

Péliné Németh Csilla¹ – Bartholy Judit² – Pongrácz Rita³ – Radics Kornélia⁴

SZÉLSŐÉRTÉK VIZSGÁLATOK HAZAI SZINOPTIKUS MÉRŐÁLLOMÁSOK HOMOGENIZÁLT SZÉLADATSORAI ALAPJÁN⁵

Napjaink modern társadalmában egyre nagyobb az igény a széklíma átlagos és szélső értékeinek ismeretére. A széklímatológiai elemzések eredményei beépíthetők a repülésmeteorológia területén is a hosszú távú tervezésekhez, illetve a napi meteorológiai támogatási feladatok végzése során. E célok elérése érdekében az Országos Meteorológiai Szolgálat által fejlesztett, MASH v3.03 [4][5] programcsomag segítségével homogenizáltuk a hazai szinoptikus mérőhálózat szélesebbesség adatait (1975–2012). Elvégeztük az egyes szélmérőkből meghatározott paraméterek, szélsőértékek elemzését, térbeli és időbeli tendenciáinak összehasonlítását. Kiszámítottuk a különböző, nemzetközileg ismert hőmérséklet és csapadék indexek (pl.: [1][2]) analógiájára az általunk definiált szélindexeket. Ezek elemzésével arra a kérdésre kerestük a választ, hogy gyakoribbá váltak-e a nagy szélesebbességű viharos napok, illetve hogyan változott a szennyezőanyagok feldúsulását a nagyvárosokban elősegítő, valamint a látástávolságot is nagyban befolyásoló egymást követő alacsony szélesebbességű napok száma.

WIND EXTREMES AND INDICES IN HUNGARY BASED ON HOMOGENIZED DATA SERIES

Modern aviation meteorology as well as other applied meteorology necessitates the detailed analysis of wind climate parameters, extremes and trends using homogenized observed wind data for long-range planning and daily meteorological support. The Multiple Analysis of Series for Homogenization, MASH v3.03 [4][5] developed at the Hungarian Meteorological Service was used for homogenization of available daily wind speed time series between 1975 and 2012 for measurement records of Hungarian synoptic stations. Mean and extreme values of wind fields, as well as their spatial distribution and the detected trends were analysed. Similarly to the widely used temperature and precipitation climate indices (e.g., [1] and [2]), wind related climate indices were defined. Analysis of these indices could answer whether the frequencies of windy, gusty days and calm periods have increased or decreased in the recent past. This is especially important from the urban point of view where air pollution is a major environmental issue leading to many health problems.

BEVEZETÉS

Az éghajlati rendszer jelen állapotának, jellemzőinek megismerése kiemelt fontosságú egyrészt a klímaváltozás globális és regionális hatásainak, következményeinek becslése, valamint a jövőre vonatkozó helyes következtetések megalkotása szempontjából. Másrészt a XXI. század modern társadalmában elengedhetetlen a közelmúlt éghajlati jellemzőit megismerni az alkalmazott meteorológiai tudományok a területén is. Például a repülésmeteorológiában a hosszú távú tervezésekhez, illetve a napi meteorológiai támogatási feladatok elvégzéséhez is szükség van megbízható éghajlati adatbázis alapján számított statisztikák ismeretére az élet és az anyagi

¹ őrnagy, meteorológus főtitkár, MH Geoinformációs Szolgálat, peline.csilla@gmail.com

² tanszékvezető, egyetemi tanár, az MTA doktora, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, bartholy@caesar.elte.hu

³ egyetemi adjunktus, ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, prita@caesar.elte.hu

⁴ elnök, Országos Meteorológiai Szolgálat, radics.k@met.hu

⁵ Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt egyetemi docens, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

javak védelme érdekében. A repülésmeteorológiában különösen a repülésre veszélyes időjárási elemek (pl.: szél) jellemzőit elemezzük éghajlati hosszúságú, minőségi és homogenitás ellenőrzésen átesett adatsorok statisztikai módszereken alapuló vizsgálataival, illetve modellezéssel. Szélklimatológiai kutatásaink során az egyes paraméterek átlagos értékeinek elmozdulása mellett kiemelt figyelmet fordítottunk a szélsőségek részletes elemzéseire, hiszen a szélklíma jelenlegi állapotának megismerése elengedhetetlen a különböző időskálájú jövőre vonatkozó helyes következtetések megalkotásához.

A fenti célok elérése érdekében homogenizáltuk a rendelkezésre álló hazai szinoptikus mérőhálózat szélsőérték adatait (1975–2012), mellyel az adatsorokból számított paraméterek becslése megbízhatóbbá vált. A cikkben bemutatjuk a homogenizált szélmezőkből meghatározott paraméterek, szélsőértékek és az általunk definiált szélindexek térbeli és időbeli tendenciáit.

MÉRÉSI ADATOK HOMOGENIZÁLÁSA

SZINOPTIKUS MÉRŐHÁLÓZAT ADATAI, INHOMOGENITÁSOK OKAI

Vizsgálatainkhoz 36 hazai szinoptikus mérőállomás órás, egészre kerekített (m/s-ban) szélsőérték adatsorát (1975–2012) használtuk fel. Elvégeztük a rendelkezésre álló adatok minőségi és mennyiségi ellenőrzését. Az adatsor tartalmi ellenőrzése során a legnagyobb átlagos és maximális szélsőértéki értékek meteorológiai megalapozottságát minden esetben megvizsgáltuk, szükség esetén javítottuk. Nagy figyelmet fordítottunk az állomások metaadataira. Az időszak folyamán több állomást más helyszínre költöztettek, illetve esetenként új állomásokat is telepítettek. A közvetlen és távoli környezet és a mérési magasság időközbeni megváltozása nehezítette a homogén adatbázis létrehozását.

A meteorológiai világszervezet (World Meteorological Organisation) által elvárt automatizált mérőrendszerek telepítése Magyarországon az 1990-es évek során megtörtént. Míg az automatizálás előtti időszakban a Fuess rendszerű szélmérők voltak az általánosan elterjedt műszerek, az automatizálás óta az Országos Meteorológiai Szolgálat mérőhálózatában a mérések a finn Vaisala szenzorokkal történnek rendszeres kalibrálás, ellenőrzés és karbantartás mellett. Az automatizálás nem csupán a mérési eljárások, a mérőműszerek, de sok esetben az észlelési magasságok változását is jelentette. További gondot okozott, hogy a szélmérők automatizálás előtti időszakra vonatkozó mérési magasságai nem minden esetben kerültek rögzítésre.

