

A szélirányonkénti energetikai paraméterek időbeli és területi eltérése Magyarországon

TAR KÁROLY¹

Abstract

Temporal and territorial differences of energetic parameters of the wind directions in Hungary

The objective of this study is to assess whether changes in the surface pressure field over Europe are reflected in the statistical structure and inner definiteness of wind direction field over Hungary, in spite of the specific pressure field of the country. The data basis consists of hourly wind direction and wind velocity data recorded at ten meteorological stations of the country between 1968–1972 and 1991–1995. The relative frequency, relative energy and average velocity were analysed by wind directions over the above two periods, in the winter and in the summer, in the plains and mountains of the country. The definitions of the characteristic and non-characteristic wind directions were given and the energy content and average velocities of the different wind direction groups were compared. Our main result is that the temporal characteristics of the statistical structure of wind direction field over Hungary depend on the terrain features and vary by seasons.

Bevezetés

Az üvegház-hatású gázok koncentrációjának növekedése okozta globális felmelegedés a felszinközeli nyomásmező megváltozását is okozhatja. SCHÖNWIESE, C. D. et al. (1994) és MEYHOFER, S. et al. (1996) vizsgálatai szerint ez a folyamat Európában már elkezdődött: a téli félévben a tengerszinti átlagos légnyomás kontinensünk D-i részén növekedett, É-i részén pedig csökkent, míg a nyári félévben nincs szignifikáns változás. Ugyanakkor METAXAS, D. et al. (1991), ill. BARTZOKAS, A.–METAXAS, D. (1996) úgy találták, hogy nyáron a kontinens É-i, ÉNy-i részéből a DK-i részek felé tartó hideg légtömegek beáramlásának átlagos intenzitása növekedett. Vizsgálataik szerint tehát a nyári cirkulációs rendszer is megváltozott, ami a felszinközeli légnyomási mező átrendeződésének következménye ebben az évszakban is.

Az európai szárazföldön télen az átlagos légnyomási gradiens iránya D-ről É-ra mutat (JUSTYÁK J. 1994). Ez a gradiens növekszik, ami változásokat okoz a cirkulációs rendszerben, pl. növekszik a Ny-ias szelek gyakorisága és átlagsebessége ebben az évszakban. A tengerszinti légnyomás éves és havi területi eloszlása Magyarországon a medence jellegnek megfelelően alakul: nagy-

¹ Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, 4010 Debrecen, Pf. 13.

jából az Alföld közepén egy minimális nyomású terület található. Ezt nyáron az erős felmelegedés, télen pedig a mediterrán ciklonok gyakori áthaladása okozza (DOBOSI Z.–FELMÉRY L. 1971).

Előző vizsgálataink (TAR, K. 1998a, 1998b, 1999, 2001; MIKA J. et al. 1999; TAR, K. et al. 2000, 2001a, 2001b; MAKRA, L. et al. 2000a, 2000b; TAR, K.–VERDES, E. 2003) célja az volt, hogy eldöntsük az európai nyomásmezőben megfigyelhető változások detektálhatók-e a magyarországi szélmezőben hazánk speciális nyomásmezejének ellenére.

Ennek a dolgozatnak a célja az, hogy bemutassuk a magyarországi szélirány-mező statisztikai szerkezetében meglévő jellegzetes változásokat az orográfiai/geográfiai környezet függvényében. Adatbázisunkat tíz hazai meteorológiai állomás óránkénti szélirányai és szélsébségei alkotják az 1968–1972 és 1991–1995 időszakban. Az 1. ábra mutatja ezen állomások elhelyezkedését, az 1. táblázat pedig földrajzi koordinátákat, valamint az anemométer magasságát a két időszakban. Mivel adatbázisunk nem folytonos, így trend, autókorrrelációs, stb. vizsgálatokat nem végeztünk.



1. ábra. A vizsgálatba bevont meteorológiai állomások földrajzi elhelyezkedése

Geographical situation of the meteorological stations included in investigation

1. táblázat. A meteorológiai állomások földrajzi koordinátái (h_1, h_2 : a meteorológiai állomás tengerszint feletti magassága, m), valamint az anemométer talajfelszín feletti magassága (h_{a1}, h_{a2} , m)

Meteorológiai állomások	φ	λ	h_1	h_2	h_{a1}	h_{a2}
			1968–1972	1991–1995	1968–1972	1991–1995
Szombathely	47°16'	16°38'	224	224	9	9
Keszthely	46°46'	17°14'	117	117	15	15
Győr	47°41'	17°38'	119	116	10	10
Pécs	46°00'	18°14'	202	202	10	10
Budapest	47°27'	19°13'	130	130	12	12
Szeged	46°15'	20°06'	83	83	9	9
Miskolc	48°08'	20°48'	118	233	15	15
Békéscsaba	46°41'	21°10'	88	88	9	10/20,6
Debrecen	47°30'	21°38'	111	108	10	10
Kékestető	47°52'	20°01'	1010	1010	26	26

Anyag és módszer szélirányok energetikai paramétereinek vizsgálatához

A 2., 3., 4. és 5. ábrákon a két kritikus/vitatott évszak szélirányainak gyakorisági eloszlását ábrázoltuk tíz meteorológiai állomáson a kiválasztott két 5 éves időszakban. Nagyobb eltérések télen láthatók, nyáron néhány esetben nem feltételezhető a szignifikáns eltérés. Ennek ellenére – az egyébként túl szigorúnak tartott – KOLMOGOROV-SZMIRNOV-próba mindenhol ilyen mutatót.

Itt jegyezzük meg, hogy a klimatológiában általánosan hangoztatott vélemény szerint a szélmező esetében 5 éves adatsor nem reprezentatív, ehhez legalább 10 évre van szükség. Esetünkben tehát a két 5 éves adathalmazból meghatározott paraméterek értékeiben mutatkozó különbségeket állapítjuk meg, anélkül, hogy ennek okaira magyarázatot keressünk.

