

## A SZELES NAPOK STATISZTIKAI SZERKEZETE MAGYARORSZÁGON

TAR KÁROLY<sup>84</sup>

### STATISTICAL STRUCTURE OF THE WINDY DAYS IN HUNGARY

**Abstract:** One of the energetic characteristics of the wind field, the frequency of the so-called windy days is investigated in the period 1971-2000 using datasets of seven observatories in Hungary. Windy day is defined as a day with daily maximum wind speed higher than 10 m/s. Basic statistics are determined and time-course of monthly and yearly means is analysed by fitting of trigonometric polynomials. A measuring number is defined to decide the goodness of the fitting and the suddenness of the different periods is investigated. The approach of the function fitting the course of monthly means is very good but only the yearly period is significant. The goodness of the function fitting the course of yearly means is even weaker and we can find geographical differences. The same is true for the suddenness of periods.

### BEVEZETÉS

A szélenergia hasznosítása ősidők óta foglalkoztatja az emberiséget, hiszen a szélmalomok mellett a vitorlás hajók is ezzel az energiával „működtek”. Európában legkorábban a Németalföldön építettek szélmalomokat Hollandiában a tenger által elöntött területek víztelenítésére, a mediterrán területeken pedig az öntözés mellett olívaolaj sajtolásra is használták a szél munkavégző képességét. A szélmalomok száma a 19. század utolsó negyedéig fokozatosan növekedett kontinensünkön, Dániában például az 1890-es években a kisebbekből körülbelül 25.000 működött. Magyarországon a török hódoltság után jelentek meg nagyobb számban a szélmalomok, bár helyenként már a 15. században is előfordultak. Elterjedésük azonban csak a 17. században vált általánossá, a legtöbb szélmalomot viszont hazánkban 1866. és 1885. között építették. Számuk így alakult: 1863-ban 475, 1873-ban 854, 1885-ben 650, 1894-ben 712 és 1906-ban 691 (*Bárány I. et al.* 1970). A 19. század végén, a 20. század elején az ország szélmalmainak több mint 95%-a az Alföldön helyezkedett el (*Keveiné Bárány I.* 1991), ami önmagában is elegendő bizonyíték arra, hogy hazánkban ezen a táján is van hasznosítható szélenergia. A régi szélmalomok többsége a Dél-Alföldön található, ami arra utal, hogy a szélviszonyok leginkább itt feleltek meg a nem túl magasan elhelyezett, körülbelül 20 kW teljesítményű szélmalomok működési feltételeinek. Az egykori szélmalomok helyei tehát a vizsgálatok szerint (*Keveiné Bárány I.* 2000, 2001) pontosan kijelölik azokat a térségeket, ahol minden valószínűség szerint gazdaságos szélenergia kitermelés lehetséges.

---

<sup>84</sup> Debreceni Egyetem, Meteorológiai Tanszék. 4010 Debrecen, Egyetem tér 1. E-mail: tark@puma.unideb.hu

Az energiataralom tehát a szélmező egyik fontos strukturális eleme, amelyvel kapcsolatos alapvető kérdés a mennyisége. Magyarországon a szélenergia döntő hányadát a ritkán előforduló nagyobb szélsőségek adják (Tar K. 1991). Vizsgálatainkba – amelynek legfontosabb részeredményeit közöljük most – ezért bevontuk a szélmező egyik, eddig még igazából nem elemzett karakterisztikáját, a 10 m/s-nál nagyobb maximális szélsőséggel bíró napok, az ún. *szeles napok havi számát* is. *Feltártuk ennek részletes statisztikai szerkezetét és a széleenergetikai paraméterekkel való kapcsolatát abból a célból, hogy a szélenergia előzetes becslésére egy könnyen hozzáférhető paramétert kapjunk.* Eredményeink hozzájárulnak Magyarország szélklímájának részletesebb feltárásához is.