Nyilvánvaló, hogy az állomáshálózat felépítése, az állomások megszűnése és költözése, a mérőtechnika fejlődése is nagymértékben befolyásolja az idősorok homogenitását. A fent ismertetett, az idősorok homogenitását negatívan befolyásoló tényezők következtében az adatsorok teljes időszakra vonatkozó egységes vizsgálata – a fellépő inhomogenitások miatt – nem volt lehetséges. A korábbi években ezért kizárólag az automatizálást követő időszak elemzését végeztük el, és vetettük össze más adatforrásokból (pl.: reanalízis) számított statisztikákkal [6] annak megállapítása érdekében, hogy a klímamodellek bemenő adataként alkalmazott reanalízis mezők klimatikus jellemzői mennyire esnek egybe a mért adatokból levezetett tulajdonságokkal. Annak érdekében, hogy a rendelkezésünkre álló adatsort együttesen, a teljes időszakra vizsgálhassuk, szükségessé vált annak homogenizálása.

AZ ADATSOROK HOMOGENIZÁLÁSA

Egy klimatológiai hosszúságú idősor homogénnek tekinthető, amennyiben változékonysága kizárólag az időjárás és az éghajlat változékonyságából adódik [3]. Ennek eldöntésére számos módszer terjedt el, melyek matematikai és klimatológiai ismereteken alapulnak.

Az általunk futtatott MASH alkalmazás egy relatív homogenizációs teszt eljárás [4]. A módszer a matematikai alapokon nyugszik, lehetőséget ad az állomások metaadatainak felhasználására, pl.: az állomások költözésének időpontjának megadására, az idősorok elemzése, a töréspontok keresése során. Az általunk vizsgált idősor homogenizálásához nem használtuk fel a metaadatokat. A MASH automatizált alkalmazás alapelve, hogy nem feltételezi a referencia idősor homogenitását. A vizsgált és a referencia idősorok szerepe a futás során változik, felcserélődik. A vizsgált meteorológiai elem tulajdonságaitól függően alkalmazunk additív (például: hőmérséklet), valamint multiplikatív (például: csapadék vagy szélsébség) modellt.

Havi, évszakos, éves adatsorok homogenizálása egyaránt lehetséges, a napi idősorok inhomogenitását a haviakból számolja a program. A szoftver automatikusan megadja a valószínűsíthető töréspontok dátumát, illetve a homogenizált idősort, melyben az adathiányok homogén adatokkal vannak pótolva és ellenőrzöttek.

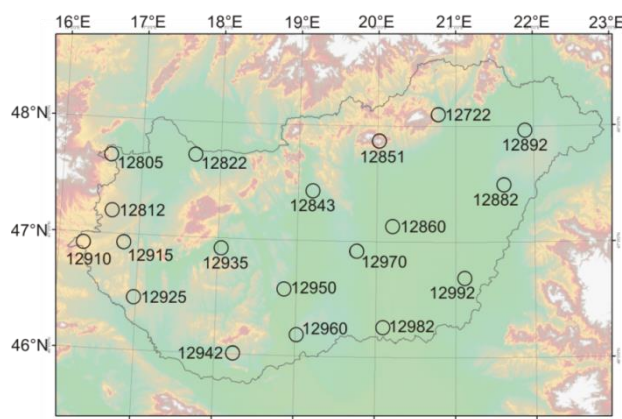
A 1. ábra mutatja azt a 19 szinoptikus állomást, melyek napi szélsébség idősorát homogenizáltuk. A napi szélsébségeket minden esetben legalább nyolc darab órás adatból számítottuk ki. Az állomások ismert metaadatait az 1. táblázat foglalja össze.

A homogenizálásra kiválasztott állomások többségéről 1975. január 1-jétől 2012. december 31-ig áll rendelkezésre szélsébség mérési adat. Kivételt képez ez alól Paks, ahol a mérés 1979. május 1-jén indult meg. Továbbá Zalaegerszeg, ahol több mint egy évnnyi adatmennyiség hiányzik 1993-1994. években, valamint 50 nap adathiány mutatkozik Kecskeméten 2009-ben.

A 19 állomás 38 éves napi szélsébség idősorának homogenizációjához multiplikatív modellt alkalmaztunk 0,95 szignifikancia szinttel. Az eredeti idősor multiplikatív modell esetében az alábbiak szerint írható fel [5]:

$$X_{0,j}^*(t) = C_j^*(t) \cdot IH_j^*(t) \cdot \varepsilon_j^*(t), \quad (j = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