Az energiatartalom a szélmező egyik fontos strukturális eleme, ami szorosan összefügg a szélirányok és szélsébségek gyakorisági eloszlásával külön-külön, de együttesen is. A szélmező bármely karakterisztikájának megváltozása tehát a potenciális szélenergia megváltozását vonja maga után. *Ezért olyan indikátor szélirányokat keresünk, amelyek az adott területen és időszakban energetikailag és klimatológiailag meghatározók, a klimatológiai feltételek megmaradása esetén változatlanok, stacionáriusak, az éghajlatban bekövetkező bármiféle változás esetén azonban kicserélődhetnek.*

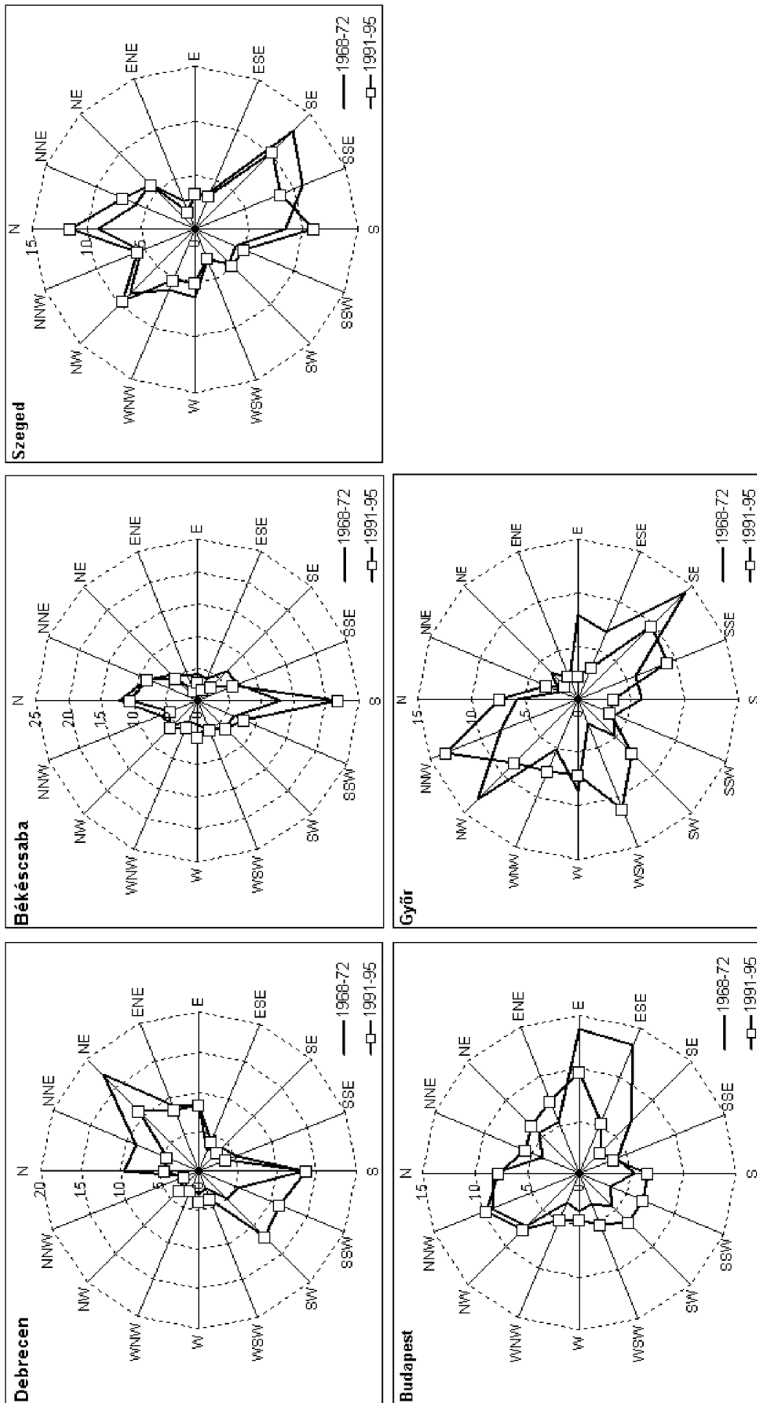
Megelőző vizsgálataink szerint (TAR K. 2001) a szélirányok *gyakorisági eloszlása* évszaktól is függően szoros sztochasztikus kapcsolatban van a szélirányok *relatív energia tartalmával, átlagsebességével*, ill. *átlagos időtartamával* és vannak olyan szélirányok, amelyeknél ezek a karakterisztikák szignifikánsan különböznek a többi szélirány esetében megfigyelttől.

A valószínűségek egyenlőségének eldöntésére vonatkozó statisztikai próbát (VINCZE I. 1975) átalakítottuk úgy, hogy alkalmas legyen annak vizsgálatára, hogy a szélirányok közül melyek azok, amelyek gyakorisága szignifikánsan meghatározott, tehát nem véletlenszerűen vannak jelen az adott helyen az adott időszakban, azaz minden más paraméterük is – így pl. energiájuk – meghatározott.

Problémánkra a próba a következőkben leírt módon alkalmazható. Adott e valószínűségi szinthez meghatározható egy kritikus tartomány h_1 és $h_2 > h_1$ határokkal úgy, hogy ha van olyan D szélirány, amelynek g_D gyakoriságára teljesül a $g_D > h_2$ egyenlőtlenség, akkor az irányok eloszlása nem tekinthető egyenletesnek. Ilyen irány azonban általában több is van, ezeket az adott helyre az adott időszakban *jellemző irányoknak* nevezzük. Ha $g_D < h_2$ akkor pedig *nem jellemző irányoknak* (TAR, K. 1991a, b). A h_1 és h_2 értékei (VINCZE I. 1975):