A szeles napok havi számát leíró valószínűségi változóból vett mintánkat D10-nek fogjuk nevezni. Ennek elemeit az OMSZ *Havi jelentések* című kiadványából vettük az 1971. január – 2000. december időszakban. Elsőként csak azon állomások adatait dolgoztuk fel, amelyeken a szél mérés körülményei változatlanak tekinthetők. A szeles napok havi adatsorai és a szélsőség óránkénti értékei következő állomásokon az 1971. január – 2000. december időszakban a homogénnek vehetők: Debrecen, Szeged, Budapest-Pestlőrinc, Pécs, Keszthely, Szombathely és Kékestető.

#### A SZELES NAPOK ALAPSTATISZTIKÁI

A szeles napok (D10) egész időszakra számított legfontosabb statisztikai jellemzőit az 1. táblázatban közöljük.

A táblázat első sora a figyelembe vehető hónapok számát tartalmazza. Keszthely kivételével tehát teljes a 30 éves adatsor. A második sorban azoknak a napoknak a száma szerepel, amelyeken a szélsőség maximális értéke elérte vagy meghaladta a 10 m/s-ot (D10). A harmadik sorba annak valószínűségét közelítjük, hogy ez bekövetkezzon: a D10-es napok összes számát elosztjuk a vizsgált időszak összes napjainak számával. Ahogy várható volt, a D10 esemény bekövetkezésének Kékestetőn a legnagyobb a valószínűsége, ezután következő állomások pedig Szombathely, Budapest és Pécs, Szeged, Debrecen, végül Keszthely. Természetesen ugyanez az átlagos értékek sorrendje is. A szórás pedig a D10 napok maximális és a minimális számának különbségeként előálló ingással mutat összefüggést: legkisebb Keszthelyen, ahol az ingás 24 nap, legnagyobb pedig Pécsen, ahol az ingás 28 nap. Ezek a paraméterek tehát nem mutatnak éles orografikus elkülönülést. A táblázat utolsó előtti, illetve utolsó sorában azoknak a hónapoknak a %-os arányát közöljük, amelyekben a szeles napok száma 20-nál több, illetve 10-nél kevesebb volt. Itt már megfigyelhetők az anemométer környezetének felszíni egyenetlenségeiből adódó differenciák. A havi 20-nál több szeles nap előfordulásának sorrendje ugyanis: Kékestető, Pécs, Szombathely (hegység és nem síkvidék), Budapest, Debrecen, Szeged (síkvidék), végül Keszthely. A havi 10-nél kevesebb nap előfordulásának sorrendje pedig az előbbi fordítottja: Keszthely, síkvidéki állomások, hegy-

ségi és nem síkvidéki állomások. Legkiegyenlítettebb tehát a széljárás Keszthelyen, aminek okaként az itt kialakuló termikus, azaz a vízi-parti szelet valószínűsíthetjük.

1. táblázat A szeles napok havi számát megadó valószínűségi változó legfontosabb jellemzői az 1971. január – 2000. december időszakban

Table 1 The most important characteristics of the random variable relative to number of windy days in the period of 1971-2000

	1971.01.-2000.12.						
	Debrecen	Szeged	Budapest	Pécs	Keszthely	Szombathely	Kékestető
Össz.hónap	360	360	360	360	336	360	360
Össz. D10 nap	4466	4647	4667	4673	2777	4824	7213
Valószínűség	0,408	0,424	0,426	0,426	0,270	0,440	0,658
Átlag	12,4	12,9	13,0	13,0	8,3	13,4	20,0
Szórás	5,09	4,83	5,26	5,50	4,73	5,19	4,93
Medián	12	13	13	13	8	13	21
Maximum	26	27	27	28	24	30	31
Minimum	0	2	1	0	0	2	6
Ingás (max.-min.)	26	25	26	28	24	28	26
≥20 (%)	10,3	7,8	11,1	13,9	1,7	13,1	57,8
≤10 (%)	35,8	34,7	34,7	33,9	64,4	30,0	4,4

### A SZELES NAPOK HAVI ÁTLAGAI

Az 1. ábrán a D10 havi átlagai láthatók az 1971-2000/1998 közötti 30/28 évre vonatkozóan. Debrecen, Szeged, Budapest, Pécs és Szombathely állomásokon az évi menet közös sajátossága az áprilisi maximum (kb. 17 és 19 nap között), másodlagos maximum júliusban (kb. 13 és 16 nap között), valamint a harmadlagos maximum decemberben (kb. 11 és 13 nap között), a minimum helye viszont változik augusztus és október között. Az ábrán feltüntettük az előbbi 5 állomás adatai alapján számolt átlagos értékeket is, amelyek természetesen az előbb vázolt évi menetet mutatják.

