az Atlanti-óceán északi medencéjének tengerfelszín-hőmérsékletében bekövetkező hosszú időtartamú ingadozás, 20–40 évig tartó meleg és hideg szakaszokkal, köztük 0,4 °C-os hőmérsékletkülönbséggel (Schlesinger and Ramankutty, 1994). Az AMO index számítási módja: a Kaplan SST V2 (1856-) havi tengerfelszín-hőmérsékleti anomália adatsorából (5×5°) területileg súlyozott átlagot számolnak az Észak-atlanti-óceánra (é. sz. 0–70°), és ebből az idősből levonják a trendet. Végezetül a havi adatokra 121 havi mozgó átlagot (1. ábra) számítanak (Enfield et al., 2001).

Az AMO az északi félteke nagy részének léghőmérsékletére és csapadékhullására befolyással van, különösképpen Észak-Amerika és Európa esetén. Még az atlanti hurrikánok gyakoriságát is befolyásolja. Az AMO befolyással lehet az aszályok erősségére. Például az USA legsúlyosabb aszályai közül kettő, az 1930-as évek és az 1950-es évek porviharjai a közép-nyugati régióban, az AMO 1925–1965 közötti pozitív fázisában következett be (NOAA AOML, 2016). Ezek hazai megfelelői az 1935. és az 1952. évi súlyos aszályok (Pálfai, 2011). Az AMO motorja a trópusokról a pólusok felé irányuló óceáni hőtranszport. A tengeri köráramok (angolul *gyre*³) közvetlen hajtásúak, azaz a légkör cellás áramlási rendszere (passzátszelek) a fő gerjesztő erő. Ezek a felszíni szélnyírás hajtotta tengeráramlatok elősegítik az energiaszállítást a Sarkok irányába. Jellemző rájuk az anticiklonális forgási irány, és az a tendencia, hogy az egész rendelkezésre álló medencét kitöltik (Jánosi és Tél, 2012). Ilyen például a Golf-áramlatot és a Kanári-áramlatot magába foglaló *gyre*. Az AMO-nak hosszú távon nincsen trendje, viszont olykor felerősíti, olykor pedig mérsékeli a globális felmelegedés ütemét (1. ábra).. Az Észak-atlanti Oszcilláció egy olyan éghajlati jelenség, amely az izlandi ciklontevékenység és az azori anticiklon rendszerközpontjai közötti nyomáskülönbség ingadozását fejezi ki; ez jelenleg az azori Ponta Delgada és az izlandi Reykjavík városok szabványosított nyomás-anomáliáinak különbsége. Mivel nincsen egyedi mód a NAO térbeli szerkezetének meghatározására, ebből következik, hogy nincsen egy mindenki által elfogadott index a jelenség időbeli alakulásának a jellemzésére. A legtöbb NAO index egy választott déli és egy északi állomás tengerszinti légnyomás eltéréseinek a különbsége, vagy az egész észak-atlanti térségre (é. sz. 20–70°, ny. h. 90° és k. h. 40° között) vett tengerfelszíni légnyomásokra futtatott

³ A *gyre* az óceonográfiában használt fogalom, az óceáni áramlások nagy rendszere.

elforgatott EOF⁴ első főkomponensének időszora (*Hurrell and Deser, 2009*). Az Északi-sarki Oszcilláció (Arctic Oscillation, AO) egy térben igen hasonló jelenség.

Pozitív NAO szakasz esetén mind az izlandi ciklontevékenység, mind az azori anticiklon jól fejlett (nagy a nyomásgradiens), mely a nyugati széljárásnak kedvez (erős futóáramlás). A pozitív fázisban a trópusi nedves légtömegek (a trópusokról érkező légköri folyamatok) blokkolása a Szahara felől benyúló leszálló légáramlatok által az azori anticiklon megerősödéséhez vezet. Ilyenkor a nyugati szelek övében lévő ciklonok kevesebb nedvességhez jutnak, kevesebb ciklon lesz és azok pályái északra tolnak. A nagy azori anticiklon elzárja Közép- és Dél-Európa számára a nyugatról jövő áramlást a csapadékot hozó ciklonokkal együtt, meleg és száraz időjárást eredményezve, kedvezve az aszályoknak, ellentétben Észak-Európával, ahol hűvös és csapadékos lesz a nyár (*Horváth és Nagy, 2012*). Negatív NAO fázis esetén mind az izlandi alacsonynyomás, mind az azori magassnyomás gyenge fejlettségű, a nyomáskülönbség a két akciócentrum között kicsi, ennek következtében a nyugati széljárás gyenge (a meridionális komponense nagy, a meleg és a hideg légtömegek eltolják a gyengébb futóáramlást), télen kedvez a hidegleszakadásoknak (ez utóbbi az AO-val és a sarki örvénnyel kapcsolatos). Az óceán fölötti anticiklon legyengül, és a „nedvességkapu” szélesre tárul. Az ilyenkor megerősödő mediterrán ciklonok akár kiemelkedően csapadékos évet is hozhatnak hazánkra, mint például 2010-ben (*Horváth és Nagy, 2012*). Az Arktikus Oszcilláció vagy Északi-sarki Oszcilláció a 20. északi szélességi körtől északra, az Északi-sarki központi területei, és az északi félteke közepes szélességei felett (ny. h. 180° és k. h. 180° között) az 1000 hPa-os nyomásszinten fennálló magasságkülönbséget fejezi ki. A 20–90° északi szélességek közötti tengerfelszíni nyomásokra futtatott főkomponens analízis első főkomponensének sajátértékeinek havi átlaga adja az AO indexet (*Thompson and Wallace, 1998*).

Pozitív AO index. Az Északi-sarki körüli örvénylés intenzív, ez esetben a széláram mintegy hurokként húzza maga körül a hideg levegőt körbe-körbe, csaknem lerögzítve/körbezárva a fagyos levegőt a pólus körül. Negatív AO index esetén az Északi-sarkot körülölelő futóáramlás gyenge, ezáltal a nyugat-kelet irányú szélgyűrű meglazul, és teret enged a hideg levegő észak-déli irányú leszakadásának (*Daróczy, 2014*).

A futóáramlás a sarki örvénylést zárja körül, ami egy téli jelenség. A sztratoszférikus sarki örvénylés egy nagy léptékű levegőrégió, amit a sarkvidéket megkerülő, erős nyugat-keleti irányú futóáramlás (jet-stream) zár körbe. A sarki örvénylés a tropopauzától a sztratoszférán át a mezoszféráig, 50 km-es magasságig tart. A sarki örvénylés akkor alakul ki, amikor egy bolygó forgástengelyének pólusában egy alacsony nyomású terület ül meg, ami a levegőnek a magasabb légkörből való spiráliszerű leáram-

lását eredményezi, hasonlóképpen, mint ahogyan a víz folyik le a lefolyón. Tehát téli félévben a Nap lenyugszik a sarkvidéken és a hőmérséklet az ózonkoncentrációval együtt csökken, párosulva nagyon alacsony légnyomással (AO pozitív fázis). Tavasz folyamán a Nap felkel és az ózon általi napsugárzás-elnyelés az UV tartományban elkezd felmelegíteni a poláris sztratoszférát (hirtelen sztratoszférikus melegedés, Sudden Stratospheric Warming, SSW). Ez a gyors felmelegedés végül a poláris éjszakai jet mellett az örvénylés eltűnéséhez vezet (*NOAA GSFC, 2016*). Ilyenkor a sarkon a légnyomás az átlagosnál magasabb, és ha ez átlag alatti nyomással párosul a közepes szélességeken (AO negatív fázis), akkor a futóáramlás gyengül, amplitúdója növekszik, az Egyenlítő irányába kitér, ami kedvez a hidegleszakadásnak. A közép-atlanti, átlagnál alacsonyabb légnyomás pedig a passzátszél gyengüléséhez vezet. Észak-Eurázsia időjárására is hatással van az AO télen: Észak-Eurázsia északi felén az AO pozitív fázisa alatt a melegebb és csapadékosabb telek túlsúlyosak, és a negatív szakaszban a hidegebb és szárazabb telek. Észak-Eurázsia déli felén éppen ellentétesek a csapadék-anomáliák. Végül bizonyításra került, hogy a téli AO fázis befolyással van a tavaszi léghőmérsékletek fagypontra fölé emelkedésének az idejére (*Kryzhov és Gorelits, 2015*).

A természetes éghajlati változékonyságnak köszönhető atmoszférikus blokkolás is okozhat hőmérsékleti és csapadék szélsőségeket. A jelenség nem szokatlan és nincs köze az antropogén klímaváltozáshoz. A közepes szélességeken az extrém hőmérsékletek meleg és hideg levegő advekciónak párosulnak az erős ciklonok által. Meleg hőmérsékleti szélsőségek szintén származhatnak a blokkoló anticiklonokban a lefelé irányuló áramlás és a felhőtlen viszonyokból származó sugárzási anomáliák miatti erős adiabatikus melegedésből. A szélsőségesen meleg hőmérsékletek több mint 80%-a az atmoszférikus blokkoláshoz kötődik a nagy kontinentális régiókban, az északi szélesség 45. foka felett (*Shaw et al., 2016*). Időrendben haladva, a 2003. évi június-augusztusi európai hőhullámot (*Wikipedia, 2003*) egy blokkoló anticiklon eredményezte. A futóáramlás gyenge volt, meridionális áramlás volt jellemző, és egy anticiklon maradt meg tartósan a térség felett, eltérítve a csapadékot hozó ciklonok pályáit. Az anticiklonális helyzetek derült, felhőmentes időt eredményeznek, és az erős besugárzás párosulva a csapadékhányal kedvez az aszályok képződésének. Különösen Franciaországot sújtotta a hőhullám (14 802 áldozat), de súlyos aszály volt Magyarországon is, jelentősen lecsökkent a Balaton vízszintje. Szintén légköri blokkolás okozta a 2010. évi súlyos kelet-európai és oroszországi hőhullámot (*Grumm, 2011; Dole et al., 2011*). A hosszú ideig fennálló kiemelkedő hőség az erdőtüzekből származó rossz levegőminőséggel párosulva a halálozások számát 56 ezerrel emelte meg Moszkvában és Nyugat-Oroszország más részein, valamint tetemes mértékű termés kieséshez vezetett a súlyos aszály következtében (*NOAA, 2011*). A Csendes-óceán északkeleti partján, az RRR-nek (Ridiculously Resilient Ridge, „Nevetségesen Ellenálló Gerinc”) elkeresztelt, tartósan magas légnyomású térség havi és éves időléptékben, ami

⁴ EOF (*empirical orthogonal function*): empirikus ortogonális függvény, a statisztikában főkomponens analízisnek hívják (*principal component analysis, PCA*).

1. táblázat: A meteorológiai állomások földrajzi helyzete (OMSZ) és tengerszint feletti magasságuk (a WGS84 EGM geoid-hoz viszonyítva, Google Earth alapján).

Állomás	Földrajzi szélesség (é. sz.)	Földrajzi hosszúság (k. h.)	Tszf. magasság (méter)
Budapest	47°30'40"	19°01'41"	140
Debrecen	47°29'44"	21°37'48"	109
Pécs	46°00'00"	18°14'00"	193
Szeged	46°15'19"	20°05'25"	79
Szombathely	47°16'03"	16°38'02"	221

eltolja a nyugati szeleket a pólus felé eltérítve az esőt hozó extratropikus ciklonokat. Ez a rendellenes légköri jellegzetesség az Észak-Pacifikus ciklonpályák 2012/2013, 2013/2014 és 2014/2015 telei alatti megszakításával szélsőségesen száraz és meleg viszonyokat eredményezett az USA Kalifornia államában és nyugati partjának nagy része mentén, döntően hozzájárulva a súlyos kaliforniai aszályokhoz (Wikipedia, 2016); gyakran láthatók képek a leürült kaliforniai víztározókról a médiában.

Adatok és módszer. Öt magyar város meteorológiai állomásának (Budapest, Debrecen, Pécs, Szeged és Szombathely) szabadon elérhető, hosszú, 1901 és 2010 közötti, csapadék és hőmérséklet havi idősorait (OMSZ, 2016) vettem össze az AMO, NAO és AO éghajlati oszcillációkkal statisztikai kapcsolatot keresve, regresszióelemzés használatával. Statisztikai szignifikanciát és Pearson-féle korrelációs együtthatókat (r) számoltam. Ezen felül az idősorok közötti keresztkorrelációt is vizsgáltam, esetleges késleltetett hatás feltárása érdekében. Az AMO simított értékei helyett a havi tengerfelszínhőmérséklet havi átlagát használtam az AMO régióban, ugyanis a mozgó átlagolás a havi és az éves varianciát kiszűri, így nem lenne értelme a regresszióanalízisnek, hiszen kifejezetten a havi felbontású változékonyság az érdekes számunkra.

Továbbá a kiugróan csapadékos hónapokat leválogattam adatsorokként a Cook-féle távolságok alapján, majd UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) algoritmus használatával, az euklideszi távolságok alapján hierarchikus klaszterezést végeztem rajtuk (Sokal and Michener, 1958).

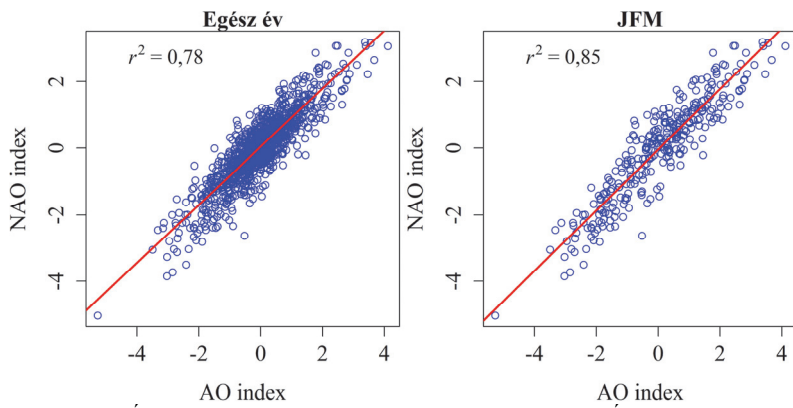
Az adatfeldolgozáshoz, a statisztikák számolásához és az ábrák elkészítéséhez az R nevű szabadon elérhető statisztikai szoftvert (verziószám: 3.3.1; R Core Team, 2013), a klaszterezéshez a PAST nevű programot használtam (verziószám: 3.13, Hammer et al., 2001). Az állomások leíró földrajzi adatait az 1. táblázatban tüntettem fel.

A klímaoscilláció adatok forrásai NAO (1899-napjainkig): NCAR (2015), Hurrell et al. (2003); AMO (1856-napjainkig): NOAA ESRL (2015), Enfield et al. (2001) és AO (1899–2002 júniusa): JISAO (2016). Az AO adatok sajnos csak 2002-ig álltak rendelkezésemre. Az egész évet és a január-február-március (JFM) időszakot vizsgáltam, ugyanis ezekben a hónapokban a legnagyobb az AO/NAO varianciája. A témában végzett korábbi hazai kutatások (Mandl, 2009, Zsilinszki et al., 2015) statisztikailag szignifikáns kapcsolatot mutattak ki

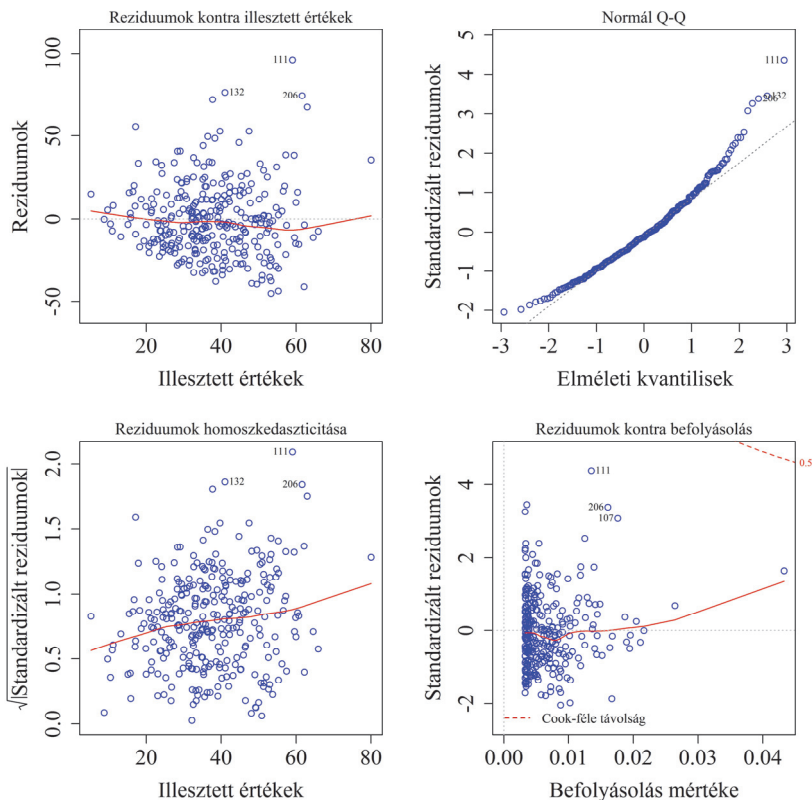
alacsony korreláció mellett a klímaoscillációk és a meteorológiai adatok között, így az előzetes várakozásaim szerint itt is hasonló eredményre fogok jutni. Mandl (2009) kimutatta, hogy a pozitív NAO fázis idején a szokásosnál gyakoribb az anticiklonális helyzet. A pozitív NAO fázis idején a nyugati irányítású szinoptikus helyzetek gyakoribbak, melegebb az időjárás hosszabb napsütéssel, szignifikánsan gyakoribb csapadék nélküli és alacsony (1–2 mm) csapadékmennyiségű napokkal. A negatív NAO fázis alatt viszont az északi irányított szinoptikus helyzet a gyakoribb, az átlaghoz képest hűvösebb az időjárás, kevesebb napsütéses órával, jelentősebb napi csapadékösszegekkel. Zsilinszki et al., (2015) térben és időben vizsgálták a meteorológiai változók és az AO/NAO közötti kapcsolatot az 1981-2010 közötti 30 éves időszakra az ECMWF3 ERA-Interim előrejelzési és analízis 0,5°-os felbontású adatbázisát használva. Az egyidejű (időbeli eltolásmentes) idősorok vizsgálatával kapták a legmagasabb korrelációs együttható értékeket: hosszabb időtávon a maximális értékek abszolút értékben 0,4 körül adódtak, de mindvégig statisztikailag szignifikánsnak bizonyultak.

2. táblázat: Pearson-féle korreláció (r) a vizsgált változók havi értékei között. A szignifikanciaszintek: ^{NS}: nem szignifikáns, $p < 0,1$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. JFM: január-február-március. Halványzürke háttérrel az $r > 0,2$ feletti, míg félkövérrel az $r > 0,4$ korrelációkat emeltem ki. AO index esetén 1901-2002 közötti adatokkal számoltam, míg a többi indexnél az 1901-2010 közöttiekkel. Az AMO mozgó átlagolás nélküli.

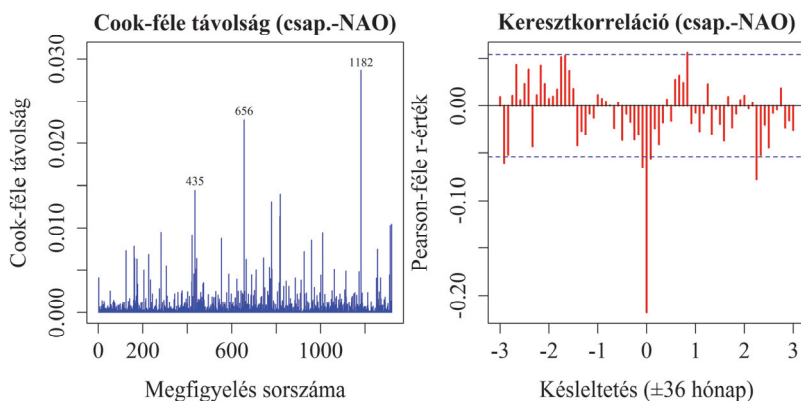
Adatsor	Időszak	Függő változó	AMO index	NAO index	AO index
Budapest	egész év	csapadék	0,079 **	-0,218 ***	-0,276 ***
		hőmérséklet	0,091 ***	0,075 **	0,015 NS
	JFM	csapadék	0,089 NS	-0,444 ***	-0,482 ***
		hőmérséklet	-0,069 NS	0,260 ***	0,150 **
Debrecen	egész év	csapadék	0,081 **	-0,205 ***	-0,249 ***
		hőmérséklet	0,100 ***	0,048 ·	-0,016 NS
	JFM	csapadék	0,016 NS	-0,394 ***	-0,423 ***
		hőmérséklet	-0,037 NS	0,153 **	0,044 NS
Pécs	egész év	csapadék	0,061 *	-0,192 ***	-0,243 ***
		hőmérséklet	0,101 ***	0,069 *	0,008 NS
	JFM	csapadék	0,048 NS	-0,307 ***	-0,326 ***
		hőmérséklet	-0,047 NS	0,231 ***	0,131 *
Szeged	egész év	csapadék	0,112 ***	-0,210 ***	-0,244 ***
		hőmérséklet	0,089 **	0,056 *	-0,009 NS
	JFM	csapadék	0,094 NS	-0,438 ***	-0,434 ***
		hőmérséklet	-0,061 NS	0,192 ***	0,083 NS
Szombat-hely	egész év	csapadék	0,037 NS	-0,133 ***	-0,193 ***
		hőmérséklet	0,093 ***	0,081 **	0,022 NS
	JFM	csapadék	0,040 NS	-0,349 ***	-0,380 ***
		hőmérséklet	-0,062 NS	0,294 ***	0,189 ***



2. ábra: Az Észak-atlanti Oszcilláció (NAO) kapcsolata az Északi-sarki Oszcillációval (AO) 1899-2002 között. Determinációs együttható az ábrán feltüntetve.



3. ábra: A budapesti JFM havi csapadékösszegek és az AO index között felállított lineáris modellel elkészített diagnosztikus ábrák. Az ábrák magyarázatát lásd a szövegben. Homoszkedaszticitás: szórások különbözősége.



4. ábra: A budapesti állomás havi csapadékösszegeinek kapcsolata a NAO-val. Balra a Cook-távolság értékek az összes adatpont esetén. Három sorszámmal jelölt pont esetén volt kiugró érték. Jobbra a keresztkorrelációk ± 36 hónap r-értékei. A negatív eltérések értelmesek itt számunkra, ugyanis abban az esetben a csapadékösszegek késleltetve válaszolnak a NAO index változásaira.