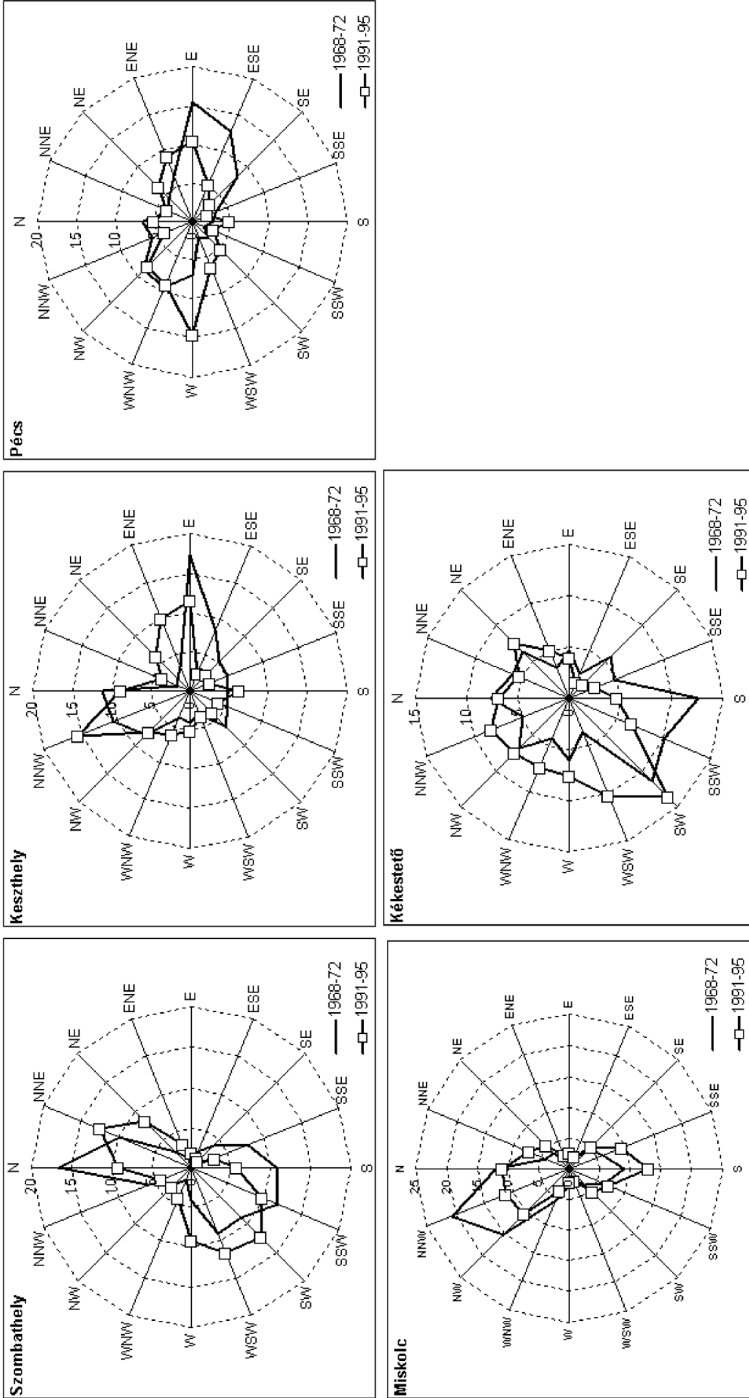
$$h_1 = p_0 n - u_\varepsilon \sqrt{np_0(1-p_0)} \quad h_2 = p_0 n + u_\varepsilon \sqrt{np_0(1-p_0)}$$

ahol p_0 egy szélirány előfordulásának valószínűsége egyenletes eloszlást feltételezve, azaz most – mivel 16 szélirányt különböztettünk meg – $p_0 = 1/16 = 0,0625$, n az összes esetek száma (mintanagyság: 24*napok száma).

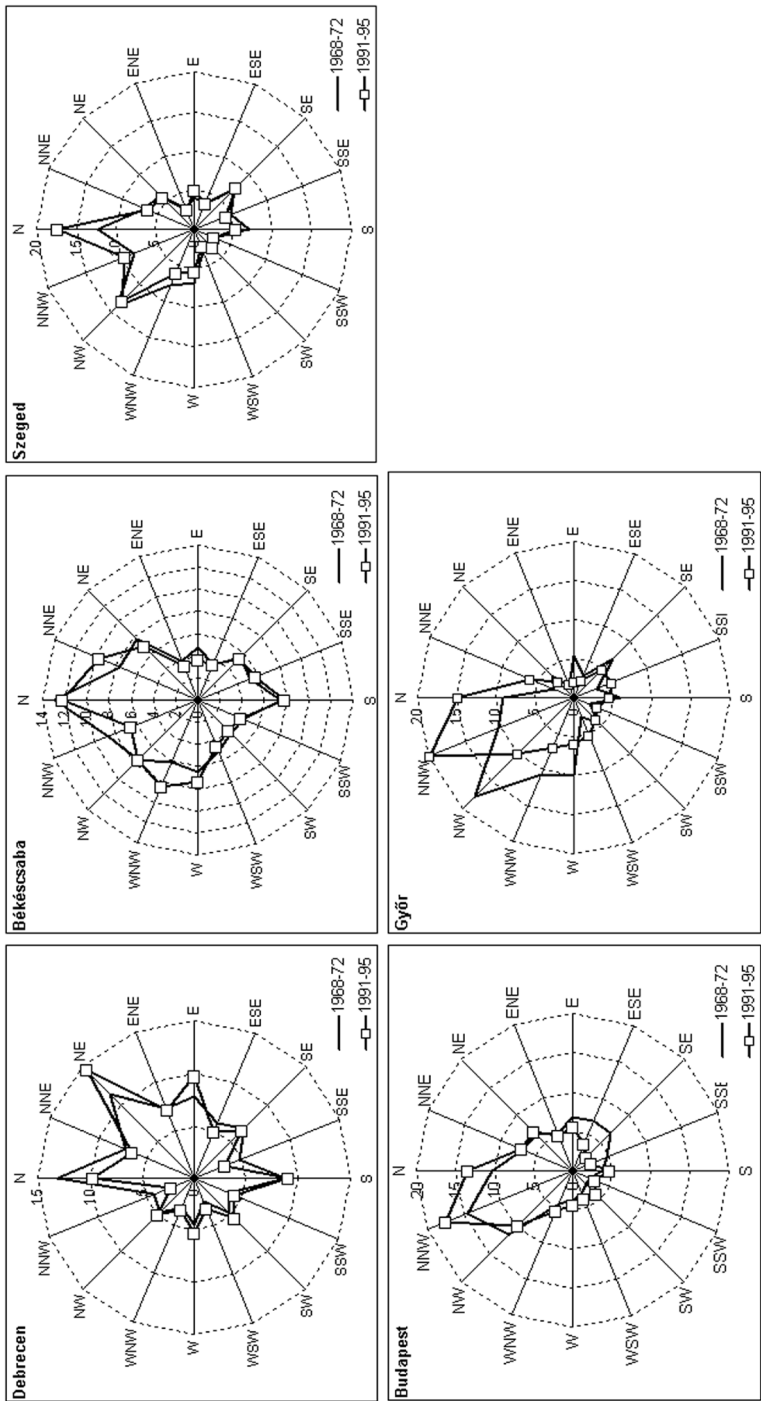


2. ábra. A szélirányok gyakorisági eloszlása (%) a két időszakban télen a síkvidéki állomásokon

Frequency distribution of the wind directions (in %) in the two periods in the winter, on the stations over plain territory