Ugyanez az éves menet figyelhető meg Keszthelyen is, csak 4-5 nappal kisebb értékekkel, szeptemberi minimummal. Kékestetőn viszont a havi átlagos értékek 16 és 24 között váltakozva decemberi maximumot és augusztusi minimumot mutatnak az ottani légréteg áramlási viszonyainak megfelelően.

A három egymástól különböző évi menetre (az öt állomás átlagára, valamint Keszthely és Kékestető adataira) egy-egy négy tagból álló trigonometrikus polinomot (hullámot) illesztettünk, azaz ha  $[D10]_i$  jelöli az  $i$ . hónapbeli átlagot, akkor

$$[D10]_i \approx f_4(i) = a_0 + \sum_{m=1}^4 \left( a_m \cos \frac{2\pi mi}{N} + b_m \sin \frac{2\pi mi}{N} \right) \quad (1)$$

Az (1) összefüggésben  $a_0$  az egész időszak átlagát jelöli,  $N=12$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, N-1$ , az  $m$ . hullám amplitúdója pedig

$$A_m = (a_m^2 + b_m^2)^{1/2} \quad (2)$$

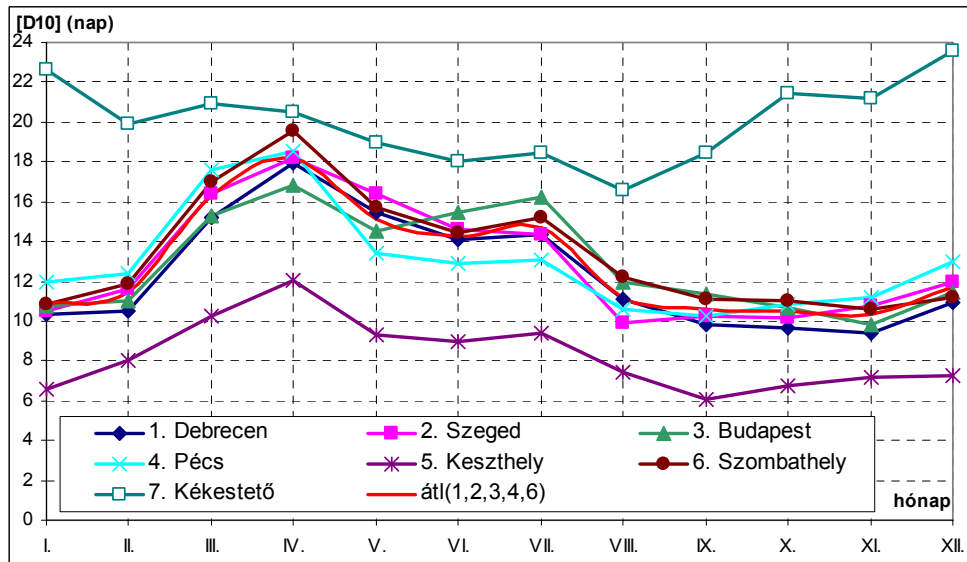
(Dobosi Z. – Felméry L. 1971, Matyasovszky I. 2002). Az illesztés/közelítés jóságának mérésére az ún. reziduális szórásnégyzet szolgál:

$$s_m^2 = s_{m-1}^2 - 0.5A_m^2 \quad (3)$$

ahol  $s_0^2 = s_n^2$ , azaz a szórásnégyzet (Dobosi Z. – Felméry L. 1971). Látható azonban, hogy az  $s_m^2$  függ az adatok nagyságától, azaz nem alkalmas esetünkben az összehasonlításra. Erre a közelítés relatív mértékét definiáló

