

## AZ ÁTLAGOS SZÉLSEBESSÉG NAPI VÁLTOZÁSÁNAK STATISZTIKAI BECSLÉSE

### STATISTICAL ESTIMATION OF DAILY CHANGE IN AVERAGE WIND SPEED

Tar Károly

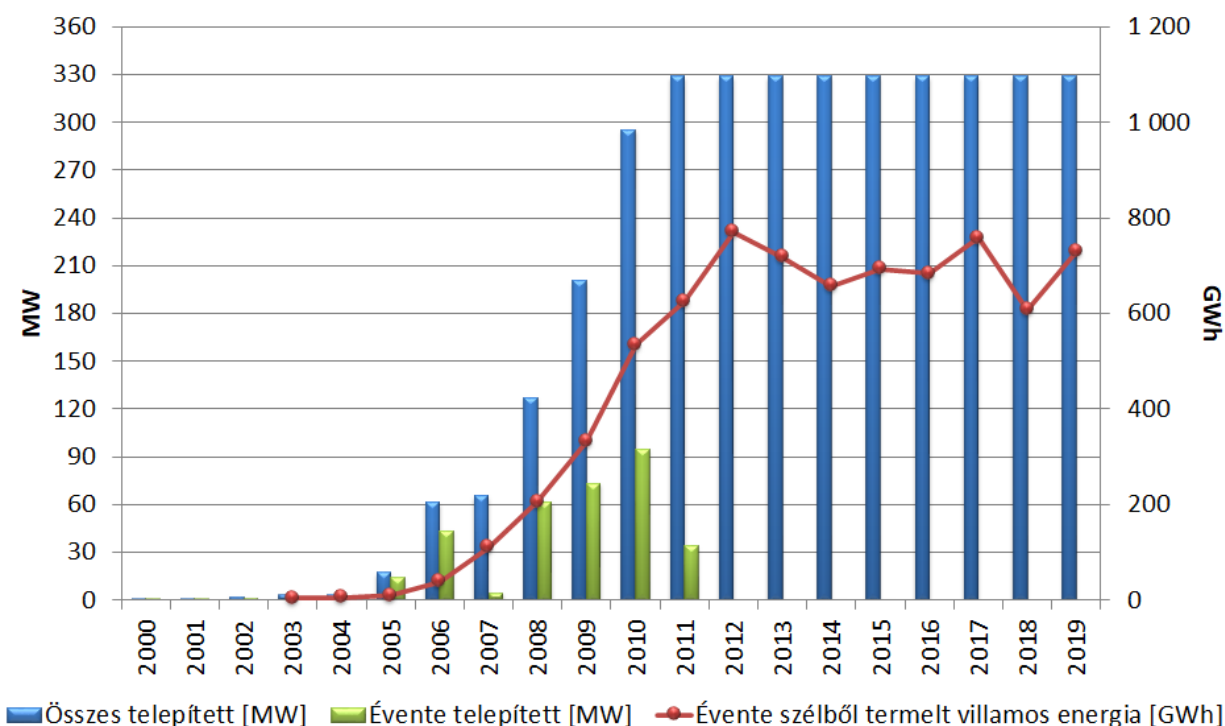
Debreceni Egyetem, Meteorológiai Tanszék, 4010 Debrecen, Egyetem tér 1., [tarko47@gmail.com](mailto:tarko47@gmail.com)

**Összefoglalás.** A szélenergia villamosenergia-hálózatokba történő integrálásának igen fontos eleme az ún. menetrend elkészítése, ami a következő napon megtermelt áram rövid időszakokra eső mennyiségének becslését jelenti. Ehhez segítséget jelenthet, ha meg tudjuk mondani a másnapi átlagos szélsebesség (és vele együtt a napi átlagos széltejesítmény) csökkenésének vagy növekedésének valószínűségét. A bemutatott statisztikai módszer lehetővé teszi, hogy a mai nap és egy statisztikailag elegendő hosszúságú időszak átlagos szélsebességének relációjából kb. 65–68% biztonsággal becsljük a következő napi átlagos szélsebesség változás előjelét.

**Abstract.** A very important element of the integration of wind energy into electricity networks is the preparation of so-called schedule, which means estimating the amount of electricity produced the next day for short periods. This can be helped by being able to tell the probability of a decrease or increase in the average wind speed the next day (and with it the average daily wind power). The presented statistical method allows estimating the sign of the next day's average wind speed change with 65–68% confidence.

**Bevezetés.** Magyarországon jelenleg 329,325 MW a telepített szélenergia kapacitás, 39 helyszínen összesen 172 szélenergia-működik. Az 1. ábrán bemutatjuk az évente telepített és az évenkénti összes telepített kapacitást, valamint az évente termelt villamos energia mennyiségét a 2000–2019 időszakban. A magyarországi szélenergia hasznosítás folyamatáról és e folyamat értékeléséről bővebben Tóth és Bíróné Kircsi (2013, 2014, 2015) munkáiban olvashatunk. A szélenergia villamosenergia-hálózatokba történő integrálásával pontos szélsebesség-előrejelzések szükségesek a tervezhető termelés és a tarifák ütemezéséhez a villamosenergia-piacon (Bremnes et

al., 2002; Kavasseri and Seetharaman, 2009; Shukur and Lee, 2015). Ennek a folyamatnak igen fontos eleme a szélenergia-működést egyik nehezen megoldható problémája az ún. „menetrend” elkészítése. Ez a következő napon megtermelt áram rövid időszakokra eső mennyiségének becslését jelenti. A szélsebesség és a szélenergia becslése, előrejelzése és ezek verifikálása általában egy hosszabb-rövidebb előző időszak szélstatisztikáin alapszik. Ebből következően a dinamikus módszerek mellett lényeges szerepet játszanak a tisztán statisztikai modellek is. Ezek áttekintését olvashatjuk Aggarwal and Gupta (2013) munkájában.