C^* : klímaváltozás, IH^* : inhomogenitás, ε^* : zaj



1. ábra Homogenizáláshoz felhasznált hazai szinoptikus állomások

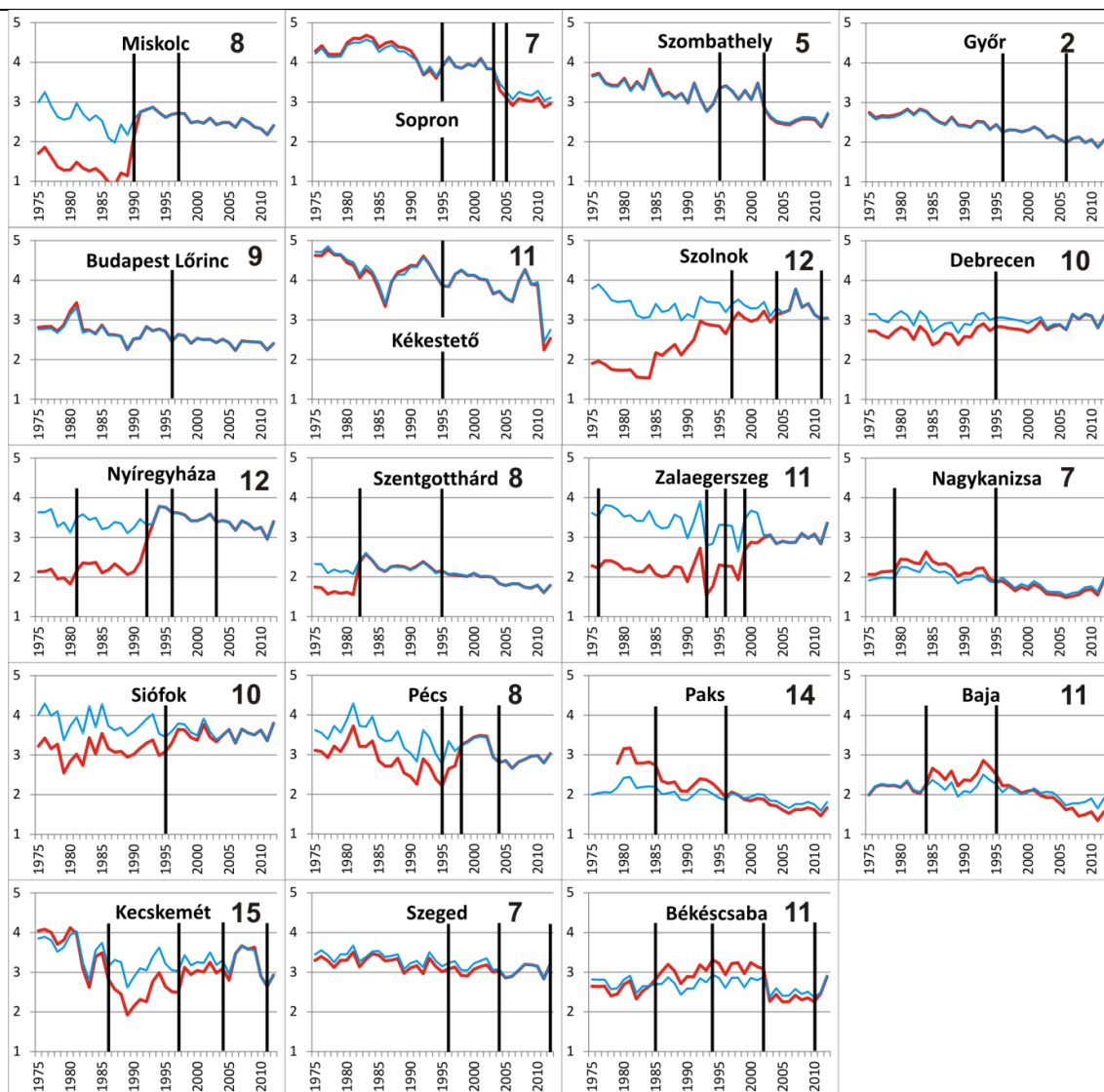
Sor-szám	WMO	Állomás	Szélesség	Hosszúság	Magasság [m]	Mérőműszer magassága [m]	Adathiány [%]
1	12772	Miskolc	20,77	48,10	232,8	16,25	0
2	12805	Sopron	16,60	47,68	233,8	18,40	< 0,1
3	12812	Szombathely	16,65	47,20	201,1	10,56	< 0,1
4	12822	Győr	17,67	47,71	116,7	11,16	0
5	12843	Budapest	19,18	47,43	139,1	14,68	< 0,1
6	12851	Kékestető	20,02	47,87	1011,3	25,07	< 0,1
7	12860	Szolnok	18,93	46,17	108,1	10,40	< 0,1
8	12882	Debrecen	21,61	47,49	107,6	10,23	0,1
9	12892	Nyíregyháza	21,89	47,96	142,1	15,98	0,2
10	12910	Szentgotthárd	16,31	46,91	311,7	16,61	0,1
11	12915	Zalaegerszeg	16,81	46,93	240,1	10,40	3,3
12	12925	Nagykanizsa	16,97	46,46	139,8	13,69	0,1
13	12935	Siófok	18,04	46,91	108,2	15,10	0
14	12942	Pécs	18,23	46,01	202,8	10,55	0
15	12950	Paks	18,85	46,57	97,2	9,80	11,4
16	12960	Baja	19,02	46,18	113,0	10,30	0,1
17	12970	Kecskemét	19,75	46,91	114,0	10,40	0,4
18	12982	Szeged	20,09	46,26	81,8	12,25	< 0,1
19	12992	Békéscsaba	21,11	46,68	86,2	6,50	< 0,1

1. táblázat Homogenizáláshoz felhasznált hazai szinoptikus állomások rögzített metaadatai (2012-es állapot)

Az eredeti és a homogenizált átlagos éves szélességek időbeli változását ábrázoltuk a 2. ábrán minden vizsgált állomásra. A szoftver által detektált töréspontok számát az egyes diagrammok jobb felső sarkába írtuk. A metaadatok többsége beazonosítható a töréspontok között, ugyanakkor a nem éghajlati eredetű eltérésekre (töréspontok száma) nem következtethetünk a dokumentált töréspontok számából. Több idősor az időszak elején lett módosítva (például: Miskolc, Szolnok, Siófok), melyet az állomás költözése okozott általában. Az automatizálás folyamán a mérési módszer és mérőeszköz változása mellett általában a szélesség mérési magassága is megváltozott (például Miskolcon 10 méterről 16,25 méterre 1997-ben). Szolnokon az automatizálást követően (1997) a mérőeszköz típusa 2004-ben és 2011-ben is megváltozott.

Néhány állomás (például Szombathely és Sopron) adatai csak az időszak végén módosultak, az automatizálást, illetve a költözést követően.

A feljegyzett metaadatok is hasznosak lehetnek a homogenizáció validációjában. Az általunk homogenizált idősorban a legtöbb állomáson adathiányok léptek fel az 1980-as években, főleg éjszaka, ennek eredményeképpen a napi szélességek kevesebb adatból, de legalább nyolc érték átlagából lettek meghatározva, ezáltal ebben az időszakban több a töréspont az idősorban. Nyilvánvaló, hogy az automatizálás folyamata törést okozott az idősorokban 1994 és 1997 között. Ez az eredmény igazolja korábbi döntésünket, miszerint a rendelkezésünkre álló idősort két részre bontva vizsgáltuk (1975–1994 és 1997–2012). Továbbá az állomások költözése, a szélmérők mérési magasságának változása szintén töréspontokat indukált az idősorokban, mellyel az ezredforduló utáni évek töréspontjai magyarázhatóak. Ezekben az esetekben a módosítás mértékét megfigyelve, az okozott inhomogenitás gyakran nagyobb, mint az automatizálás hatása. Éppen ezért a mérőrendszerek tervezésénél és telepítésénél számolni kell a homogenitást negatívan befolyásoló tényezőkkel is. Ezen túlmenően, az archivált adatok későbbi éghajlati vagy egyéb célú feldolgozásához nagyon fontos az állomás metaadatainak precíz vezetése.