$$s_{0m} = \frac{s_0^2 - s_m^2}{s_0^2} \quad (4)$$

paramétert használtuk, amely már az értékektől függetlennek tekinthető, nem függ tehát a szélsőértékek nagyságától, így az anemométer magassága szerint sem kell korigálni. Az  $s_m^2$  értékei a közelítő polinomok számának növekedtével nyilvánvalóan csökkennek. Tegyük fel, hogy ez nem így van, ekkor  $s_m^2 \approx s_0^2$ , azaz  $s_{0m} \approx 0$ . Ha viszont az  $s_m^2$ -vel való közelítés „teljesen tökéletes”, akkor  $s_m^2 \approx 0$ , azaz  $s_{0m} \approx 1$ . A közelítő függvény illeszkedése tehát annál jobb, minél közelebb áll az  $s_{0m}$  az 1-hez (Tar K. – Kircsi A. 2001c, Tar, K. et al. 2002).



I. ábra A szeles napok havi átlagai (1971-2000)  
 Figure 1 The monthly means of windy days (1971-2000)

A harmonikus analízisben az amplitúdók várható értékét expektanciának (E) nevezik,

$$E = s_n \sqrt{\frac{\pi}{N}}. \quad (5)$$

Annak eldöntésére, hogy az m. hullám  $\frac{N}{m}$  periódusa véletlenszerű vagy reális, az  $A_m$  amplitúdó és az E expektancia arányát használják. Ha az  $A_m/E$  elég nagy, akkor kicsi annak valószínűsége (p), hogy a periódus az adatok véletlenszerű elrendezéséből ered, tehát statisztikailag reálisnak tekinthető. Általában az  $A_m/E > 2$  érték már elfogadható (p=0,05), de az időjárás adatok idősorának periódus analízisének az  $A_m/E > 1,5$  esetben (p=0,17) is reálisnak tekintik az adott hullámot (**Koppány Gy.** 1978).

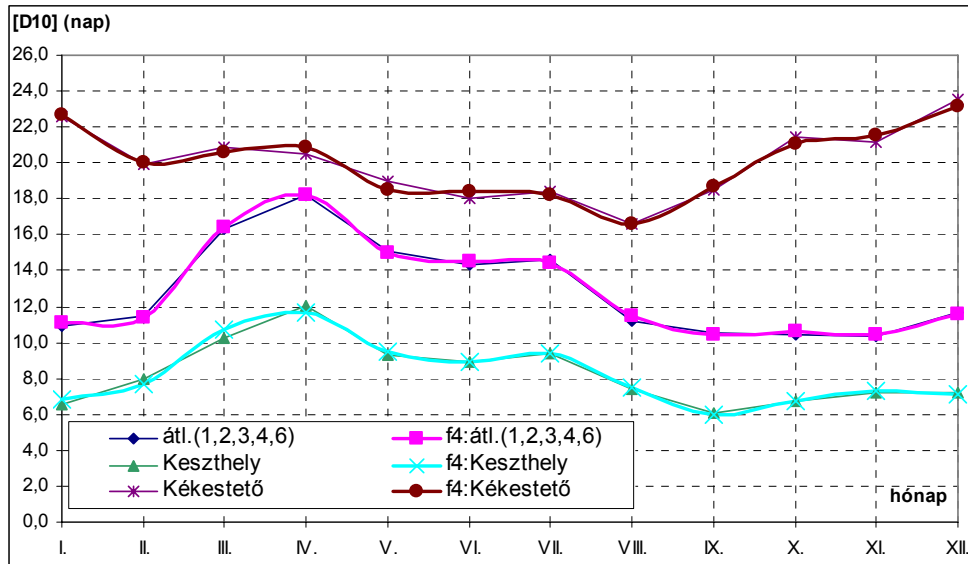
2. táblázat A havi átlagokat közelítő trigonometrikus polinom amplitúdóinak ( $A_i$ ), a közelítés mértékét jelző paraméter ( $s_{0i}$ ), az expektancia (E) és a véletlenszerűség eldöntésére szolgáló hányados ( $A_i/E$ ) értékei  
 Table 2 Values of amplitudes of trigonometric polynomials fitting the monthly means ( $A_i$ ), the measuring number of goodness of fitting ( $s_{0i}$ ), expectancy (E) and of the ratio for the determination of suddenness ( $A_i/E$ )