Eredmények. Korreláció- és szignifikancia-elemzés. Az előzetes ismeretek alapján azt feltételeztem, hogy az AMO pozitívan korrelál majd a hőmérséklettel, vagyis magasabb tengerfelszín-hőmérséklet esetén magasabb hazai léghőmérséklet adódik és fordítva. Ezzel szemben megfigyelhető, hogy a lényegesen kisebb elemszámú minta esetén (JFM) nincs szignifikáns kapcsolat sem a hőmérséklettel, sem pedig a csapadékmennyiséggel. Az egész évre vonatkozó minta esetén viszont igen. Ez a nagyobb elemszám következménye, nem valós kapcsolat, ugyanis egy nagyobb mintán könnyebb szignifikáns eredményre jutni. Továbbá észrevehető, hogy az egész évre pozitív, míg csak a JFM esetén negatív korrelációs együtthatók jöttek ki, vagyis nulla körül ingadoznak (2. táblázat). A nagyon alacsony korrelációs együtthatók miatt nem tekintem bizonyítottnak az AMO hatását a vizsgált csapadék és hőmérséklet idősorokra. A havi csapadékösszegek negatívan korrelálnak az AO/NAO index értékeivel, vagyis negatív fázis alatt csapadékosabb az időjárás, míg a pozitív szakaszban szárazság jellemző hazánkban. A Pearson-féle korrelációs együttható $-0,2$ körüli egész évben, míg csak a JFM időszakot nézve $-0,4$ körül szór. Vagyis kifejezetten a téli időszak csapadékmennyiségeire vannak befolyással az oszcillációk, ami nagy jelentőségű, hiszen a téli félév többlet-csapadéka, ha elmarad, akkor nyáron az aszályok kialakulásának kedvez. A hőmérséklettel már más a helyzet: itt a NAO-val áll fenn esetenként gyenge pozitív korreláció ($r = 0,2$ körüli), vagyis a NAO téli havi átlaghőmérsékletekre is hatással van. A NAO pozitív szakaszában magasabb, míg a negatívban az alacsonyabb hőmérséklet gyakoribb. Ez egyértelműen kapcsolatban áll a csapadékkal és a felhőborítással: pozitív szakaszban szárazabb, derültebb időjárás jellemző, így több besugárzás éri a felszínt, míg a negatív fázisban több az alacsony szintű felhőzet, ami több napsugárzást ver vissza. A többi korreláció olyan alacsony, hogy említésre sem méltó, hiába statisztikailag szignifikánsak, nem fogadhatók el valós kapcsolatnak. A NAO szoros kapcsolatban áll az AO-val, hiszen tulajdonképpen az AO részeként értelmezhető. Viszont az AO nagyobb térbeli kiterjedésű (é. sz. $20-90^\circ$, ny. h. 180° és k. h. 180° között), mint a NAO (é. sz. $20-70^\circ$, ny. h. 90° és k. h. 40° között). A Pearson-féle r érték az egész évre $0,885$ és a JFM időszakra $0,922$ (2. ábra). Tehát a két éghajlati oszcilláció szorosan együtt mozog, mindkettő jól kifejezi a légnyomás-anomáliákat, melyek a futóáramlás helyzetét és erősségét befolyásolják.

Lineáris modell feltételeinek vizsgálata. Az analízisben a diagnosztikus ábrák a lineáris modellek feltételeinek grafikus ellenőrzésére szolgálnak. Meg kell vizsgálni, hogy helyes-e a

modell szisztematikus része (linearitás), a modell véletlen részét konstans variancia, korrelálatlanság és normalitás jellemzi, valamint torzító/befolyásoló pontok keresése is szükséges, melyek hatása az illesztett modellre a többi adatponthoz képest nagyobb. Példaként a budapesti havi csapadékadatok (JFM) és az AO kapcsolatát leíró lineáris modell diagnosztikáját mutatom be a 3. ábrán. A vizsgált adatokat elemezve megállapítható, hogy: a maradékokban nincsen trend, ezért a lineáris kapcsolat jó közelítés (lásd „Reziduumok kontra illesztett értékek”); a reziduumok eloszlása viszonylag közel van a normális-hoz (lásd „Normál Q-Q”); a variancia állandóságot mutat, azaz a standardizált reziduumok egyenletesen (random) oszlanak el, terjednek szét a prediktorok tartománya mentén (lásd „Reziduumok homoszkedaszticitása” – valószínűségi változók egy sorozata homoszkedasztikus, ha minden, a sorozatban levő változó varianciája ugyanaz.). A „Reziduumok kontra befolyásolás” résznél torzító adatpontok figyelhetők meg, ahol a pontoknak a Cook-távolságon belül kell lennie. A számozott pontok lehetnek gyanúsak (a számok a megfigyelés sorszámát jelentik az adatsorban, így visszakereshetők). A Cook-féle távolság az illeszkedés megváltozásának standardizált mértéke, ha az adott megfigyelést kivesszük az adatok közül.

Keresztkorreláció, Cook-féle távolság és a legcsapadékosabb hónapok vizsgálata. A keresztkorreláció számításából kiderült, hogy a késleltetett hatások nem meghatározóak. Példaként a budapesti csapadékadatok és a NAO kapcsolatát hoztam fel. A legmagasabb korrelációt az időbeli eltolás nélküli kapcsolat adta, bár megjegyzendő, hogy a kék szaggatott vízszintes vonallal jelölt 95%-os konfidenciaszintet néhány esetben átlépi az időben eltolt havi csapadékösszegek és a NAO közötti korrelációk, de nagyon kis mértékben (4. ábra). A Cook-féle távolság alapján jól kivehetők a legcsapadékosabb hónapok torzító adatpontjai (4. ábra). Befolyásolják a regressziós illesztést (az iránytangens, a korrelációt stb.), de kivenni nem szabad ezeket, mert helyes mérési értékek. Úgy döntöttem, hogy a Cook-féle távolság alapján válogatom le a legkiemelkedőbb csapadékot hozó hónapokat adatsoronként (csak 2002-ig, ugyanis az AO adatsor sajnos idáig tart), és összehasonlítom az AO és a NAO értékeivel. A Cook-távolságokat külön kiszámoltam az összes pont adattáblájára, és csak a JFM időszak adattáblájára is, és az így kapott kiugró adatpontokat kigyűjtöttem egy táblázatba.

Hierarchikus osztályozás. A leválogatott adatpontokra agglomeratív, hierarchikus osztályozást végeztem euklideszi távolság alapján egymástól elkülönülő csoportok képzésére a PAST nevű programmal, az UPGMA algoritmust alkalmazva, a csapadék, az AO és a NAO változók használatával. Összesen három egymástól jól elkülönülő klasztert lehet elhatárolni, illetve az egyiket két alosztályra bontva (jelölések: I., II./a, II./b, III.). A faág szerkezet az 5. ábrán látható. A kapott felosztás érvényességét, azaz a klaszterek validitását mérő, az eredeti távolságok és a származtatott távolságok közötti Pearson-féle korrelációs együttható értéke elég szoros: 0,79, tehát

3. táblázat: A hierarchikus osztályozás során létrehozott csoportok. A megjegyzésekben jelölve az utólag áthelyezett elemek Megjegyzés: *áthelyezve II/b-ből, **áthelyezve II/a-ból, ***kivéve innen: I., ****kivéve innen: II/b, *****kivéve innen: II/a, *****kivéve innen: III.

I. klaszter: sok csapadék, gyenge pozitív/negatív AO/NAO fázis, túlnyomó részt nyáron

Év/hónap	Csapadék (mm)	AO index	NAO index	Sorszám	Állomás	Megjegyzés
1914/07	224,4	-0,467	-0,34	25	Szombathely	
1955/07	182,1	0,641	0,72	23	Szeged	
1955/08	263,1	0,185	0,58	3	Budapest	
1970/06	164,5	0,964	0,81	9	Debrecen	*
1970/08	232,3	-0,117	-0,24	10	Debrecen	
1999/06	237,8	0,196	1,03	5	Budapest	
2001/06	199,0	-1,960	-0,3	24	Szeged	

II./a klaszter: sok csapadék, erős negatív AO/NAO, JFM időszakban

Év/hónap	Csapadék (mm)	AO index	NAO index	Sorszám	Állomás	Megjegyzés
1916/03	95,3	-2,371	-1,99	26	Szombathely	
1936/02	103,9	-3,133	-2,24	14	Pécs	
1936/02	130,5	-3,133	-2,24	1	Budapest	*
1937/03	104,0	-2,639	-1,94	20	Szeged	
1937/03	148,2	-2,639	-1,94	27	Szombathely	*
1937/03	155,4	-2,639	-1,94	2	Budapest	*
1942/02	102,9	-2,329	-3,03	21	Szeged	
1947/02	109,7	-5,275	-5,04	29	Szombathely	
1969/02	136,0	-2,957	-2,79	4	Budapest	*

II./b klaszter: sok csapadék, gyenge pozitív/negatív AO/NAO fázis, JFM időszakban

Év/hónap	Csapadék (mm)	AO index	NAO index	Sorszám	Állomás	Megjegyzés
1904/02	125,7	0,251	0,1	19	Szeged	
1914/03	146,1	0,040	0,26	13	Pécs	
1915/01	105,4	-1,181	-0,59	6	Debrecen	**
1919/03	100,4	-0,996	-0,46	7	Debrecen	**

III. klaszter: kevés csapadék, erős negatív AO/NAO, JFM időszakban

Év/hónap	Csapadék (mm)	AO index	NAO index	Sorszám	Állomás	Megjegyzés
1940/01	25,3	-3,500	-3,05	28	Szombathely	
1940/01	23,8	-3,500	-3,05	15	Pécs	
1958/03	12,9	-2,706	-3,12	17	Pécs	
1969/01	10,6	-3,028	-3,27	8	Debrecen	
1977/01	53,3	-3,329	-2,46	11	Debrecen	

Egyéb

Év/hónap	Csapadék (mm)	AO index	NAO index	Sorszám	Állomás	Megjegyzés
1944/11	196,8	-1,604	-0,9	16	Pécs	***
1952/11	154,8	-1,899	-1,19	22	Szeged	****
1984/01	106,1	1,212	2,06	18	Pécs	*****
1990/03	6,4	3,397	3,07	12	Debrecen	*****

kijelenthető, hogy az osztályozás megfelelő. Mégis, szükség volt néhány elem átcseréléséhez – főleg a II./a és a II./b jelzésű klaszterek között – és kivételéhez. Az eredményeket a 3. táblázatban foglaltam össze. Az alábbi osztályok különíthetők el:

I. klaszter: sok csapadék, gyengén pozitív/negatív AO/NAO fázis, nyáron,

II./a klaszter: sok csapadék, erősen negatív AO/NAO fázis, JFM időszakban,

II./b klaszter: sok csapadék, gyengén pozitív / negatív AO/NAO fázis, JFM időszakban,

III. klaszter: kevés csapadék, erősen negatív AO/NAO fázis, JFM időszakban,

Egyéb kategória: az osztályokból kivett, nem oda tartozó elemek.

I. klaszter: a nyári időszak csapadékában nem meghatározó az AO/NAO szerepe, hanem itt más tényezők játszanak szerepet a rendkívüli csapadékok kialakításában. Például 1955 augusztusában Budapesten 263 mm csapadék esett, mégis nulla körüli indexértékek uralkodtak. Korrelálatlanság jellemző.

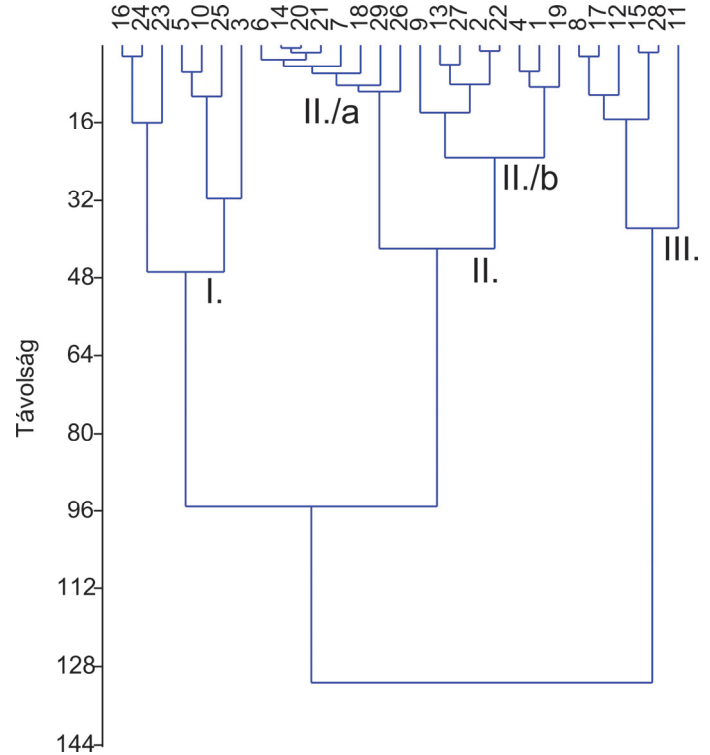
II./a klaszter: számunkra ez a legérdekesebb. Az AO/NAO erőteljes hatása figyelhető meg az extrém csapadékok kialakításában. Ez kimondottan a téli időszakban, azon belül is január-március között jellemző. Az egyéb kategóriába tartozó elemek között van két novemberi időpont is, ahol az AO/NAO index értékei bár negatívak, de mégsem olyan alacsonyok, mint a JFM időszakban, ezért csupán feltételezhető, hogy ezek kialakításában szerepe volt az oszcillációknak. 1947 februárjában mérték a legalacsonyabb indexértékeket: AO = -5,275 és NAO = -5,05. Budapesten 115,9 mm csapadék hullott, ebből 96,5 mm hó formájában, míg Szombathelyen 109,7 mm-ből 97,1 mm volt a hó (6. ábra). A sarki örvénylés összeomlása miatt a futóáramlás meggyengült, hullámozni kezdett, ami nagy csapadékkal járó hidegbetöréshez vezetett. A hideg sarki levegő lezúdult a Földközi-tenger medencéjébe, ahol nagy kiterjedésű mediterrán ciklon jött létre (az itt található meleg levegő a beérkező hideg levegővel keveredve erőteljes felhő- és csapadékképződéshez vezetett), amely a futóáramlással északkelet felé tovaterjedt és elérte hazánkat. 2013-ban is hasonló történt – szintén erős negatív AO/NAO fázisban (Horváth, 2013). Az alábbi legkiemelkedőbb csapadékeseményekben játszhatott döntő szerepet az AO/NAO: 1916/03, 1936/02, 1937/03, 1942/02, 1947/02 és 1969/02.

II./b klaszter: sok esetben nem játszottak szerepet az extrém csapadékok kialakításában az éghajlati oszcillációk a JFM időszakban, így például: 1914 márciusában, 1915 januárjában (Budapest, Debrecen és Pécs) stb. Gyenge pozitív/negatív AO/NAO fázisok uralkodtak.

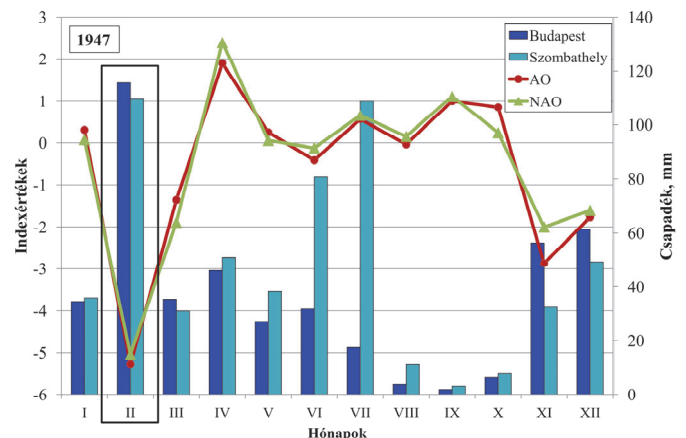
III. klaszter: néha erősen negatív indexértékek esetén is csak minimális csapadék hullott a JFM időszakban,

vagyis más tényezők hatása volt döntő az átlag alatti csapadékhullásban. Például 1940, 1969 és 1977 januárjában, illetve 1958 márciusában.

Az egyéb kategóriába rakott események közül kitűnik 1990 márciusának esete. Akkor minimális csapadék hullott nagyon erős pozitív fázisban (15,7 mm Szegeden, 6,4 mm Debrecenben és Budapesten mindössze 3,9 mm).



5. ábra: A PAST programmal készült osztályozás dendrogramja. Y tengelyen a távolságok, az X tengelyen az elemek sorszámjai vannak feltüntetve.



6. ábra: Az 1947. év csapadékviszonyai a budapesti és a debreceni meteorológiai állomás adatai szerint és az Arktikus Oszcilláció és az Észak-atlanti Oszcilláció értékei.

Ezen felül 1990 márciusában volt a valaha mért legmagasabb havi átlaghőmérséklet 1901 és 2010 között. Szegeden 9,3 °C (az átlag: 5,8 °C) Debrecenben 8,5 °C (az átlag: 4,8 °C), Budapesten 10,3 °C átlaghőmérsékletet mértek (az átlag: 6,2 °C). A napfénytartam is átlag feletti volt. Az esemény magyarázata lehet, hogy nem szakadt fel a sarki örvénylés (erősen pozitív AO), az izlandi mi-

nimum és az azori maximum között nagy volt a nyomáskülönbség (NAO pozitív fázis), ezért a futóáramlás erős volt, északabbra húzódott, elzárta a sarki hideg levegő útját. Ilyenkor Európa déli részét szárazság sújtja, míg északi része csapadékosabb, mert a ciklonok pályái is északabbra húzódnak.

Befejezés. Egy rövid áttekintését nyújtottam a globális felmelegedés feltételezett, várható hatásairól a térségünkben. A globális felhőzet hosszú távon csökkenő, a specifikus nedvesség növekvő trendet mutat, tehát a globális felmelegedés a szárazodási folyamatoknak kedvez, itt hazánkban is. Az összes időjárási eseményre hatással van az éghajlatváltozás, ugyanis azok melegebb és nedvesebb környezetben játszódnak le, mint azelőtt (Trenberth, 2012). Az antropogén klímaváltozás ciklonpályákra és a futóáramlásra gyakorolt hatásának a mikéntje bizonytalan az egymással vetélkedő termodinamikai folyamatok miatt (Shaw et al., 2016). Például az Északi-sarki Felerősítés csökkenti az Egyenlítő és a sarkok közötti hőmérsékletkülönbséget, így a viharok pályáit az Egyenlítő felé tolja el, ami az időjárás változékonyaságához járulhat hozzá a közepes szélességeken. Ezzel szemben a trópusi felső troposzféra melegeése (a fokozott konvekció miatt) növeli a baroklinitást és a viharok pályáit a pólusok felé tolja el.

Az éghajlatingadozások vagy klímaoscillációk számos szélsőséges időjárási eseményért felelnek (hőhullámok, aszályok, extrém csapadék), így azok hatásainak értékelése is nagy fontossággal bír a szárazodás kapcsán. Hatásuk többnyire rövid időtávra (hónapok, évek) válik meghatározóvá, viszont hosszú távú monoton trendet nem mutatnak. A szélsőséges időjárási események előrejelzése, valamint az azokra való felkészülés elengedhetetlen fontosságú a környezeti (mezőgazdasági és ökológiai) károk mérsékléshez.

A mediterrán ciklonok gyakran okoznak jelentős mennyiségű csapadékot hazánkban, így azok elmaradása aszályok kialakulásához vezethet (Horváth és Nagy, 2012). A sarki örvénylés felszakadása 1947 februárjában vagy 2013 márciusában jelentős csapadékhullást eredményezett, döntően erős havazás formájában (negatív AO fázis). Továbbá, ha az azori térségben gyengén kifejlett az anticiklon (negatív NAO fázis), akkor az Egyenlítő felől érkező, nedvességet hozó légköri folyamatok számára a „nedvességkapu” kitérül, nagyon csapadékos évet hozva. Jó példa erre a rekord nagyságú évi csapadékösszeg 2010-ben (959 mm). Ezzel szemben száraz évet hoz, ha erős marad a futóáramlás tavasszal (pozitív AO) és a hidegbetörés elmarad, illetve a mediterrán ciklonok gyakorisága csökken a saharai leszálló légmozgások csapadékoslató hatása miatt (erős azori maximum, pozitív NAO). Előbbire 1990 márciusa, míg utóbbira a 2011. év jó példa (404 mm).

Öt meteorológiai állomás havi csapadék és hőmérséklet idősora valamint a klímaoscillációk között valós kapcsolatot véltem felfedezni. Az AO és a NAO a csapadékösszeg között negatív (mind egész évben, mind pedig a január-március időszakot tekintve), míg a NAO és a hőmérséklet között pozitív korreláció áll fenn, kizárólag a január-március időszakban. Ez megerősíteni látszik a

korábbi hazai kutatások eredményeit. Úgy gondolom, hogy ezekre az éghajlati folyamatokra kellene kiemelt hangsúlyt helyezni a hazánk középső részeit sújtó szárazodás, aszályok, illetve a csapadékszelsőségek kutatásában, melyek egyértelmű hatást fejtenek ki a felszíni és felszín alatti vizeinkre, talajainkra és a vegetációra egyaránt. Sőt, közvetve a talajvizek, a talajok és a vegetáció változásain keresztül letompítva, az időjárási-éghajlati folyamatok tükröződnek vissza, tehát azok az éghajlat változásával és ingadozásával magyarázhatók.

