

Energetikai célú szélmérések

Dr. Tóth László DSc egyetemi tanár

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet

2103 Gödöllő, Páter K. u. 1.

Toth.Laszlo@gek.szie.hu

Schrempf Norbert tanszéki mérnök

SZIE-GÉK-FOMI, MTA-TKI

2103 Gödöllő, Páter K. u. 1.

Schrempf.Norbert@gek.szie.hu

Dr. Tóth Gábor PhD.

gabor.toth@eon-hungaria.com

1. A VIZSGÁLATOK CÉLJA

Az NKFP projekt keretein belül a Szent István Egyetem - együttműködve a Magyar Szélenergia Tudományos Egyesülettel - a magyarországi széltérkép elkészítéséhez energia célú szélmérések végzését vállalta, amelyeket mindegy 25 mérési helyen el is végzett. Ezek célja: az OMSZ hosszú távú adatbázisára alapozva készült vetítésekhez – különféle magasságokban – konkrét adatokat szolgáltatson adott területek szélviszonyairól. Cikkünkben e bonyolult mérési, kalkuláció és becslési folyamat bemutatására vállalkozunk – természetesen nem a teljesség igényével – amely kiterjed az elméleti és a ténylegesen kinyerhető szélenergia meghatározására. Az utóbbi esetben figyelembe vettük az adott terület topográfiai és felületi érdességi viszonyait, és meghatározza a területre jellemző több irányú szélprofil, a berendezések kiválasztása szempontjából fontos turbulencia jellemzőket, a széllokések mértékét, gyakoriságát és jellegét. E cikkben terjedelmi korlátok miatt csak a legfontosabbakat mutatjuk be, a mérések kivitelezésétől (eszközök, módszerek, stb.) eltekintünk, azokat egy másik cikkünkben mutatjuk be.

2. A JELLEMZŐBB SZÁMÍTÁSI FORMULÁK

A kinyerhető energia számításához a területen ismert matematikai formulákat (valószínűségi számításokat) használtunk.

Az A keresztmetszeten, v sebességgel átáramló levegő tömegárama:

$$m^* = \rho Av \quad [\text{kg/s}],$$

amelynek egy másodpercre vonatkozó mozgási energiája:

$$P_k = \frac{1}{2}(\rho Av)v^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad [W]$$

Ahol:

ρ - a levegő sűrűsége [kg/m³],

A – a vizsgált (pl. generátoroknál a rotor által súrolt) felület [m²],

v - a zavartalan szél sebessége [m/s].

A szélerőművek a szélben lévő teljesítménynek csak egy részét képesek hasznosítani, mégpedig

$$P_{\max} = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A v_{\infty}^3 \quad (\text{kW})$$

Ez a Betz-maximum, értéke a max. potenciál 59,3 %-a. A gyakorlatban, egyrészt technikai okokból, másrészt a szél változásai miatt további veszteségek lépnek fel.

Szélgenerátoroknál a v_i = indulási, v_n = névleges és v_{\max} = maximális szélességek hatása az átlagos teljesítményre, eltérése a P_{Gn} = névleges teljesítménytől:

$$P_{G,\text{átl}} = P_{Gn} \left[\frac{e^{-\left(\frac{v_i}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{v_n}{c}\right)^k}}{\left(\frac{v_n}{c}\right)^k - \left(\frac{v_i}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{v_{\max}}{c}\right)^k} \right] \quad (\text{kW})$$

Tényezőit a Weibull eloszlásfüggvény adja:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

A Weibull tényezőt: k alak-: c , méret tényezőket a helyi szélességek határozzák meg ($c \approx 1,12 v_{\text{á}}$, ahol: $v_{\text{á}}$ = mért átlagos szélesség).

A K_F kihasználási tényező bevezetésével:

$$P_{G,\text{átl}} = P_{Gn} K_F = \eta_e \frac{\rho}{2} A_2 v_n^3 K_F \quad (\text{kW})$$

η_e = aerodinamikus, villamos, mechanikus hatástényezők együttesen.

Az erőmű éves energiatermelés

$$E = P_{G,\text{átl}} \cdot t_{\text{év}} = K_F P_{Gn} 8760 \quad (\text{kWh})$$

De a rendelkezésünkre álltak e számításokat tartalmazó, s erre a célra létrehozott programok, így az

- AMMONIT ALWIN és a
- WindPRO 2.4, ill. 2.5

Példa gyanánt bemutatjuk a mérési adatokból e programok alapján kapott jellemző ábrákat, amelyek segítségével a várható energiatermelést és a szélerőműre ható, a gépek kiválasztásánál, statikai méretezésénél (alapozás) fontos tényezőket határozhatjuk meg.

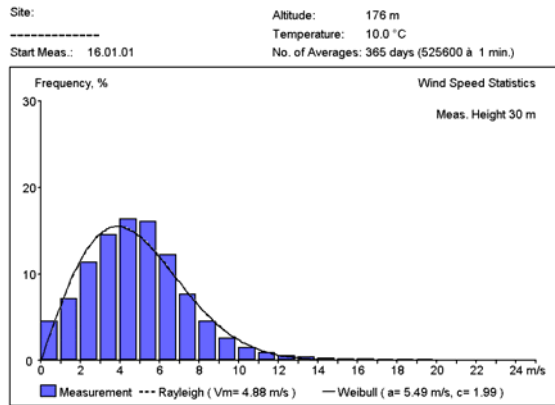
3. EREDMÉNYEK (PÉLDÁK)

3.1. ÉRTÉKELÉS AZ AMMONIT ALWIN(egyszerű) program alapján

A következőkben egy általános kiértékelését mutatunk be. A mérés 15 és 30 m-es magasságokban folyt kanalas anemométerekkel, síkvidéki viszonyok között, mezőgazdasági területeken. A két mérési magassággal a szélprofil ellenőrizhető, a későbbi vetítési magasság miatt. A kiértékelés adatait itt a 30 m-es magasságban kapott értékekkel szerepeltetjük (1., 2. és 3. ábrák).

Wind Speed Statistics 30.0 m

V, m/s	F(meas), %	F(ray), %	F(wei), %
0- 1:	4.46	3.24	3.32
1- 2:	7.09	9.11	9.23
2- 3:	11.28	13.32	13.40
3- 4:	14.49	15.32	15.34
4- 5:	16.29	15.15	15.12
5- 6:	15.97	13.34	13.27
6- 7:	12.17	10.64	10.57
7- 8:	7.64	7.75	7.70
8- 9:	4.46	5.20	5.16
9-10:	2.48	3.22	3.20
10-11:	1.44	1.85	1.84
11-12:	0.89	0.98	0.98
12-13:	0.53	0.49	0.49
13-14:	0.30	0.22	0.23
14-15:	0.19	0.10	0.10
15-16:	0.13	0.04	0.04
16-17:	0.09	0.01	0.01
17-18:	0.05	0.00	0.01
18-19:	0.03	0.00	0.00
19-20:	0.02	0.00	0.00
20-21:	0.00	0.00	0.00
21-22:	0.00	0.00	0.00
22-23:	0.00	0.00	0.00
23-24:	0.00	0.00	0.00
24-25:	0.00	0.00	0.00

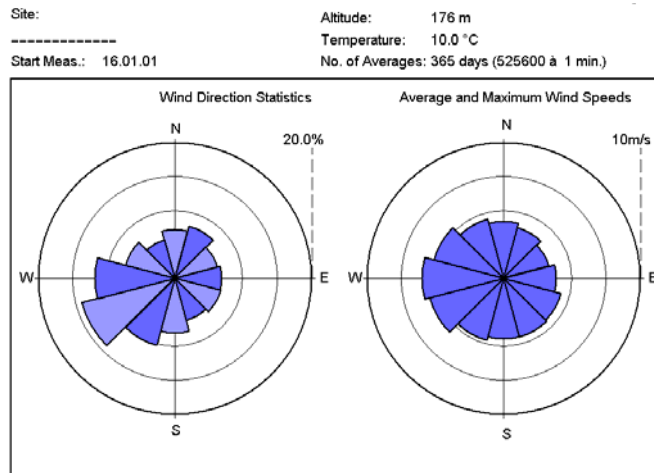


a)

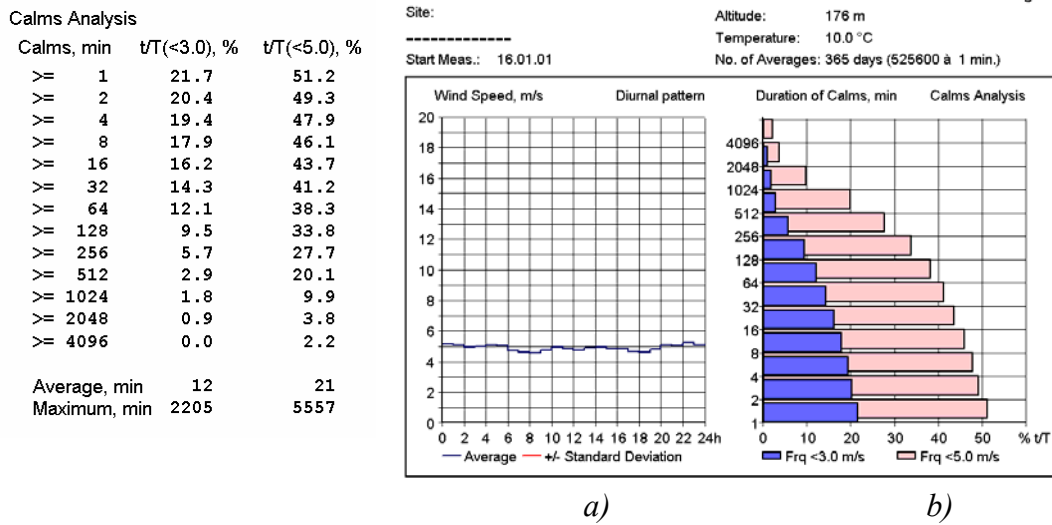
b)

1. ábra 30 m magasságban az átlagos szélességek alakulása az év során a mérési adatokkal, valamint Rayleigh és Weibull eloszlási függvények szerint (a – táblázat, b – ábrázolva).