	átl(1,2,3,4,6)	Keszthely	Kékestető
$A_1$	3,15	2,04	2,38
$A_2$	0,87	0,59	0,87
$A_3$	1,13	0,97	0,23
$A_4$	0,92	0,40	0,93
$s_{01}$	0,77	0,73	0,76
$s_{02}$	0,83	0,79	0,86
$s_{03}$	0,93	0,96	0,86
$s_{04}$	1,00	0,99	0,98
E	1,30	0,86	0,99
$A_1/E$	2,43	2,36	2,40
$A_2/E$	0,67	0,68	0,87
$A_3/E$	0,87	1,13	0,23
$A_4/E$	0,71	0,46	0,94

A 2. táblázatban fent elemzett évi meneteket közelítő trigonometrikus polinom amplitúdóit, az  $A_m/E$  hányadosok, valamint a közelítés mértékét jelző  $s_{0m}$  paraméterek értékeit közöljük.

A közelítés  $s_{0m}$  mértéke négy hullámnál mindhárom esetben elég jól megközelíti az 1-et, azaz ezek az idősorok ennyi hullámmal már igen pontosan leírhatók.

Ezt tanúsítja a 2. ábra is, amelyen az eredeti és a közelítő értékeket együtt ábrázoltuk. Legtöbbet Keszthely esetében javult a közelítés az 1. hullámtól a 4. hullámig, itt ugyanis  $s_{04}-s_{01}=0,26$ .

