

A LEGMEGBÍZHATÓBB HELLMANN-KITEVŐ MEGHATÁROZÁSÁNAK STATISZTIKAI MÓDSZERE

TAR KÁROLY

*Turizmus és Földrajztudományi Intézet, Nyíregyházi Főiskola, 4400, Sóstói út 31/b, Nyíregyháza
E-mail: tarko47@gmail.com*

Összefoglalás: Ebben a tanulmányban azt vizsgáljuk, hogy a szélenergia potenciál meghatározásánál igen gyakran használt ún. Hellmann-féle szélprofil egyenlet paramétere hogyan függ a választott két mérési magasságtól, meghatatók-e optimális szintek. Vizsgálatunk adatbázisát a paksi torony- és a 10 m-es mérések napi átlagos szélesebségei alkotják a 2000. évre vonatkozóan. Először a különböző szélesebség, majd a három lehetséges módon meghatározott Hellman-paraméter idősorainak alapstatisztikáit, eloszlásait elemezzük. Ezután az egyes szintekről a különböző átlagos paraméterekkel a 10 m-re becsült és a 10 m-en mért értékek statisztikai paramétereit, eloszlását vetjük össze, kiválasztva ezzel a legoptimálisabb kitevőt.

Kulcsszavak: energetikai szélérés, empirikus szélprofil törvény, Hellman-féle kitevő, alapstatisztikák, harmonikus analízis, homogenitás vizsgálat

1. BEVEZETÉS

Magyarországon 2011 decembere óta 172 db szélerőmű működik 329.325 MW beépített teljesítménnyel. Az erőművek évi összes villamos energia termelése 600 GWh fölött volt. Közel 90%-uk az ország ÉNy-i területén található, az Alföldre és környezetére csupán 6825 MW, azaz az összes teljesítmény kb. 2%-a esik.

Pedig a 19. sz. végén, a 20. sz. elején az ország szélmalmainak több mint 95%-a az Alföldön helyezkedett el (Keveiné Bárány 1991), ami önmagában is elegendő bizonyíték arra, hogy hazánknak ezen a táján is van hasznosítható szélenergia. A régi szélmalmostok többsége a Dél-Alföldön található, ami arra utal, hogy a szélviszonyok leginkább itt feleltek meg a nem túl magasan elhelyezett, kb. 20 kW teljesítményű szélmalmostok működési feltételeinek. Az egykori szélmalmostok helyei tehát a vizsgálatok szerint (Keveiné Bárány 2000, 2001) pontosan kijelölik azokat a térségeket, ahol minden valószínűség szerint gazdaságos szélenergia kitermelés lehetséges.

A Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve 2010–2020 c. dokumentumban többek között ez olvasható: „...szélenergia vonatkozásában a 2020. évi nemzeti célkitűzés a villamosenergia-rendszer szabályozhatósági korlátjához igazodik, ami a jelenlegi ismeretek alapján kb. 740 MW összteljesítményig képes a szélenergiát befogadni.” (kormany.hu 2016). Vagyis – most már csak 4 év alatt – több mint duplájára kell emelni a mostani installált teljesítményt. Várható tehát, hogy ha ebben a dokumentumban is részletezett feltételek megvalósulnak, akkor felgyorsul a szélerőmű telepítés folyamata, remélhetőleg az Alföldön is.

A szélérőművek telepítését minden esetben meg kell előznie egy legalább egy évig tartó energetikai szélmérésnek, amelynek két igen fontos követelménynek kell eleget tenni. Az egyik a sűrű, 10 percenkénti átlagos szélesebesség folyamatos rögzítése, a másik pedig, hogy a méréseket két magasságban kell végezni. Az egyik magasság optimálisan 10 m, hogy a mérési eredmények összevethetők legyenek a legközelebbi meteorológiai állomás méréseivel, a másik magasság pedig 10 m-nél nagyobb. A két szint szélesebesség adatiból aztán valamelyik empirikus szélprofil törvénnyel becsülhető a szélesebesség különböző időintervallumokra a szélérőmű tervezett tengelymagasságában.