1. ábra: Az évente telepített és az összes telepített szélenergia kapacitás (MW), valamint az évente termelt villamos energia mennyisége (GWh) Magyarországon ([www.mekh.hu](http://www.mekh.hu))



2. ábra: Az adatbázist biztosító meteorológiai állomások földrajzi elhelyezkedése

A menetrend összeállításában segítséget jelenthet, ha meg tudjuk mondani a másnapi átlagos szélesség (és vele együtt a napi átlagos szélteljesítmény) csökkenésének vagy növekedésének valószínűségét, vagy azt, hogy e két valószínűség közül melyik a nagyobb. Erre alkalmas az általunk kidolgozott matematikai statisztikai módszer, amelynek alapjait előző munkáinkban raktuk le (Tar és Puskás, 2010ab, Tar, 2011, 2014ab, Puskás et al., 2014, Tar, 2015, Tar et al., 2015, Lázár, 2015, Tar és Lázár, 2016, Tar et al., 2016). Legutóbbi tanulmányunkban (Tar és Lázár, 2018) pedig ismertettük a modell felépítésének folyamatát, amelynek végső formája lehetővé teszi a következő napi átlagos szélesség-változás előjelének és a holnapi átlagos szélesség nagyságának a mai nap átlagos szélességéből történő becslését bizonyos egybefüggő időszakokban (évszak, év) és különböző időjárási helyzetekben (makro-szinoptikus helyzetek) vagy azok átmenetei esetében.

A napi átlagos szélesség napról napra történő megváltozásának statisztikai szerkezete azonban további lényeges információt tartalmaz hazánk szélklimájáról is. A következőkben a módszer alapjainak rövid összefoglalása után a modell azon részét részletezzük, amely a következő napi átlagos szélesség csökkenésének vagy növekedésének valószínűségére vonatkozó statisztikai karakterisztikák struktúrájára vonatkozik.

**Adatbázis.** Vizsgálatunk adatbázisát kilenc hazai meteorológiai állomás (2. ábra) napi átlagos szélességei ké-

1. táblázat: A feldolgozható napok aránya az időszak összes napjához viszonyítva (%) és a 10 m-es átlagos szélessége ( $v_p$ )

	%	$[v_p]$ , m/s
Szombathely	99,1	2,9
Győr	99,8	2,4
Pécs	99,8	2,7
Budapest	99,9	2,4
Szeged	99,8	3,1
Kékestető	98,6	3,5
Miskolc	99,9	2,4
Békéscsaba	99,2	2,6
Debrecen	99,7	2,9

pezik az 1991–2010 időszakban. Az adatokat egy szabádon hozzáférhető honlapról ([www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html](http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html)) töltöttük le. Egy más jellegű vizsgálat kapcsán összevetettük 10 év (1990–2000) OMSZ-tól kapott és a fenti honlapról letöltött napi átlagos szélességeket. A vizsgálat azt mutatta, hogy ugyanazokról az adatokról van szó. Az adatsorok nem minden állomáson tekinthetők homogénnek, mivel a két évtizedben több helyen történt műszer-áthelyezés, ami általában az anemométer magasságának megváltozásával járt. A napi átlagos szélesség változását leíró kiinduló paraméterünk sebességfüggő, azaz függ az anemométer magasságától. Statisztikai jellemzői is csak akkor alkalmasak területi, időbeli összehasonlításra, ha az állomások mért napi átlagos szélességei egy referencia szintre, a szélmérés szabályos magasságára vonatkoznak. Ezért az idősorok állomásonkénti homogenizálása és állomások eredményeinek összehasonlíthatósága miatt a napi átlagos szélességeket minden állomáson 10 m-re transzformáltuk. Ehhez a

$$v_h = v_{10}(0,233 + 0,656 \lg(h + 4,75)) \quad (1)$$

úgynevezett WMO-s összefüggést (Mezősi és Simon, 1981) használtuk fel, amelyben a  $h$  az anemométer magasságát, a  $v_h$  az ottani, a  $v_{10}$  pedig a 10 m-es napi átlagos szélességet jelenti. Persze ezzel csak a magasságbeli különbségeket sikerült eliminálni, a régi és az új mérőhely környezetének különbözőségéből származó eltéréseket nem.