Irodalom

- Blanka, V., Ladányi, Zs. és Mezősi, G., 2014: A jövőben várható klímaváltozás a régióban. In: Blanka, V., Ladányi, Zs. (szerk.): Aszály és vízgazdálkodás a Dél-Alföldön és a Vajdaságban/Drought and water management in South Hungary and Vojvodina. *Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi Tanszék Szeged*, 142–151.
- Daróczy, D., 2014: Csapadékhozamok 2013-ban. *Időkép*. <http://www.idokep.hu/hirek/csapadekhozamok-2013-ban> (letöltve: 2016. 09. 14.)
- Dole, R., Hoerling, M., Perlwitz, J., Eischeid, J., Pegion, P., Zhang, T., Quan, X-W., Xu, T. and Murray, D., 2011: Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophysical Research Letters* 38(6), DOI: 10.1029/2010GL046582
- Eastman, R. and Warren, G. S., 2013: A 39-Year Survey of Cloud Changes from Land Stations Worldwide 1971–2009: Long-Term Trends, Relation to Aerosols, and Expansion of the Tropical Belt. *Journal of Climate* 26, 1286–1303. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00280.1
- Enfield, D. B., Mestas-Nunez, A. M. and Trimble, P. J., 2001: The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S.. *Geophysical Research Letters* 28, 2077–2080.
- Grumm, R. H., 2011: The Central European and Russian Heat Event of July–August 2010. *Bulletin of the American Meteorological Society* 92, 1285–1296. DOI: 10.1175/2011BAMS3174.1
- Gulácsi, A. and Kovács, F., 2015: Drought Monitoring with Spectral Indices Calculated From Modis Satellite Images in Hungary. *Journal of Environmental Geography* 8, 11–20. DOI: 10.1515/jengeo-2015-0008
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D., 2001: PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4, 9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Horváth, Á. és Nagy, A., 2012: 2011–2012 rendkívüli aszályai. *Természet Világa* 143(12) <http://www.termeszettvilaga.hu/szamok/tv2012/tv1212/horvath.html>
- Horváth, Á., 2013: A márciusi 14-15-i hóvihár meteorológiai elemzése. *OMSZ*, 2013-03-16. http://www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/index.php?id=597
- Hurrell, J. W. and Deser, C., 2009: North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *J. of Marine Systems* 78(1), 28–41. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2008.11.026
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottersen, G. and Visbeck, M. (eds.), 2003: The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact. *Geophysical Monograph* 134, American Geophysical Union, Washington, D.C. pp. 279
- Ionita, M., Lohmann, G., Rambu, N., Chelcea, S. and Dima, M., 2012: Interannual to decadal summer drought variability over Europe and its relationship to global sea surface temperature. *Climate Dynamics* 38, 363–377. DOI: 10.1007/s00382-011-1028-y

- IPCC, 2013: Climate change 2013: The physical science basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., et al. (eds.): Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jánosi, I. és Tél, T., 2012: Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába. Légtörő, óceáni folyamatok és éghajlati hatásai. *ELTE TTK Fizikai Intézet*, Budapest. pp. 223, www.karman.elte.hu/doc/bev-kornyaram-Janosi-Tel.pdf
- JISAO, 2016: Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, USA. <http://research.jisao.washington.edu/ao/> (letöltve: 2016. 09. 16.)
- Kohán, B., 2014: GIS-alapú vizsgálat a Duna-Tisza közti homokhátság szárazodásának témakörében. Doktori értekezés. pp. 142, http://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2014/kohan_b.pdf
- Kryzhev, V. N. and Gorelits, O. V., 2015: The Arctic Oscillation and Its Impact on Temperature and Precipitation in Northern Eurasia in the 20th Century. *Russian Meteorology and Hydrology* 40, 711–721. DOI: 10.3103/S1068373915110011
- Lakatos, M., Bihari, Z. és Szentimrey, T., 2014: A klímaváltozás magyarországi jelei. *Légtörő* 59, 158–163.
- Lomborg, B., 2016: Impact of Current Climate Proposals. *Global Policy* 7, 109–118. DOI: 10.1111/1758-5899.12295
- Mandl, É., 2009: Az Észak-atlanti Oszilláció hatása a Kárpát-medence térségének éghajlatára. *Szakdolgozat. ELTE Meteorológiai Tanszék*, Budapest. pp. 53, http://nimbus.elte.hu/tanszek/docs/MandlEva_2009.pdf
- NCAR, 2015: Climate Analysis Section, Boulder, USA. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based> (letöltve: 2015. 10. 25.)
- NOAA AOML, 2015: Physical Oceanography Division, USA. http://www.aoml.noaa.gov/phod/amo_faq.php (letöltve: 2015. 10. 19.)
- NOAA ESRL, 2016: Physical Sciences Division, USA. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/> (letöltve: 2016. 09. 14.)
- NOAA GSFC, 2016: Arctic Ozone Watch, USA. http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/vortex_NH.html (letöltve: 2016. 09. 15.)
- NOAA, 2011: Natural Variability Main Culprit of Deadly Russian Heat Wave That Killed Thousands. http://www.noaanews.noaa.gov/stories2011/20110309_russianheatwave.html (letöltve: 2016. 09. 18.)
- OMSZ, 2016: www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok (letöltve: 2016. 09. 14.)
- Pálfai, I., 2011: Aszályos évek az Alföldön 1931–2010 között. In: Rakonczai, J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. *Nagyalföld Alapítvány Kötetei* 7, 87–96.
- R Core Team, 2013: R: a Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna. <http://www.R-project.org>
- Rakonczai, J. és Fehér, Zs., 2015: A klímaváltozás szerepe az Alföld talajvízkészleteinek időbeli változásaiban. *Hidrológiai Közöny* 95(1), 1–15.
- Rakonczai, J., 2013: A klímaváltozás következményei a délföldi tájon. (A természeti földrajz változó szerepe és lehetőségei.) *Akadémiai doktori értekezés*. Szeged. pp.167, http://real-d.mtak.hu/612/7/RakonczaiJanos_doktori_mu.pdf
- Schlesinger, M. E. and Ramankutty, N., 1994: An oscillation in the global climate system of period 65–70 years. *Nature* 367, 723–726.
- Shaw, A. T., Baldwin, M., Barnes, E. A., Caballero, R., Garfinkel, C. I., Hwang, Y., Li, C., O’Gorman, P. A., Riviere, G., Simpson, I. R. and Voigt, A., 2016: Storm track processes and the opposing influences of climate change. *Nature Geoscience* 9, 656–664. <http://dx.doi.org/10.1038/NNGEO2783>
- Sokal, R. R. and Michener, C. D., 1958: A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas Science Bulletin* 38, 1409–1438.
- Somlyódy, L. (szerk.), 2011: Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok. *MTA*, Budapest. http://old.mta.hu/data/Strategiai_konyvek/viz/viz_net.pdf
- Thompson, D. W. J. and Wallace, J. M., 1998: The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters* 25, 1297–1300. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/98GL00950/pdf>
- Trenberth, K. E., 2012. Framing the way to relate climate extremes to climate change. *Climatic Change* 115, 283–290. DOI:10.1007/s10584-012-0441-5
- Völgyesi, I., 2000: A Homokhátság felszínalatti vízháztartása. Vízpótlási és vízvisszatartási lehetőségek. *VÖLGYESI Mérnökiroda Kft.*, Budapest, pp. 11 p. <http://volgyesi.uw.hu/dokuk/homokhatsag.pdf>
- Wikipedia, 2003: European heat wave. https://en.wikipedia.org/wiki/2003_European_heat_wave (letöltve: 2016. 09. 18.)
- Wikipedia, 2016: Ridiculously Resilient Ridge. https://en.wikipedia.org/wiki/Ridiculously_Resilient_Ridge (letöltve: 2016. 09. 18.)
- Willet, K. M., Williams Jr., C. N., Dunn, R. J. H., Thorne, P. W., Bell, S., de Podesta, M., Jones, P. D. és Parker, D. E., 2013: HadISDH: an updateable land surface specific humidity product for climate monitoring. *Climate of the Past* 9, 657–677. DOI: 10.5194/cp-9-657-2013
- Zsilinszki A., Dezső Zs., Bartholy J. és Pongrácz, R., 2015: A futóáramlás (jet-stream) szinoptikus klimatológiai vizsgálata a Kárpát-medencében. *ELTE Egyetemi Meteorológiai Füzetek* 26, 92–96. <http://nimbus.elte.hu/oktatas/metfuzet/EMF026/PDF/15-Zsilinszki-et-al.pdf>

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

A LÉGKÖR célja a meteorológia tárgykörébe tartozó kutatási eredmények, szakmai beszámolók, időjárási események leírásának közzétevése. A lap elfogad publikálásra szakmai úti beszámolót, időjárási eseményt bemutató fényképet, könyvismertetőt is. A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzőkkel nem közöljük. Közlésre szánt anyagokat kizárólag elektronikus formában fogadjuk 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 ábraleírásokat. 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 fogadjuk 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.

A JÉGRÉSZECSKÉK SZEREPE A NEM-INDUKTÍV TÖLTÉSSZÉTVÁLASZTÁSI FOLYAMATOKBAN

THE ROLE OF THE ICE PARTICLES IN THE NON-INDUCTIVE CHARGE SEPARATION PROCESSES

Kordás Nóra, Ács Ferenc

OMSZ Marcell György Főobszervatórium, 1675 Budapest, Pf. 39., kordas.n@met.hu
ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A., acs@caesar.elte.hu

Összefoglalás. Az ún. nem-induktív töltésszétválasztási elmélet a zivatarfelhők töltésszerkezetének és elektromos jelenségeinek kialakulását értelmezi. Az elmélet szerint a töltésszétválasztási folyamatokban a víz fázisátalakulásai, a jégreszecskek zúzmarsodása és olvadása, valamint ütközéseik akár közvetve, akár közvetlenül meghatározó folyamatok (Saunders, 2008). Kiemelendő, hogy e folyamatok skálartartománya széles határok között változik: a molekuláris méretektől (10^{-10} m) a felhőelemek tipikus méretéig (10^{-5} – 10^{-4} m). Az elmélet megismerésével meggyőződhetünk arról is, hogy a víz s a jég a tűz teremtői.

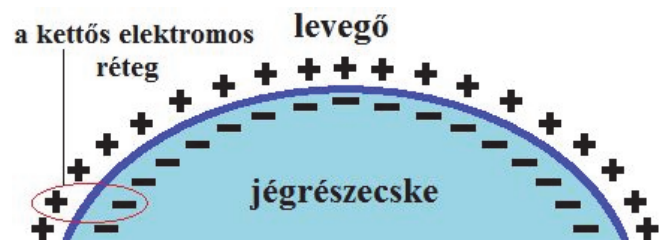
Abstract. The non-inductive charge separation theory explains the charge structure and the formation of electrical phenomena of the thunderstorms. In charge separation processes, the phase transitions of water, the accretion and melting of ice particles as well as their collisions are important processes either directly or indirectly (Saunders, 2008). It's to be highlighted, the scale of these processes changes between the molecular scale (10^{-10} m) and the typical cloud particle scale (10^{-5} – 10^{-4} m). By knowing the theory, it is ascertained that water and ice are the makers of fire.

Bevezetés A felhők töltésszerkezete és elektromos folyamatai a meteorológia egyik legismeretlenebb témaköre (Yair *et al.*, 2008). Ennek több oka van, de az egyik alapvető ok az, hogy a termodinamikai meghajtású időjárás és éghajlat függetleneknek tekinthetők a légkör elektromos folyamataitól. Mindezek ellenére a témakör népszerűsége markánsan nő (Yair *et al.*, 2008). A töltésszétválasztási folyamatok elmélete kitüntetett szereppel rendelkezik (MacGorman and Rust, 1998). Mi a nem-induktív típusú töltésszétválasztási folyamatokra összpontosítunk, első sorban azért, mert – a Saunders (2008) tanulmányából is látható módon – az itt lelhető ismeretanyag manapság már óriásira duzzadt. Célunk egy olyan áttekintés bemutatása, melyben a jégreszecskek szerepére világítunk rá a molekuláris méretektől (10^{-10} m) a felhőelemek tipikus méretéig (10^{-5} – 10^{-4} m) terjedően.

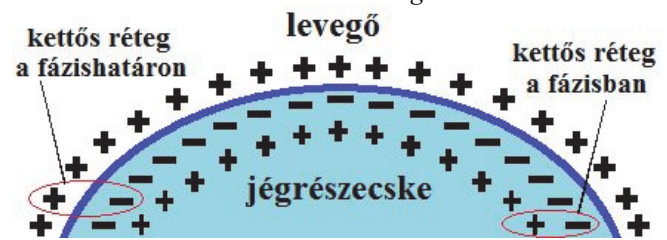
A fázisátalakulásokkal kapcsolatos molekuláris skálájú töltésszétválasztási folyamatok. A zivatarfelhőkben a víz több fázisban is megtalálható: a vízgőzmolekulák rendezetlenül mozognak, míg a hidrogénkötéssel egymáshoz kapcsolódó H_2O molekulák vagy vízcseppeket, vagy jégkristályokat alkotnak. Az egyszerűség kedvéért vizsgáljunk először egy jégreszecske, melyet levegő vesz körül. A felszínén negatív töltésű OH^- ionok helyezkednek el (ennek okát a későbbiekben megmagyarázzuk), ahogyan ez az 1. ábrán is látható. A jégreszecske felszínén levő negatív töltések ionizálják a környező levegőt. A negatív töltések közti taszítóerő hatására a negatív ionok (anionok) a jégreszecske-től távol kerülnek, mialatt az ellentétes töltések közti vonzóerő hatására a pozitív kationok pozitív töltésű réteget képeznek a jégreszecske körül. Így alakul ki a jégreszecske-levegő határfelületen az ún. kettős elektromos réteg (www.silver-colloids.com).

Mint láthattuk, ha a jégreszecskek felszínén például negatív töltések vannak, akkor a jégreszecske-levegő határfelületen kettős elektromos réteg alakulhat ki. A fő kérdés a továbbiakban az, hogy mely folyamatok hatására kerülnek negatív (ritkább esetben pozitív) töltések a jégreszecskek felszínére. A nem-induktív elmélet értelmében, a zivatarfelhőkben zajló töltésszétválasztási folyamatokhoz általában fázisátalakulások szükségesek. A depozíció, a fagyás és a kondenzáció exoterm, azaz hő-

felszabadulással járó kémiai folyamatok. Mindhárom fázisváltozás következtében negatív töltések helyezkednek el a jégreszecskek (ill. kondenzáció esetén a vízcseppek) felszínén, valamint kettős elektromos réteg alakul ki ezen hidrometeorok felszíne alatt. Vizsgáljuk részletesebben a depozíció esetén bekövetkező töltésszétválasztási folyamatokat. Depozíció során vízgőzmolekulák épülnek be a jégreszecskek kristályrácsába s eközben a vízgőzmolekulák mozgási energiájának egy része hővé alakul. A felszabaduló látens hő hatására a jégreszecskek egyes hidrogén kötései felszakadnak. Egy-



1. ábra. A jégreszecske-levegő határfelületen kialakuló kettős elektromos réteg



2. ábra. A jégreszecskeben és a közvetlen környezetében kialakuló töltésseloszlás

szeresen pozitív töltésű H^+ és egyszerűen negatív töltésű OH^- ionok keletkeznek. A pozitív ionok mozgékonyabbak, így a jégreszecske belseje felé diffundálnak a látens hő felszabadulással járó hőmérsékleti gradiens hatására, míg az OH^- ionokat a jégreszecske felszínén tartják a megmaradó kémiai kötések (Dash *et al.*, 2001). Mindezek a 2. ábrán is látható töltésseloszlást eredményezik a jégreszecskekben. A szublimáció, az olvadás és a párolgás endoterm, azaz hőelvonással járó kémiai folyamatok. Ezen fázisátalakulások is töltésszétválasztást okoznak. Azonban az exoterm folyamatoktól eltérően a jégreszecskek (ill. ritkább esetben a vízcseppek) felszí-

nén pozitív töltések is előfordulnak, s így a negatív töltések nem kerülnek túlsúlyba.

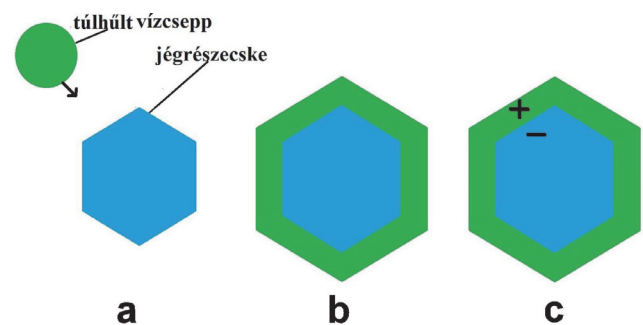
A hidrometeorokkal kapcsolatos töltésszétválasztási folyamatok. A jégrézecskek zúzmarásodásának és olvadásának tipikus skálatartománya 10^{-6} – 10^{-3} m. A fázisátalakulások molekuláris skálájúak, hozzájuk képest e skálatartomány makroszkopikusnak tekinthető, annak ellenére, hogy a felhőfizikában a felhőelemekkel kapcsolatos folyamatokat mikrofizikai folyamatoknak nevezük. Ez alapján a továbbiakban a zúzmarásodás és a jégrézecskek olvadásának hatására bekövetkező töltésszétválasztási folyamatokat is makroskálájú töltésszétválasztási folyamatoknak tekinthetők. Zúzmarásodás során a jégrézecske túlhűlt vízcseppel ütközik, majd a túlhűlt vízcsepp részben (nedves növekedés) vagy teljesen (száraz növekedés) ráfagy a jégrézecske felszínére (Geresdi, 2004). Zúzmarásodáshoz kapcsolódó makroszkopikus skálájú töltésszétválasztási folyamatokhoz sorolhatjuk a Workman-Reynolds-féle fagyási potenciált, az érintkezési potenciált, valamint a Hallett-Mossop féle jégrézecske-képző mechanizmus elektromos jelenségeit. **Workman-Reynolds-féle fagyási potenciál.** Workman és Reynolds már 1950-ben beszámoltak e zúzmarásodás közben észlelt töltésszétválasztási mechanizmusról. Kísérleteikkel igazolták, hogy mialatt a vízcsepp a jégrézecske felszínére fagy elektromos potenciálkülönbség alakul ki a jégrézecske borító vízréteg és a jégrézecske felszíne között. A 3.a ábrán a túlhűlt vízcsepp és a jégrézecske ütközése látható, a 3.b ábrán a túlhűlt vízcsepp már vízréteggént borítja be a jégrézecske felszínét. A 3.c ábra a fagyás folyamatában keletkező Workman-Reynolds-féle fagyási potenciált szemlélteti. Fontos kiemelni, hogy több módon jöhet létre potenciálkülönbség a vízréteg és a jégrézecske felszíne között. Johnson et al. (2014) kutatási eredményei azt sugallják, hogy a vízrétegben a pozitív, míg jégrézecske felszínének közelében a negatív ionok a kerülnek többségbe (ahogyan ez a 3. ábrán is látható).

Érintkezési potenciál. Számos kutatás igazolja, hogy zúzmarásodás közben elektromos töltések válnak szét, s ennek következtében negatív töltésűvé válik a jégrézecskek felszíne. Caranti et al., (1985) kísérletekkel bizonyította, hogy a zúzmarásodó jégrézecskek felszínén több negatív töltés van, mint a nem zúzmarásodó jégrézecskek felszínén.

Hallett-Mossop féle jégrézecske-képző mechanizmus elektromos jelenségei. Zúzmarásodáskor a *graupel* (durva, nem kristályos jég szem) mellett (a másodlagos kristályképződés, ez esetben ún. Hallett-Mossop jégrézecske-képző folyamat miatt) apró jégszilánkok is képződnek (Saunders, 2008). Hallett és Saunders (1979) vizsgálták a *graupel* és a jégszilánkok elektromos töltését. Úgy vélték, hogy a zúzmarásodás következtében növekvő jégrézecskek pozitív töltésűek a keletkező jégszilánkok negatív töltéséhez képest. A 4. ábra lépésről lépésre mutatja a Hallett-Mossop féle jégrézecske képző mechanizmust és elektromos jelenségeit a zúzmarásodásból kiindulva (4.a, b és c ábrák). A 4.b ábra a jégrézecske és az őt körülvevő vékony vízréteget szemlélteti. Ezen vékony vízréteg általában hirtelen és igen rövid idő alatt

fagy meg (Saunders, 2008). A 4.c ábra élénk kék színnel szemlélteti e fagyott réteget. A gyors fagyás hatására mechanikai feszültség keletkezik a jégrézecskekben. A felgyülemelő feszültség a jégrézecske felszínének töredezését okozza s így a 4.d ábrán is látható apró jégtöredékek, jégszilánkok képződnek (Saunders, 2008). Mint láthattuk, zúzmarásodás során negatív töltésűvé válik a jégrézecskek felszíne. Értelmezésünk szerint e negatív töltésű jégfelszínről leváló jégszilánkok negatív töltéseket „szállítanak el” a jégrézecskekről, így a jégrézecskek felszíne pozitív töltésűvé válik. A jégrézecskek olvadásakor a jégrézecske felszíne előbb megolvad, majd apró vízcseppek sodródhatnak le róla (Geresdi, 2004). Dinger és Gunn (1946), Dinger (1964), valamint Drake (1968) kutatásai igazolják, hogy a *graupel* olvadásakor közben makroszkopikus skálájú töltésszétválasztási folyamat lép fel.

Olvadó *graupel* elektromos töltése. A jégrézecskek többsége a zivatarfelhők magasabb régióiban képződik, majd egy meghatározott méret elérése után esni kezdenek (Geresdi, 2004). Esésük közben egyes folyamatok (pl.: depozíció, érintkezési potenciál) hatására a jégrézecskek felszíne negatív töltésűvé válik. Mikor a negatív



3. ábra: Zúzmarásodó jégrézecske és a Workman-Reynolds féle fagyási potenciál

tív töltésű *graupel*ek eléri a 0°C -os szintet, olvadni kezdenek, s miután teljesen elolvadnak, pozitív töltésű esőcseppekként érik el a földfelszínt (Saunders, 2008).

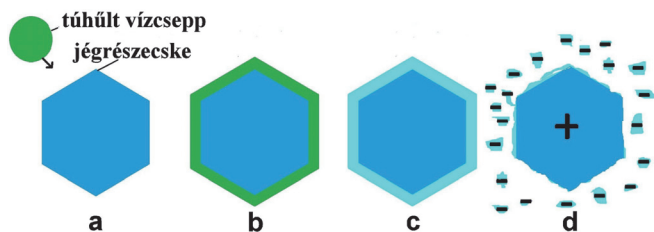
Drake (1968) szerint miközben a *graupel* felszíne megolvad, a *graupel*ben feláramlások jönnek létre. Mikor ezen feláramlások a *graupel* olvadt felszínéhez érnek, az olvadt vízrétegben buborékok pukkadnak ki (4.c ábra). A buborékok kipukkadásakor pedig apró, negatív töltésű vízcseppek jönnek létre (4.d ábra; Drake, 1968).