Sector, °	Frq. %	Avg, m/s	Max, m/s
345- 15:	7.3	4.2	0.0
15- 45:	8.0	3.9	0.0
45- 75:	6.5	3.5	0.0
75-105:	6.9	3.9	0.0
105-135:	7.1	4.3	0.0
135-165:	6.5	4.5	0.0
165-195:	8.1	4.5	0.0
195-225:	10.3	4.8	0.0
225-255:	14.1	5.6	0.0
255-285:	11.8	6.0	0.0
285-315:	7.5	5.3	0.0
315-345:	5.9	4.5	0.0



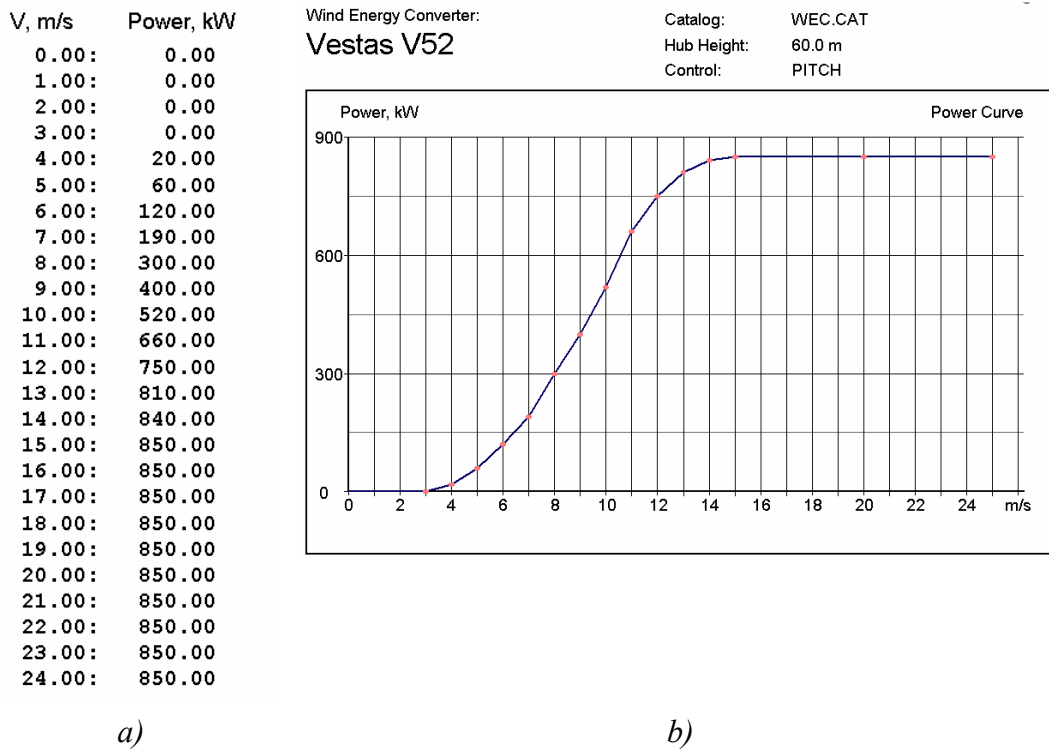
2 ábra Szélirányok %-os alakulása az év során (táblázat) illetve az átlagos szélességek a szélirányok %-os alakulása szerint az év során



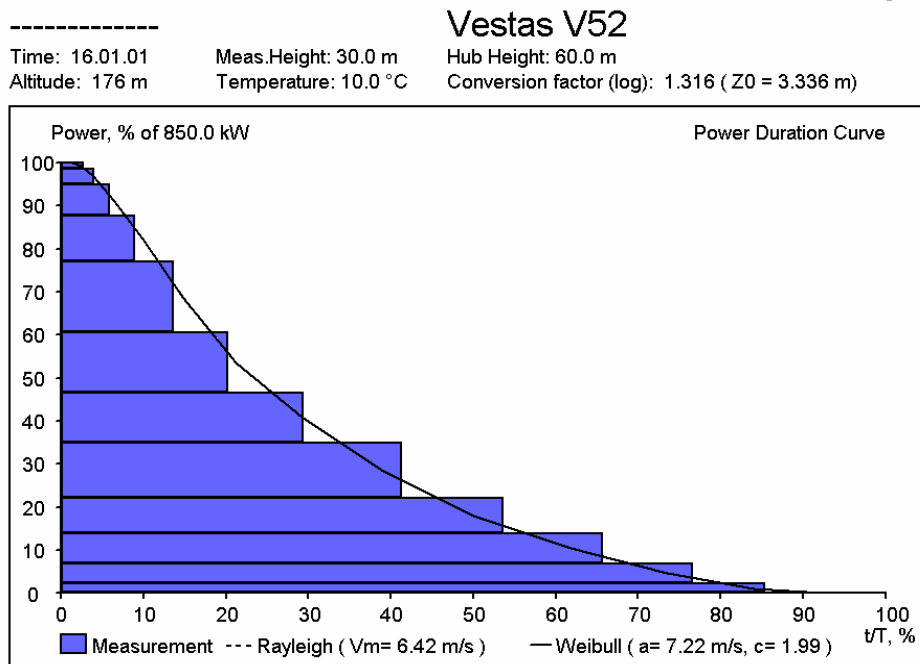
3 ábra A szélesség analízis: a) - a napi órás átlagos szélesség eloszlás, b) a 3, ill. kisebb, valamint az 5, ill. kisebb szélességek % aránya az év során.

Teljesítmény jellemzők

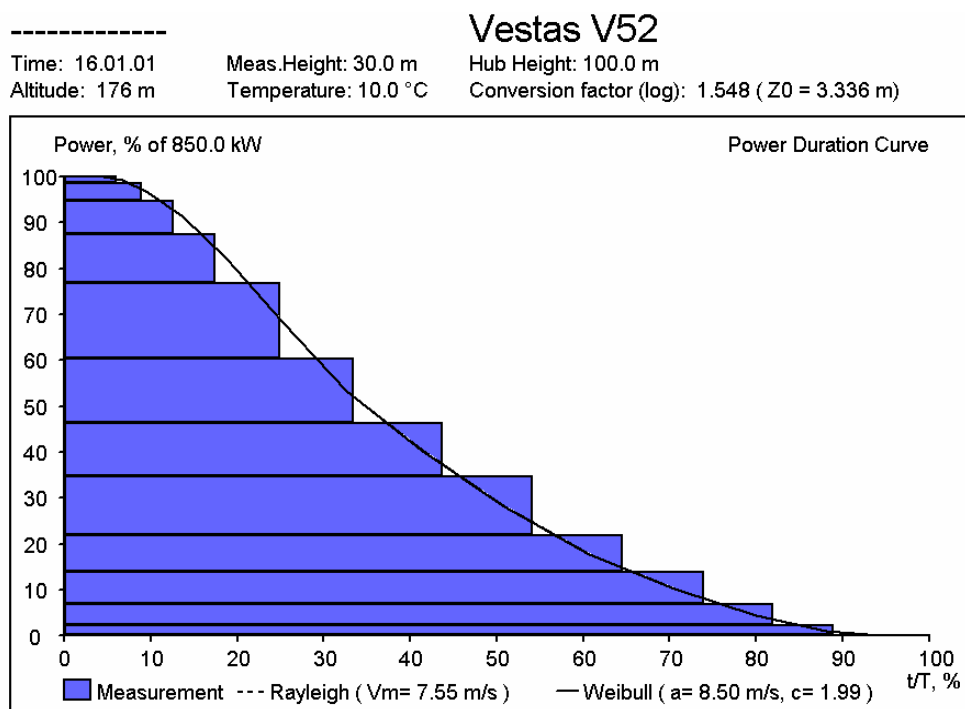
(Meghatározott gépre, a gyára által szolgáltatott és független szakértőkkel ellenőrzött adatok alapján)



4 ábra Példa a választott VESTAS 800 kW névleges teljesítményű Pitch rendszerű generátor teljesítmény jelleggörbéje a szélesség függvényében (a – táblázat, b – grafikon).