**A napi átlagos szélesség naponkénti megváltozásának statisztikája.** A napi átlagos szélesség napról napra történő változását most csak a

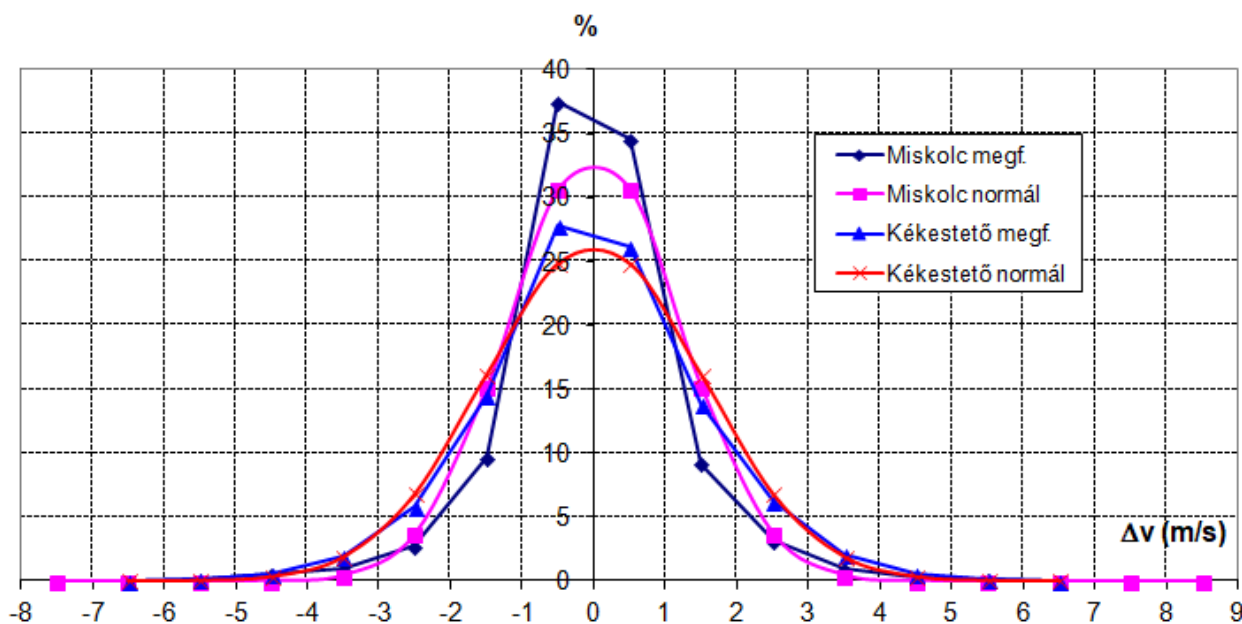
$$\Delta v = v_n - v_p \quad (2)$$

mennyiséggel jellemezzük. Itt a  $v_p$  a mai nap,  $v_n$  pedig a következő nap átlagos szélessége 10 m-en. Mértékegysége így m/s. (A  $\Delta v$  és a  $v_p$  hányadosa a  $\Delta v_r$  relatív változás, ami mértékegység nélküli és megközelítőleg független a szélmérés, az anemométer magasságától.) Mivel a  $\Delta v$  mennyiség egy speciális struktúrájú valószínűségi változó megfigyelt értéke, így a legfontosabb statisztikai függvényeit részletesebben elemezzük.

Elemzéseink eredményeit most csak a teljes időszakra mutatjuk be. A vizsgált 20 év 7305 nappól áll.

2. táblázat: A napi átlagos szélesség naponkénti megváltozásának alapstatisztikái

	szórás m/s	minimum m/s	maximum m/s	terjedelem m/s	ferdeség	csúcsos- ság
Szombathely	1,82	-10,03	9,25	19,28	0,059	2,97
Győr	1,35	-9,69	10,25	19,94	-0,040	2,38
Pécs	1,33	-5,92	6,53	12,45	0,018	1,49
Budapest	1,12	-6,22	5,01	11,23	0,021	1,97
Szeged	1,53	-7,51	7,22	14,73	-0,049	1,08
Kékestető	1,52	-6,99	6,25	13,24	0,015	0,84
Miskolc	1,19	-7,61	8,23	15,84	0,074	4,13
Békéscsaba	1,22	-6,20	6,84	13,04	-0,027	1,81
Debrecen	1,45	-8,12	6,14	14,26	0,055	1,23



3. ábra: A  $\Delta v$  legcsúcsosabb (Miskolc) és leglaposabb (Kékestető) empirikus és a normál eloszlással közelített gyakorisági eloszlása

Majdnem minden állomáson vannak azonban olyan napok, amikor nincsenek mért értékek. Egy hiányzó nap további két feldolgozhatatlan napot generál a  $\Delta v$  (1) definíciója szerint. A feldolgozható napoknak az időszak összes napjához viszonyított arányát (%) és a 10 m-es átlagos szélességét az 1. táblázatban közöljük. Utóbbiak jó egyezést mutatnak a Bartholy et al. (2003) munkájában lévő térképpel, az eltérések a felhasznált állomások számából és a vizsgált időszakok hosszából adódhatnak.

**Alapstatisztikák, eloszlások.** Belátható, hogy a  $\Delta v$  átlaga igen jó közelítéssel 0 m/s-nak vehető minden állomáson. Nem alkalmas tehát az időbeli és térbeli változások jellemzésére. Az idősorok elemzése szerint a *medián* értéke ugyancsak 0 m/s, a *módusz* pedig (a gyakorisági eloszlásokból meghatározva) -0,5 m/s minden állomáson. A többi alapstatisztika értékeit az 2. táblázat tartalmazza. A  $\Delta v$  változékonyságát jellemző két karakterisztika, a *szórás* és a *terjedelem* minimális értéke Budapesten figyelhető meg, maximuma viszont Szombathelyen, ill. Győrben. A két extrém érték között azonban különböző az állomások sorrendje, összefüggésük tehát nem vizsgálható. Külön-külön sem vonható le semmiféle orográfiai elrendezés.