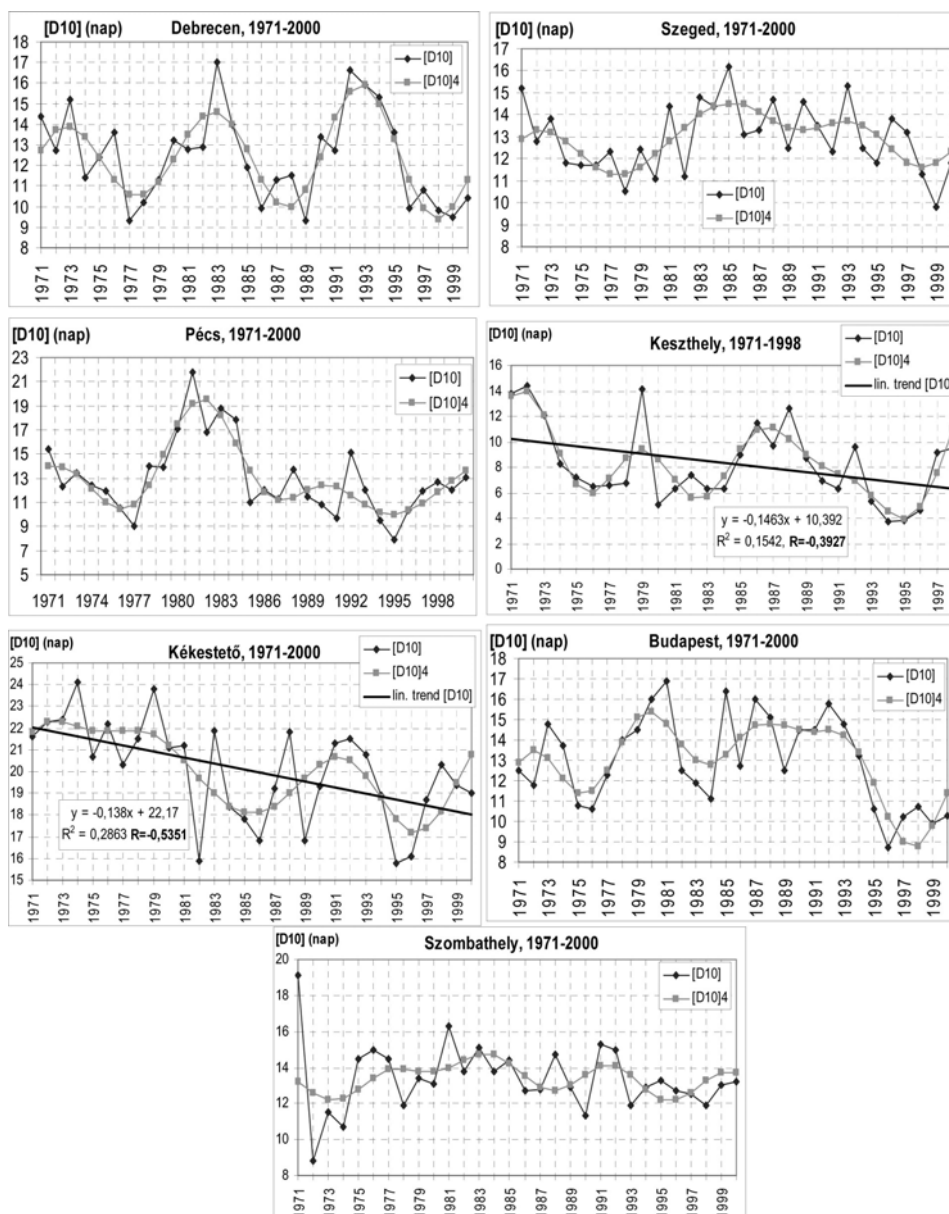


2. ábra A szeles napok havi átlagai (1971-2000) és közelítésük (f4) trigonometrikus polinommal  
 Figure 2 The monthly means of the windy days and their approach (f4) with trigonometric polynomials

Az  $A_m/E$  arányokból látható, hogy csak az 1. hullám, azaz a 12 hónapos (éves) periódus tekinthető 0,05 valószínűségi szinten a véletlentől szignifikánsan különbözőnek mindhárom esetben. A többi hullám még a kevésbé szigorú feltételt sem elégíti ki, azaz sehol sincs reális féléves ( $m=2$ ) vagy évszakos ( $m=4$ ) periódus.

### A SZELES NAPOK ÉVENKÉNTI ÁTLAGAI

A 3. ábrán a D10 évenkénti átlagait ábrázoltuk az 1971-2000 időszakban. Először most is trendvizsgálatot végeztünk, aminek az lett az eredménye, hogy 0,05-0,10 valószínűségi szinten csak Keszthelyen és Kékestetőn tekinthető valószínűnek az éves átlagok csökkenése. A lineáris korrelációs együttható kritikus értékei ugyanis most ( $n=30$ )  $r_{0,05}=0,3628$  és  $r_{0,10}=0,3069$  (Dobosi Z. – Felméry L. 1971). Ebben a két esetben feltüntettük a trend-egyenest és a trend-egyenletet is az ábrán. Látható, hogy az évenkénti csökkenés mértéke a két állomáson közel egyforma, kb. 0,14 nap/év.



3. ábra A szeles napok évi átlagai ([D10]) és ezek közelítése trigonometrikus polinomokkal ([D10]<sub>4</sub>), valamint a reálisnak tekinthető lineáris trendek  
 Figure 3 Yearly means of windy days ([D10]) and their approach with trigonometric polynomials ([D10]<sub>4</sub>), as well as the real linear trends

Négy hullám illesztésével most is elvégeztük az illeszkedés jóságának vizsgálatát, illetve a perióduselemzést. A 3. táblázatban az amplitúdókat, közelítés

mértékét jelző  $s_{0m}$  paraméterek, valamint az  $A_m/E$  hányadosok értékeit közöljük a hét állomáson.