5 ábra VESTAS 800 kW-os szélérőmű teljesítmény potenciáljának kihasználása
 60m-es tornyon



6 ábra
 VESTAS 800 kW os szélérőmű teljesítmény potenciáljának kihasználása
 100m-es tornyon

Az energiatermelés és a gépkihhasználás összehasonlítása

a) 60 m illetve b) 100m magas torony esetén.

A termelési növekmény: 735 400 kWh/év.

<p>Calculated from Measurement:</p> <p>Average Power: 222.3 kW</p> <p>Energy (meas.): 1947.0 MWh</p> <p>Capacity Factor: 26.1 %</p> <p>Calculated from Rayleigh Distribution:</p> <p>Average Power: 220.5 kW</p> <p>Energy (meas.): 1931.2 MWh</p> <p>Capacity Factor: 25.9 %</p> <p>Calculated from Weibull Distribution:</p> <p>Average Power: 219.3 kW</p> <p>Energy (meas.): 1921.5 MWh</p> <p>Capacity Factor: 25.8 %</p>	<p>Calculated from Measurement:</p> <p>Average Power: 306.2 kW</p> <p>Energy (meas.): 2682.4 MWh</p> <p>Capacity Factor: 36.0 %</p> <p>Calculated from Rayleigh Distribution:</p> <p>Average Power: 301.3 kW</p> <p>Energy (meas.): 2639.8 MWh</p> <p>Capacity Factor: 35.5 %</p> <p>Calculated from Weibull Distribution:</p> <p>Average Power: 299.8 kW</p> <p>Energy (meas.): 2626.5 MWh</p> <p>Capacity Factor: 35.3 %</p>
--	--

a)

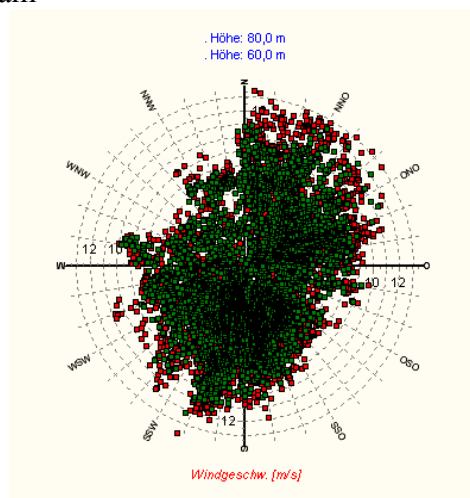
b)

a-részlet: (5 ábra) az átlagos és az évi energiatermelést, valamint a gépkihhasználást mutatja a diszkrét adatok számítása, valamint a két használatos eloszlásfüggvény szerint 60 m magas tornyon (VESTAS 800 kW névleges teljesítményű Pitch rendszerű generátor esetén, a mérési adatokkal, valamint Rayleigh és Weibull eloszlási függvényekkel számítva, az átlagos szélességek 30 m-ről 60 m-re.)

b részlet: (6 ábra) az átlagos és az évi energiatermelést, valamint a gépkihhasználást mutatja a diszkrét adatok számítása, valamint a két használatos eloszlásfüggvény szerint 100 m magas tornyon, (VESTAS 800 kW névleges teljesítményű Pitch rendszerű generátor esetén, a mérési adatokkal, valamint Rayleigh és Weibull eloszlási függvényekkel számítva, az átlagos szélességek 30 m-ről 100 m-re).

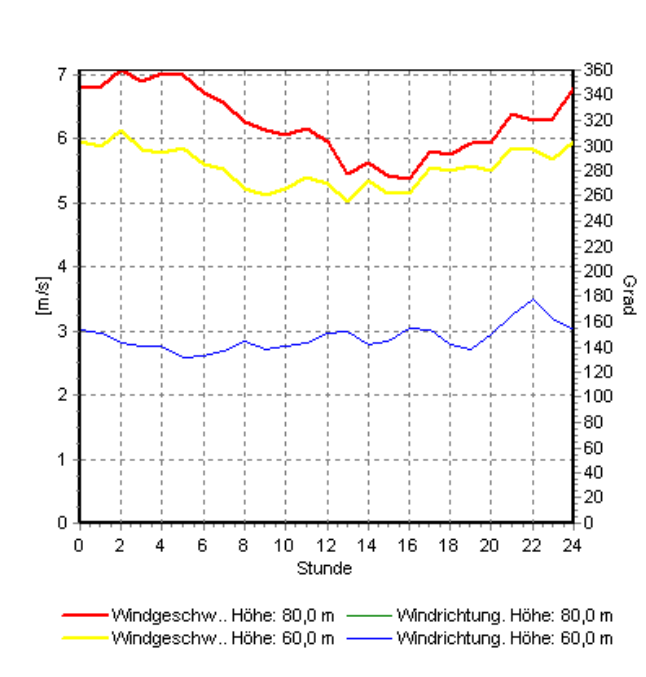
3.2 EREDMÉNYEK A RÉSZLETESEBB MÉRÉSEK ÉS ÉRTÉKELÉSEK ALAPJÁN

WindPRO 2.4, ill. 2.5 program



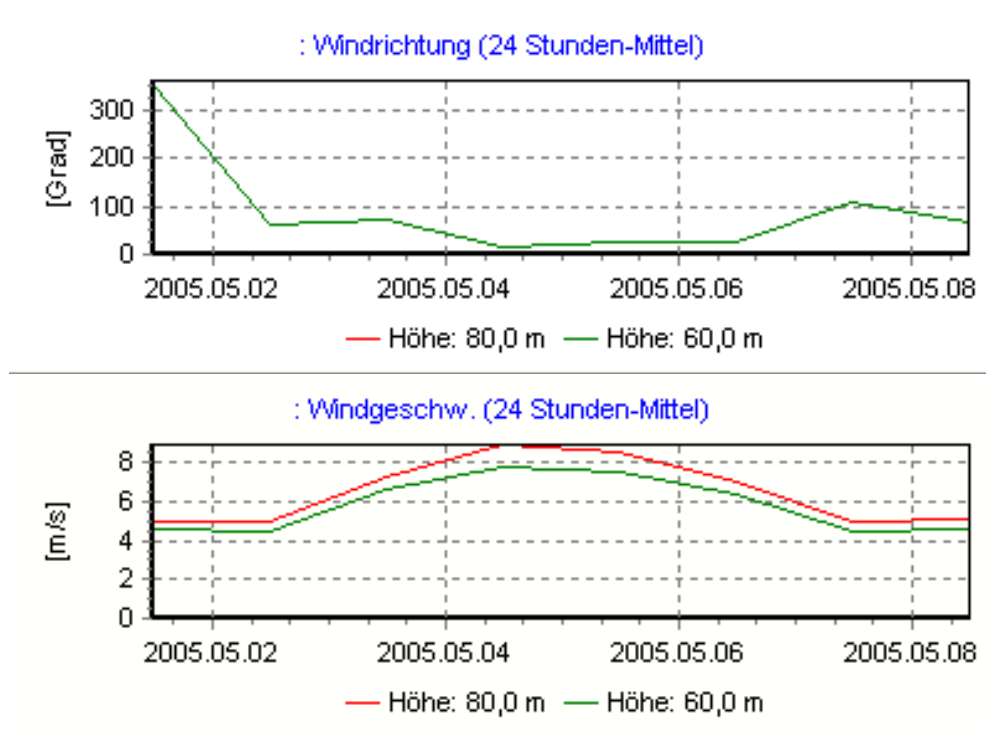
7. ábra

10 perces szélesség átlagok halmaza a szélirányok szerint



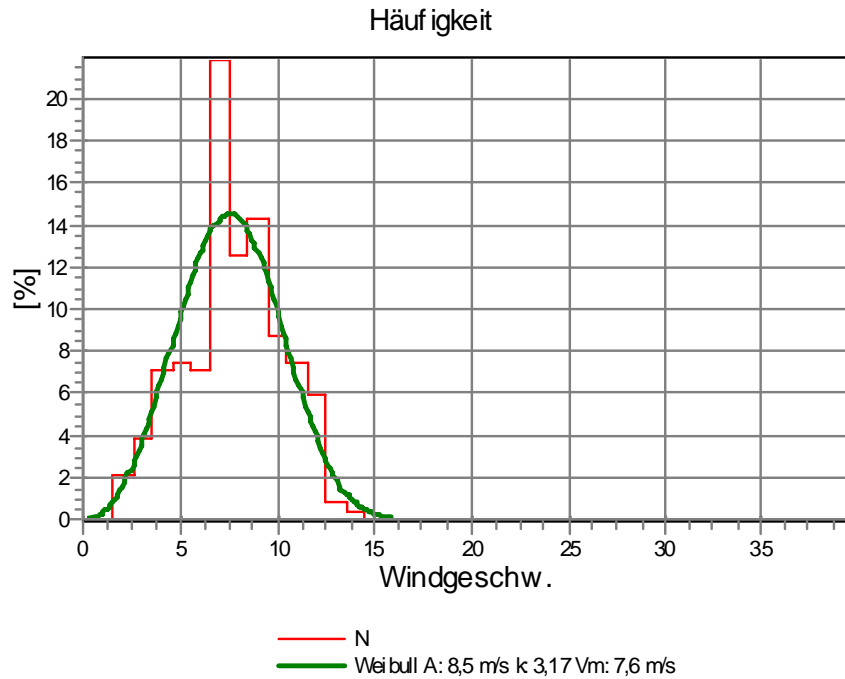
8. ábra

Egy nap során az átlagos szélesebbesség (két magasságban) és az átlagos szélirány fokokban