2. ábra Éves átlagos szélsébség [m/s] a vizsgált állomásokon homogenizálás előtt (piros) és utána (kék). A függőleges vonalak azokat az éveket jelzik, ahol metaadat volt rögzítve a nemzeti adatbázisban 1975 és 2012 között. Az ábrák jobb felső sarkába írt számok a MASH szoftver által detektált töréspontok száma

SZÉLINDEXEK

Az éghajlati kutatásokban széleskörű a különböző indexek alkalmazása a szélsőségvizsgálatok során. A hőmérséklet és csapadék indexek analógiájára szélindexeket definiáltunk az extrém szélviszonyok tendenciáinak elemzése céljából.



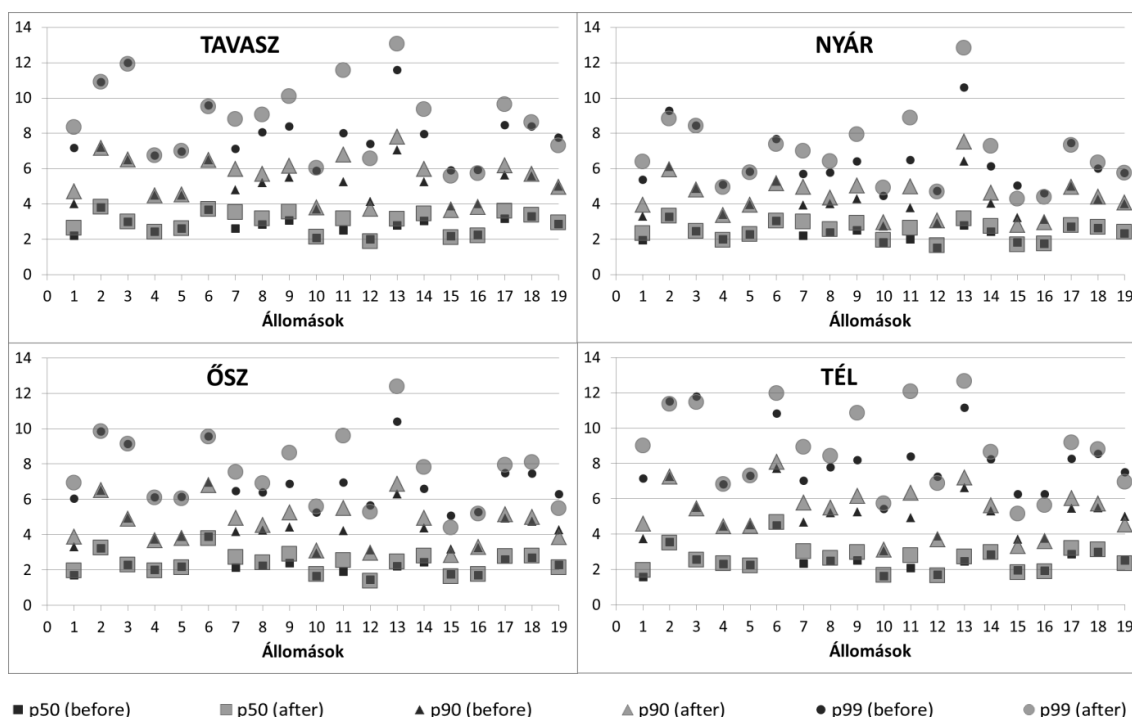
Sorszám	Jelölés	Az extrém szélindex definíciója	Egység
1	wavgGT15	Viharos napok száma Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség meghaladja a 15 m/s-t; $v_{\text{átl}} > 15 \text{ m/s}$	nap
2	wavgGT10	Erősen szeles napok száma Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség meghaladja a 10 m/s-t; $v_{\text{átl}} > 10 \text{ m/s}$	nap
3	wavgGT8	Élénk szeles napok száma Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség meghaladja a 8 m/s-t; $v_{\text{átl}} > 8 \text{ m/s}$	nap
4	wavgLT1	Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség nem éri el az 1 m/s-t; $v_{\text{átl}} < 1 \text{ m/s}$	nap
5	wavgLT3	Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség nem éri el az 3 m/s-t; $v_{\text{átl}} < 3 \text{ m/s}$	nap
6	wavgLT5	Azon napok éves/évszakos/havi száma, amikor a napi átlagos szélesebbesség nem éri el az 5 m/s-t; $v_{\text{átl}} < 5 \text{ m/s}$	nap
7	Cw1D	Egymást követő 1 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű, adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
8	Cw3D	Egymást követő 3 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű, adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
9	Cw5D	Egymást követő 5 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű, adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
10	Cw8D	Egymást követő élénk szeles (8 m/s-nál nagyobb napi átlagos szélesebbességű) adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
11	Cw10D	Egymást követő erősen szeles (10 m/s-nál nagyobb napi átlagos szélesebbességű) adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
12	Cw15D	Egymást követő viharos (15 m/s-nál nagyobb napi átlagos szélesebbességű) adott hosszúságú periódusok [nap] éves/évszakos/havi előfordulási száma	darab
13	Cw1Dmax	Egymást követő 1 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} < 1 \text{ m/s}$	nap
14	Cw3Dmax	Egymást követő 3 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} < 3 \text{ m/s}$	nap
15	Cw5Dmax	Egymást követő 5 m/s-nál kisebb napi átlagos szélesebbességű napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} < 5 \text{ m/s}$	nap
16	Cw8Dmax	Egymást követő élénk szeles napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} > 8 \text{ m/s}$	nap
17	Cw10Dmax	Egymást követő erősen szeles napok maximális éves/évszakos/havi száma; $v_{\text{átl}} > 10 \text{ m/s}$	nap
18	Cw15Dmax	Egymást követő viharos napok maximális éves/évszakos/havi hossza; $v_{\text{átl}} > 15 \text{ m/s}$	nap

