

HAZÁNK SZÉLKLIMÁJÁNAK TÉRBELI ÉS IDŐBELI VÁLTOZÁSAI (1975-2010)

Az éghajlati rendszerről származó átfogó ismereteink és a különböző szimulációs eredmények együttesen alátámasztják azt a megállapítást, hogy az üvegházhatású gázok koncentrációjának megfigyelt emelkedése melegedéshez, hosszabb távon pedig klímaváltozáshoz vezet. Ennek hatására az alkalmazott meteorológia különböző területein, így a repülésmeteorológiában is jelentősen megnövekedett az igény a klímaváltozás globális és regionális hatásainak elemzésére, következményeinek becslésére. Az egyes meteorológiai paraméterek átlagos értékeinek elmozdulása mellett kiemelt figyelmet igényelnek a szélsőséges időjárási és éghajlati események esetleges gyakorisági változásai is. Az előadás során a hazai szélklíma paramétereinek és szélsőségeinek részletes elemzése során elvégzett vizsgálatok és tendenciaelemzések kerülnek bemutatásra.

Kutatásaink során a rendelkezésünkre álló 36 hazai szinoptikus meteorológiai állomás jelenleg harminchat éves (1975-2010) szélesebesség, szélirány és szellőkés adatsorainak komplex statisztikai elemzését végeztük el. Munkánk egyik legfontosabb eleme volt az adatsorokra vonatkozó homogenizációs, adatkorrekciós feladatok megoldása, különös figyelmet fordítva a mérőműszerek (automata észlelésre való áttérés), a mérési helyszínek és a mérési környezet esetleges megváltozásaira. A globális klímaváltozás hatásainak becslése céljából átfogóan elemeztük a szinoptikus meteorológiai állomásokon rögzített adatsorok felhasználásával a szélmező átlagos és szélsőértékeit, ezek időbeli és térbeli megváltozását. Kutatásaink befejező részeként az adatsorokban esetlegesen fellelhető tendenciák becslésével foglalkoztunk.

1. FELHASZNÁLT ADATOK

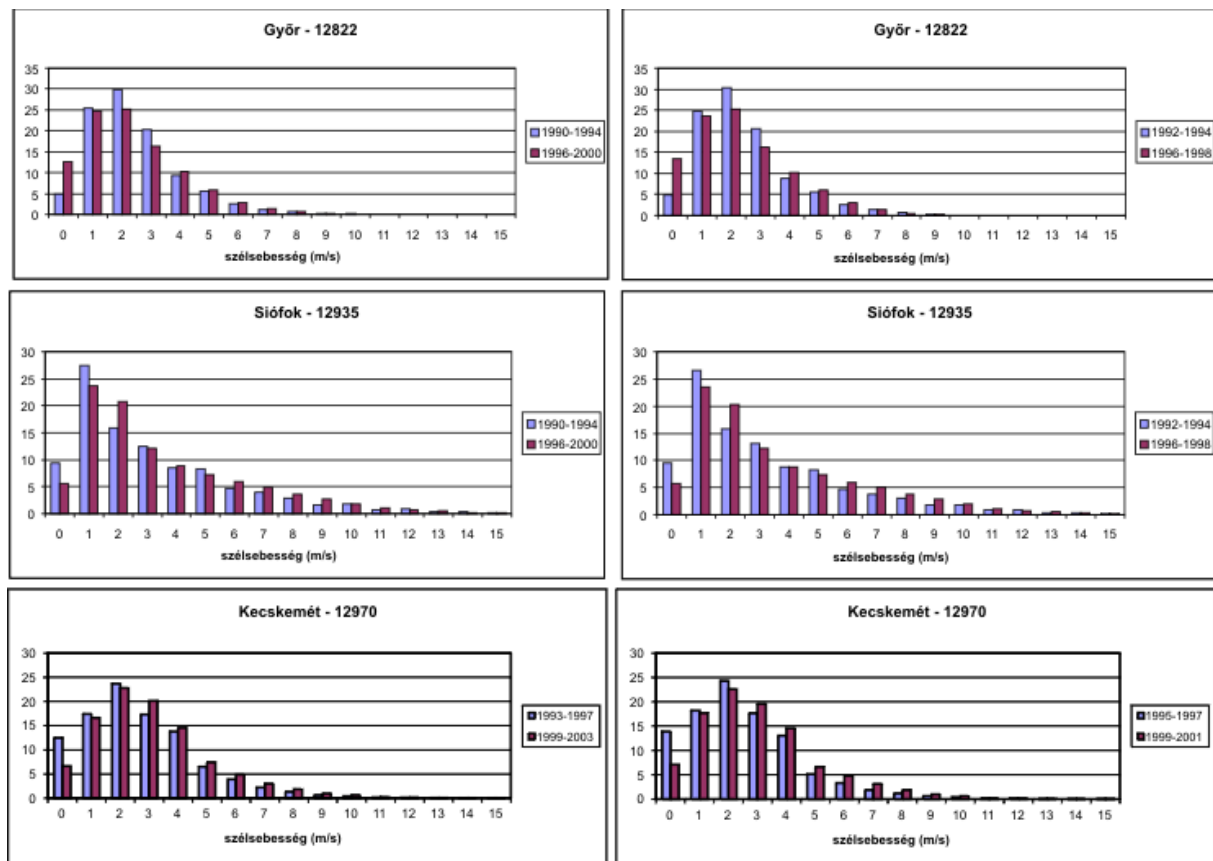
Vizsgálataink a hazai szinoptikus mérőhálózat órás felbontású mért adatain alapulnak. A földfelszíni megfigyelési adatbázis (SYNOP távirat) órás szélesebesség, szélirány és szellőkés értékeket – egészen kerekített sebességet (m/s-ban) és tíz fokra kerekített szélirányt – tartalmaz. [4]