Ebben a tanulmányban azt vizsgáljuk, hogy a széleenergia potenciál meghatározásánál igen gyakran használt ún. Hellmann-féle szélprofil egyenlet paramétere hogyan függ a választott két mérési magasságtól, megadhatók-e optimális szintek. Vizsgálatunk adatbázisát a paksi toronymérések (20, 50 és 120 m, amelyeket az OMSZ bocsátott rendelkezésünkre) és a mérőtoronyhoz viszonylag közel történt 10 m-es mérések napi átlagos szélesebességei alkotják (utóbbi a NCDC (2016) honlapról letöltve) a 2000. évre vonatkozóan. Először a különböző szélesebesség, majd a három lehetséges módon meghatározott Hellman-paraméter idősorainak alapstatisztikáit, eloszlásait elemezzük. Ezután az egyes szintekről a különböző átlagos paraméterekkel 10 m-re becsült és a 10 m-en mért értékek statisztikai paramétereit, eloszlását vetjük össze, kiválasztva ezzel a legoptimálisabb kitevőt.

2. RÖVIDEN A HELLMANN-KITEVŐRŐL

A meteorológiai gyakorlatban abban az esetben, ha a szélesebességmértőt kényszerűségből az előírt 10 m-nél magasabbra vagy alacsonyabbra kell szerelni a

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

az ún. WMO-s összefüggés alapján végzik a magassági korrekciót. (Mezősi és Simon 1989), ahol v_h a $h \neq 10$ m, a v_{10} pedig a 10 m magasságban mért/számolt szélesebesség. A képlet tehát alkalmazható „fordítva” is, sőt akkor is, ha a kiindulási magasság h_1 , a célmagasság pedig h_2 . A szarvasi toronymérések adatainak felhasználásával tesztelve a fenti összefüggést (Tar 1991) azt tapasztaljuk, hogy az adott magasságban számolt szélesebességek eloszlása a kisebb értékek felé tolódik, tehát a képlet alábecsül. Vagyis (1) alapján számolva a 10 m-nél magasabb szinteken a széleenergiát a valóságos értéknél mindig kevesebbet kapunk. Ennél fontosabb hibaforrás azonban az, hogy az összefüggésnek nincs paramétere, azaz bármilyen felszín fölött ugyanazt az eredményt adja két adott magasság esetében.

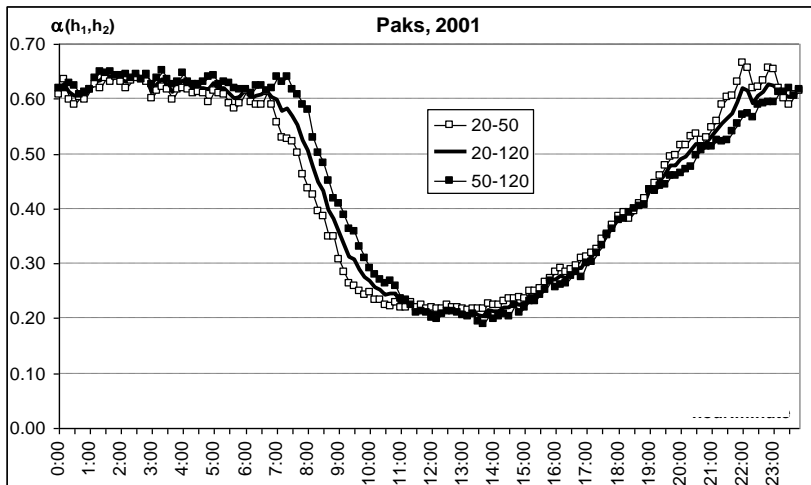
Széleenergetikai számításoknál emiatt is inkább az ún. Hellmann-féle

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (2)$$

ún. gyökkitevős összefüggést alkalmazzuk, ahol h_1 és $h_2 \neq h_1$ a két ismert magasság, v_1 és v_2 pedig ezen szintek szélesebessége, közülük az egyik ismert. A (2) eredeti formájában ($\alpha = 0,2$ Aujeszký 1949) ugyanazt az eredményt adja, mint (1) (Tar 1991). Lényeges különbség azonban, ami (2) használatát is megnehezíti, hogy az előzővel ellentétben van paramétere, az α kitevő, ami a felszín érdességének, tagoltságának, végső soron a sűrűlódásnak, valamint a levegő egyensúlyi helyzetének és a szélesebességnek is a függvénye. Pontos meghatározása csak kü-

lőnböző magasságokban végzett sűrű szélesebesség mérések (energetikai szélmérések) alapján történhet. Alkalmazni a mért szélesebességeknak a szélturbina magasságára történő extrapolálására azonban csak a mérés helyén, vagy olyan területre lehetséges, amely igen hasonló ehhez a környezethez.