2. táblázat A vizsgálat során alkalmazott extrém szélindexek jelölése, definíciója, egysége

Percentilisek tendenciái

A rendelkezésünkre álló adatsor együttes vizsgálata az adatsorokban rejlő inhomogenitások miatt – a mérési adatsorok homogenizálását megelőzően – nem volt lehetséges. Ezért főként az állomáshálózat automatizálása után, 1997-től rögzített szélsőérték értékek elemzését végeztük el és vetettük össze különböző, rácshálózatra interpolált, adathiányoktól mentes idősorokkal [6]. Célunk az egyes adatbázisok megbízhatóságának vizsgálata mellett a szélklimatológiai jellemzők tendenciáinak meghatározása volt. A szinoptikus állomáshálózat széladatainak együttes vizsgálatát a már klimatológiai léptékben is megfelelő hosszúságú, 1975–2012. időszakra az adatsorok homogenizálását követően szintén elvégeztük.

Munkánk során kiszámítottuk a homogenizált és a bemeneti napi szélsőérték idősorok különböző percentiliseit (medián, 90%, 99%). A 3. ábra szemlélteti az eltérést, melyen látható, hogy Zalaegerszeg (11. állomás) idősorának percentilisei változtak meg a legnagyobb mértékben. Az éves homogenizált percentilis értékek a 131 (50%), 128 (90%) és 140 (99%) százalékkal növekedtek. A legnagyobb csökkenést Békéscsabán (19. állomás) tapasztaltuk (98%, 96% és 95%). A medián hat, a magasabb percentilisek nyolc-nyolc állomás csökkentek. A legkisebb eltérés a várakozásoknak megfelelően Szombathely (100,0%, 99,8% és 98,3%) és Kékestető (100,0%, 100,4% és 104,5%) állomások adataiban volt.

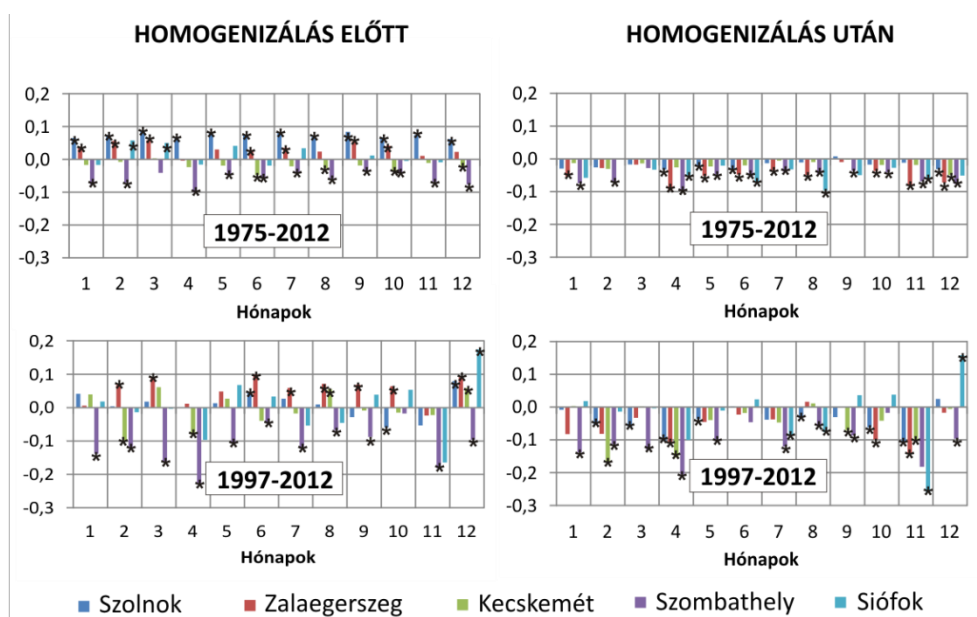


3. ábra. Különböző (50% – négyzet, 90% – háromszög, 99% – kör) évszakos percentilisek [m/s] értékei az eredeti (fekete jelek) és a homogenizált (szürke jelek) adatsorokból számítva a vizsgált 19 állomásra 1975–2012. között

A 4. ábra a 90%-os percentilis értékek lineáris trend együtthatóinak értékeit mutatja öt kiválasztott állomáson (Szolnok, Zalaegerszeg, Kecskemét, Szombathely és Siófok). Látható, hogy

az idősorokban rejlő inhomogenitások akár ellentétes irányú, hamis trendeket is eredményezhetnek. Az egyes évek havi percentilis értékeire illesztett lineáris egyenes meredekségét statisztikai próbával (t-próba) vizsgáltuk $p = 0,05$ -ös elfogadási szint mellett, a szignifikáns változásokat “*” karakterrel jelöltük.

A 4. ábra jobb felső részén csökkenő tendencia figyelhető meg a teljes időszak (1975–2012) homogenizált adatsorainak trendjeiben, a növekvő változások (Szolnok, Zalaegerszeg és Siófok) a homogenizálással jórészt eltűntek. Az automatizálás után (1997–2012) a detektált havi trendek előjele Szombathelyen változatlan maradt, Siófokon pedig májust kivéve nem módosult a homogenizálással, ellenben Szolnok, Zalaegerszeg és Kecskemét állomáson megfigyelhető növekedések többsége az adatsorok inhomogenitásai miatti hamis trendek voltak.



4. ábra. A 90%-os percentilis értékek lineáris trend együtthatói 1975–2012 (fent) és 1997–2012 (lent) időszakokra, Szolnok, Zalaegerszeg, Kecskemét, Szombathely és Siófok állomások idősoraiból számítva homogenizálás előtt (bal oldal) és után (jobb oldal). A szignifikáns változásokat “*” jelöli.