Az adatsorok minőségi ellenőrzését, a hibás értékek kiszűrését és javítását a 2010. év végéig a korábbiakban bemutatott [3] szempontok alapján végeztük el. Az adatsor tartalmi ellenőrzése során a legnagyobb átlagos és maximális szélesebességi értékek meteorológiai megalapozottságát minden esetben megvizsgáltuk, szükség esetén javítottuk.

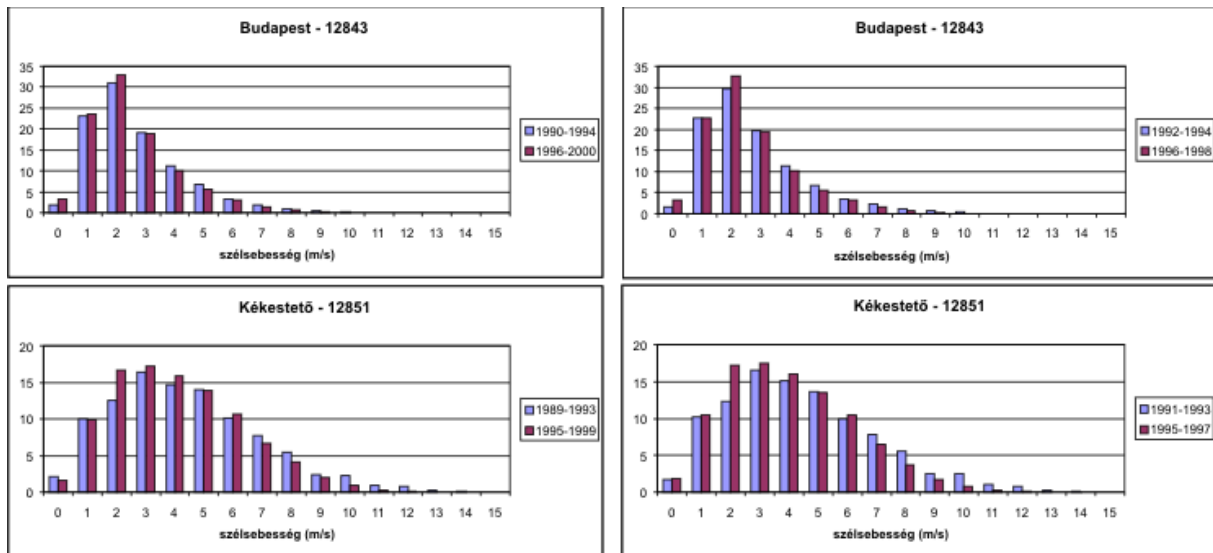
A meteorológiai világszervezet, a WMO (World Meteorological Organisation) által elvárt automatizált mérőrendszerek telepítése Magyarországon az 1990-es évek során megtörtént. Míg az

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 okoz, hogy a szélmérő eszközök automatizálás előtti időszakra vonatkozó mérési magasságai nem minden esetben kerültek rögzítésre.