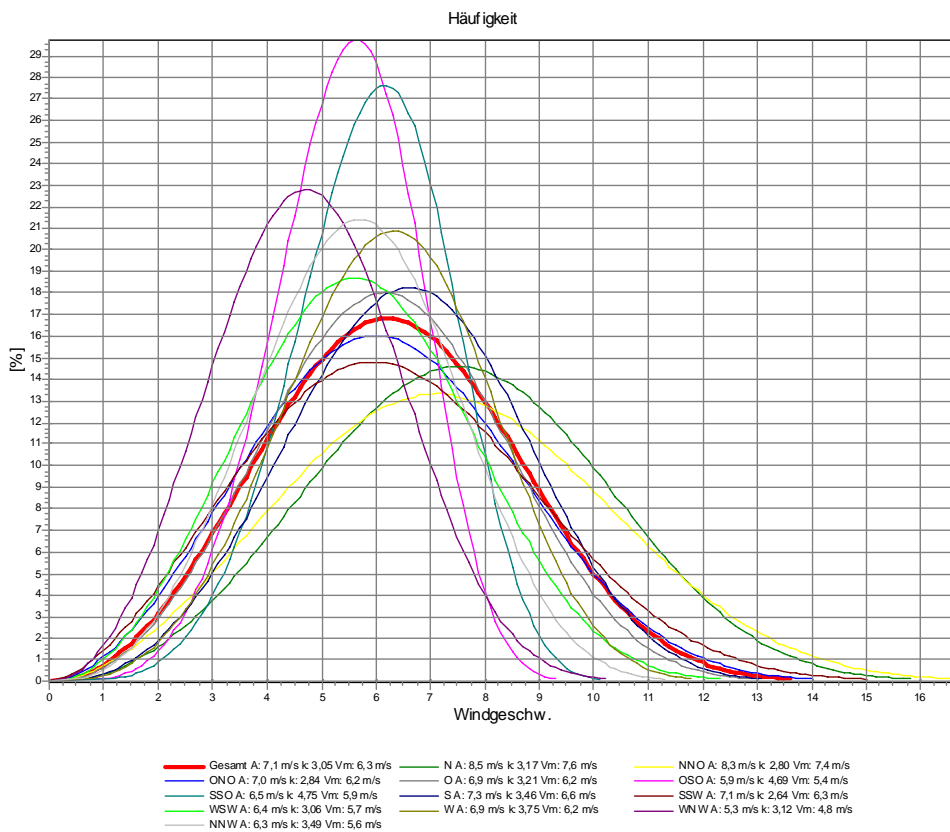
9. ábra

Több nap során az átlagos szélesebbesség két magasságban és az átlagos szélirány fokokban



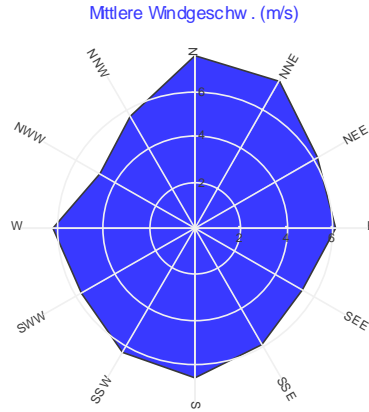
10. ábra

A szélesség diszkrét és Weibull szerinti eloszlása egy (északi) irányból



11. ábra

A szélességek Weibull szerinti eloszlása 12 szélirányból, ill. azok átlaga

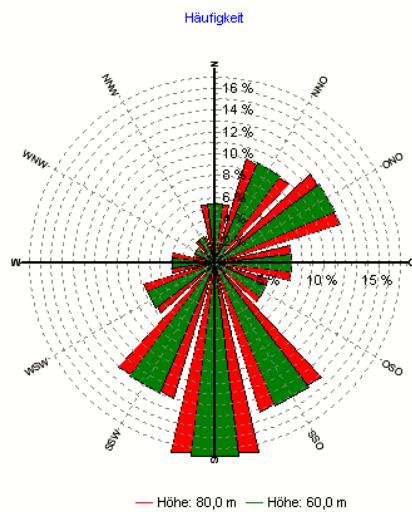


12. ábra

Az átlagos szélesség szélirány szerint

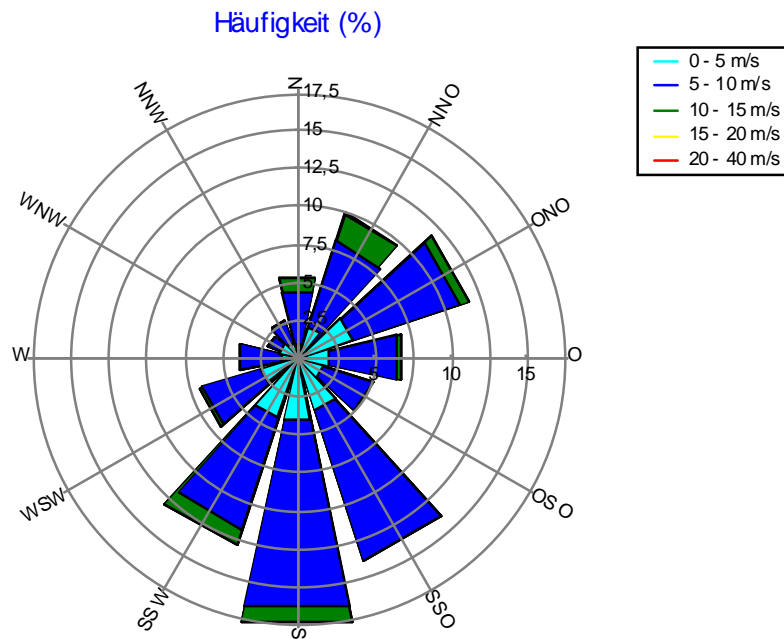
Az energetikai számítások alapjául szolgáló legfontosabb paraméterek

Szektor	Weibull c-paraméter (m/s)	Közepes szélesség. (m/s)	k- paraméter	Eloszlás (%)	Hellmann paraméter
Átlag	7,085	6,331	3,046	100	-
1	8,473	7,586	3,175	5,408	0,2761
2	8,329	7,417	2,801	9,975	0,3767
3	6,994	6,231	2,836	11,997	0,2957
4	6,923	6,201	3,208	7,044	0,5161
5	5,941	5,435	4,689	5,158	0,6775
6	6,474	5,927	4,749	14,247	0,5749
7	7,313	6,576	3,464	17,814	0,3815
8	7,137	6,342	2,643	13,02	0,5617
9	6,385	5,707	3,058	6,794	0,4602
10	6,865	6,2	3,749	3,954	0,3396
11	5,332	4,77	3,118	2,022	0,3104
12	6,28	5,649	3,489	2,568	0,4801