Aujeszký (1949) szerint az $\alpha = 0,2$ értékkel igen jó közelítést érhetünk el 250 m-ig. Ezzel az alakjával dolgozott Ledács-Kiss (1977, 1983), Tóth et al. (2001), Patay (2001a, 2001b, 2003). A meteorológiai tornyok és az energetikai szélmérések adatai alapján azonban az α értékét a felszíni sűrűlódásnak megfelelően pontosítani lehetett. Kajor (2002a, 2002b) szerint értéke 0,14 (sima tenger felett) és 0,34 (érdes szárazföldi terület) között változik. Radics (2004) szerint a kitevő értékei 0,14 sík vidéken és vízfelszín felett, 0,2 érdes, dombos felszín esetén, 0,28 települések felett. Legrészletesebb adatokat a kitevőre Sembery és Tóth (2004) munkájában találunk: sík mező 0,12; nyílt terep 0,16; erdős síkság 0,25; város alacsony épületekkel 0,35; város magas házakkal 0,50. Ugyanakkor Péczely (1979) szerint az α kitevő füves felszín fölött átlagos szélesebességnél 0,3-nak vehető, ugyanis a felszíni érdeség mellett függ a szélesebességtől (növekvő szélesebességgel értéke csökken) és a levegő hőmérsékleti rétegződésétől is. Ebből pedig az következik, hogy a kitevőnek napi és éves menete van (Tar és Szegedi 2009).



1. ábra A különböző magasságokban (20 m, 50 m és 120 m) mért szélesebességekből 10 perccenként számolt Hellman-kitevők évi átlagának napi menete Pakson (Tar et al. 2008)

A napi menetére az 1. ábrán láthatunk egy példát, ami tehát az α értékének a levegő egyensúlyi helyzetétől, egyben a szélesebességtől való függést mutatja: a kitevő minimuma a legmelegebb (legna-gyobb szélesebességű) időpont környékére esik, stabil rétegződés esetén (éjjel) viszont alig változik. Jó egyezést mutat tehát a stabilis és labilis rétegződések relatív gyakoriságának napi menetével (Radics 2004). Napi menet ismerete azért fontos, mert egy átlagos napi értékből nem kapjuk vissza a magasabb rétegek (kb. 60–80 m-től) szélesebességének, szélpotenciáljának napi menetét, ami a kisebb magasságokkal ellentétben kora délutáni (13, 14 óra) *minimumot* mutat.

Az ábra a paksi meteorológiai mérőtorony 10 perccenkénti 20, 50 és 120 m-es magasságban történt szélesebesség méréseiből készült. Látható, hogy az α „pillanatnyi” értékeiben

akár 0,1-nyi differencia is lehet a (2) összefüggésben szereplő h_1 és h_2 magasságok kiválasztásától függően. A legvastagabb, a 20 m és 120 m közötti légréteg esetében számolt kitevő pedig közelítőleg a másik kettő átlagának tekinthető (Bíróné Kircsi és Tar 2007, Kircsi és Tar 2008, Tar et al. 2008).

3. AZ OPTIMÁLIS KITEVŐ

A h_2 és h_1 ismert magasságban megmért v_2 és v_1 szélesebbeségből a kitevő (1) alapján

$$\alpha = \ln(v_2 / v_1) / \ln(h_2 / h_1) \quad (3)$$

Tegyük fel, hogy $h_2 > h_1$. Ebben az esetben ha $v_2 < v_1$ (azaz a nagyobb magasságban a szélesebbeség kisebb), akkor α -ra negatív érték adódik, ami értelmezhetetlen, így az ilyen mérési adatokat a feldolgozásból ki kell hagyni.