A rendelkezésre álló hosszú idősorokon (Győr, Siófok, Kecskemét, Budapest, Kékestető) homogenitás vizsgálatokat végeztünk, összevetve az automatizálás előtti és utáni öt-, illetve hároméves intervallumok szélesség-gyakoriságait. Az 1–2. ábrán látható relatív gyakoriság diagramokon megfigyelhető az eloszlások eltérése az automatizálás előtt és után, valamint a választott időszakok között.



1. ábra. A szélesség relatív gyakorisága Győrött, Siófokon és Kecskeméten.



2. ábra. A szélsebesség relatív gyakorisága Budapesten és Kékestetőn.

Nyilvánvaló, hogy az állomáshálózat felépítése, az állomások megszűnése és költözése, a mérés technika fejlődése is nagymértékben befolyásolja az idősorok homogenitását. Munkánk során törekedtünk arra, hogy az állomástörténeti adatokat, melyet az Országos Meteorológiai Szolgálat biztosított részünkre, a lehető legnagyobb mértékben figyelembe vegyünk az adatok elemzésekor. Az egyes állomások széladatainak összevethetősége érdekében magassági korrekciót alkalmaztunk, a meteorológiai gyakorlatban általánosan elfogadott Hellmann-féle hatványkitevős szélprofil [1]:

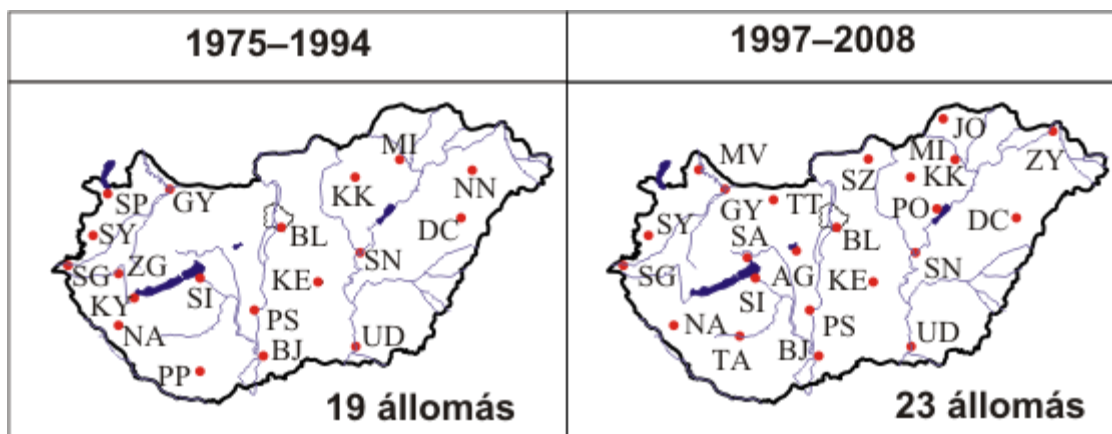
$$\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^{p'} \quad (1)$$

- u_1 a z_1 magasságban,
- u_2 a z_2 magasságban mért szélsebesség.

A p' kitevő értékét a településeknek megfelelő 0,28-nak választottuk.

A költöző és megszűnő állomásokat a legtöbb esetben kihagytuk a vizsgálatból. Az adatsorok inhomogenitásának egyik okát, az állomások automatizálását, pedig oly módon vettük figyelembe, hogy az esetek többségében az idősort 1997-től, az automatizálási folyamat befejezését követően vizsgáltuk. Az 1975–1994 közti időszakra vonatkozó szélklimatológiai vizsgálataink eredményei, az időszak összevetése az ERA-40 reanalízis adatbázissal a [2, 3, 5] cikkekben olvashatók.

A fent ismertetett tényeknek köszönhetően az adatsorok teljes időszakra vonatkozó egységes vizsgálata – az inhomogenitások miatt – lehetetlenné vált. Így a hazai szélklima jellemző paramétereinek elemzését az automata észlelésre áttért, szinoptikus meteorológiai állomások – melyek földrajzi elhelyezkedése a 3. ábrán látható – tizenkét, illetve tizennégy éves (1997–2010) idősorán végeztük el. Adatpótlást semmilyen technikával nem alkalmaztunk.