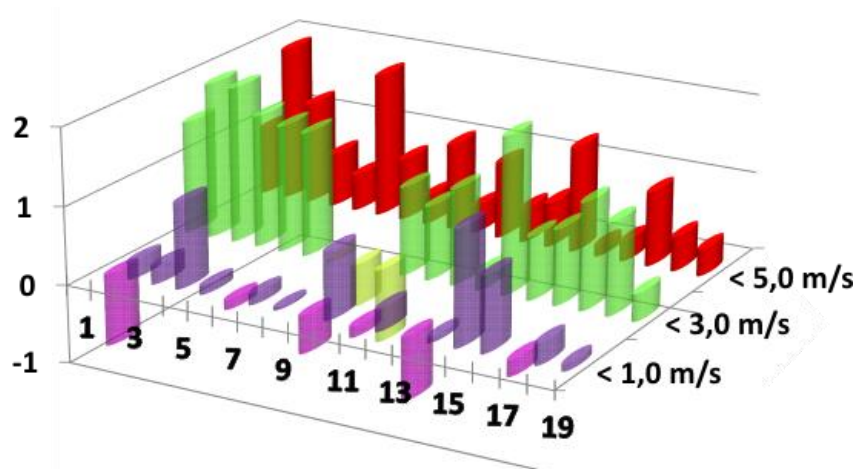
A homogenizáció verifikációs eredményeit, az inhomogenitás mérőszámainak – az éves relatív becsült inhomogenitás (REI) és az éves relatív idősor-módosítás (RMS) – viselkedését a [7] cikkünkben mutattuk be. A REI és az RMS, melyek arányosak a standard fluktuációval, Szombathelyen a minimum, Zalaegerszegen a maximum értéket vették fel (3. táblázat). Ezáltal nem meglepő, hogy az adatsorokból számított tendenciákat tekintve a legkisebb eltérést Szombathelyen, míg a legnagyobbat Zalaegerszegen figyelhetjük meg.

	REI	RMS
Zalaegerszeg	0,90	1,57
Szolnok	0,90	1,30
Kecskemét	0,51	0,63
Siófok	0,51	0,77
Szombathely	0,06	0,07
19 állomás átlaga	0,46	0,64

3. táblázat Éves relatív becsült inhomogenitás (Relative Estimated Inhomogeneity, REI) és éves relatív idősor-módosítás (Relative Modification of Series, RMS)

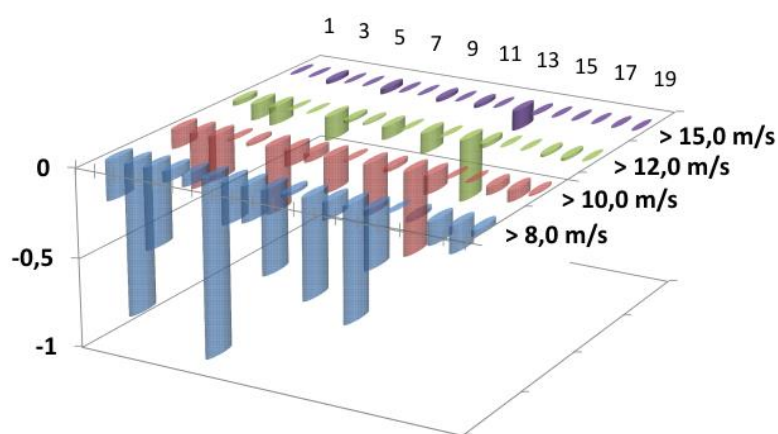
Szélindexek

Az alacsony napi átlagos szélességek éves előfordulása a vizsgált állomások többségén gyakoribbá vált a vizsgált időszak végére. Az 5. ábrán az adott küszöbértéknél kisebb szélességek éves előfordulási számának (wavgLT1, wavgLT3, wavgLT5) lineáris trendjeit mutatjuk be 1975–2012. között. A változásokra számított statisztikai próba ($p = 0,05$ mellett) alapján minden állomáson szignifikánsan növekszik az éves wavgLT5 szélindex, valamint az állomások döntő többségén ugyancsak szignifikánsak az éves wavgLT3 trendek, kivéve Szolnok (7.), Siófok (13.) és Békéscsaba (19.) állomásokat. Az éves wavgLT1 szélindex trendjei nem szignifikánsak a következő állomásokon: Zalaegerszeg (11.), Nagykanizsa (12.), Pécs (14.), Kecskemét (17.) és Békéscsaba (19.).



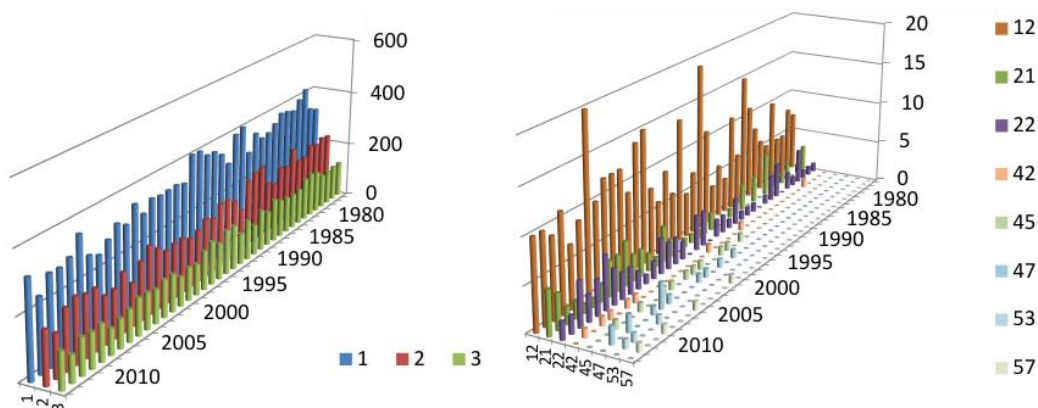
5. ábra A homogén adatsor alapján számított wavgLT1, wavgLT3 és wavgLT5 szélindexek (adott küszöbértéknél kisebb szélességek éves előfordulásának száma) lineáris trendjei a vizsgált állomásokon 1975–2012. között

A nagyobb napi átlagos szélességek minden vizsgált állomáson csökkenő tendenciát mutatnak (6. ábra). Statisztikai próba eredményeképpen ($p = 0,05$) a változások – Paks (15.) állomás kivételével – szignifikánsak az élénk szeles napok éves számát (wavgGT8) tekintve. Ellenben, a viharos napok éves számának (wavgGT15) csökkenése csak Szombathely (3.), Szolnok (7.), Zalaegerszeg (11.) és Siófok (13.) állomásokon szignifikáns.