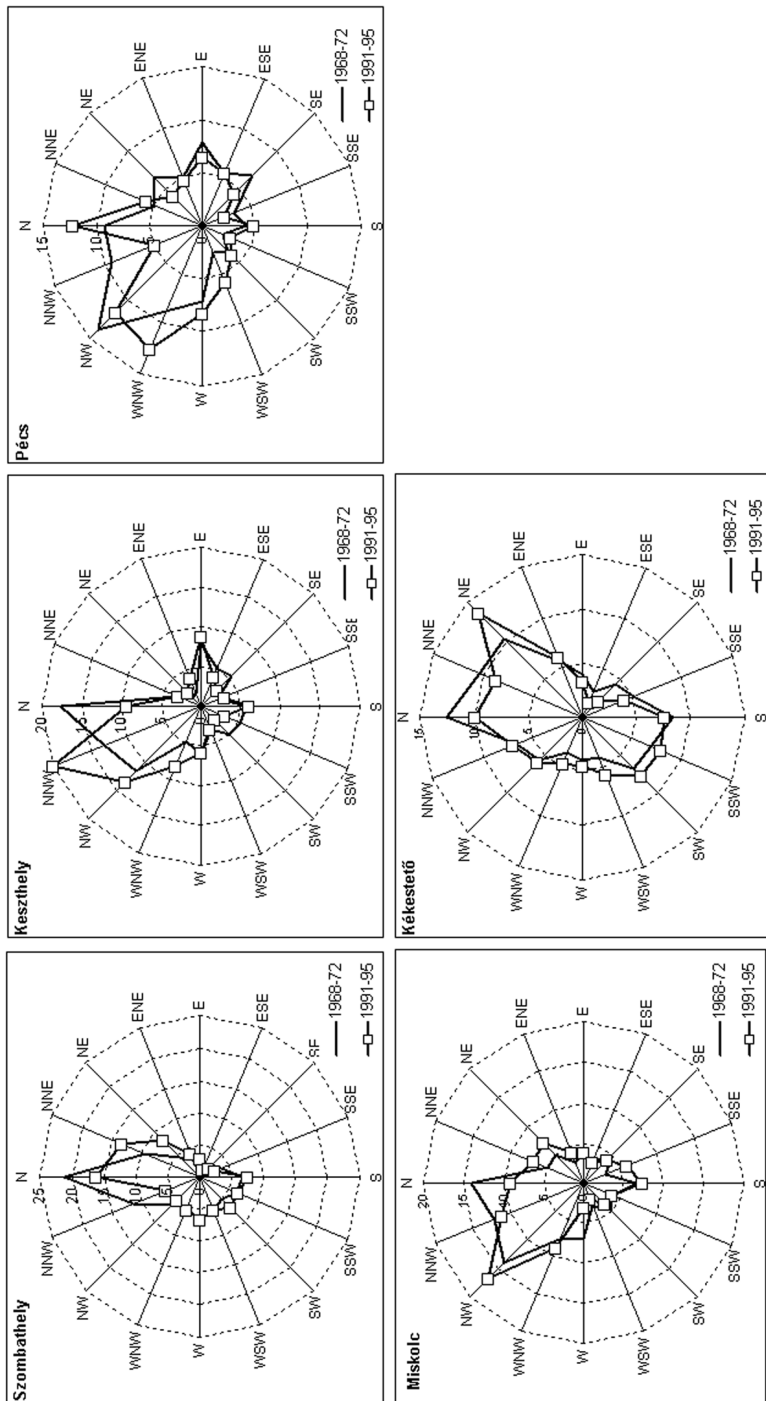


3. ábra. A szélirányok gyakorisági eloszlása (%) a két időszakban télen a nem síkvidéki állomásokon
 Frequency distribution of the wind directions (in %) in the two periods in the winter, on the stations over no-plain territory



4. ábra. A szélirányok gyakorisági eloszlása (%) a két időszakban nyáron a síkvidéki állomásokon

Frequency distribution of the wind directions (in %) in the two periods in the summer, on the stations over plain territory



5. ábra. A szélirányok gyakorisági eloszlása (%) a két időszakban nyáron a nem síkvidéki állomásokon
 Frequency distribution of the wind directions (in %) in the two periods in the summer, on the stations over no-plain territory

Az u_e pedig a

$$2\Phi(u_e) - 1 = 1 - \varepsilon$$

összefüggésből határozható meg, ahol $F(x)$ a standard normál eloszlású valószínűségi változó eloszlásfüggvénye. Így, ha $e = 0,0027$ (PÉCZELY GY. 1957), akkor $u_e = 2,28$.

A következőkben a jellemző szélirányok és a többi szélirány energiatartalmát és átlagsebességét hasonlítjuk össze. Egy adott D szélirány adott időszakra (pl. évszak, év) vonatkozó átlagos energiatartalmát a D napi átlagos fajlagos szélteljesítményével, azaz a

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

összefüggéssel lehet megadni, ahol f_{Dj} annak gyakorisága, hogy a D irányú szél sebessége a $(v_j - 0,5Dv, v_j + 0,5Dv)$ intervallumba esik, k a sebességintervallumok, N pedig az adott időszakban figyelembe vett napok száma. Ha P_{f1} az időszak (irányoktól független) napi átlagos fajlagos szélteljesítménye, akkor a

$$p(D) = \frac{P_{f1}(D)}{P_{f1}}$$

arány az adott szélirány relatív energiatartalmát adja meg. A D szélirány átlagsebessége pedig

$$\bar{v}(D) = \sum_{j=1}^k \frac{f_{Dj}}{N} v_j$$

Az utóbbi paraméter értéke erősen függ attól, hogy a szélmérés a talajfelszíntől milyen magasságban történik. A meteorológiai állomásokon a szabvány 10 m, de előfordul, hogy kényszerűségből ettől alacsonyabban vagy magasabban történik a szélmérés. Ezekon az állomásokon mért szélesebesség adatokon a

$$v_h = v_{10} [0.233 + 0.656 \lg(h + 4.75)]$$

összefüggéssel végzik el a magasság korrekciót (MEZŐSI M.–SIMON A. 1981), ahol v_h a $h \neq 10$ m-en mért, v_{10} pedig a 10 m-re számolt szélesebesség. A feldolgozásunkba bevont meteorológiai állomások egy részén előfordult, hogy a mérések nem 10 m-en történtek (1. táblázat), vagy meteorológiai állomást a két 5 éves időszak között át helyezték, vagy a második időszakban automatára cserélték (1. táblázat, dőlt betűkkel), ami az anemométer forgó kanálának magasságváltozását is eredményezhette (SCHIROKNÉ K. I. 2001; TAMÁSKOVITS J. 2001). Ezekon az állomásokon a fenti összefüggéssel állítottuk elő a 10 m-es szintre vonatkozó szélesebességeket.