3.1. A napi átlagos szélesebbeség alapstatisztikái

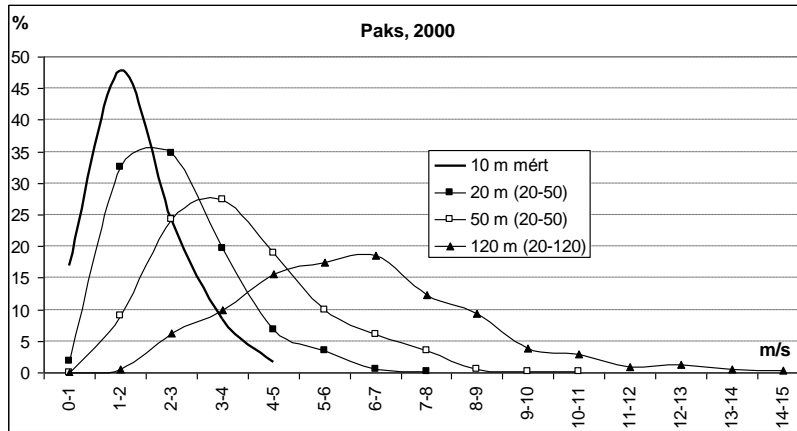
Mielőtt megpróbálkozunk az optimális kitevő kiválasztásával vizsgáljuk meg adatbázisunk, azaz a paksi 2000. évi 10, 20, 50 és 120 m-es mérésekből számolt napi átlagos szélesebbeség statisztikai tulajdonságait. Szökőév lévén összesen 366 adatunk van. Az alapstatisztikák – a későbbiekben pedig az α – meghatározásánál kihagytuk azokat a napokat, amelyeken a nagyobb magasságban az átlagsebesség kisebb volt, mint az alatta lévő szinten, szinteken. A 20–120 m párosítás esetében 33, az 50–120 m esetében 83, a 20–50 m esetében pedig 0 ilyen nap volt. Emiatt minden magasságban kétféle elemszámra kellett a statisztikai jellemzőket kiszámítani, kivéve a 10 m-es magasságot, amellyel a számítások eredményeit összehasonlítjuk. Ezeket az 1. táblázatban közöljük.

1. táblázat A napi átlagos szélesebbeség alapstatisztikái Pakson, a 2000. évben (*: a gyakorisági eloszlásokból meghatározva).

szintek	10 m	20 m		50 m		120 m	
		20–50	20–120	20–50	50–120	20–120	50–120
elemszám	366	366	333	366	283	333	283
átlag (m s ⁻¹)	1,80	2,60	2,50	3,90	3,40	6,20	6,60
szórás (m s ⁻¹)	0,90	1,14	1,02	1,56	1,27	2,27	2,20
var. eh.	0,49	0,43	0,41	0,40	0,37	0,37	0,34
maximum (m s ⁻¹)	5,60	7,40	7,40	10,10	7,50	14,7	14,70
minimum (m s ⁻¹)	0,40	0,80	0,80	1,20	1,20	1,80	1,90
alsó kvart. (m s ⁻¹)	1,20	1,70	1,70	2,70	2,50	4,70	5,10
medián (m s ⁻¹)	1,70	2,50	2,30	3,60	3,30	6,00	6,40
felső kvart. (m s ⁻¹)	2,30	3,20	3,00	4,80	4,20	7,50	7,80
ferdeség	1,06	0,99	1,01	0,86	0,70	0,69	0,90
csúcosság	1,40	1,04	1,41	0,77	0,23	0,73	0,89
módusz* (m s ⁻¹)	1,5	2,5		3,5		6,5	

Látható, hogy a variációs együttható (relatív szórás: szórás/átlag), a ferdeségi és a csúcossági együttható kivételével a magasság növekedtével minden paraméter értéke növekszik. A magasság növekedtével tehát a napi átlagos szélesebbeség átlaghoz viszonyított változékonysága csökken. Az átlag, a medián és az eloszlásokból meghatározott módusz „rá-

nézésre” elég közel állnak egymáshoz, vagyis a napi átlagos szélesebségek eloszlása bizonyos szignifikancia szinten lehet normális eloszlású. De a ferdeségi és csúcsossági együtthatók értékei, amelyek a normál eloszlástól való eltérés mértékeként is felfoghatók, ennek el-lentmondanak. Normál eloszlás esetén ugyanis mindkét együttható elméleti értéke 0, a táblázatban szereplők valószínűleg egyetlen szignifikancia szinten sem tekinthetők ezzel egyen-lőnek. Azt viszont megállapíthatjuk, hogy táblázat szerint kisebb magasságban a napi átlagos szélesebségek eloszlásának eltérése a normál eloszlástól nagyobb.



2. ábra A napi átlagos szélesebség gyakorisági eloszlásai Pakson, a 2000. évben

A 2. ábrán az időszak napi átlagsebességeinek gyakorisági eloszlása látható a nagyobb elemszámú esetekben (ld. 1. táblázat). Ez mutatja a csúcsosság magassággal való csökkenését és a módusz empirikus értékének magassággal történő növekedését.