3. ábra. A vizsgálatba bevont hazai szinoptikus állomások.

Az 1. táblázatban felsoroltuk az automatizált állomások rendelkezésünkre álló idősorait és a szélmérési magasságokat. Miskolc és Kecskemét állomásokon 1997 júliusával, illetve 1998 januárjával kezdődött meg az automata adatszolgáltatás, míg Zalaegerszeg 1999 áprilisától, Eger és Tát állomás 1999 májusától, Sármellék 2001 januárjától, Pápa Nyárád pedig 2002 júniusától része az országos meteorológiai mérőhálózatnak. Kilenc éves (1997-2005) adatbázist használtunk Taszár esetén az állomás 2005-ben történt bezárása miatt. Külön figyelmet szenteltünk a Szombathely és Szeged állomásokról származó adatoknak. Szombathely esetén az állomást 2002-ben – a szélmérési magasság megváltoztatása nélkül – áthelyezték. Szegeden pedig 2004-ben a mérési magasságot 8,76 m-ről 10,59 m-re növelték. Nyíregyháza, Pécs, Sopron és Szentkirályszabadja állomásokon az állomás áthelyezése és a szél mérési magassága is változott, ezért ezen állomások idősorai csak két részre bontva vizsgálhatóak. Természetesen ez a tény az egyes állomások összehasonlíthatóságát negatívan befolyásolja, ezért – Szentkirályszabadja kivételével – ezen állomások 2008-ban még kimaradtak a vizsgálatokból. A táblázatból látható, hogy az említett állomások második időszakát (2004 – 2010) tekintve 2004 óta már szélklimatológiai szempontból is vizsgálható hosszúságú és homogénnek tekinthető idősor áll rendelkezésre.

	Állomás	Felhasznált adatsor	Mérőműszer magassága (m)
1.	Agárd	1997 – 2010	10,30
2.	Baja Csávoly	1997 – 2010	10,30
3.	Budapest/Lőrinc	1997 – 2010	14,68
4.	Debrecen	1997 – 2010	10,23
5.	Eger	1999 – 2010	10,56
6.	Győr	1997 – 2010	10,17
7.	Jósvafő	1997 – 2010	9,99
8.	Kecskemét	1998 – 2010	10,00
9.	Kékestető	1997 – 2010	25,07
10.	Miskolc	1997 – 2010	16,25
11.	Mosonmagyaróvár	1997 – 2010	16,99
12.	Nagykanizsa	1997 – 2010	13,69

	Állomás	Felhasznált adatsor	Mérőműszer magassága (m)
13.	Nyíregyháza	1997 – 2003	27,00
14.	Nyíregyháza Napkor	2004 – 2010	15,98
15.	Paks	1997 – 2010	9,80
16.	Pápa Nyárad	2002 – 2010	12,05
17.	Pécs	1997 – 2004	21,37
18.	Pécs Pogány	2004 – 2010	10,55
19.	Poroszló	1997 – 2010	10,45
20.	Sármellék	2001 – 2010	10,61
21.	Sopron, szélmalom	1997 – 2003	18,40
22.	Sopron Fertőrákos	2004 – 2010	15,64
23.	Siófok	1997 – 2010	15,10
24.	Szécsény	1997 – 2010	10,40
25.	Szeged	1997 – 2004	8,76
26.	Szeged	2004 – 2010	10,59
27.	Szentgotthárd	1997 – 2010	16,61
28.	Szentkirályszabadja, katonai	1997 – 2004	10,00
29.	Szentkirályszabadja, OMSZ	2005 – 2010	10,20
30.	Szolnok	1997 – 2010	10,00
31.	Szombathely	1997 – 2010	10,56
32.	Taszár	1997 – 2005	10,00
33.	Tata	1997 – 2010	19,30
34.	Tát	1999 – 2010	10,40
35.	Záhony	1997 – 2010	16,71
36.	Zalaegerszeg	1999 – 2010	10,40

1. táblázat. Az egyes állomások felhasznált adatsorai és a szélmérés magassága.