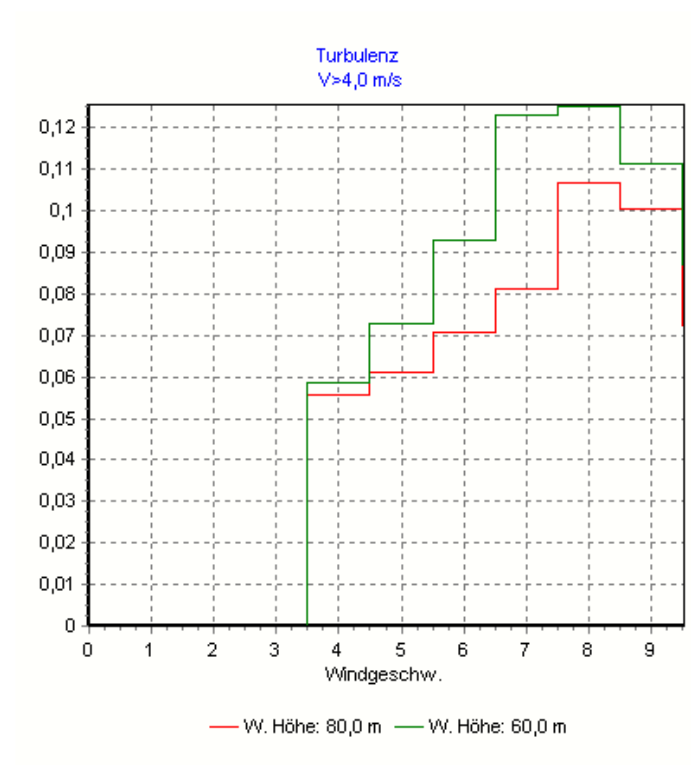
13. ábra

Szélirányok százalékos megoszlása



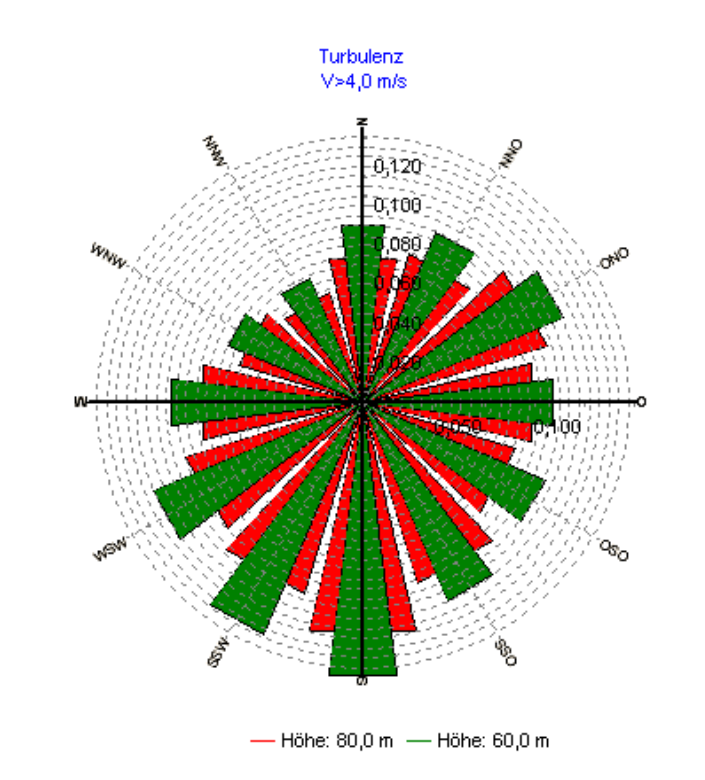
14. ábra

A szélirányok százalékos megoszlása szélesebbesség tartományok szerint



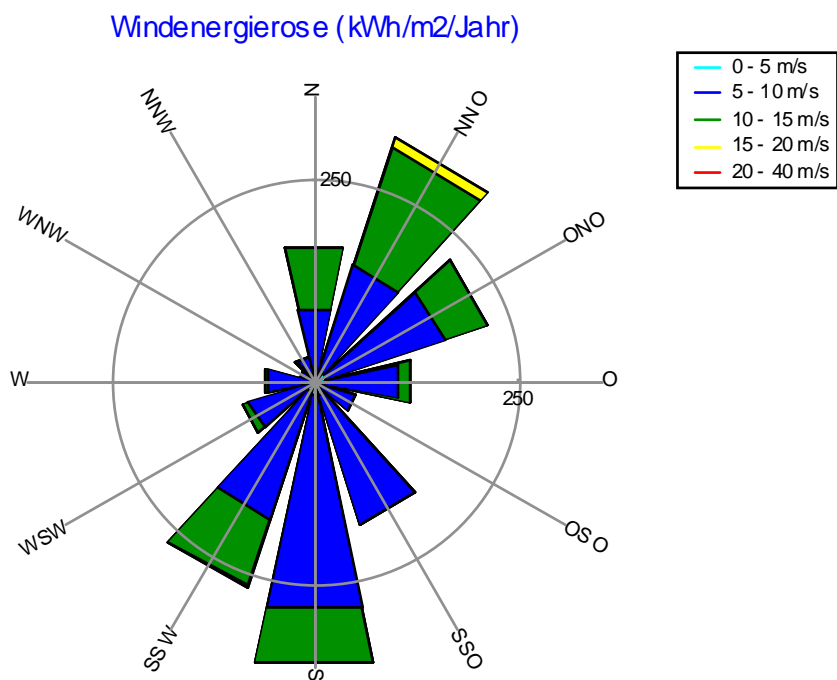
15. ábra

A 4 m/s-nál nagyobb szélesebbességéknél a turbulencia alakulása a két mérési magasságban



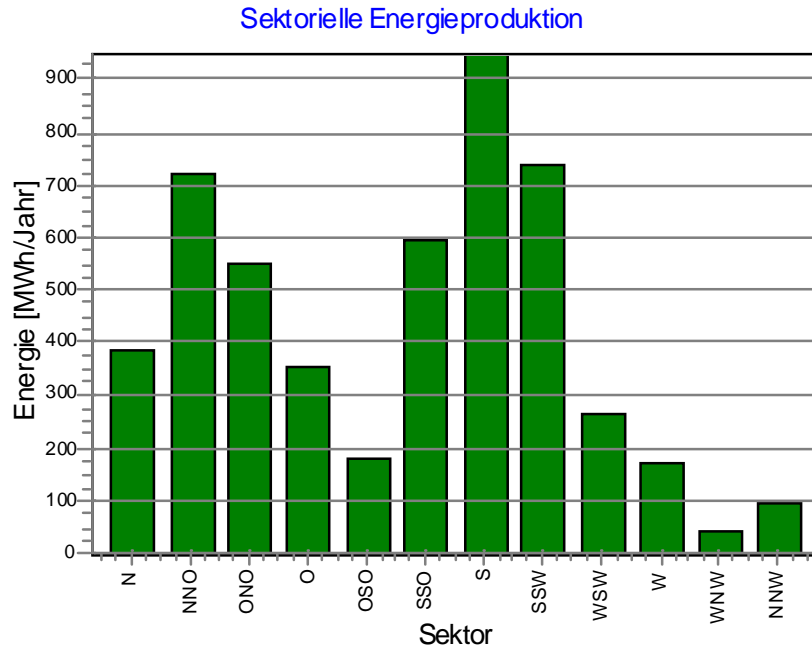
16. ábra

A 4 m/s-nál nagyobb szélesebességeknél a fő szélirányok szerint a turbulencia alakulása, a két mérési magasságban



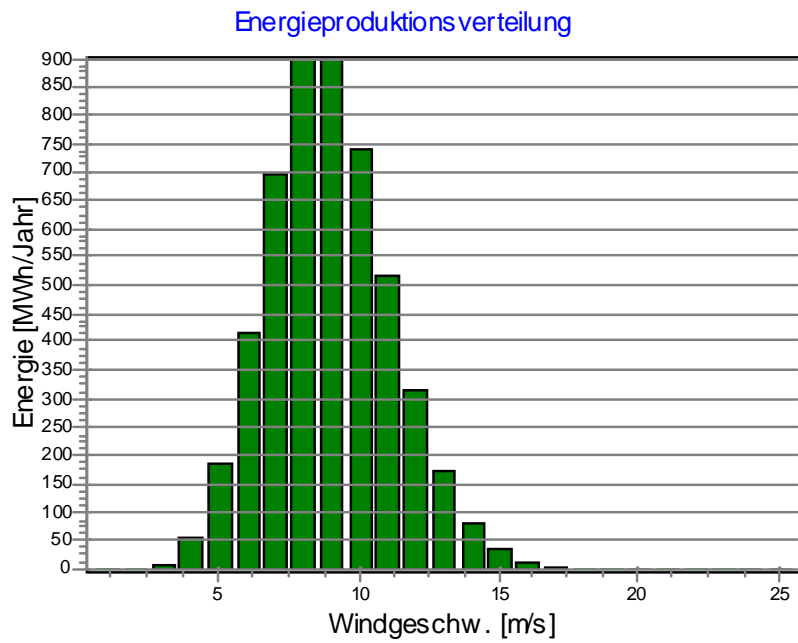
17. ábra

A várható évi energiatermelés (teoretikus) szélirányok és szélesebesség tartományok szerint