A *graupel* olvadásakor bekövetkező töltésszétválasztást következőképpen magyarázhatjuk. A *graupel* negatív töltésű felszíne megolvad, majd a buborékok kipukkanásának hatásaként keletkező kicsiny vízcseppek negatív töltéseket visznek magukkal, így a *graupel* pozitív töltésűvé válik.

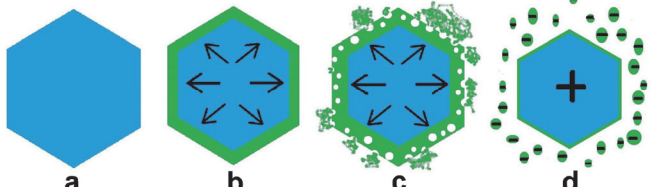
A jégrézecskek ütközésével bekövetkező töltésszétválasztási folyamatok. Az egymásnak ütköző jégrézecskek felszínén, a korábbiakban bemutatott töltésszétválasztási jelenségek hatására, elektromos töltések helyezkednek el. A következőkben a diszlokációs töltésszétválasztásra, a jégrézecskek termoelektromos jelenségeire, valamint a Dashielmélettel leírt és az ütközésekkel keletkező töltésszétválasztásra, végül az ütközések egyik kísérőjelenségére, a jégrézecskek töredezésére térünk ki.

Diszlokációs töltésváltoztatás. A jégkristályok hexagonális kristályrácsában különféle szerkezeti hibák, lyukak, ún. diszlokációk találhatóak. A diszlokációk mozognak és mozgásuk során pozitív töltéseket szállítanak (Keith and Saunders, 1990). A diszlokációk pozitív töltései vonzzák a jégrészecskében lévő negatív ionokat, így a diszlokációkat általában negatív töltésű ionok veszik körül (Saunders, 2008). A jégkristály/*graupel* ütközésekkor fellépő tömegtranszport is tartalmaz negatív ionokkal övezett pozitív töltésű diszlokációkat (Saunders, 2008), így a diszlokációs töltésváltoztatás is szerepet játszik a jégrészecskék ütközésekor zajló töltésszállításban (Keith and Saunders, 1990).

Jégrészecskék termoelektromos jelenségei. Termoelektromos jelenségnek nevezzük a valamilyen hőmérsékletkülönbség hatására kialakuló elektromos áram jelenséget az érintkező közegek határán. Mivel a különböző szerkezetű jégrészecskék között is vannak hőmérsékletkülönbségek, ezért e jégrészecskék érintkezési felületén is felléphet ez a jelenség. Latham and Mason (1961) szerint a jégkristályok és *graupel*ek ütközése során tapasztalhatunk termoelektromos jelenség alapú töltésszállítást. A zúzmarásodás hatá-



4. ábra: Zúzmarásodás, Hallett-Mossop-féle jégrészecske-képző mechanizmus és e folyamat hatására kialakuló töltéseloszlás.

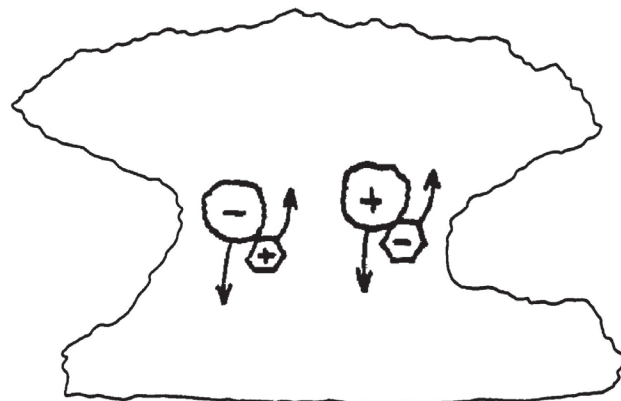


5. ábra: A *graupel* olvadása és hozzá kapcsolódó elektromos jelenség

sára a melegebb felszínű *graupel*ről „mozgékony”, pozitív töltésű kationok szállítódnak a hidegebb felszínű jégkristályra. Így az ütközést megelőző állapotához képest a *graupel* negatív, míg a jégkristály pozitív töltésűvé válik (Latham és Mason, 1961).

Dash-elmélet. A Dash-elmélet alatt Mason és Dash (2000), Dash et al. (2001), Dash and Wettlaufer (2003) tanulmányaiban foglaltakat értjük. Ezen, napjainkban széleskörűen elfogadott és alkalmazott elmélet részletesen, számszerűen tárgyalja a jégrészecskék ütközése előtt, az ütközések során, valamint az ütközéseket követően történő nem-induktív töltésváltoztatási mechanizmusokat. A jégrészecskék ütközésekor bekövetkező töltésváltoztatást döntően befolyásolja az ütközést megelőző depozíciós növekedésük, ill. szublimációjuk (Dash et al., 2001). A gyors depozíciós növekedés hatására egyrészt érdekessé válik a jégrészecskék felszíne, másfelől mivel rövid idő alatt nagyszámú vízgőzmolekula csapódik be a jég kristályrácsába, ezért e terhelés sok helyütt felszakítja a vízmolekulák kémiai kötéseit. Ionizáció megy végbe, amely OH^- egyszeresen negatív töltésű ionokat (anionokat) és H^+ egyszeresen pozitív töltésű iono-

kat (kationokat) eredményez. Az anionok a megmaradó hidrogénkötéseik hatására a jégrészecskék felszínén maradnak, míg a „mozgékony” kationok a jégrészecske belseje felé indulnak. A jégrészecskék felszíne az előbbieik hatására negatív, míg a belső tartományuk pozitív elektromos töltésűvé válik, így ún. kettős elektromos töltésű réteg alakul ki rajtuk (Dash et al., 2001). A depozíciós növekedés hatására a jégrészecskék felszínén elhelyezkedő negatív töltések mennyisége arányos a depozíciós növekedés mértékével (Dash et al., 2001). Fizikai szempontból két jégrészecske ütközése rugalmatlan ütközésnek számít, tehát az ütközésben résztvevő részecskék mozgási energiájának egy része hővé alakul. Ezen hő (és a felszabaduló depozíciós hő) hatására a két jégrészecske ütközésekor határfelületi olvadás megy végbe, mielőtt a mozgási energia megmaradó részének következtében szét pattannának (Dash et al., 2001). Az ütközés alatt végbemenő olvadás hatására, ha rövid időre is, folyadék réteg alakul ki a jégrészecskék között. Ezen folyadék réteg fontos szerepet tölt be az ütközéskor végbemenő töltésváltoztatásban (5. ábra) és a tömegáramlásban (Dash et al., 2001). Fontos megjegyezni, hogy az ütközések időtartama, általában, igen rövid, kb. 0,1 ms



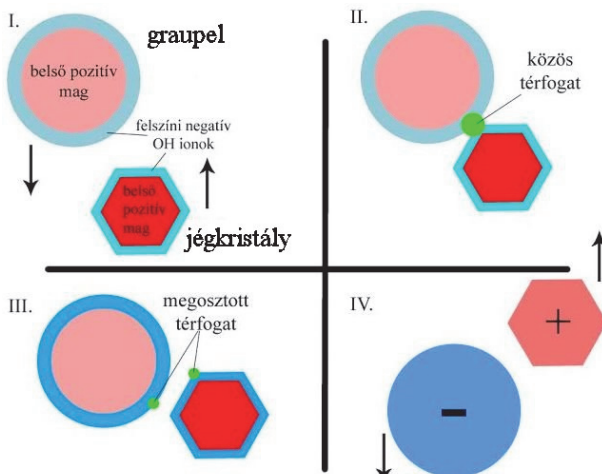
6. ábra: A zivatarfelhőkben a jégrészecskék ütközései és az ütközések során tapasztalható különböző töltésváltoztatási folyamatok (Saunders, 2008)

(Dash et al., 2001). Ez idő alatt – az esetek döntő többségében – csak a jégrészecskék felszínén lévő hidroxid-ionok diffundálnak az olvadékvízbe, mivel a pozitív kationok túl messze vannak, mélyebben a jégrészecskék belsejében (Dash et al., 2001). Mason és Dash (1999) leírásához hasonlóan, tekintjük az alacsony hőmérsékletű, depozíciós növekedésű, jelentős felszíni hidroxid-ion sűrűségű jégrészecskék és a magasabb hőmérsékletű, szublimáló, csekély hidroxid-ion sűrűségű jégrészecskék közötti ütközéseket. Ezen ütközéskor a depozíciós növekedésű jégrészecske felszíne kevésbé, a szublimáló jégrészecske felszíne nagyobb mértékben olvad meg. Az olvadt folyadékban a felszíni töltéssűrűség különbség kiegyenlítődik, majd a részecskék szét pattannak (Dash et al., 2001).

Mivel a depozíciós jégrészecskéről hidroxid-ionok távoznak, ezért a szét pattanást követően, az ütközést megelőző állapotához képest pozitív töltésűvé válik a felszíne. A szublimáló jégrészecskére az ütközés során hidroxid-ionok érkeznek, így az ő felszíne a szét pattanást követően, az ütközést megelőző állapotához képest negatív elektromos töltésűvé válik (Dash et al., 2001). Két depozíciós

jégrézecske ütközésekor a gyorsabban növekvő (a nagyobb depozíciós növekedésű) jégrézecskeről (mivel ő kezdetben több negatív töltéssel rendelkezik) szállítodnak el a negatív töltések (hidroxid-ionok), így pozitív töltésűvé válik (Dash *et. al.*, 2001).

A jégfelszín töredezése és elektromos jelenségei. A jégrézcskék ütközésének eddigi tárgyalása során, részben szándékosan, elhanyagoltuk azt a tényt, hogy az egymásnak ütköző jégrézcskék felszíne az ütközés során széttöredezik és a képződő jégtöredékek elektromos töltéssel rendelkeznek (Saunders, 2008). Ha adott egy jégrézecske, melynek felszínén elektromos töltések vannak, és ha ütközik egy másik jégrézcskével, melynek felszínén szintén töltések vannak, akkor e jégrézcskék ütközése során töltésszállítás alakul ki, miközben a felszínük is töredezik. Nyilvánvaló, hogy a keletkező jégtöredékek is, nagy eséllyel elektromos töltéssel fognak rendelkezni. Bár akad még megválaszolatlan kérdés a jégrézcskék töredezésének elektromos jelenségeivel kapcsolatban, a Saunders- féle (2008) cikk alapján



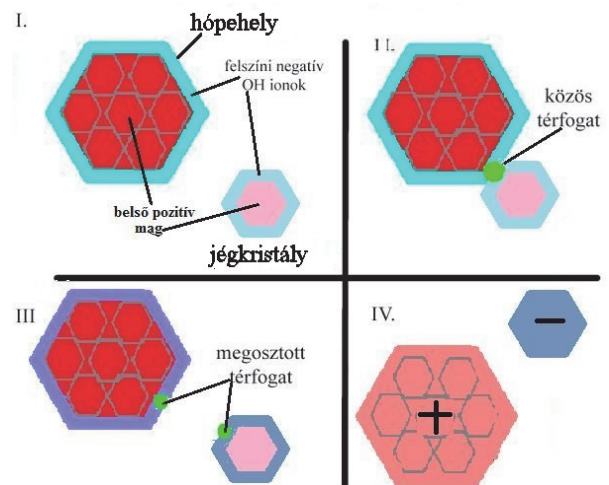
1. ábra: A jégkristály/graupel ütközések töltésszétválasztási folyamatai (Mona, 2011)

elmondható, hogy a depozíciós növekedésű és a szublimáló jégrézcskék közötti ütközések során keletkező jégtöredékek elektromos töltése aszerint alakul, hogy melyik jégrézcskeről váltak le. A depozíciós növekedésű jégrézcskeről levált jégtöredékek töltése a depozíciós jégrézecske töltésével, míg a szublimáló jégrézcskeről levált jégtöredékek töltése a szublimáló jégrézecske töltésével megegyező.

A zivatarfelhők nem-induktív töltésszétválasztási mechanizmusa. Eddig a jégrézcskével kapcsolatos töltésszétválasztási folyamatokról beszéltünk a molekuláris skálától a felhőelemek skálájáig terjedően. A következőkben azt taglaljuk, hogy az eddig tárgyalt töltésszétválasztási folyamatok hogyan alakulnak a zivatarfelhőkben, mert ezeket többnyire laboratóriumi körülmények között vizsgálták. A zivatarfelhőkben a felhőfizikai folyamatok egész sora zajlik: a legtöbb hidrometeor képződése, átalakulása vagy fogyása, a jégrézcskék mindhárom típusú növekedése (depozíció, zúsmarásodás, ütközéses növekedés), szublimációja, valamint olvadása (Geresdi, 2004). A nem-induktív elmélet szerint a jégrézcskék ezen felhőfizikai folyamatai töltésszétválasztást eredményeznek. Számos cikk egyetért abban, hogy a molekuláris, valamint a makroszkopikus skálájú nem-induktív töltésszétválasztási fo-

lyamatok, bár hozzájárulnak a zivatarfelhők töltésszerkezetének kialakulásához, önmagukban nem magyarázzák a megfigyelt töltésselosztást. Igen sok kutatás igazolja (Takahashi, 1978; Jayaratne, 1981; Saunders *et al.* 2006), hogy a jégrézcskék ütközései során zajló töltésszétválasztás határozza meg a zivatarfelhők elektromos jelenségeit.

A kutatások során egyes esetekben azt tapasztalták, hogy a jégkristály/graupel ütközések alkalmával a graupel negatív töltésűvé, míg a jégkristály pozitív töltésűvé válik az ütközés előtti állapothoz képest, ahogyan az a 6. ábra bal oldalán is látható. A 6. ábra jobb oldalán ábrázolt másik esetben, a jégkristály/hópehely ütközés alkalmával, a jégkristályok felszínén negatív, míg a hópehely felszínén pozitív töltéseket észleltek az ütközés előtti állapothoz képest (Saunders, 2008). Ezen egymásnak látszólag ellentmondó eredményekből Takahashi (1978) és Jayaratne (1981) arra a következtetésre jutottak, hogy a környezeti feltételek (hőmérséklet és a cseppfolyós víztartalom) nagyban befolyásolják az ütközések során tapasztalható töltésszétválasztási



2. ábra: A jégkristály/hópehely ütközések töltésszétválasztási folyamata

tást. Emellett általánosan elfogadott megállapításnak számított az, hogy az ütközések alkalmával a gyorsabb depozíciós növekedésű jégfelszín pozitív elektromos töltésűvé válik, míg a szublimáló jégfelszínre negatív töltések kerülnek (Saunders, 2008). A kutatások eredményeire Baker *et al.* (1987) adott részletes magyarázatot. Baker *et al.* (1987) szerint az ütköző jégrézcskék egymáshoz viszonyított (azaz relatív) diffúziós növekedési mértéke határozza meg a töltésszétválasztást. Ez az ún. relatív diffúziós növekedési mérték elmélete, mely előírja, hogy a jégrézcskék ütközésekor a gyorsabb diffúziós növekedésű jégfelszín válik pozitív töltésűvé az ütközés előtti állapotához képest. Az alábbiakban a zivatarfelhők hőmérsékletének és cseppfolyós víztartalmának figyelembevételével, a Dash-elmélet és a relatív diffúziós növekedési mérték elmélet segítségével próbáljuk részletesen megmagyarázni a jégkristály/graupel és a jégkristály/hópehely ütközések töltésszétválasztási folyamatát. A zivatarfelhők alacsonyabban fekvő részeiben magasabb a hőmérséklet és nagyobb a cseppfolyós víztartalom. Ezen feltételek mellett a jégkristály/graupel ütközések és a hozzájuk kapcsolódó töltésszétválasztási folyamatok valósulnak meg. A jégkristály/graupel ütközések esetén a magasabb hőmérsékletek miatt nagy a jégkristályok feletti túltelítés, így a jégkristályok felszínén a depozíciós növeke-

dés nagyobb mértékű, mint a *graupel*ek felszínén. A Dash-elmélet értelmében a jégkristályok intenzív depozíciós növekedésének hatására magas a felszíni OH⁻ ion koncentráció (ezt élénk, világos kék színnel érzékeltetjük a 7. ábrán). A *graupel* felszínén (a kisebb mértékű depozíciós növekedés miatt) kisebb az OH⁻ ion koncentráció (ezt sötétebb, szürkés-kék kék színnel szemléltetjük a 7. ábrán). Jégkristály-*graupel* ütközések során a közös térfogatban a töltéssűrűség-különbség kiegyenlítődik, majd a relatív diffúziós növekedési mérték elméletnek megfelelően, az ütközést követően a jégkristály pozitív töltésűvé, míg a *graupel* negatív töltésűvé válik. A zivatarfelhők magasabban elhelyezkedő tartományában alacsonyabb a hőmérséklet, mint az előbbi esetben, ennek megfelelően a felhő cseppfolyós víztartalma is kisebb az előző esetéhez képest. Ezen környezeti feltételek mellett a jégkristály/hópehely ütközések és a hozzájuk kötődő töltésszétválasztási mechanizmus valósul meg. A jégkristály/hópehely ütközések során lejátszódó töltésszétválasztást az előbb mondottak alapján a 8. ábrán a következőképpen jellemezhetjük. Itt hangsúlyozzuk, hogy a jellemzés az analógiából indul ki, és nem a kísérleti eredmények leírását adja, szemben a 7. ábrával, mely megfigyelésekkel igazolható. A hópehelyek depozíciós és ütközési növekedési mértéke – feltételezésünk szerint – nagyobb, mint a jégkristály depozíciós növekedési mértéke. Így, Dash et al. (2001) alapján a hópehelyek felszíni OH⁻ ion koncentrációja magasabb (melyet a 8. ábra élénk kék színnel érzékeltet), mint a jégkristályoké. A jégkristály/hópehely ütközés alkalmával ezen koncentrációkülönbség kiegyenlítődik, s a relatív diffúziós növekedési mérték elmélet értelmében az ütközést követően a hópehely pozitív, míg a jégkristály negatív töltésűvé válik, mint ahogy azt a 8. ábra is mutatja. Legvégül hangsúlyozzuk még egyszer, hogy a 8. ábra csak egy értelmezési keret, alapjait a hópehelyekre és a jégkristályokra vonatkozó telítési gőznyomás-értékek közötti viszony határozza meg, mely igen sok tényezőtől függ, függhet.

Konklúzió. Megannyi kérdést boncolgatva meggyőződhetünk, hogy a Földön a víz és a jég a tűz teremtője. A zivatarfelhőkben a víz mindhárom fázisban jelen van. A molekuláris skálájú (10⁻¹⁰ m) fázisátalakulások, valamint a már makroszkopikus skálájának (10⁻⁶-10⁻³ m) tekinthető zúzmarásodás és a *graupel* olvadása közvetetten töltésszétválasztási folyamatokat eredményez. Ezen töltésszétválasztási mechanizmusok hatására a jégrészecskék felszínére elektromos töltéssel rendelkező ionok kerülnek, kialakítva e részecskék elektromos töltésszerkezetét. E töltések térben is elkülönülnek a jégrészecskék ütközése során (Saunders, 2008). A zivatarfelhők töltésszerkezete első közelítésben elektromos dipólusként vagy tripólusként jellemezhető. Mindkét közelítés lényege az, hogy a földfelszíntől távolodva a zivatarfelhőkben egymástól ellentétes és elkülönülő elektromos töltésű tartományok találhatók: magasabban a pozitív, míg alacsonyabban a negatív töltések tartománya. Ha a töltéstartományok közötti potenciálkülönbség, akár a felhőn belül, vagy kívül, nagyobb egy bizonyos – feltehetően változó – küszöbértéknél villámlás jön létre (Mona, 2011), ami a tűz teremtője. Az ősidőkben, mikor az emberek még nem tudtak tüzet gyújtani, az észlelt villámok és a hatásukra keletkező tüzek alázatot és tiszteletet parancsoltak. Ezt mutatja, hogy a görög mitológiában Zeusz a villámlás istene is.

Irodalom

- Baker, B., Baker, M. B., Jayaratne, E. R., Latham, J. and Saunders, C., 1987: The Influence of Diffusional Growth Rates On the Charge Transfer Accompanying Rebounding Collisions Between Ice Crystals and Soft Hailstones. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 113, 1193–1215.
- Caranti, J. M., Illingworth, A. J. and Marsh, S. J., 1985: The charging of ice by differences in contact potential. *J. Geophys. Res.* 90, 6041–6046.
- Dash J. G. and Wettlaufer J. S., 2003: The surface physics of ice in thunderstorms. *Can. J. Phys.* 81, 64–70.
- Dash, J. G., Mason, B. L. and Wettlaufer J. S., 2001: Theory of charge and mass transfer in ice-ice collisions. *J. Geophys. Res.* 106, 395–401.
- Dinger, J. E. and Gunn, R., 1946: Electrical effects associated with a change of state of water. *Terr. Magn. Atmos. Electr.* 51, 477
- Dinger, J. E., 1964: Electrification Associated with the Melting of Snow and Ice. *JAS*, 22, 162–166.
- Drake, J. C., 1968: Electrification accompanying the melting of ice particles. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 94, 176–191
- Geresdi, I., 2004: *Felhőfizika*. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs. pp. 272
- Hallett, J. and Saunders, C., 1979: Charge Separation Associated with Secondary Ice Crystal Production. *JAS* 36, 2230–2235.
- Jayaratne, E. R., 1981: Laboratory studies on thunderstorm electrification. *Ph.D. Thesis*. The University of Manchester, Manchester.
- Johnson, T. A., Park, A., Hand, K. P., 2014: The Workman-Reynolds Effect: An Investigation of the Ice-Water Interface of Dilute Salt Solutions. *45th Lunar and Planetary Science Conference*
- Keith, W. D. and Saunders, C., 1990: Further laboratory studies of the charging of graupel during ice crystal interactions. *Atmospheric Res.* 25, 445–464.
- MacGorman, D. R. and Rust, W. D., 1998: *The Electrical Nature of Storms*. University Press, New York, Oxford, pp. 422
- Mason, B. L. and Dash J. G., 2000: Charge and mass transfer in ice-ice collisions: Experimental observations of a mechanism in thunderstorm electrification. *J. Geophys. Res.* 105, 185–191.
- Mason, B. L. and Dash, J. G., 1999: *Ice Physics in the Natural Environment*. Springer-Verlag, New York. pp. 355
- Mason, B. L., Latham, J., 1961: Generation of Electric Charge Associated with the Formation of Soft Hail in Thunderclouds. *Proc. R. Soc.* 260, 537–549.
- Mona, T., 2011: A villámgyakorlás parametrizálása. *Szakdolgozat*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest (témavezető: Ács Ferenc). pp. 30
- Saunders, C., 2008: Charge Separation Mechanisms in Clouds. *Space Sci Rev.* 137, 335–353.
- Saunders, C., Bax-Norman, H., Emersic, C., Avila, E. E. and Castellano, N. E., 2006: Laboratory studies of the effect of cloud conditions on graupel/crystal charge transfer in thunderstorm electrification. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 132, 2653–2673.
- Takahashi, T., 1978: Riming Electrification as a Charge Generation Mechanism in Thunderstorms. *JAS* 35, 1536–1548.
- Workman, E. J. and Reynolds, S. E., 1950: Electrical phenomena occurring during the freezing of dilute aqueous solutions and their possible relationship to thunderstorm electricity. *Phys. Rev.*, 78, 254–259.
- www.silver-colloids.com/Tutorials/Intro/pcs17A.html
- Yair, Y., Fischer, G., Simoes, F., Renno, N. and Zarka, P., 2008: Updated Review of Planetary Atmospheric Electricity. *Space Sci. Rev.*, 137, 29–49.