3.2. Az évi átlagos kitevő meghatározása

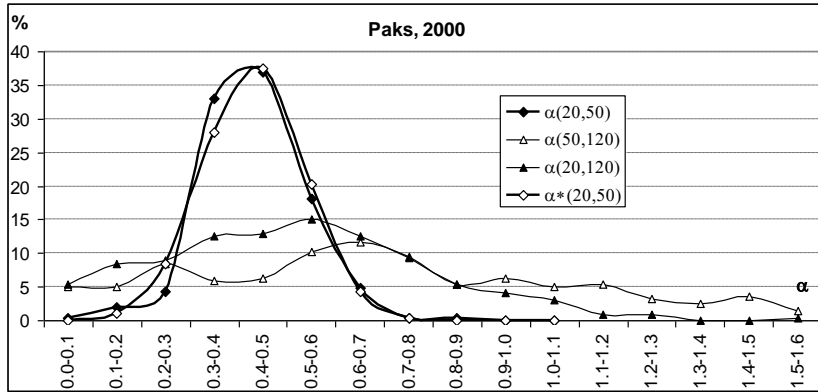
Az 1. táblázatban szereplő éves átlagos szélesebségek alapján már megbecsülhetők az $\alpha(20,50)$, az $\alpha(50,120)$ és az $\alpha(20,120)$ kitevők átlagos értékei. Az (3) összefüggésből a 0,422, a 0,736 és a 0,512 értékeket kapjuk.

A kitevők évi menetének meghatározása viszont ezek naponkénti értékeiből lehetséges, amelyek a kiválasztott két szint napi átlagos szélesebségeiből határozhatók meg. A 2. táblázatban a három kitevő idősorának legfontosabb statisztikai jellemzőit közöljük. Látható, hogy a naponkénti kitevők átlaga valamelyest nagyobb, mint az éves átlagsebességekből számoltak. Az éves változékonyságuk mértékei, a szórás és a variációs együttható, valamint a módusz pedig akkor a legnagyobb, ha kiindulási szintként az 50 m-t választjuk.

2. táblázat A kitevők legfontosabb statisztikai jellemzői (*: a gyakorisági eloszlásokból meghatározva)

	$\alpha(20,50)$	$\alpha(50,120)$	$\alpha(20,120)$
átlag	0,432	0,747	0,519
szórás	0,105	0,456	0,276
var. eh	0,243	0,611	0,531
medián	0,424	0,691	0,512
módusz*	0,450	0,650	0,550

A naponként számolt kitevők eloszlását a 3. ábra mutatja. Az értékek az $\alpha(20,50)$ kitevőnél, azaz a legvékonyabb légréteg esetében mutatják a módusz körüli legnagyobb koncentrációt. Ennek megfelelően ennél a kitevőnél a legnagyobb a csúcosság értéke (1,21), illetve a móduszt tartalmazó és a vele közvetlenül szomszédos intervallumokba eső gyakoriság (88%). Ezek és a 2. táblázat átlag, medián és módusz adatai szerint megpróbálhatjuk az $\alpha(20,50)$ kitevő éves eloszlását a normál eloszlással közelíteni. A 3. ábrán feltüntetettük az így közelített értékeket is, amelyek „szemre” elég jónak látszanak, a χ^2 próba szerint azonban szignifikánsan különböznek a megfigyelt gyakoriságtól.



3. ábra A naponként számolt kitevők gyakorisági eloszlása. $\alpha^*(20,50)$: közelítés a normál eloszlással

A naponkénti kitevők éves menetét is csak az $\alpha(20,50)$ esetében tudjuk vizsgálni, mivel az adathiányok miatt a másik két kitevő időszora nem folytonos. A legfontosabb kérdés, hogy az éves menetben megállapítható-e reális periódus.

Ennek eldöntésére az $\alpha(20,50)$ kitevő idősorát harmonikus analízisnek vetettük alá. Jelölje $f_4(i)$ az $\alpha(20,50)$ i. napon négy hullámból álló trigonometrikus polinommal közelített értékét ($i = 1, 2, \dots, 366$), azaz

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

Az összefüggésben a_0 az átlagot jelöli, $N=366$. Az m . hullám amplitúdója pedig

$$A_m = (a_m^2 + b_m^2)^{1/2} \quad (5)$$

(Dobosi és Felméry 1971, Matyasovszky 2002). Az illesztés/közelítés jóségának mérésére az ún. reziduális szórásnégyzet szolgál:

$$s_m^2 = s_{m-1}^2 - 0,5A_m^2 \quad (6)$$

ahol $s_0^2 = s_n^2$, azaz az idősor szórásnégyzet (Dobosi és Felméry 1971). Látható azonban, hogy az s_m^2 függ az adatok nagyságától, nem alkalmas a különböző elemszámú esetek összehasonlításra. Erre a közelítés relatív mértékét definiál