Az átlag, a medián és a módusz fentebb felsorolt értékei alapján a  $\Delta v$ -t normális eloszlásúnak feltételezhetjük. Ezt a *ferdeségi együtthatók* 0-hoz közeli értékei is megerősítik, azaz, hogy egy szimmetrikus eloszlással van dolgunk. A *csúcsossági együtthatók* értékei azonban ellentmondanak ennek a hipotézisnek. Ez a paraméter normális eloszlás esetén 0, a pozitív értékek viszonylag csúcsos, a negatív értékek viszonylag lapos eloszlást jelentenek. A  $\chi^2$ - és a Kolmogorov-Szmirnov-próba (Dévényi és Gulyás, 1998) szerint a normál eloszlással való közelítés egyik esetben sem volt sikeres.

A 3. ábrán együtt ábrázoltuk a  $\Delta v$  legcsúcsosabb (Miskolc) és leglaposabb (Kékestető) megfigyelt (empirikus) és a normál eloszlással közelített (elméleti) gyakorisági

eloszlását. Látható, hogy az empirikus és az elméleti gyakoriságok közötti különbség a móduszt tartalmazó intervallumban a legnagyobb.

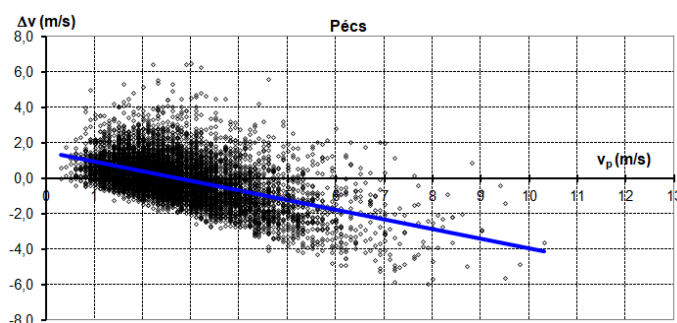
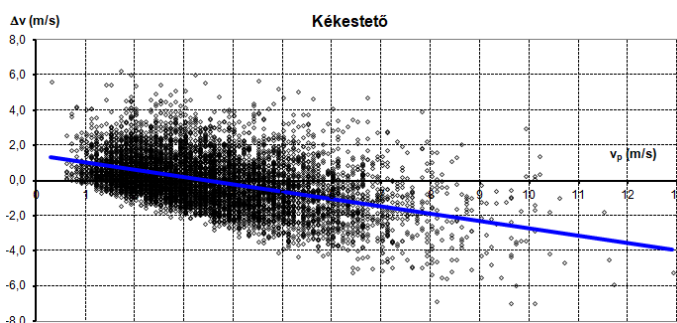
Az ábra azt sugallja, hogy a csúcsossági együttható és a relatív gyakoriság a móduszt tartalmazó intervallumban összefügg. Ezt csak az extrém értékek esetében sikerült megállapítani: mindkettő minimuma Kékestetőn van (0,84; 27,8%), ezután mindkettőnél Szeged következik (1,08; 27,8%), a maximum pedig Miskolcon van (4,13; 38,5%).

A móduszt tartalmazó  $-(-1,0)$  m/s – intervallumban megfigyelt gyakoriságok szerint a 9 állomás három csoportra osztható. Ez a gyakoriság 28% körüli Kékestetőn, Szegeden és Szombathelyen, kb. 30 és 32% között van Debrecenben, Pécsen és Győrben, kb. 34 és 37% között van Békéscsabán, Budapesten és Miskolcon. Adódik a kérdés: vannak-e olyan állomások, amelyeken az empirikus eloszlások statisztikailag egyformának tekinthetők, azaz ugyanazzal az (egyelőre ismeretlen) elméleti eloszlással közelíthetők? A kérdésre a választ a  $\chi^2$ -próbaival elvégezhető homogenitás vizsgálat (Dévényi és Gulyás, 1998) adja meg. A próbát elvégezve a következő eredményt kaptuk: Győr és Pécs, Szeged és Kékestető, Kékestető és Debrecen eloszlása 0,10 szignifikancia szinten homogénnek tekinthető. További három esetben a számolt  $\chi^2$  értéke alig haladja meg a 0,01 szignifikancia szinthez tartozó kritikus értéket: Pécs és Békéscsaba, Budapest és Miskolc, valamint Kékestető és Debrecen. Vagyis az állomások fentebb feltételezett csoportosulása csak részben igaz.