A széliránycsoportok energetikai jellemzőire kapott eredmények

Az 2–3. táblázatban a 10 meteorológiai állomáson a fenti próba segítségével kiválasztott jellemző szélirányokat, ezek összes gyakoriságát, összes, ill. irányon-

2. táblázat. A jellemző szélirányok (CWD), együttes gyakoriságuk (CWD_F), együttes és átlagos relatív energiatartalmuk (CWD_E, CWD_{E1}), átlagsebességük (CWD_{V1}), egy nem jellemző szélirány átlagos relatív energiatartalma (NWD_{E1}) és átlagsebessége (NWD_{V1}), valamint az évszakos átlagos szélesség (AWD_{V1})

Síkvidéki meteorológiai állomások	CWD	CWD _F (%)	CWD _E (%)	CWD _{E1} (%)	CWD _{V1} (m/s)	NWD _{E1} (%)	NWD _{V1} (m/s)	AWD _{V1} (m/s)
Debrecen								
1968–1972, tél	N,NNE,NE,ENE,E,S	65,6	75,5	12,6	3,0	2,5	2,5	2,9
1991–1995, tél	NE,ENE,E,S,SSW,SW	64,6	65,6	10,9	2,9	3,4	2,6	2,8
1968–1972, nyár	N,NNE,NE,ENE,E,S	55,5	58,8	9,8	2,9	4,1	2,7	2,8
1991–1995, nyár	N,NE,ENE,E,S	50,1	41,6	8,3	2,4	5,3	2,5	2,5
Békéscsaba								
1968–1972, tél	N,NNE,S	33,4	45,1	15,0	2,9	4,2	2,3	2,5
1991–1995, tél	N,NNE,S,SSW	48,2	61,0	15,3	3,4	3,2	2,0	2,9
1968–1972, nyár	N,NNE,NE,S,NW,NNW	51,7	50,5	8,4	2,4	5,0	2,4	2,4
1991–1995, nyár	N,NNE,S,W,WNW,NW	52,9	65,9	11,0	2,7	3,4	2,2	2,5
Szeged								
1968–1972, tél	N,SE,SSE,S,NW	49,1	55,6	11,1	3,8	4,0	3,2	3,5
1991–1995, tél	N,NNE,SE,SSE,S,NW	57,6	66,9	11,2	3,3	3,3	3,0	3,2
1968–1972, nyár	N,SE,WNW,NW,NNW	49,2	66,0	13,2	3,3	3,1	2,6	2,9
1991–1995, nyár	N,SE,NW,NNW	47,9	55,9	14,0	2,9	3,7	2,5	2,7
Budapest								
1968–1972, tél	N,E,ESE,SE,NW,NNW	58,5	79,4	13,2	3,3	2,1	2,2	2,9
1991–1995, tél	N,ENE,E,NW,NNW	41,9	63,8	12,8	2,8	3,3	2,1	2,4
1968–1972, nyár	N,E,ESE,NW,NNW	50,1	76,5	15,3	3,6	2,1	2,4	3,0
1991–1995, nyár	N,NNE,NE,NW,NNW	55,0	65,2	13,0	2,4	3,2	2,2	2,3
Győr								
1968–1972, tél	E,SE,W,NW,NNW	51,8	58,6	11,7	3,0	3,8	2,7	2,8
1991–1995, tél	N,SE,SSE,SW,WSW,W,WNW,NW,NNW	80,6	91,3	10,1	2,7	1,2	1,8	2,5
1968–1972,nyár	N,SE,W,WNW,NW,NNW	65,1	71,7	11,9	2,7	2,8	2,3	2,6
1991–1995, nyár	N,NW,NNW	44,5	55,7	18,6	2,1	3,4	1,7	1,9

dőlt: a legkisebb, **vastag**: a legnagyobb érték

kénti relatív energiatartalmát, átlagsebességét, a többi irány irányonkénti relatív energiatartalmát és átlagsebességét, valamint az évszakos (irányoktól független) átlagsebességet adjuk meg a két 5 éves időszakban télen és nyáron. Az állomásokat a következőképpen csoportosíthatjuk: *síkvidéki állomások* (Debrecen, Békéscsaba, Szeged, Budapest, Győr), amelyek tehát orográfiaiban nyitottak, *nem síkvidéki állomá-*

3. táblázat. A jellemző szélirányok (CWD), együttes gyakoriságuk (CWD_F), együttes és átlagos relatív energiatartalmuk (CWD_E, CWD_{Ei}), átlagsebességük (CWD_{V1}), egy nem jellemző szélirány átlagos relatív energiatartalma (NWD_{Ei}) és átlagsebessége (NWD_{V1}), valamint az évszakos átlagos szélsébség (AWD_{V1})

Nem síkvidéki meteorológiai állomások	CWD	CWD _F (%)	CWD _E (%)	CWD _{E1} (%)	CWD _{V1} (m/s)	NWD _{E1} (%)	NWD _{V1} (m/s)	AWD _{V1} (m/s)
Szombathely								
1968–1972, tél	N,NNE,SSE,S,SSW,SW,WSW	74,1	86,3	12,3	4,8	1,5	3,0	4,3
1991–1995, tél	N,NNE,NE,SSW,SW,WSW,W	72,4	94,4	13,5	3,9	0,6	2,1	3,4
1968–1972, nyár	<i>N,NNE,NNW</i>	<i>41,4</i>	77,6	25,9	5,5	1,7	2,9	4,0
1991–1995, nyár	<i>N,NNE,NE,S</i>	45,2	87,0	21,7	4,6	1,1	2,2	3,3
Keszthely								
1968–1972, tél	N,E,ESE,NW,NNW	55,0	90,5	18,1	3,5	0,9	1,7	2,7
1991–1995, tél	N,ENE,E,NW,NNW	53,0	83,2	16,6	2,1	1,5	1,3	1,8
1968–1972, nyár	N,E,NW,NNW	50,1	83,5	20,9	3,1	1,4	1,8	2,4
1991–1995, nyár	<i>N,E,WNW,NW,NNW</i>	59,8	82,4	16,5	<i>1,8</i>	1,6	<i>1,3</i>	<i>1,6</i>
Pécs								
1968–1972, tél	E,ESE,SE,WMW,NW	54,6	38,2	7,6	3,2	5,6	3,7	3,4
1991–1995, tél	ENE,E,W,WNW,NW	51,3	49,8	10,0	3,2	4,6	3,1	3,2
1968–1972, nyár	N,E,W,WNW,NW,NNW	56,0	70,6	11,8	3,3	2,9	2,7	3,1
1991–1995, nyár	<i>N,W,WNW,NW</i>	44,8	55,5	13,9	2,6	3,7	2,1	2,3
Miskolc								
1968–1972, tél	N,S,NW,NNW	56,7	<i>42,1</i>	10,5	1,2	4,8	1,3	1,3
1991–1995, tél	N,NNE,SSE,S,NW,NNW	62,0	68,8	11,5	2,5	3,1	2,2	2,4
1968–1972, nyár	<i>N,WNW,NW,NNW</i>	47,8	52,7	14,3	1,4	3,6	1,2	1,3
1991–1995, nyár	<i>N,NE,S,WNW,NW,NNW</i>	60,2	64,3	10,8	2,7	3,5	2,5	2,7
Kékestető								
1968–1972, tél	N,S,SSW,SW	<i>41,4</i>	57,4	14,3	4,7	3,6	3,9	4,2
1991–1995, tél	NE,SW,WSW,W,WNW,NW,NNW	61,7	70,2	10,0	4,6	3,3	3,7	4,3
1968–1972, nyár	<i>N,NNE,NE,S</i>	<i>41,3</i>	52,0	13,0	3,9	4,0	3,3	3,6
1991–1995, nyár	<i>N,NNE,NE,S,SSW,SW</i>	55,2	70,7	11,8	3,2	2,9	2,7	3,0