6. ábra A homogén adatsor alapján számított wavgGT8, wavgGT10, wavgGT12 és wavgGT15 szélindexek (adott küszöbértéknél nagyobb szélességek éves előfordulásának száma) lineáris trendje 1975–2012. között a vizsgált állomásokon

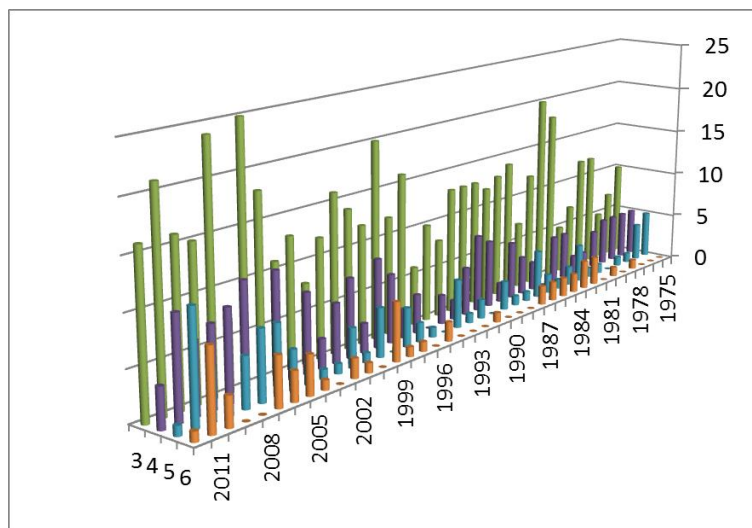
A 7. ábrán megfigyelhető, hogy a különböző színekkel ábrázolt rövid (egynapos, kétnapos, háromnapos) hosszúságú, 3 m/s-nál kisebb szélsébségű egymást követő napok (ábra bal oldala) hosszának éves előfordulási száma (Cw3D) szignifikánsan csökken, ugyanakkor a hosszabb (ábra jobb oldala), kis szélsébségű napok általában emelkedést, a nyolc ábrázolt esetben szignifikáns emelkedést mutatnak. A 42 napnál hosszabb, 3 m/s-nál kisebb szélsébségű egymást követő napok az ábrán jól látható módon kizárólag a vizsgált időszak második felében voltak jellemzőek.



7. ábra A homogén adatsor alapján számított Cw3D szélexindex (3 m/s-nál kisebb szélsébségű egymást követő napok hosszának éves előfordulási száma) 19 állomásra összegzett éves előfordulási száma 1975–2012. között.

Az ábrázolt adatsorok lineáris trendjei szignifikánsak.

A 3–6 nap hosszúságú Cw1D szélexindex időbeli változását szemlélteti a 8-9. ábra. Az ábrázolt idősorok trendje szignifikáns emelkedést mutat, azaz a vizsgált állomásokat együttesen tekintve egyre gyakoribbak a kis szélsébségű periódusok előfordulása.

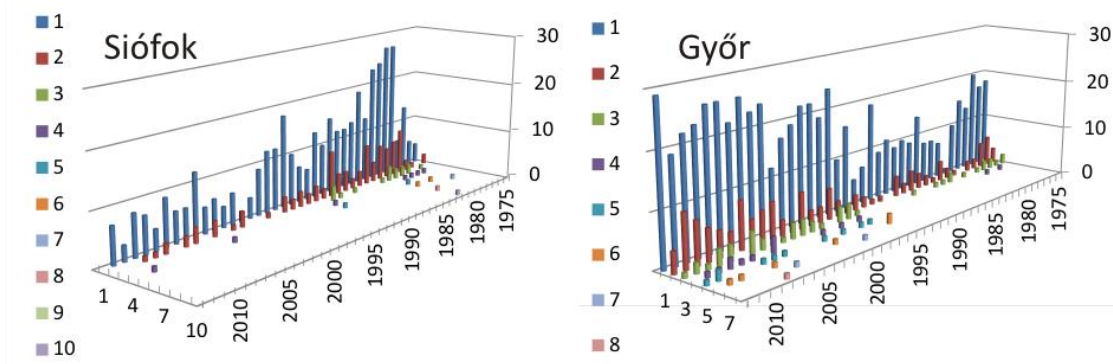


8. ábra A homogén adatsor alapján számított Cw1D szélexindex (1 m/s-nál kisebb szélsébségű 3–6 nap hosszúságú egymást követő napok éves előfordulásának száma a 19 állomáson együttesen) 1975–2012. között.

Az ábrázolt adatsorok növekedése szignifikáns.

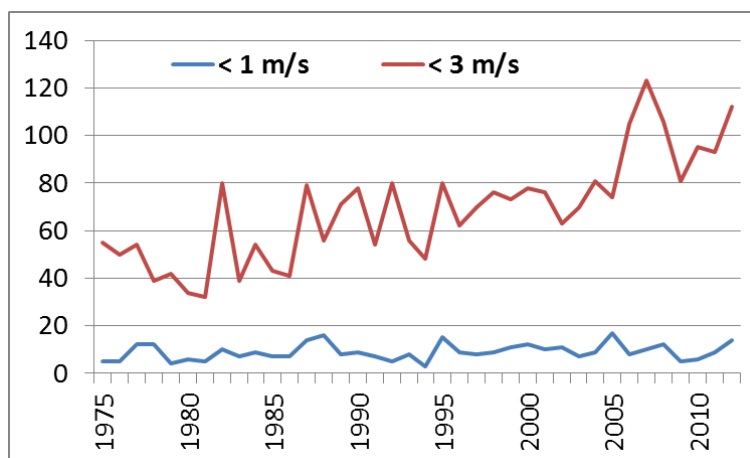
A 9. ábrán két kiválasztott állomás Cw1D indexei változását vethetjük össze. Siófokon a különböző hosszúságú 1 m/s-nál kisebb napi szélsébségű periódusok száma szignifikáns csökkenést mutat. A leghosszabb periódus 10 napos volt (1982.01.22.). Győrött a Cw1D indexek

ugyanakkor növekednek az átlagos szélesség csökkenése mellett. Ezen az állomáson a maximális hosszúságú nyolcnapos periódust 2008 októberében találtuk.