$$s_{0m} = \frac{s_0^2 - s_m^2}{s_0^2} \quad (7)$$

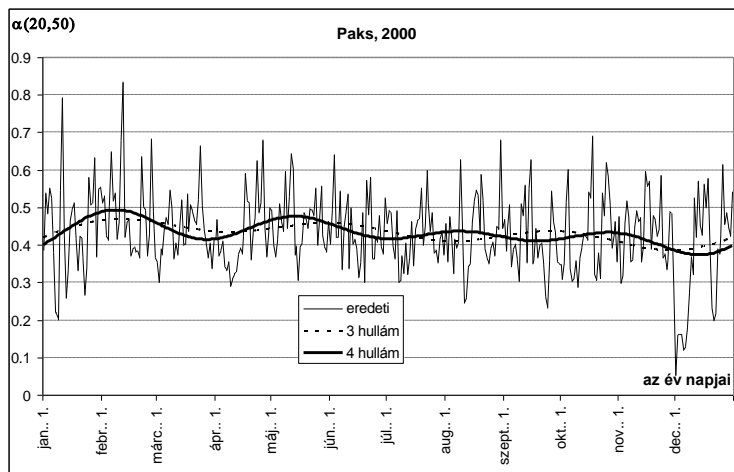
paramétert használtuk, amely már az értékektől függetlennek tekinthető, nem függ tehát az idősor elemeinek nagyságától és elemszámától sem. Az s_m^2 értékei a közelítő polinomok számának növekedtével nyilvánvalóan csökkennek. Tegyük fel, hogy ez nem így van, ekkor $s_m^2 \approx s_0^2$, azaz $s_{0m} \approx 0$. 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 és Kircsi 2001, Tar et al. 2002).

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

$$E = s_n \sqrt{\frac{\pi}{N}} \quad (8)$$

Annak eldöntésére, hogy az m. hullám 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 elrendeződéséből ered, tehát statisztikailag reálisnak tekinthető. Általában az $A_m/E > 2$ érték már elfogadható (p = 0,05), de az időjárási adatok idősorának periódus analízisénel az $A_m/E > 1,5$ esetben (p = 0,17) is reálisnak tekintik az adott hullámot (Koppány 1978).

A 4. ábrán az $\alpha(20,50)$ kitevő éves menetét láthatjuk, valamint a reális periódust mutató 3 és 4 hullámmal közelített értékeit. Ezekben az esetekben ugyanis $A_3/E = 2,16$, $A_4/E = 2,58$, azaz a $366/3 \approx 120$ napos, valamint a $366/4 \approx 90$ napos periódus reálisnak tekinthető. Utóbbi tehát a kitevő határozott évszakos változását jelenti. A közelítés, az illesztés relatív mértéke (ld. (7) összefüggés) azonban igen alacsony, 0,05 és 0,07, amint az ábrából is kiténik. Az is látható, hogy sem az eredeti sem a közelített idősor nem követi hőmérsékleti rétegződéssel való feltételezett kapcsolatát, ami a napi menet esetében egyértelműen látszik.



4. ábra Az $\alpha(20,50)$ kitevő éves menete (eredeti), valamint a reális periódust mutató 3 és 4 hullámmal közelített értékei

3.3. A napi átlagos szélesség becslése adott magasságban a különböző kitevőkkel

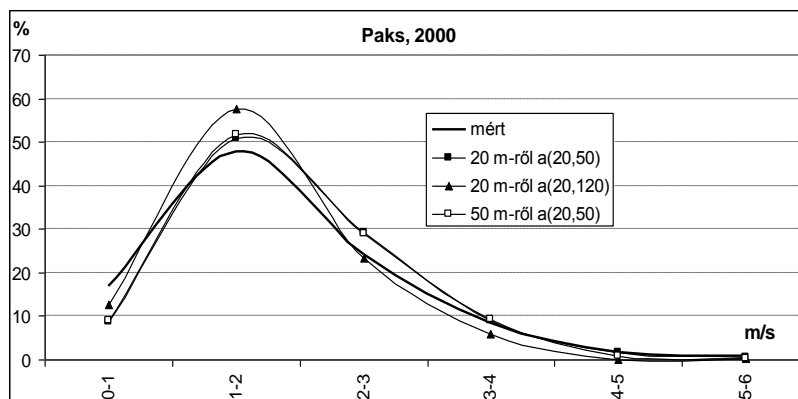
A következőkben azt vizsgáljuk, hogy a fenti három kitevővel adott magasságban becsült napi átlagos szélesség értékei milyen eltéréseket mutatnak. Ennek alapján próbáljuk kiválasztani a statisztikailag legmegbízhatóbb α paramétert. Mindhárom kitevővel mindhárom magasságból előállítjuk a 10 m-es napi átlagos szélességeinek becsült idősorát, majd minden esetben meghatározzuk a legfontosabb statisztikai jellemzőket és az eloszlásokat. A paramétereket összevetjük a 10 m-en mért adatokból számolt értékekkel, az optimális kitevőt pedig az eloszlások homogenitás vizsgálatával választjuk ki.