dőlt: a legkisebb, **vastag**: a legnagyobb érték.
(*Miskolc*: nem összehasonlítható)

sok (Szombathely, Keszthely, Pécs, Miskolc), amelyeken az orográfia erősen módosítja a légcirkulációt, ill. *Kékestető*, hiszen ez egy más légréteg áramlási viszonyait mutatja, amire az átlagsebességek összehasonlításánál kell figyelemmel lenni. Miskolc esetében is csak a relatív mennyiségeket tudjuk bevonni az összehasonlító értékelésbe,

mivel az állomás 1990. júniusában történt áthelyezése az Avasra a szélmező tengerszintfeletti magasságának lényeges növekedésével járt.

Az 2. táblázat szerint a síkvidéki állomásokon a jellemző irányok száma 3 és 9 között változik, összes gyakoriságuk pedig 33% és 81% között. Az általuk szállított összes energia 91% és 42% között van, a minimum helye és ideje nem egyezik meg az előzőekkel. Az egy jellemző irányra eső energia 18,6% és 8,3% közé esik. A maximális értékek Győrben találhatóak, viszont itt figyelhető meg a jellemző szélirányok átlagsebességének legkisebb értéke. Ennek maximuma az Alföldre esik. A többi (nem jellemző) szélirány irányonkénti relatív energiája 5,3% és 1,2% között van, ezen irányok átlagsebességeinek extrémításainak bekövetkezése megegyezik a jellemző irányokéval. Az egyes időszakok átlagsebessége 3,5 m/s és 1,9 m/s között változik.

A 4. táblázatban átlagértékeket közlünk. A jellemző irányok átlagos számának tizedesre történő kerekítésének csak a többi paraméter meghatározásának szempontjából van értelme. A táblázatnak a síkvidéki állomásokra vonatkozó része szerint ezeken az állomásokon az „éves” (tél+nyár) átlagokban nincs számottevő különbség

4. táblázat. Területi átlagok: a jellemző szélirányok átlagos száma (CWD), átlagos együttes relatív gyakorisága (CWD_F) és relatív energiatartalma (CWD_E), egy jellemző szélirány átlagos relatív energiatartalma (CWD_{E1}) és átlagsebessége (CWD_{V1}), valamint az átlagos szélsősebesség (AWD_{V1})

...átlag	CWD	CWD _F (%)	CWD _E (%)	CWD _{E1} (%)	CWD _{V1} (m/s)	NWD _{E1} (%)	NWD _{V1} (m/s)	AWD _{V1} (m/s)
Síkvidéki állomások								
„éves”	5,3	53,7	63,5	12,4	2,9	3,4	2,4	2,7
1968–1972 éves	5,3	53,0	63,8	12,2	3,1	3,4	2,5	2,8
1991–1995 éves	5,3	54,3	63,3	12,5	2,8	3,3	2,3	2,6
tél	5,5	55,1	66,3	12,4	3,1	3,1	2,4	2,8
1968–1972 tél	5,0	51,7	62,8	12,7	3,2	3,3	2,6	2,9
1991–1995 tél	6,0	58,6	69,7	12,1	3,0	2,9	2,3	2,8
nyár	5,1	52,2	60,8	12,4	2,7	3,6	2,4	2,6
1968–1972 nyár	5,6	54,3	64,7	11,7	3,0	3,4	2,5	2,7
1991–1995 nyár	4,6	50,1	56,9	13,0	2,5	3,8	2,2	2,4
Nem síkvidéki állomások								
„éves”	5,1	54,2	68,9	14,3	3,6	2,8	2,6	3,2
1968–1972 éves	4,6	51,8	65,1	14,9	4,0	3,0	2,9	3,5
1991–1995 éves	5,3	56,6	72,6	13,6	3,3	2,6	2,3	2,9
tél	5,5	58,2	68,1	12,4	3,8	3,0	2,8	3,4
1968–1972 tél	5,0	56,4	62,9	12,6	4,1	3,3	3,1	3,6
1991–1995 tél	6,0	60,1	73,3	12,3	3,5	2,6	2,6	3,2
nyár	5,0	50,2	69,6	16,1	3,5	2,6	2,4	2,9
1968–1972 nyár	4,2	47,3	67,3	17,2	4,0	2,7	2,7	3,3
1991–1995 nyár	5,0	53,0	72,0	14,9	3,1	2,6	2,1	2,5

a két időszak között a %-ban kifejezett paraméterekben. Egy jellemző szélirány 3,6-szer annyi energiát szállít, mint egy nem jellemző, ez az arány a második időszakban 3,8-re változik. A jellemző szélirányok átlagsebessége 0,5 m/s-mal nagyobb, mint a nem jellemzőké, 0,2 m/s-mal pedig az „éves” átlagsebességénél.

Figyelemre méltó azonban az egyes átlagsebességek értékében bekövetkezett 0,2–0,3 m/s-os csökkenés a második időszakra! *Télen* átlagosan 1-gyel nőtt a jellemző irányok száma, kb. 7%-kal növekszik ennek megfelelően ezek összes gyakorisága és összes relatív energiája. Csökken viszont a jellemző és a nem jellemző irányok irányonkénti energiataralma, valamint az összes átlagsebesség 0,1–0,3 m/s-mal! Az egyes iránycsoportok által szállított energiák aránya 3,8-ről 4,2-re nő a második időszakban, ami téli átlagban 4-et jelent. *Nyáron* átlagosan 1-gyel csökken a jellemző szélirányok száma, kb. 4%-kal, ill. 8%-kal csökken ezek összes gyakorisága, ill. relatív energiája. A télinél erőteljesebb mértékben, 0,3–0,5 m/s-mal csökkennek a különböző átlagsebességek. Valamelyest növekszik az egyes iránycsoportok energiataralma úgy, hogy arányuk nem változik, 3,4 marad.