SZÉLGÉPEK JELENE ÉS JÖVŐJE, EGY MAGYAR SZABADALOM BEMUTATÁSA. MIÉRT LEGYEN PNEUMATIKUS SZÉLGÉP?

CURRENT AND COMING WIND MACHINES; PRESENTATION OF A HUNGARIAN PATENT. WHY THE PNEUMATIC WIND MACHINE?

Mucsy Endre

mucsyendre@gmail.com; www.windtransformer.eu

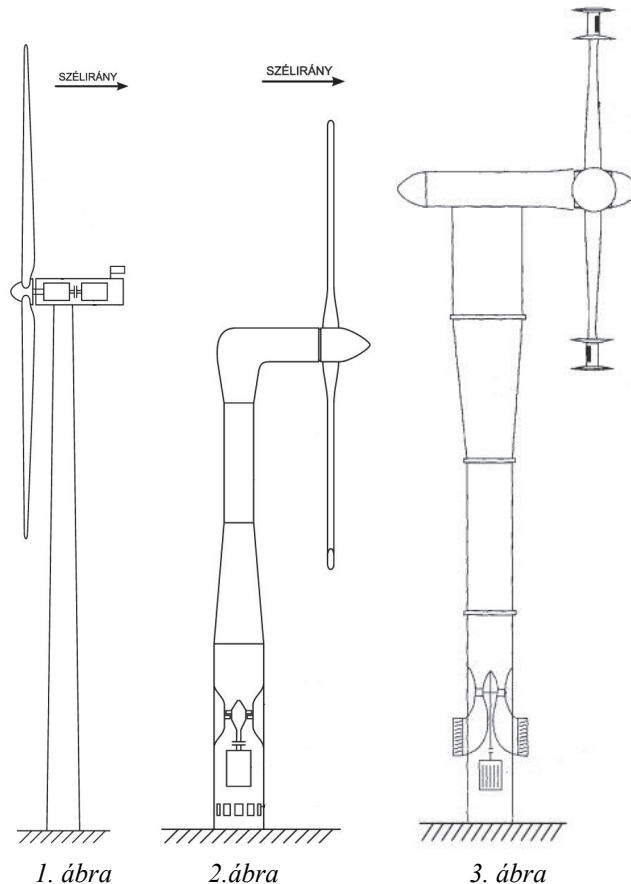
Összefoglalás. A nagy teljesítményű, gyorsító hajtóműves szélérőművek ismert hátrányaik ellenére is egyre növekvő részet képezik a világ zöld energia előállításának. A negyvenéves kutató-fejlesztő munka eredményeként 2013-ban szabadalmaztatott pneumatikus erőátvitelű szélérőmű reális és „zöldebb” alternatívát kínál az energiatermelés eme szektorában. A hagyományos szélgépek Achilles-sarka maga a gyorsító hajtómű, melyre azért van szükség, mert a lapátméretök növelésével csökken annak fordulatszáma.

Abstract. The high power wind machines with accelerating driving gear transmission in spite of their known disadvantages take increasingly growing part of the world's green energy production. The heel of Achilles of the traditional wind machines is the accelerating driving gear itself. Its manufacturing cost is high, its lifetime is short and it hinders the start of the rotor. There is no mechanical connection in case of the pneumatic transmission wind machine, but the flowing air brings the energy from the rotor to the generator. In this machine the rotor rotates freely. The blades of the wind machine, the head of it and the column forms a closed, continuous channel. The channel starts with air intakes at the bottom of the column and ends in the exhaust/out-takes at the tips of the blades against the wind direction. The pneumatic power transmission wind machine built based on the existing experiences has simply structure, low production cost, longer lifetime and less noise compared to the traditional wind machines.

Egy ma korszerű, 100 méternél nagyobb átmérőjű szélkerék 10–20 fordulatot tesz percenként, a hozzá illő generátor pedig 1000-et vagy 1500-at, ezért a kettő közé fogaskerekes gyorsítót kell építeni (1. ábra). Ez a háromfokozatú, százszoros áttételű fogaskerekes hajtómű a szélenergia hasznosításának leggyengébb pontja. Ennek gyártása költséges, élettartama rövid és akadályozza a gép elindulását. A pneumatikus erőátvitelű szélgépben – melyet M. Andraeu talált fel a múlt század közepén – nincs mechanikus kapcsolat, hanem a szerkezeten belül áramló levegő viszi át az energiát a szélkerékről a generátorra. A több mint 60 évvel ezelőtt épített első kísérleti, pneumatikus szélgépben (2. ábra) a szélkerék szabadon forog. A kerék üreges lapátja, agya és az oszlop folyamatos zárt csatornát képeznek.

A csatorna az oszlop alján belépőnyílásokkal kezdődik és a lapátok végén, menetiránynak háttal álló kilépőnyílásokkal végződik. Amikor a szél a kereket forgatja, akkor

a kilépőnyílás mellett áramló levegő a nyílás előtti térből a levegőt magával ragadja, vagyis a csatornából kiszívja a levegőt. A szívástól a levegő a csatornában a belépőnyílástól a kilépőnyílás felé áramlik. Útközben forgatja a légturbinát, az pedig a generátort (2. ábra). A pneumatikus erőátvitel tehát azt jelenti, hogy a szél energiáját a szélkerék és a vele együtt forgó szívónyílás a belül mozgó levegőnek adja át, az pedig a turbinát forgatja, majd a turbina a generátornak adja tovább az energiát. Az új szerkezettel azt érték el, hogy a generátor, hajtómű nélkül, a kívánt 1500/perc körüli fordulattal járt, miközben a szélkerék 100 fordulatot tett percenként. Az új szélgépvel végzett kísérletek során mérték a szél sebességét és a leadott villamos teljesítményt. Az adatokból megállapították, hogy a gép a szél teljesítményének csak 14,5 százalékát, vagyis fele akkora részét hasznosította, mint az akkori hagyományos szélgépek. A rossz eredményre hivatkozva a pneumatikus



teljesítményének csak 14,5 százalékát, vagyis fele akkora részét hasznosította, mint az akkori hagyományos szélgépek. A rossz eredményre hivatkozva a pneumatikus

erőátvitelt elvetették, ahelyett, hogy megkísérelték volna az új szélgép hatékonyságának növelését. Több évtizeddel ezelőtt, amikor *M. Andreau* gépének kudarcát megismertem, elhatároztam, hogy megpróbálok jobb pneumatikus szélgépet készíteni.

A rossz hatékonyság okát abban láttam, hogy a pneumatikus erőátvitelben a szélkerék lapátjának két feladata van:

- (1) Az egyik feladat az, hogy a hagyományos szélkerékhez hasonlóan, a szél mozgási energiáját a kereket forgató mechanikai energiává alakítja.
- (2) A másik feladat az, hogy a belül áramló levegőt a kerék agyától a lapát végén levő kilépőnyíláshoz vezeti.

A baj az, hogy a két feladatot nagyon különböző alakú és méretű lapáttal lehetne jól ellátni. A forgatáshoz itt is olyan lapátot kellene használni, mint a hagyományos szélgépek kis keresztmetszetű lapátja, mert ezek külső felületén kicsi a légellenállásból származó veszteség. A levegő vezetéséhez a lapát belsejében minél nagyobb keresztmetszetű csatornát kellene elhelyezni, mert a keresztmetszet csökkentésével a belül áramló levegő áramlási vesztesége növekszik. Az adott feltételek mellett optimum nincs. A gondot fokozza, hogy a menetiránynak háttal álló kilépőnyílás gyenge szívószerkezet, mely csak akkor szívott jól, ha elég nagy volt a kerületi sebesség. (Ezt az állítást a nagy 9,5-es gyorsjárás tényező is bizonyítja. Ez a viszonyszám a kerületi sebesség és a szélesebbesség hányadosa. A kerületi sebességet a lapátszöggel lehet leginkább befolyásolni.)

A 224 256 lajstromszámú magyar szabadalom több szívóhatást fokozó szerkezetet mutat be. Kísérleti szélgépet építettem két méter átmérőjű szélkerékkel (3. ábra). A lapátok végén szárnyprofil keresztmetszetű szívóidomok voltak, a kilépőnyílások az idomok háti, domború felületén helyezkedtek el. Ez a gép a szél teljesítményének 28%-át alakította át belső pneumatikus teljesítménnyé, miközben a kerületi sebesség csak háromszor volt nagyobb, mint a szélesebbesség. Az eredmény azt mutatta, hogy a szívóhatás fokozása jó célkitűzés. Ezért ezt követően zárt szélcsatornát építettem a szívóidom és a közelében elhelyezett légtelők előnyös alakjának megkereséséhez. Az a tény, hogy a légtelőkkel a szívóhatás tovább fokozható, lehetővé teszi, hogy több teljesítményt alakítsunk belső áramlássá, mint amennyit a csatornás lapát a szélből ki tud nyerni. Akkor tehát növelni kell vagy lehet a szélből nyert energiát, például úgy, hogy meghosszabbítjuk a lapátot, egy csatornát nem rejtő szakasszal.

A kísérletek eredménye az új szabadalomban leírt megoldás, ahol a szélkerék lapátja három szakaszból áll. A kerék agyához csatlakozó első szakasz egy levegővezető csatornát alkotó üreges lapát, a második szakasz az üre-

ges szívóidom, a harmadik szakasz a csatornát nem tartalmazó, hagyományos, szélkerék-lapát külső vége. Amennyiben a szívóidom a lapát hossza felének közelében van, akkor a kerék által súrolt kör 3/4 részéről a jó, csatornát nem tartalmazó hatékony lapátszakasz gyűjti az energiát, 1/4 részéről pedig az üreges lapátszakasz, amely viszont kis veszteséggel szállítja a levegőt. A hajtóműves és a pneumatikus szélgépek a bennük keletkezett veszteség természetében nagyon különböznek egymástól. A továbbiakat néhány tapasztalati tényre és műszaki becslésekre alapozom.

A nagy hajtóműves gépek segítség nélkül nem indulnak el. Azokat 4–5 ms⁻¹ sebességű szélnél – a hálózatból vett energiával – indítják el. Az induló sebesség a fogaskerekek kopásával növekszik, mert egyre nagyobb teljesítmény szükséges a hajtóműben keletkező veszteség legyőzésére. A veszteség nagyságát mutatja, hogy a szélgépekre újabban hőcserélőt szerelnek a hajtóműben keringő kenőolaj hűtésére. A már említett két méter átmérőjű kísérleti pneumatikus gép 1 ms⁻¹ sebességű szélből elindult. A már elkészült légturbinán végzett mérések alapján az várható, hogy a turbinához kötött villamos generátor már 2 ms⁻¹ szélesebbeségtől áramot fog termelni. A kis sebességű szélben kicsi a teljesítmény, de a mi éghajlatunkon olyan gyakran fúj gyenge szél, hogy az összes energia 20–25 százaléka ezekben van. A szélesebbesség és a vele arányos fordulatszám függvényében a két gép vesztesége máshogy változik. A hajtóműves gépekben a szilárd felületek között fellépő súrlódás okozza a legtöbb veszteséget. Az induló érték magas és lassan növekszik. A pneumatikus gépben a legtöbb veszteség oka az áramló levegő közegeellenállása. Ez alacsony értékről indul, kezdetben lassan, majd egyre gyorsabban emelkedik – a sebesség harmadik hatványa szerint. Tehát törekedni kell arra, hogy a levegőt a gépen belül vezető csatorna minél rövidebb és minél nagyobb keresztmetszetű legyen, mert ettől, vagyis a csatorna ellenállásától függ az áramlási veszteség nagysága. A hajtóműves gép a nagy sebességű szelet, a pneumatikus a kisebb sebességűt hasznosítja jobban. A hajtóműves gép ritkán termel nagy teljesítménnyel, a pneumatikus gyakrabban, de kisebb teljesítménnyel, ez a hálózatnak előnyösebb. Talán legnagyobb előnye a pneumatikus szélgépnek, hogy alig tartalmaz kopást szenvedő alkatrészt, így élettartama a hajtóművesnek többszöröse lesz.

Az eddigi eredmények alapján épített pneumatikus erőátvitelű szélgép szerkezete egyszerűbb, gyártása olcsóbb, élettartama hosszabb és zajszennyezése kisebb lesz, mint a hagyományos szélgépek hasonló jellemzői. Az új gép attól lesz egyszerűbb, hogy nem tartalmaz fogaskerekes hajtóművet, sokpólusú generátort és elhagyható belőle a szélirányba-állító és a lapátszög állító berendezés is. A mai helyzettel ellentétben a szélből így nyert „zöldáram” kevesebbe fog kerülni, mint a környezetet szennyező, erőművekben előállított áram.

JÉGSZAKADÁS RICSÉN HAILSTORM IN RICSE

Tóth Róbert, Zsoldos Erzsébet

Országos Meteorológiai Szolgálat, Marczell György Főobszervatórium, 1181 Budapest, Gilice tér 39.

toth.r@met.hu; zsoldos.e@met.hu

Összefoglaló. A 2016. augusztus 15-i ricsei jégeső kapcsán megvizsgáltuk a talajhőmérséklet alakulását. A felső 20 cm-es rétegben intenzív hűlés mutatkozott. Ezután megnéztük még két korábbi jégesős esemény hatását a talajhőmérsékletre.

Abstract. Soil temperature trend was examined in connection with the hailstorm in Ricse happened on 15th August, 2016. The upper 20 cm layer showed intense cooling. Then we described the effect of two previous hailstorm events on the soil temperature.

A veszélyes időjárási jelenségek sorába tartozik a jégeső. Hazánkban leggyakrabban nyáron és májusban fordul elő, mindig konvektív felhőkből (legtöbbször zivatarfelhőből, Cb) hullik. A jégeső az esetek háromnegyed részében a 12–18 óra közötti időszakban jelentkezik, s közel felében 15–18 óra között fordul elő, ezzel is utalva a termikus eredetű zivatarok domináns szerepére (Anda et al., 2001). Területi eloszlása igen szeszélyes, rendszerint sávós szerkezetű. Hazánk területén a jeges esők,

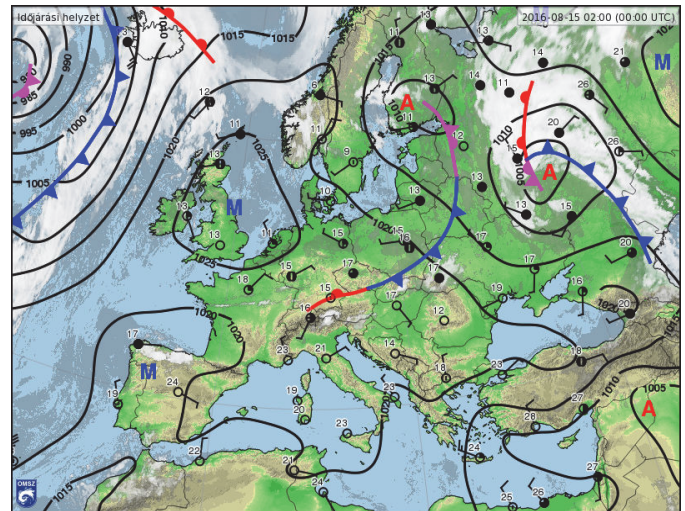
dékmennyiség, s különösen erős hűtőhatás érvényesül intenzív jégeső során.

Ilyen pusztító időjárási esemény zajlott 2016. augusztus 15-én Ricsén, a bodrogközi nagyközségben. Oláh Károly, a közös OVF-OMSZ üzemeltetésű ricsei automata mérőállomás kapcsolattartójának elmondása szerint dió nagyságú kemény jégzemek hullottak, a talajról 1 m magasra is visszapattantak. Több percig csak szilárd jég esett. A környéken mindent elvert. Levél alig maradt a



1. ábra: Így tépázott meg a ricsei jégeső egy diófát (Oláh Károly felvétele)

illetve a jégverés okozta károk eltérő gyakoriságúak: a Nyugat-és Dél-Dunántúlon, kisebb mértékben a Dél-Alföldön és a Nyírségben következik be viszonylag gyakrabban (Szász, 1988). Anda et al. (2001) azonban a gyakorisági maximumot az Északi-középhegység vidékére teszik. Váradi (1991) feldolgozása szerint Budapesten 1975-ben 29 jégesős nap fordult elő, ami azóta is rekord. A talaj és a felette elhelyezkedő légréteg szoros kölcsönhatásban áll. A levegőben keletkező és a talajra hulló csapadék általában lehűti a talajt, illetve az azon élő növényzetet. A talaj nedvességtartalma elsősorban a víz nagyobb fajhője, valamint párologása révén hat a talaj hőmérsékletére. A víz fajhője kerekén ötször akkora, mint a talaj ásványi alkotórészei. Minél több a talajban a víz, annál kisebb mértékben és lassabban melegszik fel és hűl le a talaj (Pletser, 1960a). Pletser (1960b) vizsgálta az öntözésnek a talajhőmérsékletre gyakorolt hatását is. A martenvásári mérései igazolták, hogy a talajnál rendszerint alacsonyabb hőmérsékletű öntözővíz többnyire hűti a talaj felső rétegét. Hasonló hatást eredményez a viszonylag rövidebb idő alatt lehulló nagy csapa-

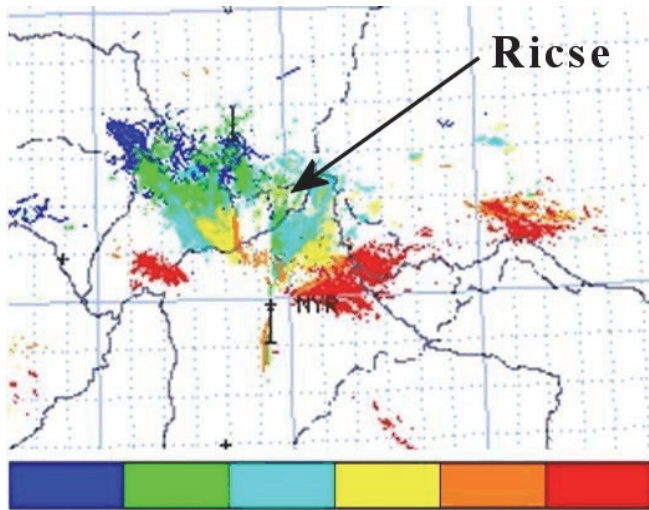


2. ábra: Az európai időjárási helyzet 2016. augusztus 15-én 00 UTC-kor a Napijelentésben

fákon (1. ábra), a napraforgón nem hagyott tányért. A járművek visszapillantó tükre, lámpaburája is áldozatul esett. A vékonyabb ablakok betörték. A talaj felszíne sokáig fehér volt a jégtől. Mondta, hogy még másnap reggel is lehetett látni jeget a védettebb helyeken. Augusztus 15-én hidegfront vonult át hazánk fölött. Emiatt ugyan a nap első felében még sokfelé sütött a nap, de este az ország legnagyobb részén erősen megnövekedett a felhőzet, és összességében többfelé fordult elő zápor, zivatar. Utóbbiakat jégeső, viharos széllokés és rövid idő alatt lehulló, jelentősebb mennyiségű csapadék is kísérte. A hőmérséklet csúcsértéke 25 és 33 fok között változott. Éjszaka észak felől felszakadozott, csökkent a felhőzet, megszűnt a csapadék. A másnap reggel lehullott csapadék mennyisége mérőállomásaink többnyire csapadéknym és 25 mm között alakult, de Sármellékről 36, Sátoraljaújhelyről 37 mm-t jelentettek (OMSZ Napijelentés). Az európai időjárási helyzet a 2. ábrán látható.

A hidegfront zivatarzónája 12:30 és 14:30 között vonult át Borsod-Abaúj-Zemplén megyén, ahogy a 3. ábrán a

villám-lokalizációs rendszer színei mutatják a villámok helyének mozgását. Időben a sötétkék színtől haladt a front a piros felé, egy szín 20 perces időtartamot jelent. A 4. ábra ugyanezen átvonulást a radar-kompozitokon mutatja be. Az érintett területen lévő automata állomásaink az 1. táblázatban látható csapadékadatokat mérték.



3. ábra: A front mozgásának nyomon követése a Safir villámlokalizációs rendszerben 12:30 és 14:30 között. Időben a sötétkék színtől halad a front a piros felé, egy-egy szín 20 perces időtartamot jelent.