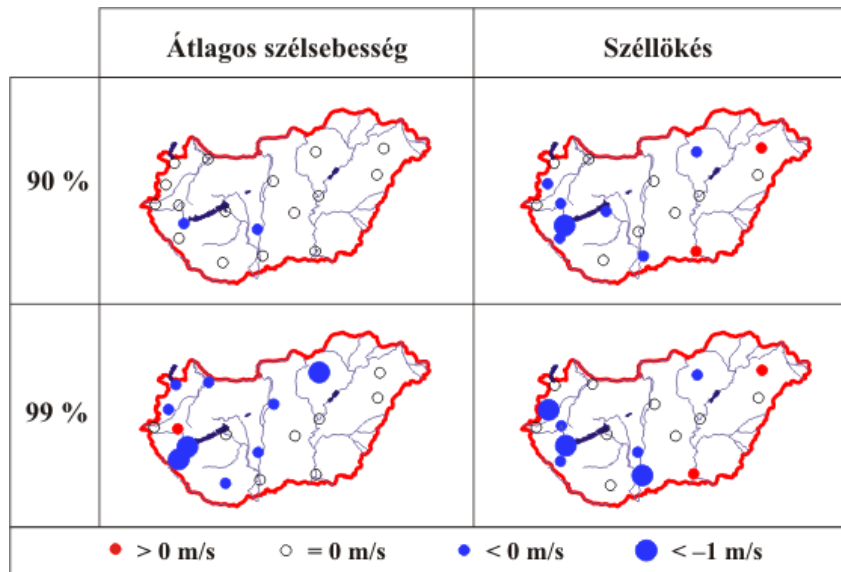
2. EREDMÉNYEK

2.1 Éves percentilis vizsgálatok

A mért széladatok vizsgálata során az egyes percentilis értékek (50%, 90%, 99%) három éves havonta csúszó értékeinek tendenciáit határoztuk meg. A két idősor medián értékeiben időbeli változást nem tapasztaltunk.

Az átlagos szélesebesség 90%-os percentilis értékeinek vizsgálata során két vizsgált állomás kivételével nem tapasztaltunk változást 1975–1994. között a percentilis értékében (4. ábra). Egyetlen állomás esetén sem találtunk emelkedő tendenciát, csökkenést pedig csak két esetben, Keszthelyen és Pakson mutattunk ki. 99% esetén, a vizsgált állomások csaknem felén megjelent a csökkenő tendencia, amelyek nagy része a Dunántúlon helyezkedik el. Emelkedést csak Zalaegerszegen tapasztaltunk.

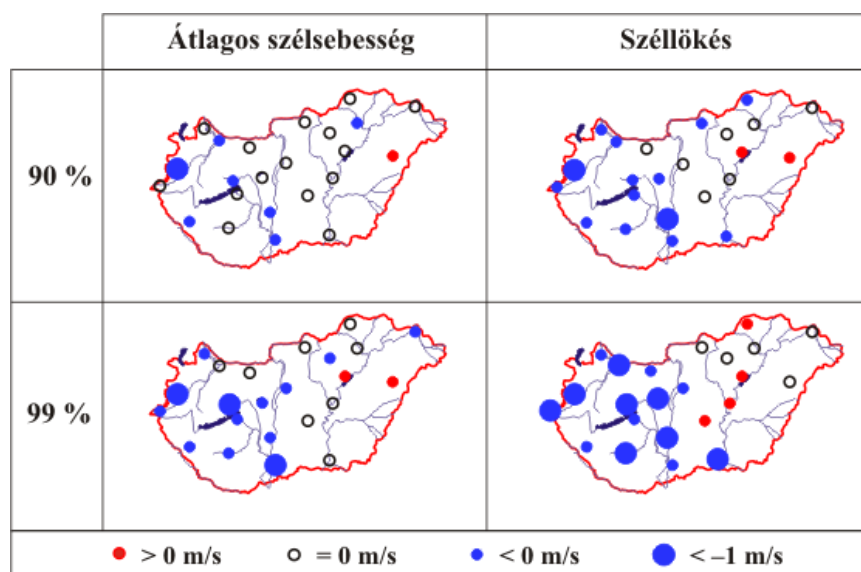
A szellőkés percentilis értékei két esetben emelkedést mutattak az Alföldön. A 90% és 99% esetében ugyanazokon az állomásokon (Debrecen és Szeged) találunk emelkedést. A szellőkés percentilis értékének növekedésével kis mértékben nő a csökkenő tendencia intenzitása. A csökkenő tendenciát mutató szélsőértékek főleg a Dunántúli területeken jelennek meg.