9. ábra A homogén adatsor alapján számított Cw1D szélindex (1 m/s-nál kisebb napi átlagos szélességű, adott hosszúságú periódusok [nap] éves előfordulási száma) Siófokon és Győrről 1975–2012. között

Az egymást követő kis szélességű napok éves száma mellett megvizsgáltuk a kis szélességű egymást követő napok éves maximális hosszát az egyes állomásokon, illetve együttesen, az éves abszolút maximumok hosszát a 19 állomás adatsora alapján. A 10. ábrán mutatjuk be a Cw1Dmax és Cw3Dmax indexek időbeli alakulását az adott év összes állomását tekintve (kis szélességű napok hosszának éves abszolút maximuma). A Cw3Dmax szélindex trendje szignifikáns emelkedést mutat a vizsgált időszakban, szemben Cw1Dmax indexszel, mely ugyan kismértékben emelkedik, változása nem szignifikáns.



10. ábra A homogén adatsor alapján számított Cw1Dmax és Cw3Dmax szélindexek (1 és 3 m/s-nál kisebb szélességű egymást követő napok éves maximális hossza a 19 állomáson) 1975–2012. között

ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánk szélklímájának, az átlagos és extrém paraméterek viselkedésének mélyebb megismerése céljából, a jövőre vonatkozó helyes következtetések megalkotása érdekében homogenizáltuk a rendelkezésre álló hazai szinoptikus mérőhálózat szélesség adatait (1975–2012). A homogenizált adatsorok elemzéséből az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

- (1) Az idősorokban rejlő inhomogenitások akár ellentétes irányú, hamis trendeket is eredményezhetnek.
- (2) Az inhomogenitás mérőszámai – az éves relatív becsült inhomogenitás (REI)

és az éves relatív idősor-módosítás (RMS) – Szombathelyen a minimum, Zalaegerszegen a maximum értéket vették fel. Az eredeti és a homogenizált adatsorokból számított tendenciákat tekintve a legkisebb eltérést Szombathelyen, míg a legnagyobbat Zalaegerszegen tapasztaltuk. **(3)** Az alacsony napi átlagos szélsőségek éves előfordulása a vizsgált állomások többségén gyakoribbá vált a vizsgált időszak végére. Minden állomáson szignifikánsan növekszik az éves wavgLT5 szélindex, valamint az állomások döntő többségén ugyancsak szignifikánsak az éves wavgLT3 trendek. **(4)** A nagyobb napi átlagos szélsőségek minden állomáson csökkenő tendenciát mutatnak, a változások – Paks kivételével – szignifikánsak az élénk szeles napok éves számát (wavgGT8) tekintve. Ellenben, a viharos napok éves számának (wavgGT15) csökkenése csak Szombathely, Szolnok, Zalaegerszeg és Siófok állomásokon szignifikáns. **(5)** A rövid (egynapos, kétnapos, háromnapos) hosszúságú, 3 m/s-nál kisebb szélsőségek egymást követő napok hosszának éves előfordulási száma (Cw3D) szignifikánsan csökken, ugyanakkor a hosszabb, kis szélsőségek napok trendje általában emelkedik. A 42 napnál hosszabb, 3 m/s-nál kisebb szélsőségek egymást követő napok kizárólag a vizsgált időszak második felében voltak jellemzőek. **(6)** A Cw1D szélindex időbeli változása a 19 állomásra összegezve szignifikáns emelkedést mutat a 3–6 nap hosszúságú periódusokra, azaz a vizsgált állomásokat együttesen tekintve egyre gyakoribbak a kis szélsőségek periódusok előfordulása. **(7)** A Cw3Dmax szélindex trendje, a kis szélsőségek egymást követő napok éves maximális hossza szignifikáns emelkedést mutat a vizsgált időszakban, szemben Cw1Dmax indexszel, mely ugyan kismértékben emelkedik, változása nem szignifikáns.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatásokat az OTKA K-78125 számú pályázata, valamint a FuturICT.hu TÁMOP 4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0013, a KMR_12-1-2012- 0206 és a GOP-1.1.1.-11-2012-0164 kutatási pályázatok támogatták.

Köszönjük az MH Geoinformációs Szolgálatnak és az Országos Meteorológiai Szolgálatnak a mérési adatok rendelkezésre bocsátását. Külön köszönjük Szentimrey Tamásnak, az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársának a személyes konzultációk lehetőségét, valamint szakmai tanácsait a homogenizációs eredmények elemzéséhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BARTHOLY JUDIT – PONGRÁCZ RITA Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Global and Planetary Change*, 57, pp. 83–95., 2007.
- [2] TANK A.M.G. KLEIN – G.P. KÖNNEN Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, 16, pp. 3665–3680., 2003.
- [3] ENRIC AGUILAR – INGE AUER – MANOLA BRUNET – THOMAS C. PETERSON – JON WIERINGA Guidelines on climate metadata and homogenization. WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. World Meteorological Organization, Geneve, 2003
- [4] SZENTIMREY TAMÁS Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data, Budapest, Hungary; WMO, WCDMP-No. 41, 27–46., 1999.
- [5] SZENTIMREY TAMÁS Manual of homogenization software MASHv3.03. Hungarian Meteorological Service, Budapest. 64p., 2011.
- [6] PÉLINÉ NÉMETH CSILLA – DR. RADICS KORNÉLIA – DR. BARTHOLY JUDIT Reanalízis idősorok szélklimatológiai vizsgálata, Repüléstudományi Közlemények Különszám 2012. (e-dok.) url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/25_Peline_N_Csilla-Radics_Kornelia-Bartholy_Judit.pdf (2014.03.02.)
- [7] PÉLINÉ NÉMETH CSILLA – BARTHOLY JUDIT – PONGRÁCZ RITA Homogenization of Hungarian daily wind speed data series, *Időjárás*, Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 118., No. 1, January–March 2014 (megjelenés alatt)