Ricsén az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság szivattyútelepén 2012. IX. 1-től üzemel automata meteorológiai állomás. A csapadékot német OTT Pluvio 2

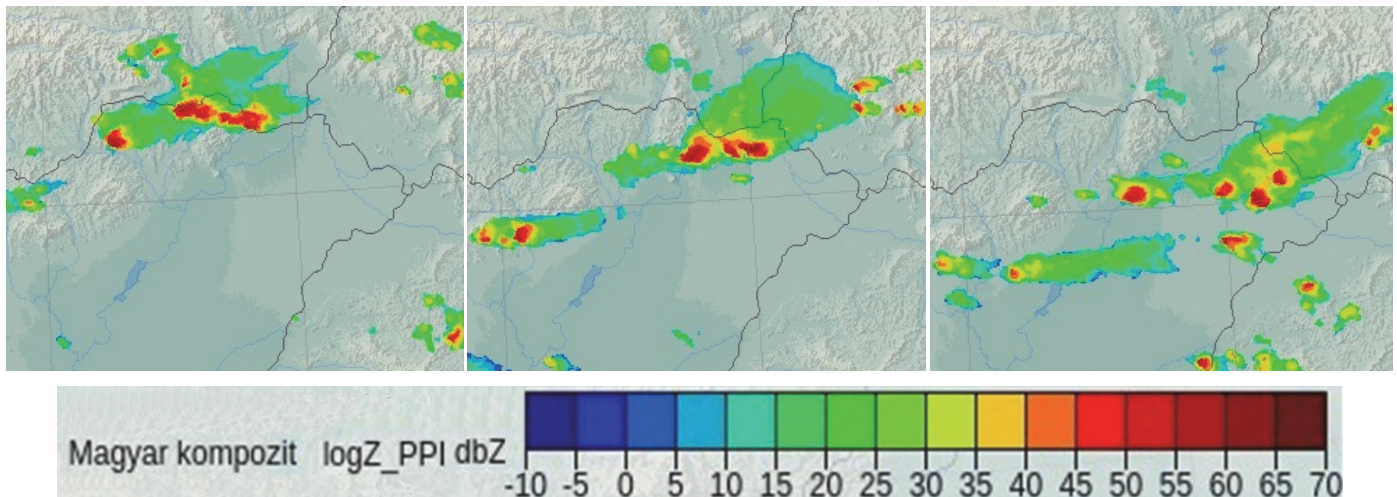
zó földfelszínen rendelkezésre álló vízmennyiség, melynek fő jellemzői: intenzitás, tartam, gyakoriság, területi eloszlás, (2) a vizet befogadó alrendszer, vagyis a talaj (i) felszíni tulajdonságai: növényzet, érdesség, belépési ellenállás, és (ii) transzporttulajdonságai: a talaj/közet víztározó, vízvezető, vízfelvevő és vízleadó képessége. Az előzőek közül a beszivárgás intenzitása szempontjából az egyik legfontosabb paraméter a felszínközeli rétegek permeabilitása,

1. táblázat: A hidegfront átvonulása alatt hullott csapadék

mérőhely	összes csapadék [mm]	a maximális 10 perces intenzitás [mm/10 perc]	a maximális intenzitás ideje
Sátoraljaújhely	43,7	18,5	13:40
Sárospatak	6,3	4,1	14:30
Ricse	33,4	24,6	14:30
Vásárosnamény	2,8	1,4	15:20
Mátészalka	9,7	9,0	15:40

vagyis vízvezető képessége, melynek jellemző értékeit, tartományait a 6. ábra összegzi. A nagyobb vízvezető-képességű rétegek esetén nagyobb a beszivárgás is.

A 7. és 8. ábrákon láthatjuk a talajhőmérsékletben bekövetkező változásokat, ami döntően a megolvadt jég beszivárgásának a hűtőhatása. Az 5 cm mély talaj alig egy óra alatt közel 30 °C-ot hűlt, amíg elérte minimumát. 10 cm mélységben a 15 fok közeli hűlés már közel két óra alatt zajlott le. 20 cm mélyen a mintegy 7,5 fokos hűléshez 4,5 óra kellett. 50 cm mélyen már csak nagyon lassú hűlési folyamat



4. ábra: A front mozgásának nyomon követése a radarképeken óránként:

12:20

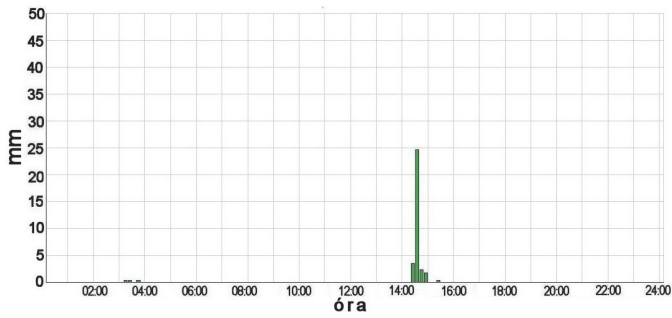
13:20

14:20

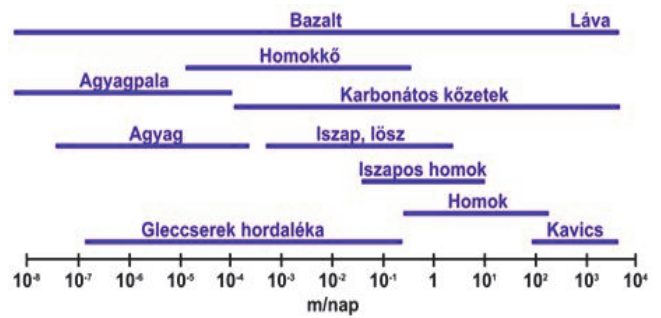
súlyméréses csapadékmérővel mérjük, a talajhőmérsékletet a magyar Unitek cég ST Pt100-as érzékelői mérik 5,10, 20, 50, 100 cm mélységekben. Az 5. ábrán láthatjuk a csapadékhullás időbeli alakulását.

A beszivárgás során a felszínre érkező csapadék a talajba bejut, s a talajszerkezettől függően fokozatosan egyre mélyebb rétegekbe ér. A vízháztartási egyenleg térben és időben legjobban változó tagja. A beszivárgás folyamata függőleges irányú, időben monoton csökken (exponenciális vagy hiperbolikus módon). A beszivárgás meghatározói: (1) a vizet szolgáltató alrendszer, azaz a (csapadékból száрма-

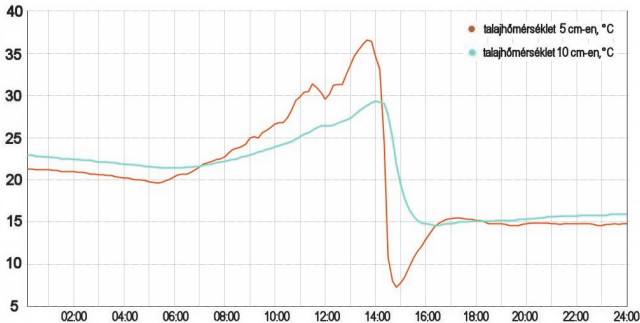
indult a csapadék megjelenésekor, 100 cm-en pedig már nem volt hatása az olvadt jégnek. 5 cm mélységben a maximális intenzitású csapadékhullás előtti 10 percben volt leggyorsabb a talajhőmérséklet csökkenése (13,5 °C 14:20–14:30 között), míg 10 cm mélységben a maximális intenzitást követő 10 percben (3,1 °C 14:40–14:50 között). A ricsei meteorológiai állomás homokos agyagos iszap talajon áll. Megvizsgáltunk még két korábbi jégesős helyzetet. Az egyik a Monor közelében fekvő vasadi állomásunkon történt 2015. július 23-án. A csapadékhullás 16:20-tól 17:10-ig terjedt időben (9. ábra), tehát egyezik a



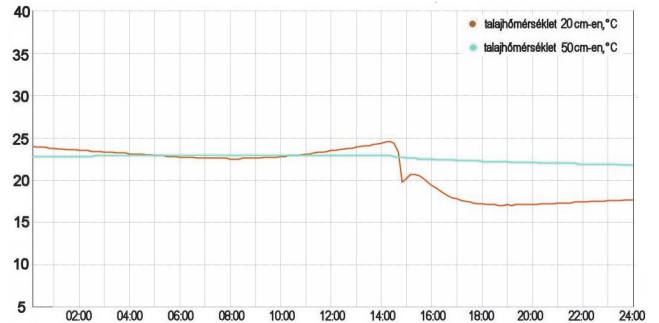
5. ábra: Az augusztus 15-i jégeső időbeli menete Ricsén az OTT Pluvio 2 mérése alapján, egy oszlop, 10 perc alatt leesett csapadék; legintenzívebb 10 perc 24.6 mm, összes csapadék 32.4 mm.



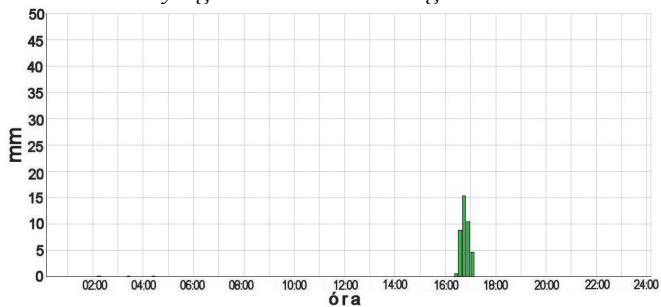
6. ábra: Különböző típusú kőzetek és talajok vízvezető-képessége (Pongrácz és Bartholy, 2013)



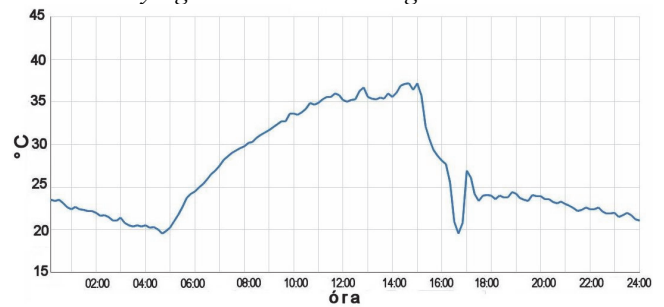
7. ábra: A talajhőmérséklet alakulása 5 és 10 cm mélységben Ricsén 2016. augusztus 15-én



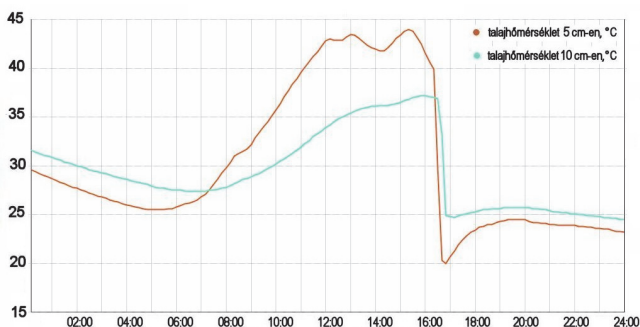
8. ábra: A talajhőmérséklet alakulása 20 és 50 cm mélységben Ricsén 2016. augusztus 15-én



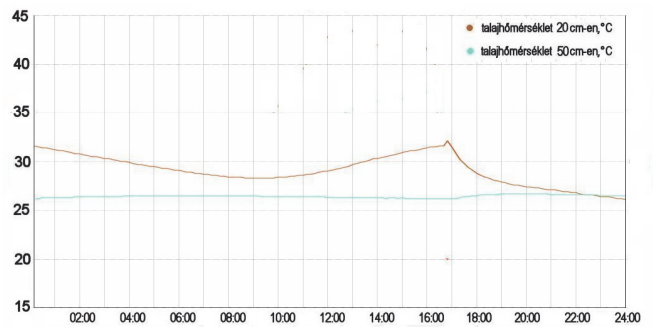
9. ábra: Jégeső Vasadon 2015. július 23-án, legintenzívebb 10 perc 15.3 mm, összes csapadék 39.8 mm; egy oszlop: 10 perc alatt leesett csapadék



10. ábra: A levegő hőmérsékletének napi menete Vasadon 2015. július 23-án



11. ábra: A talajhőmérséklet napi menete Vasadon 2015. július 23-án



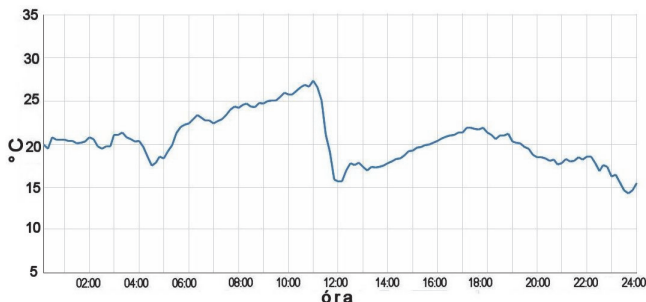
12. ábra: A talajhőmérséklet napi menete Vasadon 2015. július 23-án

legnagyobb jégeső gyakoriság intervallumával. Összesen 39,8 mm-t tett ki a lehullott jégeső. Az állomás szürkésbarna homoktalajra került, ami a vizet jól vezeti. Az állomás a 10. ábrán látható. A 11. ábrán látható, hogy 15 órakor befelhősödött, s a levegő hőmérséklete 37 fokról mintegy 10 fokot csökkent a csapadékhullás kezdetéig. 5 cm mélységben a talaj 44 °C-ra melegedett, majd a jégeső előtt egy órával megkezdte a csökkenést. 20 perc alatt 20

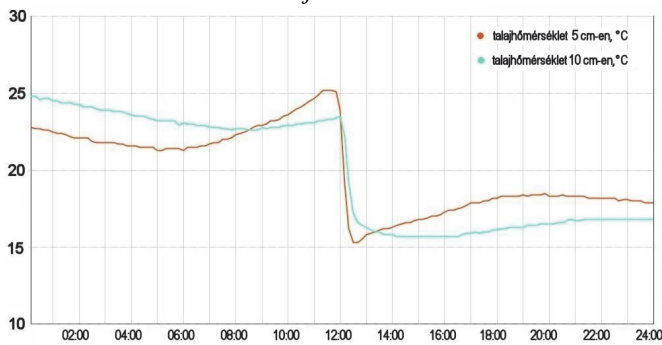
fokot csökkent, vagyis a megolvadt jégnek igen erős a hűtő hatása. 10 cm mélyen hasonló a talajhőmérséklet lefutása, csak a mértéke kisebb, 12 fokos a hűlés, 37-ről 25 °C-ra (12. ábra). A 13. ábra mutatja, hogy 20 cm mélyen már csak néhány fokot hűlt a talaj több óra alatt, 50 cm mélységben pedig minimálisan emelkedett a talajhőmérséklet, aminek az lehet a magyarázata, hogy a leszivárgó, kezdetben 0 fok körüli víz felmelegedett, mire elérte ezt a réteget.



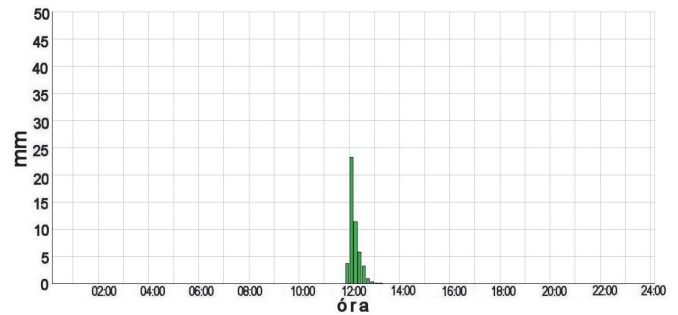
13. ábra: 10. ábra: A vasadi OVF-OMSZ közös üzemeltetésű automata állomás 2014. április 9-én



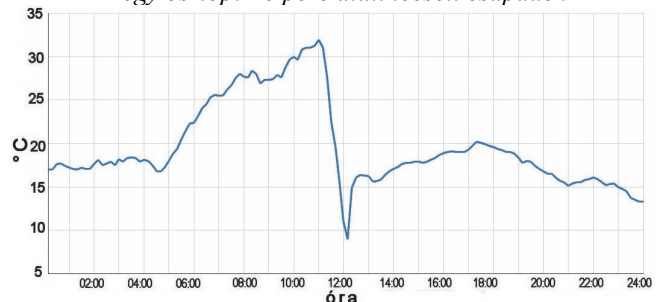
15. ábra: A levegő hőmérsékletének napi menete Pogányban 2015. június 9-én



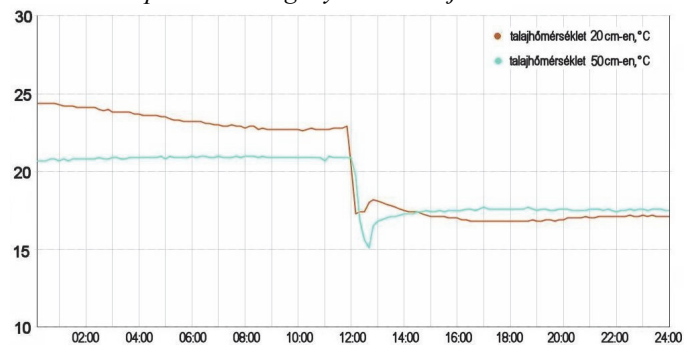
17. ábra: A talajhőmérséklet napi menete Pogányban 2015. június 9-én



14. ábra: Jégeső Pogányban 2015. június 9-én, legintenzívebb 10 perc 23.3 mm, összes csapadék 48.9 mm; egy oszlop: 10 perc alatt leesett csapadék



16. ábra: A felszínközeli levegő hőmérsékletének napi menete Pogányban 2015. június 9-én



18. ábra: A talajhőmérséklet napi menete Pogányban 2015. június 9-én

2015. június 9-én kora délután jelentős lehüléssel és jégesővel járó zivatar érte el a Pécs melletti pogányi állomásunkat. A másnapi Napijelentés így tudósított: „Kedden a napsütés mellett egyre több gomolyfelhő képződött. Délelőtt csak néhol, délután már több helyen alakult ki zápor, zivatar, helyenként heves zivatar is előfordult jégesővel, felhőszakadással, viharos széllel. A hőmérséklet csúcértéke 26 és 32 fok között változott. A ma reggelig lehullott csapadék mennyisége hevesebb zivatarokban a 40 mm-t is meghaladta; Pécs Pogányról 55 mm-t, Székesfehérvárról 66 mm-t jelentettek.” A 2 m magasságban mért léghőmérséklet egy óra alatt mintegy 11 fokkal, a talajközeli (5 cm) levegő hőmérséklete kb. 23 fokkal csökkent (15. és 16. ábra). Az 5 cm mélységű talajhőmérséklet-érzékelő a csapadék hullásától mintegy félóra múlva 20 fokkal alacsonyabb értéket mutatott, míg 10 cm mélységben szűk 18 fokkal csökkent a talajhőmérséklet, de ehhez két óra időtartam kellett (17. ábra). Az olvadt hideg víz hatása rendkívül gyorsan hatolt tovább lefelé, ugyanis 20 és 50 cm mélységekben a mintegy

6 fokkal talajhőmérséklet csökkenés alig több mint félóra alatt bekövetkezett (18. ábra). A leírt három jégeső alapján megállapítható, hogy a felszínen okozott pusztítás mellett igen rövid idő alatt a talajhőmérsékletben is látványos csökkenést hoznak mintegy 50 cm mélységig a csapadék mennyiségének és a talaj szerkezetének, telítettségének függvényében.

Irodalom

- Anda, A., Decsi, É. K. és Vercz, B., 2001: A jégeső és a felszín. *Légekör* 46(2), 6–11.
- Pletser, J., 1960a: A száraz és nedves talaj hőmérséklete. *Időjárás* 64, 48.
- Pletser, J., 1960b: Öntözött talaj hőmérséklete. *Időjárás* 64, 113–114.
- Pongrácz, R. és Bartholy, J. (szerk.), 2013: Alkalmazott és városklimatológia. *Eötvös Loránd Tudományegyetem*. Budapest
- Szász, G., 1988: Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 136–137.
- Váradi, F., 1991: Budapest jégesői 1951–1991 között. *Légekör* 36(3–4), 15–18.

METEOROLÓGIAI JELENSÉGEK MADÁCH KORÁBAN

METEOROLOGICAL PHENOMENA IN MADÁCH' AGE

Andor Csaba

1072 Budapest, Nyár utca 8., *teofilia50@gmail.com***Összefoglalás.** Az írás Madách Imre néhány, az időjárás eseményekhez kapcsolódó feljegyzéseit gyűjti össze.**Abstract.** The paper collects some notes from *Imre Madách's* writings about weather phenomena showing a different

Madách ifjúsága a reformkorra esett, 1837-től 1840-ig Pesten tanult az egyetemen. Az időjárás eseményekről sajnos nem számolt be édesanyjának írt leveleiben, egyes esetekben mégis következtetni lehet azok tartalmából a levegő hőmérsékletére. 1837. december 17-én írta: „A hidat 14-ben kivették, bár még jég nem megy.” Vagyis a Pestet és Budát összekötő hajóhidat ezek szerint ebben az évben december 14-én kellett szétszedni. 1838. december vége felé pedig ezt olvassuk az egyik levelében: „Két pulyka az úton megfagyott.” Pesten ugyanis Madách és két öccse részére egy kisebb háztartást tartott fenn édesanyjuk, Majthényi Anna: egy szolgálóval, egy nevelővel és egy szakácsnővel. Az élelmiszert rendszeresen szekér vitte nekik Alsósztrégováról. De nem egyenesen Pestre, hiszen ekkora távolságot (kb. 120 km) legfeljebb váltott lovakkal lehetett volna egy nap alatt megtenni. Az utazások alkalmával minden esetben Csesztvén töltöttek egy éjszakát. Ezek szerint a pulykáknak túl hosszú volt a Csesztvétől Pestig tartó út. Ugyancsak 1838. december végén írta: „Már a hidat kivették, és sok jég megy a Dunán.” Arról viszont semmit sem tudunk, hogy 1838. március 15-én, a pesti árvíz idején mi történt Madách Imrével. Az biztos, hogy Pesten tartózkodott, március 31-én ugyanis egy Alsósztrégováról keltezett levelében azt írta, hogy előző napon érkezett haza. Nem lehetett tehát két héttel korábban otthon. (Csak tavasszal és nyáron volt szünet az egyetemen, a tavaszi szünet időszakába pedig mindig beleesett húsvét is. 1838-ban április 15-én volt húsvét vasárnapja.) Az információhiánynak van egy kézenfekvő oka: nem volt kinek írnia, mert ekkori két levelezőpartnere: édesanyja és barátja, Lónyay Menyhért (aki az évfolyamtársa volt) szintén Pesten tartózkodott. A Madách fiúknak (és a személyzetnek) édesanyjuk a mai Kálvin téren (akkor Széna térnek nevezték) bérelt lakást, az pedig egy korabeli litográfián jól látható, hogy a református templom és az attól balra álló ún. oroszlanos ház (*Némethy, 1938*) vízben állt (ez a két épület a mai napig megmaradt a tér egykori házaiból, a többit lebontották azóta, így azt az épületet is, ahol a Madách fivérek laktak). A család tehát közvetlen tapasztalatokat szerezhetett március 15-én az árvízről.