3. táblázat A három kitevővel mindhárom magasságból előállított 10 m-es napi átlagsebességek legfontosabb statisztikai jellemzői (*: a gyakorisági eloszlásokból meghatározva)

	$\alpha(20,50)$			$\alpha(20,120)$			$\alpha(50,120)$			
	10 m mért	20 m-ről	50 m-ről	120 m-ről	20 m-ről	50 m-ről	120 m-ről	20 m-ről	50 m-ről	120 m-ről
átlag ($m s^{-1}$)	1,80	1,90	1,90	2,00	1,70	1,60	1,70	1,40	1,00	1,00
szórás ($m s^{-1}$)	0,90	0,84	0,78	0,80	0,71	0,61	0,63	0,55	0,38	0,34
var. eh.	0,49	0,43	0,41	0,39	0,41	0,39	0,37	0,39	0,37	0,34
maximum ($m s^{-1}$)	5,60	5,50	5,00	5,00	5,10	4,40	4,10	3,40	2,20	2,30
minimum ($m s^{-1}$)	0,40	0,50	0,20	0,10	0,60	0,50	0,50	0,50	0,40	0,30
medián ($m s^{-1}$)	1,70	1,80	1,80	1,90	1,60	1,50	1,70	1,30	1,00	1,00
módusz ($m s^{-1}$)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,50	0,50

A 3. táblázatban megadjuk a három kitevővel mindhárom magasságból előállított 10 m-es napi átlagsebességek legfontosabb statisztikai jellemzőit.

A táblázat szerint az $\alpha(50,120)$ kitevővel előállított 10 m-es napi átlagsebességek paraméterei igen jelentős különbségeket mutatnak a mért értékekéhez képest. A másik két kitevő esetében a különbségek akkor a legkisebbek, amikor a kiindulási magasság 20 m. Optimálisnak az $\alpha(20,50)$ kitevő látszik.



5. ábra A 10 m-en mért, valamint a 20 m-ről és 50 m-ről 10 m-re számolt napi átlagos szélességek homogénnek tekinthető eloszlása

Optimálisnak azt a kitevőt fogadjuk el, amellyel a 10 m-es szintre becsült napi átlagos szélsőségek eloszlása homogénnek tekinthető az ottani mért értékek eloszlásával. A homogenitás vizsgálatot a χ^2 próbával (Dévényi és Gulyás 1988) 9 esetben elvégezve elfogadható szignifikancia szinten (0,05 vagy 0,01) a 10 m-es mért és a becsült adatokból meghatározott eloszlások csak három esetben tekinthetők homogénnek. A 20 m-ről transzformált adatokból az $\alpha(20,50)$ és az $\alpha(20,120)$ kitevők, az 50 m-ről transzformált adatokból pedig a $\alpha(20,50)$ kitevő felhasználásával. Ezeket az eloszlásokat az 5. ábra mutatja.

Az ábrából az is látszik, hogy az $\alpha(20,50)$ kitevővel 20 m-ről és 50 m-ről becsült gyakoriságok igen jó közelítéssel egyenlők. A 3. táblázat és az 5. ábra alapján tehát levonható az a következtetés, hogy esetünkben ez az optimális kitevő.

3. ÖSSZEGZÉS

A statisztikailag legmegbízhatóbb Hellman-kitevő kiválasztását célzó vizsgálatunk előtt az volt a hipotézisünk, hogy ez a legvastagabb légréteghez – esetünkben a 20 m-hez és a 120 m-hez – tartozó szélsőségekből fog adódni. Ennek ellenkezője adódott: a részletes statisztikai elemzés során legvékonyabb réteget határoló 20 és 50 m-es szintek méréseiből meghatározott $\alpha(20,50)$ kitevő bizonyult ilyennek. Némileg elbizonytalanítja ezt az eredményt, hogy a verifikációhoz nem egy magasabb szint szélsőségeit használtuk, ahogyan erre a szélpotenciál meghatározásánál szükség van. Ilyen jellegű vizsgálatot fogunk emiatt lefolytatni a SODAR mérések adataiból is, amikor is lényegesen több szint mért szélsőségei állnak rendelkezésünkre.