**Az átlagos szélesség mai napi értékének és a következő napi megváltozásának kapcsolata.** A  $\Delta v$  és a  $v_p$  sztochasztikus kapcsolatának vizsgálatánál a szóba jöhető lineáris és logaritmus regresszió közül mindenhol a lineáris bizonyult erősebbnek. A lineáris korrelációs együttható és a regressziós egyenes meredekségének értékeit a 3. táblázat tartalmazza abszolút értékük (erősségük) növekvő sorrendjében. A két paraméter közel eső

3. táblázat: A  $v_p$  és a  $\Delta v$  kapcsolatának szorosságát mutató lineáris korrelációs együttható ( $r$ ) és a regressziós egyenes meredekségének ( $b$ ) értékei

	$r$	$b$
Kékestető	-0,457	-0,417
Békéscsaba	-0,476	-0,455
Győr	-0,496	-0,492
Miskolc	-0,504	-0,507
Szombathely	-0,512	-0,524
Szeged	-0,517	-0,534
Debrecen	-0,520	-0,541
Pécs	-0,522	-0,545
Budapest	-0,523	-0,545



4. ábra: A leggyengébb (Kékestető) és az egyik legszorosabb (Pécs) kapcsolatot mutató esetekre illesztett lineáris regresszió

értéke a függő változó ( $\Delta v$ ) gyakorlatilag 0 átlagos értékéből következik. A 4. ábrán pedig együtt ábrázoltuk a leggyengébb és az egyik legszorosabb kapcsolatot mutató eseteket.

4. táblázat: Az N esemény bekövetkezésének relatív gyakorisága (a), az N és a C esemény relatív gyakoriságának különbsége (b), feltételes relatív gyakoriságok (c-f), az N és a C eseményekből álló intervallumok átlagos hossza (g,h)

állomás	a	b	c	d	e	f	g	h
	f(N)	f(N-C)	f(N/N)	f(C/N)	f(C/C)	f(N/C)	[N]	[C]
							%	
							nap	
Szombathely	50,8	1,6	41,1	58,8	39,3	60,7	1,7	1,6
Győr	51,2	2,4	42,5	57,5	39,7	60,3	1,7	1,7
Pécs	51,6	3,2	43,6	56,5	39,9	60,1	1,8	1,7
Budapest	51,9	3,8	44,0	56,0	39,5	60,4	1,8	1,7
Szeged	50,6	1,2	42,8	57,2	41,3	58,7	1,7	1,7
Kékestető	50,8	1,6	44,2	55,8	42,3	57,7	1,8	1,7
Miskolc	51,5	3,0	42,4	57,6	39,0	61,0	1,7	1,6
Békéscsaba	51,2	2,4	43,2	56,8	40,4	59,5	1,8	1,7
Debrecen	50,9	1,8	43,3	56,7	41,3	58,6	1,8	1,7

A regressziós egyenes minden esetben metszi a vízszintes, azaz a  $v_p$  tengelyt. Legyen ez a zérushely  $v_{p0}$ . Az  $y=a+bx$  regressziós egyenlet a és  $b$  konstansaira vonatkozó összefüggésekből, és a  $\Delta v$  0-nak tekinthető átlagértékéből belátható, hogy a regressziós egyenes zérushelye  $v_{p0}=[v_p]$ , azaz a mai napi átlagos szélességek átlaga a vizsgált időszakban. Ennek értékei az 1. táblázatban láthatók. A regressziós egyenes ( $x,y$ ) koordinátájú pontjaira  $y>0$  a zérushely előtt,  $y<0$  a zérushely után. Emiatt feltételezhetjük, hogy a számolt, a regresszióval közelített  $\Delta v$  értékek előjele is kapcsolatba hozható a zérushellyel. Feltételezzük tehát, hogy a zérushely előtt, tehát ha  $v_p < [v_p]$ , akkor  $\Delta v \geq 0$  eseménynek (N), ellenkező esetben pedig a  $\Delta v < 0$  (C) eseménynek nagyobb a valószínűsége. Becsülhető tehát, hogy az adott (mai) nap átlagos szélességéhez képest a következő (holnapi) nap átlagos szélessége csökken vagy növekszik.

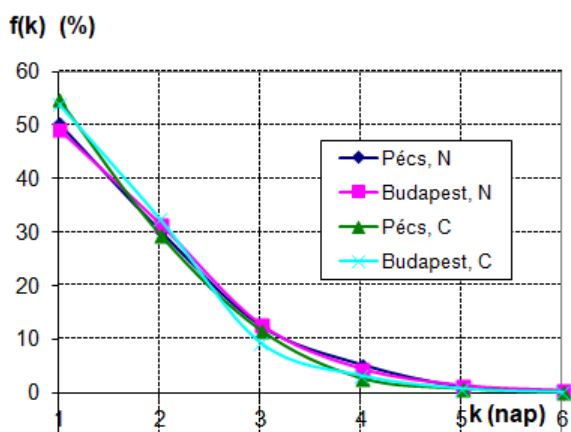
Elsőként a becslendő, tehát az aktuális (mai) napon definiált N és C események megfigyelt idősorát elemezzük. A 4. táblázat első két oszlopában megadjuk az N esemény ( $\Delta v \geq 0$ ) relatív gyakoriságát és a C esemény ( $\Delta v < 0$ ) ettől való eltérését ( $f(N)$  és  $f(N-C)$ , %). Az  $f(N)$  értéke minden állomáson nagyobb, mint 50%, az  $f(C)$  ennél 3,8–1,6%-kal kisebb. Vagyis az N esemény bekövetkezésének valószínűsége ennyivel nagyobb, mint a C eseményé.