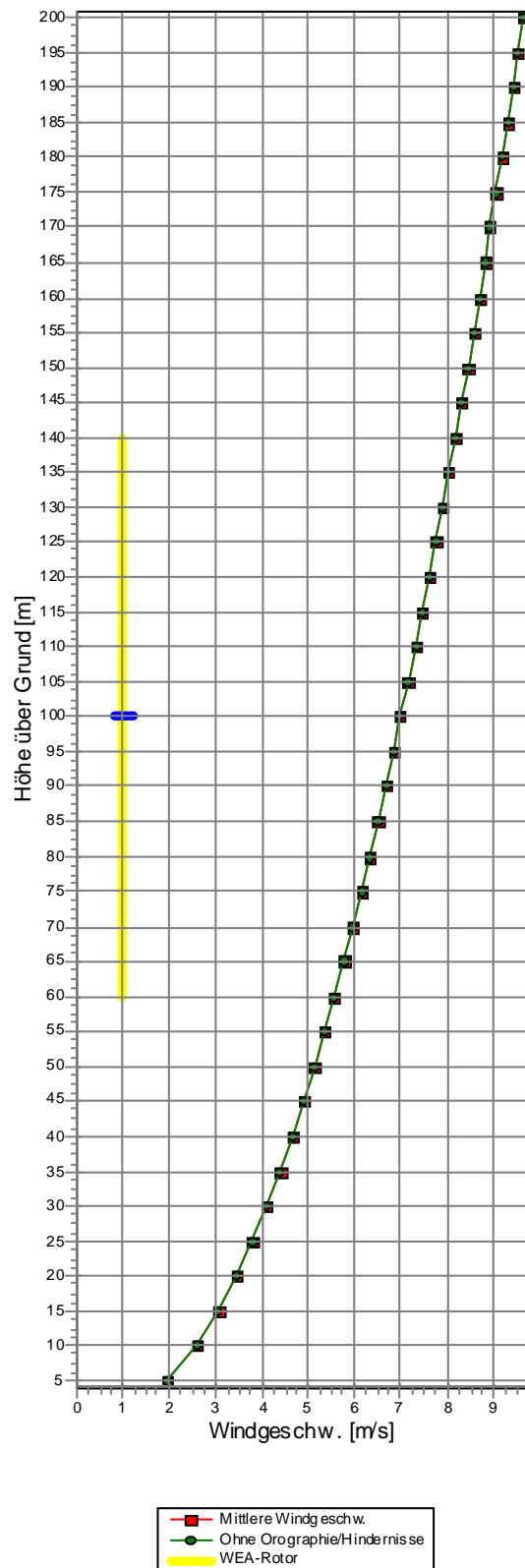
18. ábra

A várható évi energiatermelés (teoretikus) szélirányok szerint

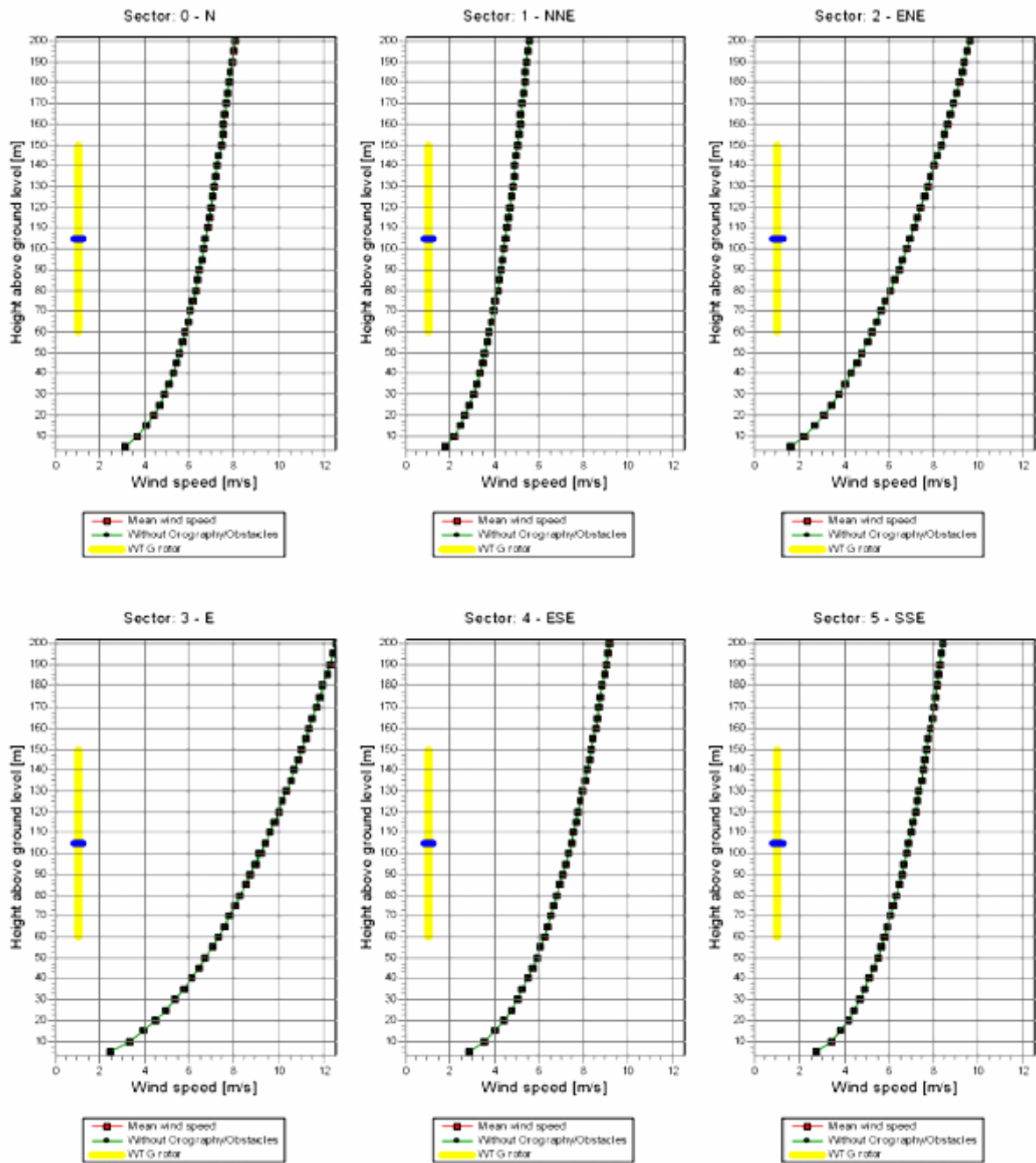


19. ábra

A várható évi energiatermelés (teoretikus) szélesség tartományok szerint



20. ábra
 Aterületre jellemző átlagos szélprofil alakulás a Hellmann tényezők felhasználásával



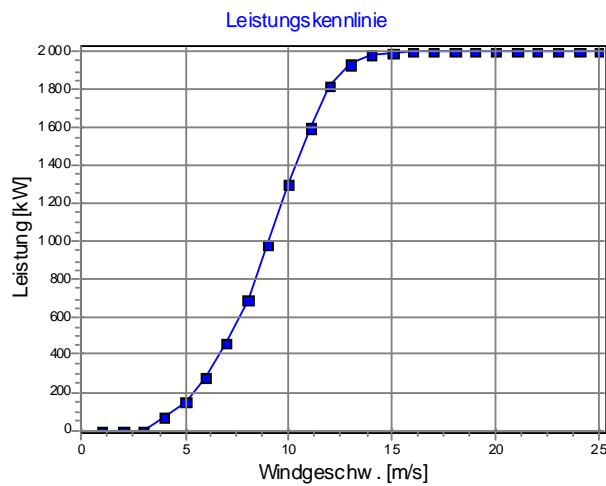
21. ábra

A szélprofilok alakulás a különféle irányokból kapott Hellmann tényezők felhasználásával

4. ENERGIATERMELÉS A MÉRÉSI HELYEN KONKRÉT SZÉLERŐMŰ ADATAI ALAPJÁN

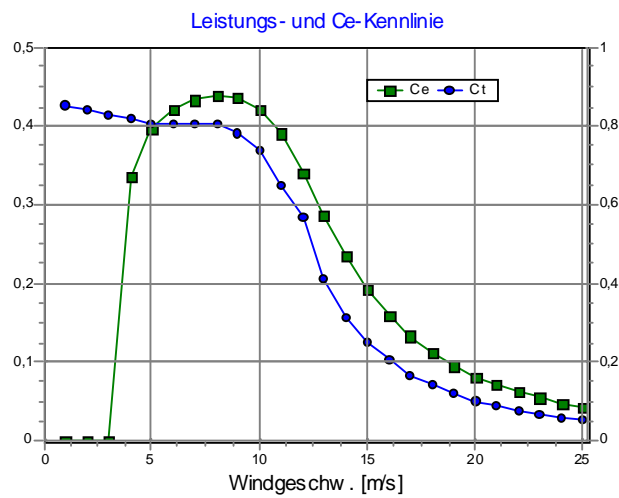
A telepítendő szélérőmű adatai

Firma	VESTAS
Typ/Version	V80-2.0MW
Nennleistung	2 000,0 kW
zweiter Generator	0,0 kW
Rotordurchmesser	80,0 m
Turm	konisch
Netzfrequenz	50 Hz
Herkunftsland	DK
Blatt-Typ	VESTAS 39
Generatortyp	variabel
Nennndrehzahl	16,7 U/min
Einschalt-drehzahl	9,0 U/min
Nabenhöhe(n)	78,0; 60,0; 67,0; 100,0 m
Maximale Blatttiefe	3,52 m
Blatttiefe bei 90% Radius	0,50 m