Köszönetnyilvánítás: A szerző köszönetét fejezi ki az Országos Meteorológiai Szolgálatnak a kutatásaihoz felhasznált adatok biztosításáért.

IRODALOMJEGYZÉK

- Aujeszky L (1949) Meteorológiai előmunkálatok a magasépítésben végzendő szélterhelés számításokhoz. Időjárás 53:15-25
- Bíróné Kiresi A, Tar K (2007) Profilvizsgálatok a szél energetikai hasznosításához. In: Erdő és klíma V. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 83-103
- Dévényi D, Gulyás O (1988) Matematika statisztikai módszerek a meteorológiában. Tankönyvkiadó, Budapest
- Dobosi Z, Felméry L (1971) Klimatológia. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest
- Keveiné Bárány I (1991) A szél erő hasznosítás éghajlati adottságai az Alföldön. Földrajzi Értesítő 40:355-369
- Keveiné Bárány I (2000) Adatok a szél erő-hasznosítás alföldi lehetőségeihez. In: Megújuló energiaforrások-bioüzemanyagok. 44-50.
- Keveiné Bárány I (2001) A szélenergia potenciál és a farmgazdaságok vízvízszüksége közötti kapcsolat a Dél-Alföldön. A szélenergia hasznosítása a vízgazdálkodásban. A Magyar Szélenergia Társaság Kiadványai 1:45-52
- Kiresi A, Tar K (2008) Profile-tests for utilizing wind energy. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 4:107-123
- Koppány Gy (1978) Távprognosztika II. Tankönyvkiadó, Budapest
- kormany.hu (2016) www.kormany.hu/hu/nemzeti-fejlesztési-miniszterium
- Ledács-Kiss A (1977) Magyarország szélenergiakincsének nagyságrendje. Energia és Atomtechnika 30:461-464
- Ledács-Kiss A (1983) A szélenergia hasznosításának lehetőségei Magyarországon. Energia és Atomtechnika 36:173-186
- Matyasovszky I (2002) Statisztikus klimatológia. Idősorok elemzése. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest
- Mezősi M, Simon A (1981) A meteorológiai szél mérés elmélete és gyakorlata. Meteorológiai Tanulmányok 36
- NCDC (2016) www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html

- Patay I (2001a) Szélerőművek üzemviszonyainak elemzése. In: Szélerenergia konferencia előadásai. Magyar Szélerenergia Tudományos Egyesület, 54-60
- Patay I (2001b) Szélerőművek üzemviszonyainak modellezése. TSF Tudományos Közlemények 1:1
- Patay I (2003) A szélerenergia hasznosítása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- Péczely Gy (1979) Éghajlattan. Tankönyvkiadó, Budapest
- Radics K (2004) A szélerenergia hasznosításának lehetőségei Magyarországon: hazánk szélklimája, a rendelkezésre álló szélerenergia becslése és modellezése. Doktori (PhD) értekezés, ELTE, Budapest
- Tar K (1991) Magyarország szélklimájának komplex statisztikai elemzése. Az Országos Meteorológiai Szolgálat kisebb kiadványai 67
- Tar K, Kircsi A (2001) A szélirányok néhány statisztikai jellemzőjének időbeli változása Magyarországon. In: Dr. sen. Berényi Dénes születésének 100 éves jubileumi ünnepe. Debreceni Egyetem, 245-262
- Tar K, Szegedi S (2009) Alteration of potential wind energy with height and parts of the day. J Electric Electron Engineer 2:206-210
- Tar K, Kircsi A, Szegedi S, Makra L, Puskás J (2008) Energetic wind profile examinations in Hungary. In: Proceedings of 9th Conference of meteorology, climatology and atmospheric physics, Thessaloniki, 781-788
- Tar K, Kircsi A, Vágvölgyi S (2002) Temporal changes of wind energy in connection with the climatic change. In: Proceedings of the Global Windpower Conference and Exhibition, Paris, France
- Tóth G, Horváth G, Tóth L (2001) Energetikai célú szélmérés és széltérkép készítése. In: Szélerenergia konferencia előadásai. Magyar Szélerenergia Tudományos Egyesület, 6-10