A táblázat 3–6 oszlopaiban az egyes feltételes, vagy átmenet relatív gyakoriságok láthatók. Ezek a megfelelő valószínűségeket közelítik. Az  $f(C/N)$  például annak valószínűségét, hogy a holnapi napon a C esemény következzen be, feltéve, hogy a mai napon az N esemény következett be. Minden állomáson legnagyobb (61,0–57,7%) annak a valószínűsége, hogy a C eseményt az N követi. A második helyen mindenhol annak valószínűsége áll (58,8–55,8%), hogy az N eseményt a C esemény követi. Annak valószínűsége tehát, hogy a mai napi esemény után ennek ellenkezője következik be, nagyobb, mint ugyanazon esemény bekövetkezésének. Minden állomáson legkisebb annak valószínűsége, hogy a C eseményt C esemény követ, azaz, hogy ha a mai napon csökkent az átlagos szélesség a tegnaphoz képest, akkor ez a holnapi napon is így lesz.

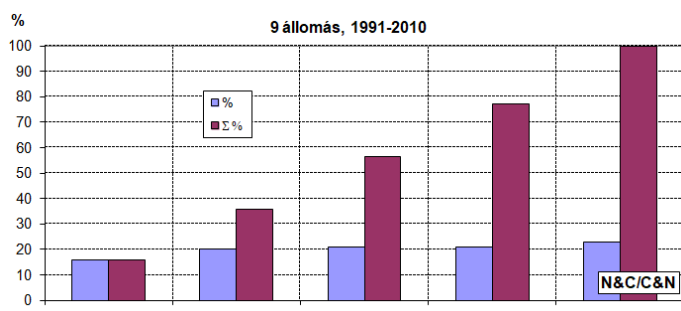
Megvizsgáltuk az N és C eseményekből álló időszakok hosszúság szerinti eloszlását. Minden állomáson mindkét esetben az 1 napos bekövetkezés a leggyakoribb, ennek

relatív gyakorisága az N esemény esetében 54,0 és 49,2%, a C eseménynél pedig 56,3 és 50,2% között változik. A leghosszabb intervallum hossza egy állomáson 9 N-nap, az összes többi esetben ez 6 vagy 7 N- vagy C-nap. Az átlagos hosszakat a 4. táblázat utolsó két oszlopa tartalmazza, az N eseménynél ezek az értékek 0,1 nappal nagyobbak Győr és Szeged kivételével, itt egyenlők.

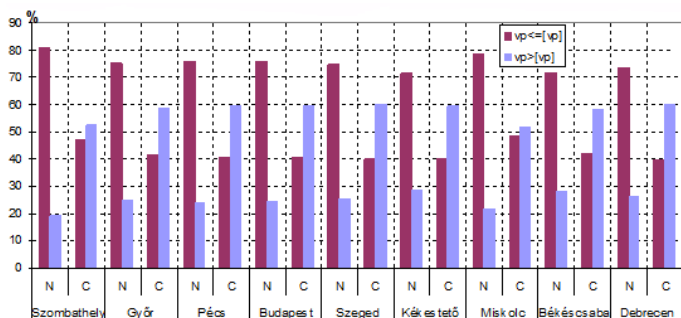
Kerestük az empirikus gyakoriságokra illeszkedő diszkrét elméleti eloszlásokat. A geometriai, az exponenciális, a Poisson- és a gamma-eloszlásokkal próbálkoztunk, sikertelenül.



5. ábra: Pécs és Budapest N és C intervallumainak hosszúság (k) szerinti eloszlása



6. ábra: Az n&(9-n) számpárok egyedi és kumulatív eloszlása



7. ábra: Az N és C események eloszlása a mai nap átlagos szélessége ( $v_p$ ) és a teljes vizsgált időszak átlagos szélessége ( $[v]$ ) relációjának függvényében

A gyakoriságokra vonatkozó paraméterek nem mutatnak jelentős térbeli, orográfiai különbségeket, ezért az N és C eseményekből álló időszakok hosszúság szerinti eloszlását homogenitás vizsgálatnak vetettük alá. Az N eseményből álló intervallumok hosszúság (nap) szerinti eloszlásának vizsgálata szerint ezek legalább 0,9 elfogadási (valószínűségi) szinten homogénnek tekinthetők, tehát ugyanabból az (egyelőre ismeretlen) elméleti eloszlásból származnak mind a kilenc állomáson. A C esemény esetében ez egy esetben nem igaz: Szombathelyen és Kékestetőn a szokásos szignifikancia szinteken az eloszlások nem tekinthetők homogénnek. Állomásonként összehasonlítottuk az N és a C események alkotta intervallumok eloszlását is. Pécs és Budapest kivételével most is azt kaptuk, hogy ezek is legalább 0,9 elfogadási szinten homogénnek tekinthetők. E két állomás N és C intervallumainak hosszúság szerinti eloszlása látható az 5. ábrán. A homogenitás vizsgálatok eredményei azt sugallják, hogy a következő napi átlagos szélesség változás előjelének

területi különbségei nem szignifikánsak. Vagyis feltehetően az adott napon az állomások többségén ugyanaz az esemény (N vagy C) következik be. Ezt az (n, 9-n) számpárral mérjük, ami azt fejezi ki, hogy ha egy napon n állomáson az N vagy a C esemény következik be, akkor (9-n) állomáson ezek ellentettje, a C vagy az N. Nem teszünk tehát különbséget az események között, az egyezően van a hangsúly. A számpárokat tehát így is jelölhetjük: n&(9-n). A lehetséges esetek relatív gyakoriságait a 6. ábra mutatja. Az ábra szerint legkisebb annak relatív gyakorisága (15,6%), hogy egy napon mind a 9 állomáson ugyanaz az esemény, a legnagyobb (22,8%) pedig annak, hogy 4 állomáson az egyik, 5 állomáson pedig a másik esemény következik be. A kumulált gyakoriságok szerint azonban annak valószínűsége, hogy az események 6 vagy több állomáson egyeznek közel 80%.