21. ábra

A telepítendő szélérőmű teljesítménye a szélesebbég függvényében



22. ábra

A telepítendő szélérőmű teljesítmény- és nyomatéktényezője a szélesebbég függvényében

Az összesített adatbázis

Sektor		0 N	1 NNO	2 ONO	3 O	4 OSO	5 SSO	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Gesamt
Raugkeitsabhängige Energie	[MWh]	388,5	720,6	553,0	353,8	178,1	595,0	948,7	736,8	266,3	171,1	41,3	94,9	5 048,2
Resultierende Energie	[MWh]	388,5	720,6	553,0	353,8	178,1	595,0	948,7	736,8	266,3	171,1	41,3	94,9	5 048,2
Spezifische Energie	[kWh/m ²]													1 004
Spezifische Energie	[kWh/kW]													2 524
Windrichtungsabhängige Verteilung	[%]	7,7	14,3	11,0	7,0	3,5	11,8	18,8	14,6	5,3	3,4	0,8	1,9	100,0
Ausnutzungsgrad	[%]	37,9	35,8	41,0	41,4	43,3	43,4	41,6	38,4	42,2	42,8	41,9	42,8	40,2
Betriebsdauer je Sektor	[Stunden/Jahr]	453	835	1 004	590	432	1 193	1 491	1 090	569	331	169	215	8 373
Äquivalente Volllaststunden	[Stunden/Jahr]	194	360	277	177	89	297	474	368	133	86	21	47	2 524
A-Parameter	[m/s]	9,0	9,1	7,5	7,8	6,9	7,4	8,0	8,1	7,1	7,4	5,7	7,0	7,8
Mittlere Windgeschw.	[m/s]	8,1	8,1	6,7	7,0	6,3	6,8	7,2	7,2	6,3	6,7	5,1	6,3	7,0
k-Parameter		3,34	2,96	3,00	3,37	4,85	4,91	3,62	2,80	3,22	3,91	3,28	3,65	3,23
Häufigkeit	[%]	5,4	10,0	12,0	7,0	5,2	14,2	17,8	13,0	6,8	4,0	2,0	2,6	100,0
Leistungsdichte	[W/m ²]													286

5. MÉRÉSI EREDMÉNYEK PRÓBÁJA

A mérési helyek közül 2 helyszínen valósult meg szélérőmű is. Mégpedig: Kulcs, 600 kW (Enercon), Erk 850 kW (Enercon). Kulcsi szélérőmű 4 éve van termelésben, az erki pedig 2005 júniusban kezdett működni.



23. ábra
Kulcs, 600 kW (Enercon)



24. ábra

Erk 850 kW (Enercon)

Mindkét berendezésnél a végzett energia célú szélmérések eredményeit összehasonlítottuk a tényleges eredményekkel. Megállapítható, hogy az energia célú szélmérések kellő pontosságot nyújtanak, a várható eredmények meghatározásához, amelyeket a tényleges termelés bizonyított. Természetesen a mérés minden esetben megelőzi a telepítést, s így a kalkulált értékek eltérnek a később mért eredményektől, hiszen a szélben rejlő teljesítmény az évek során eltérő. Az eltérés mértéke 10%-ot is kitehet, de szélsőértékben akár 20% is adódhat. Egész év vonatkozásában maximális 10% a reális érték. A 20%-os eltérés inkább az év rövidebb időszakaira jellemző.

Csupán Mosonszolnok térségében fordult elő, hogy már meglévő szélerőmű közelében végeztünk (30 km-es távolság) energia célú szélméréseket és hasonlítottuk össze az adatbázisokat.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

6.1. Általános tapasztalatok a mérésekre vonatkozóan

Általános tapasztalat, hogy a 30-40 m magasságban végzett szélmérések még energia célú szélmérésnél használatos módszerek esetén is alul becslést eredményeznek.

Ez annak tudható be, hogy a kalkulációs értékeket, a manuális számításoknál generátor magasságban végezzük el. Ugyanakkor a szélprofilból adódóan korszerű gépeknél a csúcsmagasságban a szélsébség 2-3%-kal is nagyobb mérvű lehet, hiszen a gondolánál a lapát kinyúlás nagyobb 25-30 m-nél.

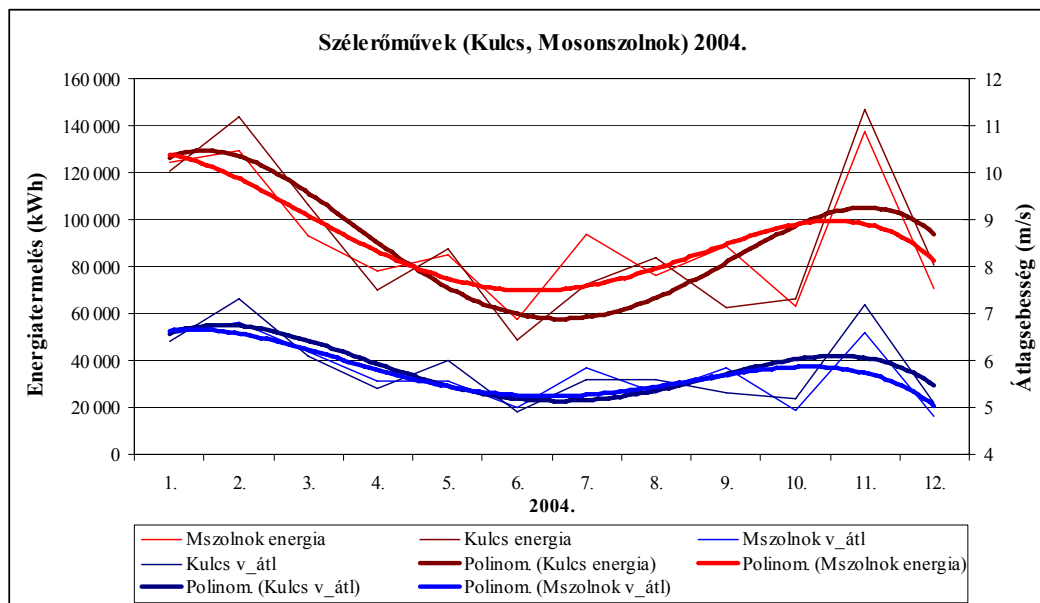
Az értékelés céljára készített programok, pl. a WindPRO-2.4 a számított értékeket eleve 8-10%-kal rontja, miközben a fentebb említett hibával kalkulál.

A mérések és ellenőrzések során alapvető megállapítást nyert, hogy a domborzatnak igen jelentős befolyása van a széljárás alakulására. Ez abban jelentkezik, hogy a terep viszonyok figyelembe vételével jól kiválasztott hely kevésbé kedvező globális területi szélviszonyok között is kiváló eredményt szolgáltat.

Erre jó példa a kulcsi és a mosonszolnoki azonos típusú, kivitelű, magasságú szélerőműveknél kapott eredmények. Ezek alapján **egy igen lényeges állítás fogalmazható meg.**

A meteorológiai térképek az ország ezen középső területét (100 évre visszamenően) szinte az ország leginkább szélszegény területének jelölik meg, s ebbe esik a kulcsi terület is. A méréseik alapján végzett számításaink és az erőművekkel szerzett tapasztalatok szerint a szélviszonyokban gazdagabb területnek ismert Kis-Alföldi térségen lévő mosonszolnoki erőműnél a kulcsi 1-2%-kal kedvezőbb eredményt produkál. Ha ezen kis eltérést (ami ugyan

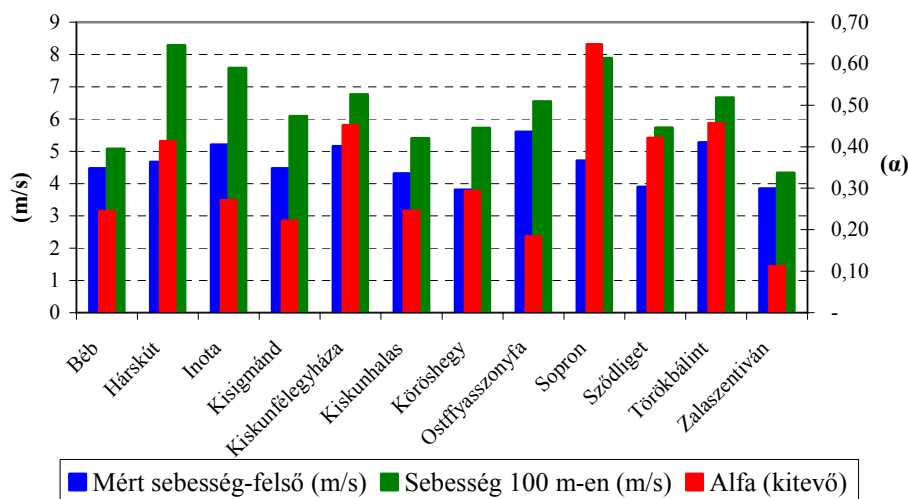
nem kevés, hiszen 10 000 kW villamos energiáról van szó, ami a jelenlegi átvételi áron 230 000 Ft-nak felel meg) a mérési hibahatárnak felel meg a megállapítás jelentősége akkor is számottevő, hiszen **a hagyományos meteorológiai mérések alapján megjelölt szélviszonyokról alkotott képünk kell, hogy az energetikai szélmérések alapján alapvetően megváltozzon.**



25. ábra. ábra Kulcsi és a mosonszolnoki erőművek (Enercon, E40, 600 kW_n) termelése 2004. év folyamán.