A 3. táblázat szerint a nem síkvidéki állomásokon a *jellemző szélirányok* száma 3 és 7 között változik. Összes gyakoriságuk 74% és 41% közé, összes relatív energiájuk pedig 94% és 38% közé esik. Egy jellemző irányra eső energia kb. 26% és 7.6% között van, ezen irányok átlagsebessége 5,5 m/s és 1,8 m/s közé esik, ez utóbbi esetben azonban csak három állomást vettünk figyelembe (Szombathely, Keszthely és Pécs). Figyelemre méltó azonban, hogy a szombathelyi átlagsebességek összemérhetők Kékestető megfelelő paraméterivel. Minden paraméter maximuma Szombathelyen figyelhető meg. A nem jellemző irányok azonban Pécsen szállítják a legtöbb energiát az öt állomás közül, és itt a legnagyobb ezek átlagsebessége is a három állomás közül. Az egyes időszakok átlagsebessége mindig Szombathelyen a legnagyobb. Érdekes, hogy ezek a három első állomáson mindig és Kékestetőn nyáron csökkennek a második időszakra 0,9–0,2 m/s-mal, azonban Kékestetőn télen stagnálnak.

A 4. táblázatnak a nem síkvidéki állomásokra vonatkozó része szerint (mind az ötöt figyelembe véve, a sebesség-paramétereket most kihagyva) „éves átlagban” növekedett a jellemző irányok száma, ezek összes gyakorisága (kb. 5%-kal) és összes relatív energiája (kb. 7%-kal) a második időszakra. Csökkent viszont az egy jellemző irányra eső energiataralom (1,3%-kal). Ez az arány azonban így is majd 2%-kal haladja meg a síkvidéki átlagosan, az első időszakban 2,7%-kal, a másodikban 1,1%-kal. Csökkent a nem jellemző irányok irányonkénti energiataralma is, viszont arányuk 5,0-ről 5,2-re növekedett a második időszakra. Egy jellemző irányra eső energia ezeken az állomásokon átlagosan 5,1-szer nagyobb, mint egy nem jellemzőre eső, szemben a síkvidéki 3,6-szeressel. *Télen* átlagosan itt is 1-gyel nőtt a jellemző irányok száma, kb. 4%-kal ezek összes gyakorisága, és több mint 10%-kal összes relatív energiájuk.

Változatlanak tekinthető az egy jellemző szélirányra eső relatív energia mennyiség. Ezek átlagosan is és időszakonként is közel egyenlők a síkvidéki megfelelő értékekkel. Valamelyest csökken a nem jellemző irányok irányonkénti energia tartalma. A CWD_{E1}/NWD_{E1} arány azonban itt is növekedett, de lényegesen nagyobb mér-

tékben, mint a síkvidékieknél. Ezeken az állomásokon *nyáron* is növekedett a jellemző irányok átlagos száma, ezek összes gyakorisága (majdnem 6%-kal) és összes energiatartalma (majdnem 5%-kal). Több mint 2%-kal csökkent viszont az egy jellemző irányra eső energia. Ezek a számok azonban nagyobbak, mint a síkvidéki állomásokon, azaz a nem síkvidékieken egy jellemző szélirány átlagosan több mint 3%-kal több energiát szállít. Ez a többlet 1968–1972 nyaraira 5,5% volt, 1991–1995 nyaraira pedig majd 2%.

Míg a síkvidéki állomásokon e paraméter téli és nyári értékeiben nincs számottevő különbség, addig itt ez átlagosan majd 4%. Azaz a nem síkvidéki állomásokon egy jellemző irány energiatartalma nyáron nagyobb. Mindezekből következik, hogy ezekben az esetekben (nem síkvidék, nyár) lesz a legnagyobb a CWD_{E1}/NWD_{E1} arány: átlagosan 6,2, 1968–1972 nyaraira 6,4, 1991–1995 nyaraira 5,7, azaz csökkenés figyelhető meg, ellentétben a síkvidéki nyári értékek stagnálásával.

A különböző átlagsebesség értékeket Miskolc kihagyásával számoltuk ki. Az 4. táblázat szerint: „éves” átlagban a *jellemző szélirányok* sebessége pontosan 1 m/s-mal nagyobb, mint a nem jellemző szélirányoké, és 0,4 m/s-mal, mint az „éves” átlagsebesség. Az 1968–1972-es időszakban ezek a különbségek 1,1 m/s, ill. 0,5 m/s, az 1991–1995-ös időszakban pedig ugyanannyi, mint az éves. A különbségek télen sem változnak lényegesen. Ellenben nyáron $CWD_{V1}-NWD_{V1}$ különbség mindig nagyobb vagy egyenlő mint 1, a másik pedig mint 0,6 m/s. Mindkettő legnagyobb 1968–1972 nyaraira (1,3 m/s, ill. 0,7 m/s). Minden átlagsebesség csökken, legjobban a nyári jellemző irányok esetében, 0,9 m/s-mal. Ez a síkvidékieknél 0,5 m/s, de ott is ez a legnagyobb érték.

A 5. táblázatban egy jellemző és egy nem jellemző szélirány energiatartalmának idő- és területi átlagos arányát (CWD_{E1}/NWD_{E1}) adjuk meg. Megállapítható, hogy orográfiai különbségek vannak az éves és a nyári értékekben, valamint, hogy ezek az arányok télen a síkvidéki, nyáron pedig a nem síkvidéki állomásokon nagyobbak. A két 5 éves periódus éves arányai nem mutatnak jelentős eltérést a két állomáscsoportban. Szignifikáns különbségek vannak azonban közöttük mindkét csoportban télen és

5. táblázat. Egy jellemző és egy nem jellemző szélirány energiatartalmának aránya (CWD_{E1}/NWD_{E1})

Időszak	Meteorológiai állomás	
	Síkvidéki	Nem síkvidéki
„éves”	3,6	5,1
1968–1972 „éves”	3,6	5,0
1991–1995 „éves”	3,8	5,2
tél	4,0	4,1
1968–1972 tél	3,8	3,8
1991–1995 tél	4,2	4,7
nyár	3,4	6,2
1968–1972 nyár	3,4	6,4
1991–1995 nyár	3,4	5,7

a nem síkvidéki állomásokon nyáron. A táblázat szerint ezek az arányok nyáron nem növekednek meg a második 5 éves időszakra, sőt a nem síkvidéki állomásokon csökkennek ebben az évszakban.