**Az átlagos szélesség következő napi megváltozásának becslése.** Az előző fejezetben feltételeztük, hogy ha a mai nap átlagos szélessége kisebb, mint az időszak átlagos szélessége, azaz  $v_p \leq [v_p]$ , akkor az N eseménynek ( $\Delta v \geq 0$ ), ellenkező esetben pedig a C eseménynek ( $\Delta v < 0$ ) nagyobb a valószínűsége. Most ezt a feltételezést próbáljuk igazolni úgy, hogy előállítjuk mindkét esemény relatív gyakoriságát a  $v_p \leq [v_p]$  és a  $v_p > [v_p]$  intervallumokban. Az eloszlások az 7. ábrán láthatók. Az ábra azt mutatja, hogy pl. Szombathelyen az összes N esemény kb. 81%-a akkor következik be, ha  $v_p \leq [v_p]$ , és csak a kb. 19%-a, ha  $v_p > [v_p]$ . Az összes C esemény többsége, kb. 53%-a pedig akkor, ha  $v_p > [v_p]$ . Látható, hogy az N esemény relatív gyakorisága mindenhol 70 és 80% között van, ha  $v_p \leq [v_p]$ , a C eseményé pedig kb. 50 és 60% között, ha  $v_p > [v_p]$ . A megfelelő átlagos gyakoriságok 75,4% (N), ill. 57,8% (C). Az ábra további részletes elemzése alapján megfogalmazható, hogy ha a mai nap átlagos szélessége kisebb, mint a kategória átlagsebessége, akkor a következő napi átlagos szélesség növekedésének 1,7–1,9-szer, átlagosan 1,8-szor nagyobb a valószínűsége, mint a csökkenésének. Ha viszont a napi átlagos szélesség nagyobb, mint a kategória átlagsebessége, akkor a következő napi átlagos szélesség csökkenésének 2,1–2,8-szor, átlagosan 2,4-szer nagyobb a valószínűsége, mint a növekedésének. Ez utóbbi megállapítás módot ad a következő napi átlagos szélesség változás előjelének becslésére. A mai nap ismert átlagos szélességét összehasonlítjuk egy hosszabb időszak átlagos szélességével, a relációjuk alapján megtörténhet a becslés. Ennek sikerességét, a jó becslések gyakoriságát a feldolgozásba bevont adatbázison vizsgáljuk. Az 5. táblázat tartalmazza a becslések eredményeit. A táblázatban látható, hogy az N esemény becslés gyakorisága mindig nagyobb, mint a megfigyelt. A túlbecslés mértéke (ami a C esemény alulbecslésének mértéke) Szombathelyen a legnagyobb (13,5%) és Kékestetőn a legkisebb (5,4%). A sorrendben némi orográfiai elrendeződés fedezhető fel, a Kékestető megelőző 4 helyen síkvidékinek, nyitott horizontúnak tekinthető állomás (Budapest, Szeged, Békéscsaba és Debrecen) szerepel. A levegő áramlása szempontjából a kékestetői állomás is akadálymentesnek tekinthető. Az átlagos túlbecslés 8%. A jó becslések aránya – tehát amikor a napi becslés esemény megegyezik a megfigyelttel – Győrben a legnagyobb (68%) és Debrecenben a legki-

5. táblázat: Az N és C események megfigyelt és becsült relatív gyakoriságai, valamint a jó becslések aránya

állomás	N (%)		C (%)		jó becslés (%)
	megfigyelt	becsült	megfigyelt	becsült	
Szombathely	50,8	64,3	49,2	35,7	67,0
Győr	51,2	58,7	48,8	41,3	67,2
Pécs	51,6	58,9	48,4	41,1	68,0
Budapest	51,9	58,8	48,1	41,2	68,0
Szeged	50,6	57,5	49,4	42,5	67,5
Kékestető	50,8	56,2	49,2	43,8	65,7
Miskolc	51,5	63,7	48,5	36,3	65,5
Békéscsaba	51,2	57,4	48,8	42,6	65,2
Debrecen	50,9	57,0	49,1	43,0	67,1

sebb (65,2%). Az átlag 66,8%, azaz a módszer átlagosan az esetek kétharmadában jól becsüli a következő napi átlagos szélesség megváltozásának előjelét.