Ebben az időszakban a műveltség még elképzelhetetlen volt természettudományos műveltség nélkül, így az értelmiség széles körében váltak ismertté az árvízzel kapcsolatos mérési adatok és magyarázatok. Madách egyetemi éve alatt előfizetett az Athenaeum c. hetente kétszer megjelenő lapra, amelynek szerkesztői (Toldy Ferenc, Vörösmarty és Bajza) irodalommal foglalkoztak ugyan, ám a lapban hasonló terjedelemben voltak tudó-

mányos és szépművészeti tárgyú írások, az előbbin belül pedig a természettudományos cikkek túlsúlyát lehetett megfigyelni. Az árvízzel kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat is ebből a lapból ismerhette meg az ifjú költő. 1838 nyarán Vásárhelyi Pál írt több részből álló tanulmányt a lapban *A 'budapesti állóhid' tárgyában* címmel. (Nem elírás, nem hivatalosan már ekkor használták a Budapest elnevezést!) A lap július 5-i számában éppen egy olyan folytatását olvashatta a cikksorozatnak Madách, amely nem a tervezett állóhídról, hanem teljes egészében a március 15-i árvízről szól (*Vásárhelyi, 1838*). Vásárhelyi egy érdekes empirikus megfigyeléssel kezdte az írását: a Dunán a jég beállásakor mért vízszint mindig alacsonyabb volt, mint a tél végi jégzajlás megindulásakor mért vízszint. Ennek illusztrálására az 1818-tól 1836-ig tartó időszak pesti adatainak táblázatát közölte. Mint emlékeztető, a visszaduzzasztott víz volt a március 15-i árvíz fő oka, amit a Csepel-szigetnél feltorlódott jég idézett elő. A veszélynek egyébként voltak előjelei, hiszen már január 6-án volt egy kisebb áradás, 6,5 méteres vízszinttel, ami a téli időszakban nagyon magas vízállásnak számított. A cikk egyik érdekessége, hogy bizonyos iskolázottságot feltételezett az olvasóról, hiszen egy olyan képlet is volt benne, amelyben négyzetgyökjel szerepelt.

A következő év nyarán is érdekes jelenségnek lehetett volna tanúja Madách, ha szűkebb szülőhazájában, Nógrádban tartózkodik. 1839. június 30-án ugyanis „Balassagyarmathoz közel nagy hó esett” (*Réthly, 1998a*). Ekkor azonban Pesten volt, és feltehetően a vizsgákra készült; csak egy hónappal később utazott haza. Egy későbbi és jóval ritkább természeti jelenséget azonban esetleg ő maga is láthatott. 1851. december 18-án „Holdszivárványt láttak Balassagyarmaton” (*Réthly, 1998b*). Ekkoriban Csesztvén tartózkodott, de elég gyakran bejárt a néhány kilométerre fekvő Balassagyarmatra. Az eseményt életrajzi regényének írója, Harsányi Zsolt több helyen is megemléltette különböző írásaiban, de eltérő időpontokkal; a forrás nyilván a Pesti Napló lehetett, hiszen Réthly Antal is arra hivatkozott.

Madách korában az időjárást a stratégiailag fontos területeken, így pl. a közlekedésnél és hírközlésnél figyelembe kellett venni. Látszólag érthetetlen, hogy a korabeli posta Nógrád megyeszékhelyéről, Balassagyarmatról miért Rétságon keresztül vitte a leveleket a szomszédos Hont megyeszékhelyére, Ipolyságra? Hiszen ez hatalmas kerülő út! Nem volt a két Ipoly menti város között közvetlen út? Nyilván volt, de nem mindig lehetett használni. Az elmúlt években is volt rá példa, hogy az Ipoly helyenként előtölte a part menti utakat, és egy időre akadályozta a

közúti közlekedést. El lehet képzelni, hogy Madách korában milyenek lehettek áradások idején az útviszonyok. A postának azonban áradások idején is működni kellett, ez a magyarázata a kerülőútnak. Az Ipolyt persze nem lehetett minden esetben megkerülni, a postai küldeményeknek valamiképpen el kellett jutniuk a túlsó partra is. Egyetlen pontja volt a folyónak, ahol ezt áradások idején is biztosítani lehetett: a Nógrádszakál melletti Ráróspuszta. Itt volt ugyanis az Ipoly egyetlen kőhídja. Ennek megfelelően Nógrádszakálban is volt egy postaállomás, ez volt az Alsósztregovához legközelebbi, Madách is ezen a postaállomáson keresztül küldte, ill. kapta a leveleket. (Ez a korabeli címzésekből derül ki, amelyeken az útvonalat mindig fel kellett tüntetni. Egy Pestről küldött levél címzése így nézett ki: Vác – Rétság – Balassagyarmat – Nógrádszakál – Alsósztregova. Erre többek között a teljesen azonos nevű települések miatt is szükség volt: pl. több mint 20 Szentmárton nevű község volt akkoriban. Csak a XIX. század végén kezdték egyértelműsíteni a helyneveket. De pl. az utolsó hivatalos magyar helynévtár szerint 1913-ban még mindig két Brassó volt: egy nagyváros a Székelyföldön és egy apró falu Hunyad vármegyében. Az idősebbek még emlékezhetnek rá: valaha a csehszlovák térképeken Praha I-gyel jelölték az ország fővárosát, Prágát, és Praha II-vel Gácsprágát.) Az időjárásnak és az útviszonyoknak a kapcsolata azonban egy ponton jelentősen eltért a napjainkban megszokottól. Madách unokaöccse, Balogh Károly írta, visszaemlékezve az Alsósztregován töltött gyermek- és ifjúkorára: „A telek hidegek voltak, mintha általában hidegebbek voltak volna abban az időben. De különösen hidegek voltak azok a sztregovai völgyben. Észak felől nyitott kapuján csak úgy áradt be a tótság hegyeinek fagyos lehelete. Nem voltak most bukkanók, zökkenők, kátyúk, gidrek-gödrök a völgyi utak egész vonalán. Eligazított mindent, s betakart tiszta fehér, vastag, puha palástjával a legjobb útmester – a hó” (Balogh, 1996).

A fagy önmagában kevés volt a kedvező útviszonyokhoz. Igaz, hogy nem akadtak el a szekerek és hintók a kátyúkban (amire tavasztól őszig mindig lehetett számítani), de a fagyott földön döcögő járművön legalább olyan kényelmetlen volt az utazás, mintha napjainkban egy úton folyamatosan helyeznék el a fekvőrendőrköt. Ám ha a fagy kellő mennyiségű hóval párosult, akkor egyszerűen ideálissá váltak az útviszonyok (helyenként nem is kellett az úttal törődni, sík vidéken akár „toronyiránt” is elindulhatott a jármű). Persze, ilyenkor az erre a célra sokkal alkalmasabb szánnal történt a közlekedés.

Amikor 1862 januárjában Madách megkapta *Az ember tragédiája* 20 tiszteletpéldányát, amelyeket Arany János postán küldött el neki, éppen ideális volt az időjárás az utazáshoz: kemény tél volt, nagy hóval Alsósztregován. Az ismerősöknek szánon vitte el a költő a művét.

Ez a példa azért is érdekes, mert kiderül belőle, hogy van valami, ami az elmúlt 150 évben gyorsabb ütemben változott, mint az időjárás, ez pedig a társadalomnak az időjáráshoz való viszonya. Mostanában tavasztól őszig könnyebb a közlekedés, hiszen a magasított aszfalt utak-

ról lefolyik az esővíz; ugyanakkor az ilyen utak kiváló hófogók is, így aztán nem csoda, hogy szeles időben több méteres hótorlaszok alakulnak ki, különösen ott, ahol a magas és nagy közegellenállású kamionok kedvezőtlen aerodinamikai tulajdonságukkal (amely a mozgásukra merőleges irányban még rosszabb) tovább növelik a hóakadályokat.

Madách életében volt egy Magyarországon ritkán látható jelenség: az északi fény. Ezt egy azóta sem tapasztalt erősségű napkitörés idézte elő 1859. szeptember 1-jén. Tudjuk, hogy az Egyesült Államokban, de más országokban is megfigyelték a sarki fényt, és pedig olyan helyeken is, amelyek Magyarországnál is délibb fekvésűek. (Ez volt az első eset, amikor a napkitörésnek a társadalmi hatását is észlelni lehetett: a távírók jelentős része ugyanis tönkrement: a távvezetékekben indukált áram sok helyen tönkretette a jelfogókat.) Csak sajnálhatjuk, hogy erről Réthly Antalnál csak egy debreceni megfigyelés alapján értesülhetünk (Réthly, 1998c); úgy látszik, a korabeli sajtó nem foglalkozott az esettel, hiszen ha Debrecenben megfigyelték, akkor nehéz elképzelni, hogy sehol másutt nem észlelték a Kárpát-medencében. Inkább arra kell gondolnunk, hogy a jelenséget az a nem túl nagy számú megfigyelő sem ismerte fel, aki már hallott róla, ezért aztán senki sem tulajdonított különösebb jelentőséget a szokatlan fényjelenségnek. Ami Madáchot illeti, ő a természettudományos tárgyú feljegyzéseiben a sarki fényre is tett egy utalást: „Nordlicht – földmagnetizmus” (Halász, 1942). Valamit tehát tudott az *aurora borealis*-ről; az utalásból arra következtethetünk, hogy feltehetően egy német nyelvű könyvben vagy folyóiratban olvasott róla és a földmágnességgel való kapcsolatáról. Egyáltalán nem biztos azonban, hogyha esetleg látta, akkor azzal is tisztában volt, hogy mit lát; az előzetes ismeretek olykor nem elősegítik, hanem gátolják a felismerést, az azonosítást. Talán nem hitt volna a szemének, és arra gondolt volna, hogy képtelenség az északi szélességnek ezen a fokán sarki fényt látni, s mivel annak színe a debreceni észlelés szerint „veres” volt, inkább egy távoli tűzvész által előidézett légköri jelenségre gyanakodott volna.

Irodalom

- Balogh, K., 1996: Gyermekkorom emlékei. *Madách Irodalmi Társaság*, Bp., pp. 100
- Halász, G. (szerk.), 1942: Madách Imre összes művei II. *Révai*, Bp., pp. 793
- Némethy, K. (szerk.), 1938: A pest-budai árvíz 1838-ban. *Budapest Székesfőváros kiadása*, Bp., 9. kép
- Réthly, A., 1998a: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801–1900-ig. I. k. *OMSZ*, Bp., 408.
- Réthly, A., 1998b: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801–1900-ig. I. k. *OMSZ*, Bp., 484.
- Réthly, A., 1998c: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801–1900-ig. I. k. *OMSZ*, Bp., 502.
- Vásárhelyi, P., 1838: A 'budapesti állóhíd' tárgyában. *Athenaeum* 1838. II. félév 2. sz. (1838. július 5.) 25–35. hasáb.

A LEVEGŐ, AZ ÉLTETŐ „SEMMI” – KÖNYVISMERTETÉS THE AIR, THE VITAL 'NOTHING' – BOOK REVIEW

Haszpra László

Országos Meteorológiai Szolgálat, Marczell György Főobszervatórium, 1675 Budapest, Pf. 39., haszpra.l@met.hu

Nem vall különösebb jólneveltségre, ha valakit levegőnek nézünk, azaz semmibe veszünk. De a semmi a levegő szinonimája lenne? Mészáros Ernő akadémikus új könyve erre a kérdésre tulajdonképpen már a címében választ ad: „Az éltető semmi: a levegő – Légkörtudomány mindenkinek”. Levegő nélkül néhány percnél többet nem élünk túl, de a légáramlások nélkül eleink vitorlás hajóikkal nem fedezhették volna fel a távoli kontinenseket és nem öröhlhetek volna gabonát sem szélalmokkal. Azt

már az ókori görögök is felismerték, hogy a levegő nem semmi, hanem anyag. Empedoklész a Kr. e. 5. században kísérletileg bizonyította a levegő anyagi természetét és a levegőt a tűz, a víz, illetve a föld mellett a világot felépítő negyedik őselemnek tekintette. A kor tudása és lehetőségei mellett ez rendkívül előremutató felismerés volt. Azt viszont akár furcsállhatjuk is, hogy bő kétezer évig nem is merült fel új gondolat a levegő mibenlétét illetően. Változást csak a 18. század hozott, az analitikai kémia hajnala, amikor egyre több gáznemű anyagot sikerült kimutatni a levegőben. Arról azonban egészen az 1800-as évek elejéig vita folyt, hogy maga a levegő, ha nem is őselem, de egy konkrét vegyület-e vagy pedig gázkeverék?

Ma már tudjuk, hogy a levegő gázkeverék, benne mikroszkopikus méretű részecskékkel, melyet a Naptól érkező energia mozgat a fizika törvényeinek megfelelően. Összetett kémiai és fizikai folyamatok vezetnek a felhők képződéséhez és a csapadék keletkezéséhez. Tudjuk, hogy a Föld éghajlatára befolyással van a légkör összetétele, a kontinensek elhelyezkedése. A légkör szoros fizikai és kémiai kapcsolatban áll a bioszférával és az óceánokkal, de számos jelenségre még ma is keressük a magyarázatot. A levegő, konkrétan a benne lejátszódó folyamatok, az időjárás, a levegő minősége közvetlenül érinti mindennapi életünket. Kedvezőtlen esetben gazdasági károkkal, egészségügyi kockázatokkal kell szembenéznünk, szélsőséges esetben pedig a légköri folyamatok emberéleteket is követelő ka-

tasztrófákat idézhetnek elő. Napjaink globális éghajlatváltozása nemcsak közvetlenül a sérülékeny országokban, hanem világszerte politikai kríziseket válthat ki. Az általános érintettség miatt nemcsak a szakemberek, hanem a laikusok sokasága is érdeklődik a légkörre vonatkozó ismeretek iránt. Mészáros Ernő most megjelent könyve közérthetően vezet be a légköri jelenségek, az időjárási és éghajlati folyamatok világába. A mindössze 100 oldalas könyvben a szerző mellőzi a matematikai és kémiai

formulákat, levezetések. Egyszerű, de szabatos nyelvezetével igyekszik élvezetes és hasznos olvasmányt nyújtani azoknak is, akik csak minimális természettudományi ismeretekkel rendelkeznek. Ezt tükrözi a könyv alcíme is: *Légkörtudomány mindenkinek*. Felépítésében és stílusában a könyv egy társasági beszélgetésre emlékeztet, melynek során a hozzáértő a laikus érdeklődőkben a légkörrel, az időjárással, az éghajlattal kapcsolatban leggyakrabban felmerülő kérdésekre ad közérthető válaszokat. A fejezetcímek, és több helyen az alfejezetek címei is, kérdések: Miért különleges a levegő? Mik azok a nyomanyagok? Miért kell ózon a levegőbe? Miért fúj a szél? Mi az a titokzatos turbulencia? Hogyan keletkeznek a hurrikánok? Miért esik az eső? Desztillált víz a csapadék? Mi az időjárás? Hogy lehet előre jelezni? Mik

azok a frontok? Változik-e az éghajlat? Hogyan keletkeznek a jégkorszakok? – hogy csak néhányat emeljünk ki a könyvben érintett kérdések közül. Mészáros Ernő akadémikus több mint ötvenéves kutatói és oktatói tapasztalattal ad könnyen megérthető válaszokat. Az olvasót a könyv végén név- és tárgymutató is segíti.

Mészáros Ernő „Az éltető semmi: a levegő – Légkörtudomány mindenkinek” című tudományos ismeretterjesztő munkája a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával a Pannon Egyetemi Kiadó gondozásában jelent meg. A könyv ingyenes, és így *könyvesbolti forgalomba nem kerül. Korlátozott számban az OMSZ Könyvtárában (konyvtar@met.hu) igényelhető.*



VÉLEMÉNY „JANKÓ FERENC: ÉGHAJLAT, TUDOMÁNY, TÖRTÉNETEK” CÍMŰ KÖNYVÉRŐL

REVIEW ABOUT FERENC JANKÓ'S BOOK ENTITLED 'CLIMATE – SCIENCE – HISTORIES'

Horányi András

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, *Andras.Horanyi@ecmwf.int*

Összefoglalás. „Jankó Ferenc Éghajlat, tudomány, történetek” című kötete nyolc klímakutatással foglalkozó szakembert szólaltat meg. A kutatók életútján keresztül megismerkedhetünk a jelenkori klímaváltozási kutatások széles spektrumával és betekintést nyerhetünk arról, hogy a magyar szakemberek hogyan látják szerepüket a nemzetközileg koordinált kutatómunkában, illetve hogyan ítélik meg munkájuk hazai fogadtatását. Személyes történetek, anekdoták színesítik a hazai klíma-tudománytörténeti áttekintéssel záruló kötetet.

Abstract. The book entitled 'Climate – Science – Histories: Conversations about Climate Change' edited by Ferenc Jankó introduces the near past and present climate change related research activities in Hungary through interviews with eight leading scientists working on wide range of climate change research subjects. The volume provides an interesting and often personal insight how climate research had been evolved in Hungary and how Hungarian scientists judge their role in the international and national context. The book is completed by a historical overview of the evolution of the Hungarian climate research activities putting all this into a historical perspective.

Nagy örömmel tettem eleget Jankó Ferenc felkérésének, hogy olvassam el és véleményezzem az „Éghajlat tudomány, történetek” című kiadványt. A könyv témája különösen közel áll a szívemhez, minekután kb. 10 éven át foglalkoztam éghajlatkutatással Magyarországon a 2000-es években beinduló regionális klímamodelllezési tevékenységek, illetve az éghajlatváltozás hatásaival összefüggő munkák kapcsán. Az érdeklődésemet tovább fokozta az a tény, hogy ugyan a szerkesztőt nem, de az interjúalanyok többségét, illetve szakmai munkájukat személyesen is jól ismerem és így kíváncsian vártam, hogy mik azok a részletek, amikkel meg tudnak lepni a beszélgetések során és milyen perspektívába helyezik klímakutatási tevékenységeiket. Ilyen előzmények után tehát nagy érdeklődéssel olvastam el a könyvet és örömmel osztom meg a véleményemet a Léggör olvasóival.

A Jankó Ferenc szerkesztésében megjelent kiadvány betekintést nyújt a magyar éghajlatkutatás múltjába és jelenébe, számot adva a jövőben várható éghajlatváltozás részleteiről is. A szerző megszólaltat nyolc klímával foglalkozó szakembert, akik bemutatják az éghajlattal kapcsolatos kutatásaik szakmai és sokszor személyes hátterét és legfőképpen azt válaszolják, hogy hogyan látják eredményeik hazai alkalmazhatóságát és fogadtatását. A kötetbe bekerülő és kimaradó kutatók személye mindig is viták tárgyát képezi, képezheti, ráadásul a szerkesztő nem ad világos szempontokat a kiválasztás mikéntjére. Számomra nem igazán okoz ez gondot, mert kiegyensúlyozottnak találok a szereplők megválasztását, ugyanakkor biztos vagyok abban, hogy lesznek olyan szakemberek, akik esetleg reklamálni fognak azért, hogy ők miért nem lettek megszólaltatva. A könyvet keretbe zárja Jankó Ferenc bevezetője és tudománytörténeti áttekintése. A kötet előszavát Vida Gábor jegyzi.

Előrebocsátom, hogy a kötet alapvetően beváltotta a hozzáfűzött reményeimet, mert a könyv elolvasásával rövid, de érdekes tudománytörténeti időutazáson vehetünk részt a távolabbi és a közelebbi múlt éghajlatkutatási tevékenységei kapcsán. Ráadásul véleményem szerint személyes életutakon keresztül mindig is izgalmasabb egy folyamat megismerése, mert olyan részletekkel is gazdagodhatunk, melyeket egy száraz leíró

könyvből aligha szerezhetünk meg. Úgy gondolom, hogy a szerkesztő/kérdező is megfelelő irányba tereli a szakemberek gondolatait. Ráadásul a kötet egyértelműen túlmutat a meginterjúvolt szakemberek munkájának bemutatásán, hiszen a beszélgetéseken keresztül képet kapunk a magyar kutatás és ezen belül az éghajlat kutatásának általános állapotáról és társadalmi helyzetéről is.

A kötet első blokkja („Vissza- és előtekintés” címmel) két „nagy öreg”, *Czelnai Rudolf* és *Probáld Ferenc* interjút tartalmazza. Czelnai Rudolf minden bizonnyal a legnagyobb szakmapolitikai karriert befutott magyar meteorológus, aki nemcsak az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) elnöke volt 7 éven keresztül, hanem azután a Meteorológiai Világszervezet (WMO) főtitkár-helyettesi pozícióját is betöltötte. Ezeket a pozíciókon keresztül Czelnai számos úton-módon találkozott a klímaváltozás ügyével és számos érdekes élményt őriz arról az időszokról, amit szívesen meg is oszt az olvasókkal. Probáld Ferenc földrajztudós, akinek a városklimatológiai kutatásai közismertek. Emellett évtizedekig oktatta a meteorológus hallgatókat is. A két beszélgetés sok-sok személyes élménnyel gazdagítja a történelmi képet.

A kötet következő blokkjában (címe: „A változás természete”) a jelen hazai klimatológiai kutatásainak prominens képviselőivel találkozhatunk. A „szakmatörténeti” arányok is tükröződnek abban, hogy két statisztikus klimatológust (klimatográfust) és egy klímamodellező szakembert ismerhetünk meg a két legismertebb hazai klímakutató műhely, az Országos Meteorológiai Szolgálat és az ELTE Meteorológiai Tanszék képviselőiben. *Bartholy Judit* pályáját az OMSZ-ban kezdte el, majd onnan ment át az ELTE Meteorológiai Tanszékére a 90-es évek elején. Pozíciójából adódóan Bartholy sok szalon kapcsolódik a klímaváltozás kérdéséhez, illetve a hallgatóin keresztül be tudott kapcsolódni a szakmai munkába is. Lehetősége volt arra is, hogy betekintést nyerjen az IPCC testületének munkájába és erről is megtudhatunk néhány érdekes részletet. *Lakatos Mónika* szintén statisztikus klimatológiai foglalkozik, s ezen belül is az éghajlati szélsőségek statisztikai elemzésével. A szélsőségek elemzése a klímakutatás különösen izgalmas területe, tekintettel arra a tényre, hogy mára már szinte min-

denki párhuzamot von az éghajlatváltozás és a szélsőségek számának növekedése között. Erre sajátos példa a még ma is hivatkozási alpnak tekintett és a könyvben is röviden megemlített VAHAVA projektben hangoztatott kitétel, miszerint nem az az érdekes, hogy milyen irányú szélsőségekkel találkozunk, hanem az, hogy a szélsőségek száma „halmozódik” függetlenül azok „előjelétől”. (Például ez alapján, ha a következő években, évtizedekben folyamatosan az átlagosnál hidegebb teleink lennének, akkor az is a globális felmelegedés csalhatalan jele lenne... talán nem kell kommentár ezen állítás interpretációjához...). *Szépszó Gabriella*, a fiatalabb éghajlatkutató generáció tagja, aki klímamodellezéssel foglalkozik az erre egyedül szakosodott hazai intézményben, az OMSZ-ban. Üzenetének lényege, hogy az éghajlat objektív eszközökkel modellezhető és így kidolgozható egy teljesen objektív „algoritmus”, amely nélkülözhetetlen alapot nyújt az éghajlatváltozáshoz való sikeres adaptációhoz. Ebben fontos szerephez kell jutnia a bizonytalanságok számszerűsítésének és figyelembevételének is.