3. táblázat Az éves átlagokat közelítő trigonometrikus polinom amplitúdóinak ( $A_i$ ), a közelítés mértékét jelző paraméter ( $s_{0i}$ ), az expektancia (E) és a véletlenszerűség eldöntésére szolgáló hányados ( $A_i/E$ ) értékei

Table 3 Values of, amplitudes of trigonometric polynomials fitting the yearly means ( $A_i$ ), the measuring number of goodness of fitting ( $s_{0i}$ ), expectancy (E) and of the ratio for the determination of suddenness ( $A_i/E$ )

	Debrecen	Szeged	Budapest	Pécs	Keszthely	Szombathely	Kékestető
$A_1$	0,45	0,97	1,71	2,31	0,58	0,61	1,55
$A_2$	0,61	0,57	0,99	1,77	2,54	0,30	1,30
$A_3$	2,44	0,72	1,06	2,22	1,80	0,36	0,96
$A_4$	0,23	0,24	1,09	0,57	1,77	0,67	0,27
$s_{01}$	0,02	0,20	0,31	0,29	0,02	0,05	0,24
$s_{02}$	0,06	0,27	0,41	0,46	0,37	0,07	0,41
$s_{03}$	0,69	0,38	0,53	0,72	0,55	0,08	0,50
$s_{04}$	0,70	0,40	0,65	0,74	0,73	0,15	0,51
$s_{04}-s_{01}$	0,68	0,19	0,34	0,45	0,71	0,10	0,27
E	0,70	0,50	0,71	0,98	0,97	0,60	0,72
$A_1/E$	0,64	1,97	2,42	2,35	0,60	1,01	2,15
$A_2/E$	0,87	1,16	1,40	1,80	2,61	0,49	1,80
$A_3/E$	3,47	1,46	1,49	2,25	1,85	0,60	1,33
$A_4/E$	0,33	0,48	1,54	0,58	1,82	1,11	0,37

Az  $s_{04}$  maximális értéke 0,7 körüli (Debrecen, Pécs, Keszthely), ami azt jelenti, hogy most az illeszkedés lényegesen rosszabb, mint az előző esetben. Igen rossz Szombathelyen, amire már az ábrából is következtethetünk. Ez azt jelenti, hogy ezen az állomáson a [D10] évenkénti változása elhanyagolható, csak a véletlennek köszönhető, azaz minden évben elég nagy biztonsággal a sokéves átlaggal, 13,4-el egyenlő. A közelítés jósága is itt változik a legkevesebbet, mivel  $s_{04}-s_{01}=0,1$ . E különbség maximuma most is Keszthelyen figyelhető meg (0,71).

A Szombathelyről előbb elmondottakat erősíti az is, hogy ezen az állomáson a táblázat szerint egyetlen reális periódus sincs, sem 0,05 sem 0,17 szignifikancia szinten. Debrecenben és Szegeden is mindössze egy ilyen van. Az előbbi állomáson 0,05 szinten a 3., azaz a 10 év periódusú (amit a maximumok és a minimumok beállása szépen mutat is a 3. ábrán), az utóbbin pedig 0,17 valószínűséggel az 1., azaz a 30 év periódusú hullám. Budapesten, illetve Kékes-tőn az erős 1. hullám mellett 4., illetve a 2. hullám, azaz a 7,5 éves, illetve 15 éves periódus is szerephez jut, 0,17 szignifikancia szinten. Keszthelyen a 2. hullám a legerősebb, de a 3. és a



4. is domináns. Pécssett is három hullám alakítja az idősor menetét, az 1. és a 3. igen erős, a felező valamivel gyengébb.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A szeles napok bekövetkezésének valószínűsége Keszthely kivételével meglepően nagy, ami a szélenergia mennyisége szempontjából megnyugtató. Valódi orográfiai különbséget a 2/3 fölötti gyakoriságok esetében sikerült kimutatni szintén csak Keszthely kivételével, ugyanis a havi 20-nál több szeles nap előfordulásának gyakorisága nagyobb a hegységi és nem síkvidéki állomásokon, mint az alföldiekén. E vizsgálat szerint tehát a széljárás Keszthelyen a legkiegyenlítettebb, aminek okaként az itt kialakuló termikus, azaz a vízi-parti szelet valószínűsíthetjük.