4. ábra. Percentilis értékek tendenciái (1975–1994).

Az 5. ábrán a 1997–2008. közötti időszak percentilis értékeinek tendenciái láthatók. Az átlagos szélsébség 90%-os percentilis értékeit vizsgálva Debrecen esetén emelkedő tendenciát találtunk, míg 99% esetén két esetben, Poroszló és Debrecen állomásokon is emelkedést tapasztaltunk. Miközben a medián értéke az ország szinte teljes területén változatlan értéket vesz fel [4], addig a vizsgált percentilis értékének növelésével az ország egyre nagyobb területén jelenik meg a csökkenő tendencia. Ezzel párhuzamosan a csökkenő tendencia intenzitása is nő.

A széllökés percentilis értékeinek vizsgálata során az Alföld keleti régióiban több helyen emelkedő tendencia jelenik meg. A 90% esetében kettő (Debrecen és Poroszló), a 99%-nál négy állomáson (Jósvafő, Poroszló, Szolnok, Kecskemét) találunk emelkedő értékeket. Mindkét esetben határozottan kirajzolódik a Dunántúlra és az alföldi régiókra jellemző eltérő viselkedés.

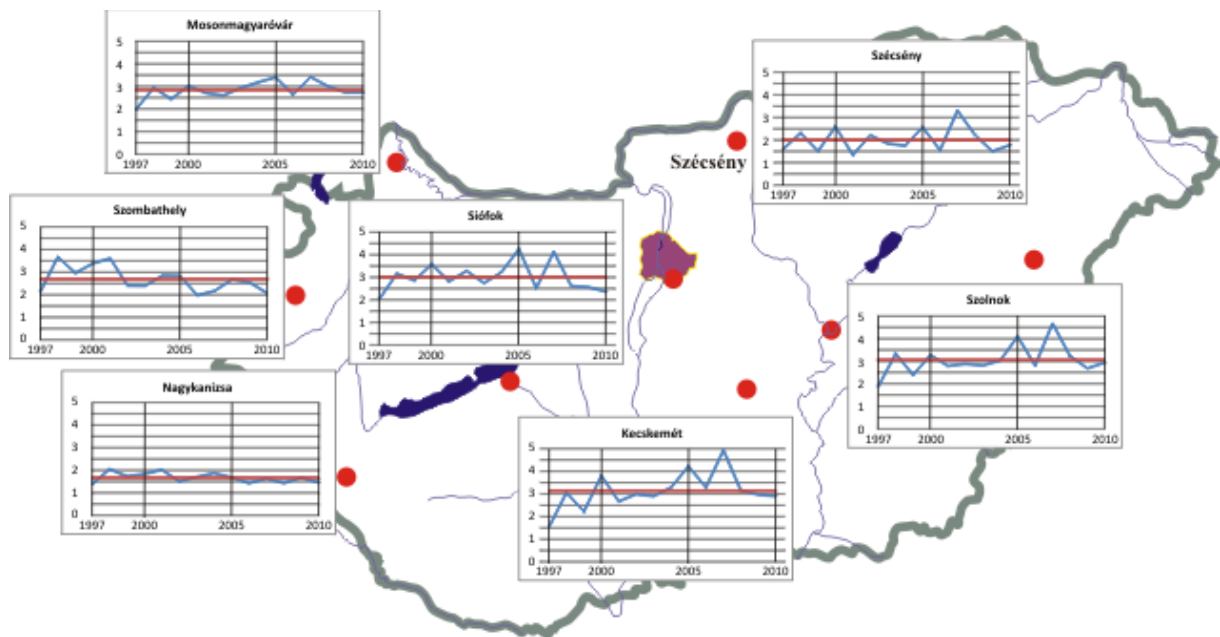


5. ábra. Percentilis értékek tendenciái (1997–2008).

2.2 Havi vizsgálatok

Az 1997–2010. időszakra havi vizsgálatokat végeztünk az éves tendenciák részletesebb megismerése érdekében. A havi átlagok alakulása mellett vizsgáltuk a havi mediánok és magasabb percentilisek (90%, 95%, 99%) alakulását is mind a szélsébség, mind a széllökés értékek esetében.