Általános következtetések

Hazánkban szélirányok által szállított relatív energia függ az évszaktól és az orografikus környezettől. Ezt igazolják a jellemző szélirányokra vonatkozó vizsgálataink: nyáron ezek energiataralma kisebb a síkvidéki állomásokon, nagyobb a nem síkvidéki állomásokon, mint télen. Egy jellemző szélirány által szállított energia mindkét területen növekszik télen, nyáron viszont a nem síkvidéki állomásokon csökken a második 5 éves időszakban. Egy jellemző szélirány éves és téli átlagban kb. négyszer annyi energiát szállít, mint egy nem jellemző, nyáron pedig kb. ötször annyit.

Az eredmények értelmezésénél és értékelésénél figyelembe vettük, hogy az 5 éves adatsorok klimatológiailag nem reprezentatívak. A vizsgált paraméterek értékeiben mutatkozó különbségek, eltérések tehát elsősorban a véletlennek tulajdoníthatók. Kétségtelen azonban, hogy az európai légnyomási mezőben kimutatott szignifikánsnak bizonyult változások (l. Bevezetés) is kifejtik hatásukat, ami – reményeink szerint – egy hosszabb szélmező adatsor elemzésével kimutatható lesz.

Bízunk azonban abban, hogy a fenti eredményekkel és megállapításokkal hozzájárultunk hazánk szélklimájának részletesebb, pontosabb megismeréséhez, ami elősegíti szélenergia klimatológiailag megalapozott hasznosítását is.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki az OTKA-nak és a Környezetvédelmi Minisztériumnak az e tanulmányhoz kapcsolódó kutatásaim támogatásáért, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálatnak az adatbázis biztosításáért.

IRODALOM

- BARTZOKAS, A.–METAXAS, D.A. 1996. Northern Hemisphere gross circulation types. Climatic change and temperature distribution. – Meteorol. Zeitschrift, N.F. 5. pp. 99–109.
- DOBOSI Z.–FELMÉRY L. 1971. Klimatológia. – Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Bp., 500 p.
- JUSTYÁK J. 1994. Európa éghajlata. – Egyetemi jegyzet, KLTE Debrecen. 135 p.
- MAKRA, L.–TAR, K.–HORVÁTH, SZ. 2000a. Some statistical characteristics of the wind energy over the Great Hungarian Plane. – The International Journal of Ambient Energy, 21. 2. pp. 85–96.
- MAKRA, L.–TAR, K.–LUKÁCSOVICSNÉ HORVÁTH, SZ. 2000b. Analysis of wind speed data series in Hungary by using a new statistical test and conclusions in connection with climate change. – Scientific Meeting on Detection and Prediction of Contemporary Climate Change and their Effects in a Regional Scale, Tarragona, Spain, 29–31st May, 2000. (CD-ROM).

- METAXAS, D.A.–BARTZOKAS, A.–VITSAS, A. 1991. Temperature fluctuations in the Mediterranean area during the last 120 years. – *Int. J. Climatol.* 11. 8. pp. 897–909.
- MEYHÖFER, S.–RAPP, J.–SCHÖNWIESE, C.D. 1996. Observed three-dimensional climate trends in Europe 1961–1990. – *Meteorol. Zeitschrift*, N. F. 5. pp. 90–94.
- MEZŐSI M.–SIMON A. 1981. A meteorológiai szélérés elmélete és gyakorlata. – *Meteorológiai Tanulmányok*, No. 36.
- MIKA J.–KIRCSI A.–TAR K. 1999. A napi maximális szélökés néhány statisztikai tulajdonsága az Alföldön. – *Meteorológiai Tudományos Napok 1999. Országos Meteorológiai Szolgálat, Bp.*, pp. 207–213.
- PÉCZELY GY. 1957. Áramlási viszonyok Magyarországon különböző makroszinoptikus helyzetekben. – *Időjárás*, 61. pp. 408–419.
- SCHIROKNÉ KRISTON I. 2001. Szóbeli közlés.
- SCHÖNWIESE, C.D.–RAPP, J.–FUCHS, T.–DENHARD, M. 1994. Observed climate trends in Europe 1891–1990. – *Meteorol. Zeitschrift*, N. F. 3. pp. 22–28.
- TAMÁSKOVITS K. 2001. Szóbeli közlés.
- TAR K. 1991a. Magyarország szélklimájának komplex statisztikai elemzése. – *OMSZ Kisebb Kiadv.* 67. 124 p.
- TAR, K. 1991b. The concept and the velocity- and energy distribution of characteristic and non-characteristic wind directions. – *The International Journal of Ambient Energy*. Vol. 12. no. 2. pp. 95–100.
- TAR K. 1998a. A magyarországi szélmező statisztikai jellemzői a globális felmelegedéssel összefüggésben. – *Meteorológiai Tudományos Napok '97. Országos Meteorológiai Szolgálat, Bp.*, pp. 249–258.
- TAR, K. 1998b. Alteration of the statistical structure of the wind field in Hungary in connection with the climatic change. – 2nd European Conference on Applied Climatology, Central Institute for Meteorology and Geodinamics, Nr. 19. (CD-ROM, ISSN 1016–6254) Vienna, Austria.
- TAR K. 1999. Az alföldi szélmező statisztikai jellemzőinek időbeli változása. A táj változásai a Kárpát-medencében. – In: *A Nyíregyházán 1998. nov. 1–6-án megtartott tudományos konferencia kiadv.* (Szerk.: FÜLEKY Gy.) Gödöllő, pp. 225–230.
- TAR K. 2001. A magyarországi szélmező statisztikai szerkezetének időbeli változása a feltételezett éghajlatváltozással összefüggésben. – *OTKA zárójelentés (T023765)*.
- TAR, K.–MAKRA, L.–HORVÁTH, SZ. 2000. Some statistical characteristics of the wind energy in Hungary in connection with climatic change. – 3rd European Conference on Applied Climatology (CD-ROM, ISBN 88–900502–0–9), Pisa, Italy.
- TAR, K.–MAKRA, L.–HORVÁTH, SZ.–KIRCSI, A. 2001a. Temporal change of some statistical characteristics of wind speed in the Great Hungarian Plane. – *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 69, No. 1–2. pp. 69–79.
- TAR, K.–MAKRA, L.–KIRCSI, A. 2001b. Temporal change of some statistical characteristics of wind speed in Hungary. – In: INDIA, M.B. and BONILLO, D.L. (eds.): *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer-Verlag, pp. 251–262.
- TAR, K.–VERDES, E. 2003. Temporal change of some statistical characteristics of wind direction over Hungary. – *Időjárás*, 107, 2. pp. 153–170.
- VINCZE I. 1975. Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal. – *Műszaki Könyvkiadó, Bp.*