A „Természet és ember” blokkban *Jolánkai Mártont*, *Mátyás Csabát* és *Kerekes Sándort* ismerhetjük meg. Ők már elsősorban az éghajlatváltozás hatásaival, illetve Kerekes Sándor esetében a fenntarthatóság kérdéseivel foglalkoznak. A beszélgetések jól illusztrálják az éghajlatváltozás kutatásának inter-diszciplináris jellegét és azt, hogy a kutatásokba milyen sokrétű módon és szerteágazó szaktudással lehet bekapcsolódni. Természetesen

ezzel óvatosan kell bánni, mert az elmúlt évtizedekben az éghajlatváltozás hívoszávával rengeteg sarlatán is csatlakozott a témához, akiket nem a szakmai elhivatottság vezérelt, hanem megélhetési lehetőséget láttak ebben az egyre népszerűbbé váló témában.

A Jankó Ferenc tollából származó tudománytörténeti áttekintés ugyan meglehetősen távolról és szárazon (már-már unalmasan) indul, de azután nagyon érdekesen mutatja be a korabeli szakmai vitákat. Különösen érdekes és kiemelendő a szakemberek/tudósok kiállása a szakma mellett gyakran még a hivatalos politikai irányvonal ellenében is (pedig akkor még nem „babra ment a játék”). Ez utóbbit jó lenne napjainkban is szem előtt tartani, azaz nem a mindenkor hatalomnak való feltétlen megfelelést, hanem a teljes

szakmai alázatot kitűzni egy szakmát képviselő intézmény zászlajára. Ennél a fejezetnél sajnálatosnak tartom, hogy nem került sor a legutóbbi 20–30 év bemutatására, esetleg megemlítve a hazai klímászkeptikusok tevékenységét is. Ez nagyban színesítette volna a témát, ráadásul szerintem a könyv így még több olvasót állított volna maga mellé, akik személyes tapasztalataikon keresztül tudtak volna kapcsolódni a könyvben leírtakhoz.

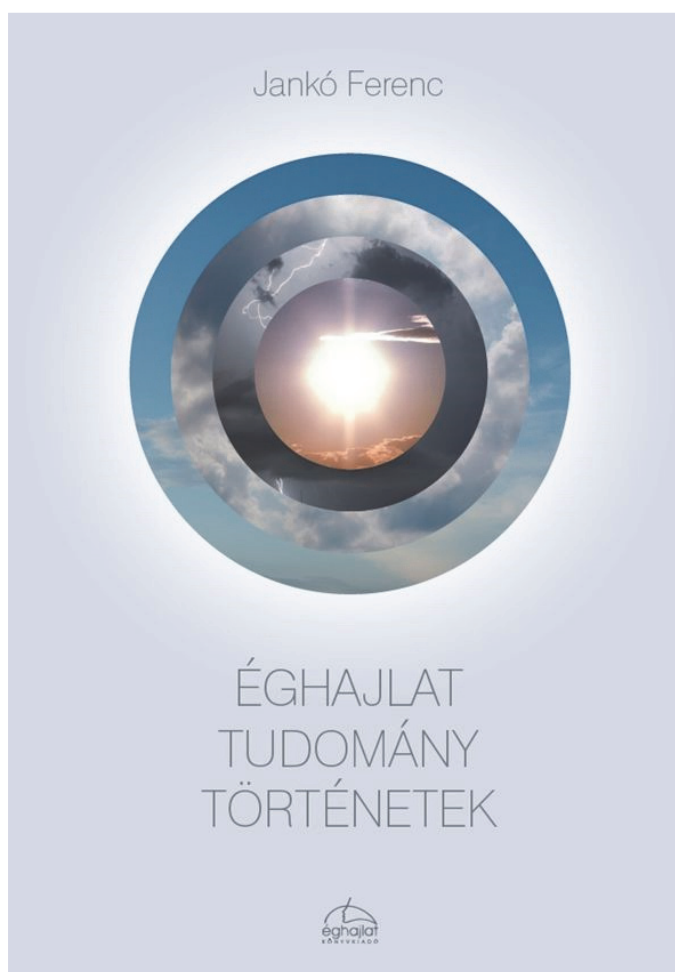
Végül, de nem utolsósorban még néhány egyéb, általános észrevételt is szeretnék fűzni a kötethez. Úgy érzem, hogy nagyon üdvözítő lett volna, ha a kötet szakmai lektorálásra kerül, mert így elkerülhetőek lettek volna a néha megmosolyogtató szakmai hibák. E mellett számos formai, szerkesztői hiba is található a könyvben, amit

nagyon jó lett volna elkerülni a könnyebb olvashatóság és élvezhetőség kedvéért. Talán egy Függelék szerepeltetését is meg lehetett volna fontolni, a számos említésre kerülő, de nem megmagyarázott idegen szó kifejtésére.

Sajnos nem mehetek el szó nélkül amellett sem, hogy a kötetet végigkíséri a „szokásos” magyaros cím- és rangkorság és egyes kutatók már-már ízléstelen szerénytelensége. Szerintem ez részben a szerkesztő hibája is, aki a kérdések megfogalmazásánál is teret ad efféle anomáliáknak. Úgy érzem, hogy teljesen felesleges a szakemberek címének, pozíciójának folytonos és visszatérő emlegetése. Véleményem szerint az is visszatetsző, hogy több megszólaltatott visszaél azzal a lehetőséggel, hogy az egyszeri olvasó nem tudja megíté-

ni, hogy valójában mit is ért el a megszólaló, akik pedig próbálják szerepüket egyértelműen eltúlozni egyik-másik vonatkozásban. Az én véleményem az, hogy a szerényebb képet mutató, visszafogottabb nyilatkozatok jobban eljutottak volna az olvasóközönséghez és ráadásul emberibb képet mutatott volna a kutatókról (hangsúlyozom, hogy itt nem minden megszólaltatottól van szó, azaz, „akinek nem inge, ne vegye magára”).

Zárszóként szeretném hangsúlyozni, hogy kritikái észrevételeim ellenére a könyvet személy szerint nagyon érdekesnek és izgalmasnak találtam és elolvasását melegen ajánlom nemcsak az éghajlattal foglalkozó szakemberek, de a teljes meteorológus társadalom és az éghajlatváltozás iránt érdeklődő összes kolléga számára is.



2017 TAVASZÁNAK IDŐJÁRÁSA WEATHER OF SPRING 2017

Hoffmann Lilla

Országos Meteorológiai Szolgálat, H-1525 Budapest, Pf. 38., hoffmann.l@met.hu

2017 tavasza összességében az átlagosnál 1,1 °C-kal volt melegebb. A normálnál magasabb hőmérsékletű volt a május és a március, ez utóbbi a második legmelegebbnek adódott 1901. január 1-je óta. Az április a sokévi átlagnál valamivel hűvösebb volt. A csapadékvizonyokat tekintve az április csapadékosabb volt a szokásosnál, míg a május, de leginkább a március meglehetősen száraznak adódott. Országos átlagban a tavasz középhőmérséklete 11,9 °C volt. Az ország egész területét pozitív hőmérsékleti anomália jellemezte. Az ország déli területei bizonyultak a legmelegebbnek, a hőmérséklet értéke meghaladta a 12,5 °C-ot. A leghidegebb az Északi-középhegység magasabban fekvő területein volt, általában 9 °C alatt alakultak a középhőmérsékletek. A május, de különösen a március meglehetősen száraznak bizonyult, a regisztrált csapadékmennyiség májusban a normál 84%-a, márciusban pedig mindössze 64%-a volt. Áprilisban a megszokottnál 4%-kal esett több eső. Összességében 2017 tavaszán 15%-kal volt kevesebb csapadék, mint általában. A Balaton mentén és a Göcsejben az évszakos csapadékösszeg a 70 mm-t sem érte el, míg az Északi-középhegység magasabban fekvő területein a háromhavi csapadékösszeg meghaladta a 210 mm-t is.

Március. A hónap középhőmérséklete 8,9 °C volt, ez a második legmelegebb március 1901. január 1. óta. A középhőmérséklet zömmel 8–9 °C között alakult, melegebb régiók csupán foltokban jelentkeztek. Hűvösebb körzetek az Északi-középhegység magasabban fekvő részein fordultak elő, ezeken a területeken 4–5°C közötti átlagokat jegyeztünk. A legnagyobb hőmérsékleti anomáliát a Mátrában, illetve Budapest környékén figyeltük meg. Ezeken a területeken 3–4 °C-kal volt melegebb a normál időszakhoz képest. A legkisebb eltérés az északi- és a déli határszéleken, az északkeleti területeken, valamint a Dunántúl északi részein jelentkezett. 6 fagyos nap ($T_{\min} \leq 0$ °C) volt, ami 7 nappal kevesebb a megszokottnál. A szokásos 1 nappal szemben nem fordult elő téli nap 2017 márciusában ($T_{\max} \leq 0$ °C).

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

25,8 °C, Békéssámon (Békés megye), március 22.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-7,6 °C, Zabar (Nógrád megye), március 27.

Országos átlagban 22,2 mm volt a havi csapadékösszeg, ami a szokásos érték 64%-a. Az ország nagy részén az 1981–2010-es éghajlati normál mindössze 60–80%-a hullott le. Az északkeleti és nyugati területeken jelentkezett a legkisebb csapadékösszeg, az Őrség egyes részein 5 mm alatti csapadékösszeget mértünk. 7 csapadékos napot regisztráltunk, ami 2 nappal kevesebb, mint a sokévi átlag.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

64,0 mm, Gerecse-tető (Komárom-Esztergom megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

0,5 mm, Felsőszőlők (Vas megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

30,2 mm, Gerecse-tető (Komárom-Esztergom megye), március 18.

Április. Az ország nagy részén 9–10 °C között alakult a havi átlaghőmérséklet, az országos átlag pedig 10,4 °C-nak adódott. A Tisza és a Duna alsó szakaszán, a Balaton környékén és a Dráva-síkon melegebb, míg az Északi-középhegység magasabban fekvő területein hűvösebb időjárás volt jellemző. Zömmel az 1981–2010-es átlag alatt alakultak a hőmérsékleti értékek, csupán a nyugati, délnyugati országrészben és Budapest egyes részein volt ennél melegebb. A legnagyobb különbséget a Zempléni-hegységben és az Ipoly mentén figyeltük meg, ezeken a területeken mintegy 2 °C-kal volt hűvösebb az átlagnál. Fagyos napokból 2, nyári napokból ($T_{\max} \geq 25$ °C) 1 fordult elő (normál: 3 és 1 nap).

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

27,2 °C, Dombegyház (Békés megye), április 27.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-7,1 °C, Kékestető (Heves megye), április 21.

Csapadék szempontjából az idei április átlagosnak bizonyult, országos átlagban mintegy 46 mm csapadék hullott. A legszárazabb területek (10–20 mm) a Balaton környéke és a délnyugati országrész, a legcsapadékosabbak az Északi-középhegység magasabban fekvő részei (Börzsöny, Mátra, Bükk), a Bakony és a Balaton délnyugati csücske voltak.

Hőmérsékleti rekordok:

- április 2-án új országos maximumhőmérsékleti rekord született, Békéssámonban 26,3 °C-kal. 1918-ban ezen a napon, *Türkevén* 25,7 °C-ot mértünk.
- április 3-án szintén új országos melegrekord született, Edelényben 27 °C-ig emelkedett a levegő hőmérséklete. Ezen a napon mért eddigi legmagasabb hőmérsékletet 25,9 °C-kal *Nyíregyházán* rögzítették 1938-ban.
- április 21-én, Kékestetőn -7,1 °C-ig hűlt le a levegő, ezzel pedig megdőlt a napi minimumhőmérséklet országos rekordja. A korábbi rekord *Kékestetőn* 1959-ben -6,3 °C volt.
- május 10-én új napi minimumhőmérsékleti rekordot jegyeztünk, Koroncón -2,5 °C-ig süllyedt a hőmérséklet. A korábbi rekordot (-2,0 °C) 1928-ban regisztráltuk *Budapest Csillagda* állomásunkon.
- május 11-én, Zabarón -2,4 °C-ot mértünk, és ezzel megdőlt az országos minimumhőmérsékleti rekord. A korábbi, -2,2 °C-os rekordot 1978-ban regisztráltuk *Kékestetőn*.

Ez utóbbi területeken a havi csapadékösszeg elérte a 100 mm-t is. A sokévi átlaghoz viszonyítva a délnyugati országrészben hullott kevesebb csapadék (a normál 30–40%-át jegyeztük). A legcsapadékosabb területek az Észak-Alföld egyes részei, valamint a Gödöllői-domság voltak. Ezeken a helyeken az átlag 140–160%-át regisztráltuk. Csapadékos napból a szokásos 10 nap jelentkezett.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

152,6 mm, Miskolc Lillafüred-Jávorkút (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

10,9 mm, Nemeskísfalud (Somogy megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

108,5 mm, Miskolc Lillafüred-Jávorkút

(Borsod-Abaúj-Zemplén megye), április 19.

Május. A májusi középhőmérséklet 15 és 16 °C között alakult hazánk nagy részén. Ennél hidegebb az Északi-középhegység magasabban fekvő területein volt. Magasabb hőmérsékleti értékek a délkeleti országrészben és a Duna alsó szakaszán jelentkeztek. A szokásosnál 0,3 °C-kal volt melegebb a május az 1981–2010-es átlaghoz képest. Az ország nagy részén átlag körüli hőmérsékleti értékek jelentkeztek, ennél hűvösebb az északi területeken, a Nagykunság környékén és a Duna-Tisza közén volt. A legnagyobb pozitív anomáliát Budapest környékén, a Dunántúli területeken és az Alpoknál jegyeztük. 9 nyári napot regisztráltunk a hónap során, ami éppen megegyezik a normállal. A hónapban előforduló 1 hőségnap ($T_{\max} \geq 30$ °C) idén is jelentkezett.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

33,5 °C, Szikáncs (Csongrád megye), május 31.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-3,2 °C, Zabar (Nógrád megye), május 1.

A csapadék tekintetében a május a szokásosnál szárazabb volt. A havi csapadékmennyiség területi eloszlása változatos képet mutat. A legtöbb csapadékot a Mátrában, Aggtelek és Tokaj környékén, valamint a Szatmári-síkagon jegyeztük, a csapadékmennyiség értéke elérte 150–200 mm-t is. A legkisebb összegek Százhalombatta környékén, az Ipoly mentén, valamint a Viharsarok és a Göcsej egyes régióiban jelentkeztek, ezeken a területeken csupán 15–20 mm-t regisztráltunk. Az ország jelentős részén átlagosan a normál érték 60–80%-a hullott, foltokban jelentkezett csapadéktöbblet is, mely kis területen meghaladta a 140–160%-ot is. Az ország délkeleti területei, az Ipoly mente és a Göcsej egyes részei szárazabbak voltak az átlagosnál, egyes helyeken a csapadék mennyisége a sokévi átlag 20–30%-át sem érte el. A 11 csapadékos nap helyett országos átlagban 10 nap jelentkezett a hónapban. Zivataros napból a sokévi átlagnál 2-vel többet, 5-öt regisztráltunk.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

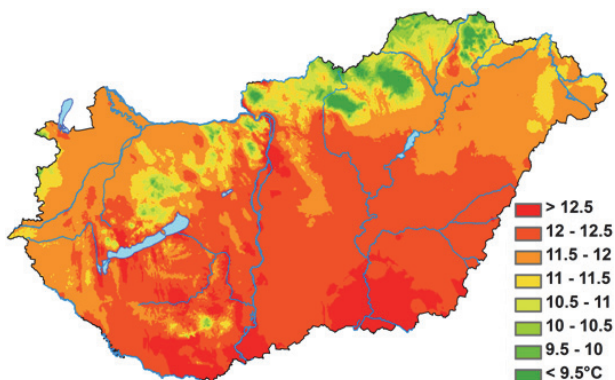
202,4 mm, Parád (Heves megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

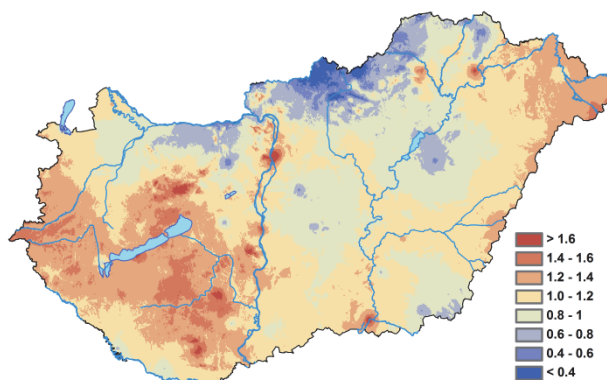
12,0 mm, Méhkerék (Békés megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

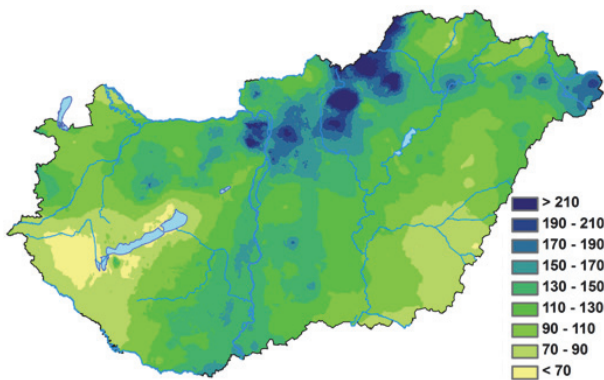
89,9 mm, Nyírmada (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye), május 12.



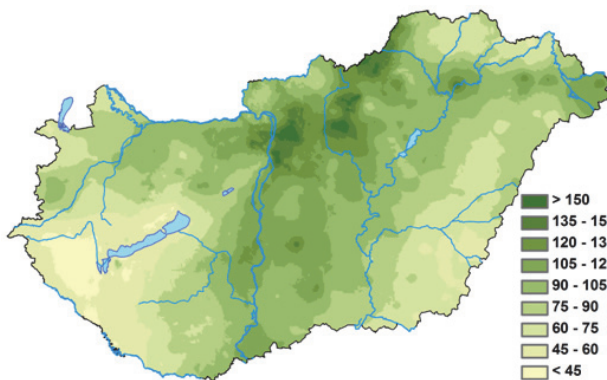
1. ábra: A 2017-es tavasz középhőmérséklete (°C)



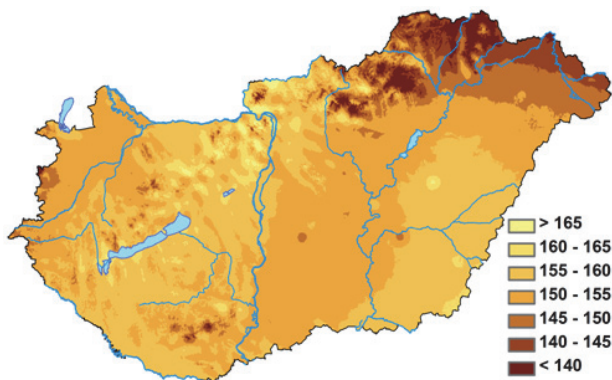
2. ábra: A 2017-es tavasz középhőmérsékletének eltérése a sokévi átlagtól (1981–2010)



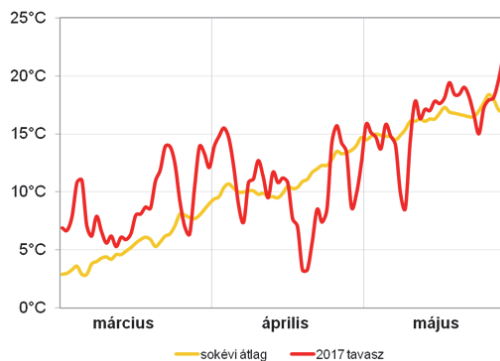
3. ábra: A 2017-es tavasz csapadékösszege (mm)



4. ábra: A 2017-es tavasz csapadékösszege a sokévi (1981–2010-es) átlag százalékos (%) arányában kifejezve



5. ábra: A 2017-es tavasz globálsugárzás összege (kJcm⁻²)



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

2017. tavasz időjárási adatainak összesítője

Állomás	Napsütés (óra)		Sugárzás (kJ/cm ²)	Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél viharos napok
	évszak összes	eltérés		évszak összes	évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	
Szombathely	389,6	-158,7		11,7	1,4	29,2	05.30	-2,9	03.13	139,3	105,2	16	12
Nagykanizsa	-	-	158	11,8	1,3	29,9	05.31	-3,1	03.14	68,5	41,5	15	9
Siófok	-	-	160	12,9	1,5	29,6	05.31	1,6	03.27	57,0	43,1	14	20
Pér	-	-		11,6	-	29,3	05.30	-2,0	03.27	127,6	94,8	17	20
Pécs	736,7	145,4	146	12,7	1,5	29,5	05.31	-0,2	03.02	139,3	91,7	20	6
Budapest	736,3	138,1	154	12,6	1,1	29,9	05.31	-1,2	03.02	184,0	139,2	20	5
Miskolc	691,6	119,7	142	12,0	1,5	30,4	05.30	-1,7	03.27	146,4	103,4	21	3
Kékestető	637,8	80,5	146	6,8	1,2	21,9	05.31	-7,1	04.21	317,1	150,5	26	24
Szolnok	634,1	47,4	158	12,4	1,0	29,2	05.31	-1,0	03.15	123,8	96,8	20	7
Szeged	738,0	161,8	157	12,5	1,2	32,0	05.31	-2,2	03.15	88,2	74,3	16	9
Nyíregyháza	-	-	151	12,0	1,2	29,5	05.31	-0,5	03.27	154,4	118,3	19	17
Debrecen	487,2	-115,5	153	12,0	1,0	29,1	05.30	-1,9	03.10	103,8	70,6	16	9
Békéscsaba	-	-	163	12,4	1,1	30,6	05.31	-4,6	03.10	83,5	58,9	15	6