A 6. ábrán néhány kiragadott állomás januári átlagait mutatjuk be a tizennégy évre vonatkozó januári átlaghoz képest. Megfigyelhető a jól ismert tény, hogy a szélsébség évek közti változékonysága havi átlagok tekintetében is jelentős mértékű. Szombathelyen jól látható a csökkenő, míg Kecskeméten és Szolnokon az emelkedő tendencia. Természetesen az egész évre vonatkozóan ezek a változások kiegyenlíthetik egymást.



6. ábra. Egyes évek havi átlagai (kék vonal) és a teljes időszakra vonatkozó januári átlagok (piros vonal) kapcsolata (1997-2010).

Megfigyelhető továbbá az is, hogy az időszak első felében inkább az emelkedő, a második felében sok esetben inkább a csökkenő tendencia a jellemző, ahogy ezt a magaslégköri mérések is alátámasztják. Így azokon az állomásokon, ahol inhomogenitási problémák miatt az idősort bontva vizsgáltuk, a trendek értelemszerűen csak az azonos vagy közel azonos időszakokkal vethetők össze. A 2. táblázatban a havi görbék lineáris trendegyütthatóiból meghatározott szélsébség és széllökés átlagából, valamint a széllökés 99%-os percentilisének tendenciáiból mutatunk ízelítőt január és július hónapokra. A táblázatban alkalmazott jelek az alábbi trendegyütthatóknak felelnek meg:

— emelkedő trendegyütthatók:

- $0 < + \leq 0,050$
- $0,051 < ++ \leq 0,100$
- $0,101 < +++ \leq 0,500$

• 0,501 < ++++

— csökkenő trendegyütthatók:

• 0 > - ≥ -0,050

• -0,051 > --- ≥ -0,100

• -0,101 > ---- ≥ -0,500

• -0,501 > -----

	Állomás	Felhasznált adatsor	Szélsőbesség átlaga		Széllökés átlaga		Széllökés 99%-os percentilise	
			Jan	Júl	Jan	Júl	Jan	Júl
1.	Agárd	1997 – 2010	+	--	-	--	+++	-
2.	Baja Csávoly	1997 – 2010	-	--	+	--	+++	-
3.	Budapest/Lőrinc	1997 – 2010	+	-	-	--	+++	-
4.	Debrecen	1997 – 2010	+	+	-	-	-	-
5.	Eger	1999 – 2010	++	+	+	+	+++	+++
6.	Győr	1997 – 2010	+	-	--	-	-	--
7.	Jósvafő	1997 – 2010	-	+	--	-	-	++
8.	Kecskemét	1998 – 2010	++	+	+++	++	++++	+
9.	Kékestető	1997 – 2010	-	-	+	+	++	++
10.	Miskolc	1997 – 2010	+	-	--	-	+	-
11.	Mosonmagyaróvár	1997 – 2010	+	-	-	--	++	++
12.	Nagykanizsa	1997 – 2010	-	-	--	-	-	+++
13.	Nyíregyháza	1997 – 2010	++	-	++	+	++++	+++
14.	Paks	1997 – 2010	-	-	+	--	+++	--
15.	Pápa Nyárád	2002 – 2010	--	-	+	+	+++	+++
16.	Pécs Pogány	2004 – 2010	---	+	+	++	++++	++++
17.	Poroszló	1997 – 2010	+	-	-	-	+++	-
18.	Sármellék	2001 – 2010	-	-	--	-	+++	+++
19.	Siófok	1997 – 2010	+	-	--	-	+++	+++
20.	Szécsény	1997 – 2010	+	-	-	-	---	+++
21.	Szeged	1997 – 2010	+	-	-	--	+++	--
22.	Szentgotthárd	1997 – 2010	-	-	---	-	---	++
23.	Sztkirályszab., katonai	1997 – 2004	+++	--	---	--	--	---
24.	Sztkirályszab., OMSZ	2005 – 2010	---	++	---	+++	---	+++
25.	Szolnok	1997 – 2010	++	-	+	-	++	--
25.	Szombathely	1997 – 2010	--	--	---	--	---	-
26.	Sopron szélmalom	1997 – 2003	+	+	--	---	+++	---
27.	Sopron Fertőrákos	2004 – 2010	---	-	---	++	+++	+++
28.	Tata	1997 – 2010	+	-	-	--	+	--
29.	Tát	1999 – 2010	-	-	--	-	---	+++
30.	Záhony	1997 – 2010	+	-	-	--	++	--
31.	Zalaegerszeg	1999 – 2010	+	+	---	+	++	+++

2. táblázat. Január és július hónapok trendjei.