6.2. A mérési helyeken kapott szélprofilok (Hellmann tényezők) jelentősége

A mérések helyein (koordinátaik szerint) a szélprofilok adatainkat hasonlítottuk össze az OMSZ adatbázisával.



ábra

Az évi átlagos alfa tényezők (Hellmann tényezők), valamint a mért és a számított szélesebbesség értékek alakulása több mérési helyen)

A széltérképhez elfogadott dinamikus modell adatai a mérési adatbázisunkkal jelentős egyezést mutat. Eltérések estenként fellelhetők, ami a mérési helyek specifikus környezetéből fakad, tekintve, hogy nem mindig lehetett ideális terepet kiválasztani. Jó példa az inotai erőmű mellett megvalósult szélgenerátor. A generátor kedvezőtlen területen (szélárnyékban) létesült. E helyszíntől 4 km távolságban (az árnyékot adó hegy gerincén 25 m magasságban évi átlagban 5 m/s szélességet mértünk, ami 100 m-re vetítve 8,2 m/s-nak felel meg, s ez a 25 mérési hely közül a legkedvezőbb.

6.3. Kihasználási tényező

Külön figyelmet szenteltünk a kihasználási tényező meghatározására. A kihasználási tényező mértéke alapvetően az adott terület szélviszonyaitól függ, de meghatározóak a turbulens jelenségek, melyek a generátorok működésére igen számottevők. A számításainkat 5-6 gép típusra is elvégeztük, köztük a legújabb fejlesztésű kivitelekre is. A tapasztalat szerint a legújabb fejlesztésű berendezéseknél a kihasználási tényező gyakran 5-10%-kal is nagyobb, ami annyit jelent, hogy amíg a korábbi gépnél a kihasználási érték 0,23, addig a korszerű gépnél 0,3 érték adódik. Ez viszont éves viszonylatban már igen számottevő energiatermelést jelent. Kedvezőnek ítéltető Westas 90 típus (2 MW teljesítményről lévén szó), ami évi 0,6-1,0 millió kW óra villamos energia termelésbeli különbséget is eredményezhet, ami 20-23 millió forintnak megfelelő eredmény.

7. ÁLTALÁNOS ÉRVÉNYŰ EREDMÉNYEK

7.1 A helyi (földrajzi koordinátákkal meghatározott) energia célú szélmeréssel és a meteorológiai szolgálat (térségben mért) hagyományos klimatológiai (több éves) adatainak megfelelő célú feldolgozása révén – a vonatkozó időszakra jellemző szél átlagos energia tartalomtól függően - a szélerőművekkel várható villamos energiatermelés (a generátorjellemzők ismeretében) Magyarországon is kellő pontossággal (3-7%) prognosztizálható. Elemzésem szerint az év során a várható átlagos szélesség értékeit és az éves energiatermelést (heti, vagy havi adatsorokból), mind a prognózisokban, mind a működő erőművekben negyedik fokú polinomok jól leírják. ($R^2 > 0,6$).

7.2 Adott helyszíntre, nagyobb magasságokra (100-150 m) az átlagos szélesség, ill. a szélprofil számításához, a Hellmann α tényezőjének meghatározása szükséges, de csak akkor használható fel, ha a mérési pont közvetlen környezetében zavartalanok az áramlási viszonyok. Magyarországon a kedvező szélpotenciált mutató területeken az α tényező értéke 25-60 m magassági tartományok között 0,2-0,5-re adódik. Éves mérési adatokból számított α tényező értékére a topográfiai és a felületi érdességi viszonyok meghatározóbbak, mint az adott terület légköri szélklímája (az α tényező értékében a helyi érdességtől függően 20-70 %-os az eltérés). A magyarországi topográfiai és felületi súrlódási viszonyok alapján a kiegyenlítődség átlagosan 50 m felszín feletti magasságban következik be, s ezért a beruházásokat megalapozó szélmerések csak ennél nagyobb magasságban (felső anemométer) szolgáltatnak kellő pontosságú eredményt a prognózisok készítéséhez.

7.3 Az energetikai szélmerések alapján az átlagos szélességekkel meghatározott szélprofil legnagyobb eltérése a napszakok változása folyamán adódik, a déli órákban a legkisebb az α tényező értéke ($\alpha \approx 0,0 - 0,1$), s ekkor a leginkább kiegyenlített az áramlás. Az éjszakai órákban az α tényező értéke a magasság függvényében jelentősen növekszik (2-3 szoros érték, éves átlagban), s kevésbé kiegyenlített az áramlat. Az

általunk vizsgált tartományban (25-85m), napközben a magasabban lévő a nagyobb-, s az alacsonyabban lévő kisebb sebességi tartományok az 50-60m magasságban lévő kiegyenlítődési zónához „húzódnak”. Vagyis napközben –főként 13.00-16.00 óra között – egymáshoz közelednek, az áramlatok sűrűsödnek, az éjszakai órákban (főként 22.00-02.00 óra között) az áramlatok kitágulnak. Tehát a jelenlegi kivitelű, vízszintes tengelyű szélerőművekkel, éves átlagban, a déli órákban várható nagyobb energiatermelés.

- 7.4 A korlátozott magasságú anemométeres mérésekből levont következtetést, a 50-150 m magasságok között az akusztikus SODAR mérések is igazolták.
- 7.5 A SODAR mérések 15-45 m magassági tartományban nem megbízhatóak (pozitív és negatív eltérések is előfordulnak). A fentebbi tartomány felett az anemométeres mérésekkel azonos tendenciát mutatnak, de mind a mért mind a számított értékekhez képest alulbecslést eredményeznek (átlagos szélesebbességben - 0,15-0,3 m/s, a kihasználási tényezőnél - 2-5%)
- 7.6 A több helyen végzett méréseink szerint magyarországi viszonyok között (felület, szélklíma) a szélerőművektől kedvező eredményt (reális megtérülés) csak 100 m fölötti generátor magasságban várható. Az országnak jelentős méretű olyan területei vannak, ahol a szélpotenciál gazdaságos energiatermelést tesz lehetővé, vagyis a $H > 100$ m gondola magasságban, a $v_a > 6,0$ m/s.
- 7.7 A nagyobb változatosságot mutató orográfiai területeken a későbbi szélpark modellezések alapját szolgáló szélmérési adatbázist, csak nagyobb magasságokban, több ponton elhelyezett anemométerek (min. 3 db, 40-90 m magassági tartományban) szolgáltatnak. Az éves várható energiatermelés kalkulációjához az α tényező magassági változását az összes mért szélirányra vetítve átlagosan, de szélirányonként (szektoronkénti) is számítani kell, mivel a szélirány és az energiatermelés között statisztikailag biztos összefüggést van.
- 7.8 Önmagában a szélirányok és az α tényező, valamint a szélesebbeségek nagysága és a szélirányok között nincs statisztikailag biztosított összefüggés. A szélesebbeségek átlagértékének szórása az átlag növekedésével nagyobb.
- 7.9 Az α tényező értéke az év során is folyamatosan változik, legmagasabb értéket nyáron az általában alacsonyabb átlagos szélesebbeségekkel rendelkező időszakokban ér el.
- 7.10 Az ország több területe is alkalmas szélerőművek telepítésére. A konzorcium által -a dinamikus modellezéssel - készített széltérkép globális becslésre jól használható. Ezt bizonyítják a több térségre kiterjedt energia célú méréseink egyező eredményei. Ezt alátámasztja a Kulcsos és Mosonszolnokon működő szélerőművek jellemzőinek elemzése is, miszerint a két topográfiaileg eltérő és egymástól távolabb eső, de teljesen azonos műszaki paraméterrel rendelkező erőműnél az energiatermelés éves szinten azonos (Eltérés < 4%).
- 7.11 Az elkészült széltérkép nem helyettesíti az erőművek, vagy erőműrendszerek létesítéséhez szükséges, minimálisan egy évig tartó, s a fentebb jelzett magasságokban végzett méréseket, valamint az adatbázisok széleskörű elemzését.