A havi átlagok éves menetére illesztett négy hullámot reprezentáló trigonometrikus polinom közelítése a bevezetett mérőszám szerint igen jó. Az egyes hullámok véletlenszerűségének vizsgálata pedig azt mutatja, hogy csak az éves (12 hónapos) periódus szignifikáns. A többi hullám még a kevésbé szigorú feltételt sem elégíti ki, azaz sehol sincs reális féléves vagy évszakos periódus.

Az évenkénti átlagokban Keszthelyen és Kékestetőn mutatható ki csökkenő lineáris trend, aminek átlagos mértéke minkét helyen kb. 0,14 nap/év. A négy hullámmal való közelítés most lényegesen rosszabb, mint a havi átlagok esetében. Igen rossz Szombathelyen, ami azt jelenti, hogy ezen az állomáson az évenkénti átlagok változása elhanyagolható, csak a véletlennek köszönhető, azaz minden évben elég nagy biztonsággal a sokéves átlaggal egyenlő. A Szombathelyről előbb elmondottakat erősíti az is, hogy ezen az állomáson egyetlen reális periódus sincs alacsonyabb szignifikancia szinten sem. Debrecenben és Szegeden is mindössze egy ilyen van. Az előbbi állomáson a 3., azaz a 10 év periódusú, az utóbbin az 1., azaz a 30 év periódusú hullám. Budapesten, illetve Kékestetőn az erős 1. hullám mellett 4., illetve a 2. hullám, azaz a 7,5 éves, illetve 15 éves periódus is szerephez jut. Keszthelyen a 2. hullám a legerősebb, de a 3. és a 4. is domináns. Pécssett is három hullám alakítja az idősor menetét, az 1. és a 3. igen erős, a felező valamivel gyengébb.

## IRODALOM

- Bárány I. – Vörös E. – Wagner R.** 1970. The influence of the wind conditions of the Hungarian Alföld on the geographical distribution of mills. *Acta Climatologica* 9/1-4. pp. 73-81.
- Dobosi Z. – Felméry L.** 1971. *Klimatológia. Egyetemi jegyzet.* Tankönyvkiadó, Budapest.
- Havi Jelentések.** OMSz, 1971-2000.
- Keveiné Bárány I.** 1991. A szélerő hasznosítás éghajlati adottságai az Alföldön. *Földrajzi Értesítő* 40/3-4. pp. 355-369.
- Keveiné Bárány I.** 2000. Adatok a szélerő-hasznosítás alföldi lehetőségeihez. Megújuló energiaforrások-bioüzemanyagok. Energiahatékonysági konferencia, Kecskemét. pp. 44-50.

- Keveiné Bárány I.** 2001. A szélenergia potenciál és a farmergazdaságok vízszükséglete közötti kapcsolat a Dél-Alföldön. A szélenergia hasznosítása a vízgazdálkodásban. A Magyar Szélenergia Társaság Kiadványai 1. pp. 45-52.
- Koppány Gy.** 1978. Távprognosztika II. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Matyasovszky I.** 2002. Statisztikus klimatológia. Idősorok elemzése. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- Tar K.** 1991. Magyarország szélklimájának komplex statisztikai elemzése. Az Országos Meteorológiai Szolgálat kisebb kiadványai 67. p. 124.
- Tar K. – Kircsi A.** 2001. A szélirányok néhány statisztikai jellemzőjének időbeli változása Magyarországon. Dr. sen. Berényi Dénes születésének 100 éves jubileumi ünnepe. Debreceni Egyetem. pp. 245-262.
- Tar, K. – Kircsi, A. – Vágvolgyi, S.** 2002. Temporal changes of wind energy in connection with the climatic change. Proceedings of the Global Windpower Conference and Exhibition, Paris, France, 2-5 April, CD-ROM.