Januárban a szélsőbességek átlagai között a második kategóriába eső emelkedő tendenciákat csak az Alföldön figyelhetünk meg a teljes időszakra vonatkozóan. A széllökéseket tekintve Kecskemét és Nyíregyháza állomásokon tapasztaltunk nagyobb emelkedést. Szentkirályszabadjai katonai repülőtéri mérőállomás, mely a vizsgált időszak első felében üzemelt, jelentős emelkedést mutat, melynek

nagyságát a vizsgált intervallum választása is megnöveli. A széllokés 99%-os percentilise Kecskeméten és Nyíregyházán, illetve a 2004-től üzemelő Pécs Pogány állomásokon mutat jelentősebb emelkedést.

A szélsőbesség átlagainak csökkenő tendenciája januárban Szombathelyen figyelhető meg, valamint Pécs Pogány, Sopron Fertőrákos (2004-től) és Szentkirályszabadja OMSZ állomásokon, mely 2005-től szolgáltat mérési adatokat. A Dunántúli állomásokon kívül Jósvalfőn és Miskolcon is megjelent a csökkenő trend. A széllokés vizsgált percentiliseit nézve látható, hogy a Dunántúli állomások mellett csak Szécsény állomás mutat csökkenést.

A **július** hónap jellegtelenebb a vizsgált téli hónaphoz, januárhoz képest. A szélsőbesség átlagában közepes emelkedést csak Szentkirályszabadja OMSZ állomáson láthatunk, míg csökkenést a Dunántúlon, Agárd, Baja, Szombathely és Szentkirályszabadja katonai állomásokon. A széllokés havi átlagában emelkedést Kecskeméten, valamint Pécs Pogány, Szentkirályszabadja OMSZ és Sopron Fertőrákos csonka idősorokban láthatunk, csökkenést Záhony mellett a Dunántúli állomások mutatnak. A széllokés 99%-os percentilise trendegyütthatója maximális volt Pécs Pogány állomáson (+0,71), minimumát a katonai üzemeltetésű Szentkirályszabadja állomáson vette fel (-0,48) a vizsgált mérőhelyek között.

Későbbi vizsgálataink során egyrészt arra keressük a választ, hogy az átlag- és szélsőértékek esetén tapasztalt időbeli eltolódás hosszabb mérési adatsor esetén kimutatható-e. Másrészt, hogy ezen tendencia a regionális skálán jelentkező éghajlatváltozás (mely befolyásolhatja hazánk szélklímáját, az extrémumok előfordulásának gyakoriságait) következménye, vagy a hazai szélviszonyok természetes változékonyságának eredménye.

3. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki a Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálatának a szinoptikus meteorológiai állomások széladatainak használatáért.

Az elvégzett kutatásokat részlegesen az alábbi pályázatok támogatták: OTKA T-034867, T-038423, T-049824, K-62478, NKFP-3A/0006/2002, NKFP-3A/082/2004, NKFP-6/079/2005 számú programjai. Továbbá köszönjük a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíjának támogatását.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MOLLY, J. P.: Windenergie. Theorie and Praxis. C.F. Müller, Kalsruhe, 1990.
- [2] PÉLINÉ N. Cs., RADICS K., BARTHOLY J., HAJDÚ M.: A hazai szélmező átlagos és extrém értékeinek térbeli és időbeli változása. Egyetemi Meteorológiai Füzetek. ELTE, Meteorológiai Tanszék kiadványai, No. 22, 91p., 2008.
- [3] PÉLINÉ N. Cs., RADICS K., BARTHOLY J.: A hazai szélklíma szélsőségeinek vizsgálata, legújabb eredmények. Erdő és Klíma Konferencia, Nagyatád, CD ROM, 2009.
- [4] RADICS K., BARTHOLY J. és PÉLINÉ N. Cs.: A szélmező átlagos és extrém értékeinek térbeli és időbeli változás hazánkban. Első Európai Szélnap Magyarországon. Magyar Szélenergia Társaság kiadványai, No. 4, 44p., 2007.
- [5] RADICS K., BARTHOLY J., PÉLINÉ N. Cs.: Regional tendencies of extreme wind characteristics in Hungary. Advances in Science and Research 4, 43-46., 2010.