**Összegzés.** A napi átlagos szélesség napról napra történő változásának egy 20 éves időszakra vonatkozó alapstatisztikai jellemzőiből azt a következtetést vontuk le, hogy a következő napi átlagos szélesség változás előjelének területi különbségei nem szignifikánsak. A homogenitás vizsgálat eredményét egy hasonlósági elemzéssel is alátámasztottuk, ami szerint annak valószínűsége, hogy a változás előjele 6 vagy több állomáson egyezzen, közel 80%. Ebből következően a változás előjelére vonatkozó, a változás mértéke és a napi átlagos szélesség közötti sztochasztikus kapcsolaton, illetve a napi és a 20 éves átlagos szélesség közötti reláción alapuló becslés eredménye sem mutat nagy területi változékonyságot. A jó becslések aránya kb. 65–68%, az átlag 66,8%. A módszer tehát átlagosan az esetek kétharmadában jól becsüli a következő napi átlagos szélesség megváltozásának előjelét. A módszer alkalmazhatósága a napi átlagos szélesség ismertét feltételezi. Emiatt a menetrend elkészítésében csak akkor lehet alkalmazni, ha ezt a nap vége előtt szintén – kellő pontossággal – becsülni tudjuk. Egy erre alkalmas statisztikai módszerünk tesztelés alatt van.

## Irodalom

- Aggarwal, S. K. and Meenu Gupta, 2013: Wind Power Forecasting: A Review of Statistical Models. *International Journal of Energy Science*, Vol.3 Issue 1, 2013; www.ijesci.org
- Bartholy, J., Radics, K. and Bohoczky, F., 2003: Present state of wind energy utilization in Hungary: Policy, wind climate, and modeling studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7, 175–186.
- Bremnes, J.B., Villanger, F., and AS, K.V., 2002: Probabilistic forecasts for daily power production. In: *Proceedings of the Global Wind Power Conference*, Paris.
- Dévényi, D. és Gulyás, O., 1988: Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest, p. 443.
- Kavasseri, R.G. and Seetharaman, K., 2009: Day-ahead wind

- speed forecasting using f-ARIMA models. *Renew. Energy* 34, 1388–1393. doi.org/10.1016/j.renene.2008.09.006
- Lázár I., 2015: Székelyföld szélklimájának statisztikai vizsgálata. PhD értekezés. Debreceni Egyetem, Földtudományi Doktori Iskola, pp. 158
- Mezősi M. és Simon A., 1981: A meteorológiai szélmerések elmélete és gyakorlata. *Meteorológiai Tanulmányok*, No. 36.
- Puskás, J., Tar, K., Szepesi, J. and Kovács, E., 2014: Statistical Investigation of Subalternation of the Daily Mean Wind Speed on the North-West Region of Carpathian Basin. In: Kanakidou, M., Mihalopoulos, N. and Nastos, P. (eds): COMECAP 2014 e-book of proceedings. 3, 85–89.
- Shukur, O.B. and Lee, M.H., 2015: Daily wind speed forecasting through hybrid KF-ANN model based on ARIMA. *Renew. Energy* 76, 637–647. doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.084
- Tar K., 2011: A Kárpát-medence szélenergiájáról. VII. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Sapiencia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Kolozsvár, 165–169.
- Tar K., 2014a: A napi átlagos szélességek egymásra következtetésének statisztikai elemzése az Alföldön. In: Fazekas, I. és Szabó, V. (szerk.): Környezettudatos energiatermelés és felhasználás. *Meridián Alapítvány*, 96–105.
- Tar, K., 2014b: Statistical structure of the surface layer wind field in Hungary. Direction, speed and energy of the wind. *Lambert Academic Publishing*, pp. 88
- Tar K., 2015: A napi átlagos szélesség megváltozásának statisztikai szerkezete. In: Kúti, Zs. és Puskás, J. (szerk.): Tiszteletkötet Károssy Csaba 70. születésnapjára. Szombathely, 47–54.
- Tar K. és Puskás J., 2010a: A napi átlagos szélesség időbeli megváltozásának függése a frontos és frontnélküli napok váltakozásától. VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Nyíregyházi Főiskola, Nyíregyháza, 321–326.
- Tar K. és Puskás J., 2010b: A napi átlagos szélesség megváltozásának kapcsolata az időjárási helyzetekkel. *Magyar Energetika* 17, 30–35.
- Tar, K., Lázár, I., and Gyarmati, R., 2015: Statistical estimation of the next day's average wind speed and wind power. In: Ortiz, W., Somogyvári, M., Varjú, V., Fodor, I., and Lechtenböhrer, S. (eds.): Perspectives of Renewable Energy in the Danube Region, 174–191.
- Tar K. és Lázár I., 2016: Az egymást követő napok átlagos szélességeinek statisztikai becslése. In: Lázár, I. (szerk.): *Környezet és energia a mindennapokban*, MTA DAB Környezettudományi Szakbizottság, 109–117.
- Tar K., Biróné Kircsi A. és Tóth T., 2016: A szélenergia kutatása a Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszékén (1980–2014). *Légekör* 61, 48–63.
- Tar, K. and Lázár, I., 2018: Statistical structure of day by day alteration of daily average wind speeds. *Időjárás* 122, 285–304.
- Tóth P. és Biróné Kircsi A., 2013: A szélenergia-hasznosítás 2011. évi legújabb eredményei. *Magyar Energetika* 20, 16–21.
- Tóth P. és Biróné Kircsi A., 2014: A szélenergia-hasznosítás 2013. évi eredményei. *Magyar Energetika* 21, 38–41.
- Tóth P. és Biróné Kircsi A., 2015: A szélenergia hasznosítás legújabb eredményei. *Légekör* 60, 88–91. www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html www.mekh.hu