



**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

**ENERGETIKAI CÉLÚ  
SZÉLMÉRŐRENDSZER KIALAKÍTÁSA**

Doktori (Ph.D.) értekezés

**Schrempf Norbert**

Gödöllő  
2007.

## **A doktori iskola**

**Megnevezése:** Műszaki Tudományi Doktori Iskola

**Tudományága:** Agrárműszaki tudományok

**Vezetője:** Dr. Szendrő Péter egyetemi tanár,  
mezőgazdasági tudományok doktora  
SZIE Gödöllő, Gépészmérnöki Kar

**Témavezető:** Dr. Tóth László egyetemi tanár,  
mezőgazdasági tudományok doktora  
SZIE Gödöllő, Gépészmérnöki Kar

.....  
A programvezető  
jóváhagyása

.....  
A témavezető  
jóváhagyása

# Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS .....	1
1.1. A téma jelentősége .....	1
1.2. A kitűzött célok .....	8
1.3. A megoldandó feladatok ismertetése .....	8
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS .....	9
2.1. A szélenergia-hasznosítás elmélete .....	9
2.1.1. A szélről általában .....	9
2.1.2. A bárikus gradiens és a gradiens erő .....	9
2.1.3. A geosztrófikus szél .....	10
2.1.4. A súrlódás hatása a szélre .....	11
2.2. A szélben rejlő energia .....	12
2.3. A szél időbeli változásának jellemzői .....	16
2.4. A szél, magasságtól való függése .....	17
2.5. A szél mérése .....	20
2.5.1. A szél észlelése műszer nélkül .....	20
2.5.2. A szél észlelése, műszerrel .....	21
3. ANYAG ÉS MÓDSZER .....	27
3.1. Szélcsatorna kialakítása anemométerek kalibrálására .....	27
3.1.1. A szélcsatorna szerkezeti felépítése .....	27
3.1.2. A szélcsatorna kalibrálása .....	29
3.1.2.1. A kalibrálás módszere .....	30
3.1.2.2. A kalibrálás eszközei .....	31
3.1.2.3. A szélcsatorna kalibrálásának menete .....	33
3.2. Energetikai célú szélmérések a gyakorlatban .....	34
3.2.1. A toronymérések fajtái .....	34
3.2.1.1. Az informatív mérések jellemzői .....	36
3.2.1.2. A telepítési célú mérések .....	39
3.2.1.3. Ellenőrző mérések .....	41
3.2.2. A toronymérések előkészítése .....	42
3.2.3. Mérési adatok a SODAR rendszerrel .....	44
3.3. A kutatás során kialakított kalibráló rendszer .....	46
3.4. Az energetikai szélmérések adatbázisának feldolgozása .....	47
3.4.1. Feldolgozás az ALWIN programmal .....	48
3.4.2. A WindPRO 2.5 program .....	51
4. EREDMÉNYEK .....	57
4.1. A szélcsatorna kalibrálása során kapott mérési eredmények .....	57
4.1.1. Eredmények 500 1/min fordulaton .....	58
4.1.2. Eredmények 1000 1/min fordulaton .....	59
4.1.3. Eredmények 1500 1/min fordulaton .....	60
4.2. A szélcsatorna, mérési eredményeinek értékelése .....	61
4.3. Az anemométerek kalibrálási eredményeinek értékelése .....	64

4.4. Mérőrendszerek összehasonlítása .....	70
4.4.1. Azonos mérési elven működő energetikai szélmérőrendszerek.....	70
4.4.1.1. A Weibull-függvény $k$ paraméterének alakulása Magyarországon ..	70
4.4.1.2. A magassági hatványkitevő alakulása Magyarországon .....	73
4.4.1.3. Energetikai elemzés.....	76
4.4.2. Eltérő mérési elv alapján működő mérőrendszerek.....	83
4.4.2.1. Tiszakécske térségében végzett energetikai célú szélmérések.....	84
4.4.2.2. Kartal térségében végzett energetikai célú szélmérések .....	86
4.5. Azonos módszerrel felvett mérési adatok elemzése .....	93
4.5.1 Különböző helyszínek egyidejű vizsgálata .....	93
4.5.2. 2006. 08. 20.....	97
4.5.3. Energetikai elemzés Tatabánya, Mélykút és Hajdúnánás térségében ....	99
4.5.4. Energiatermelés az oszlopmagasság növelése esetén.....	104
4.6. Az energetikai célú széltérképek.....	105
4.7. A mérési eredmények próbája.....	107
5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	109
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....	111
7. ÖSSZEFOGLALÁS.....	113
8. SUMMARY .....	115
9. MELLÉKLETEK.....	117
10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....	155

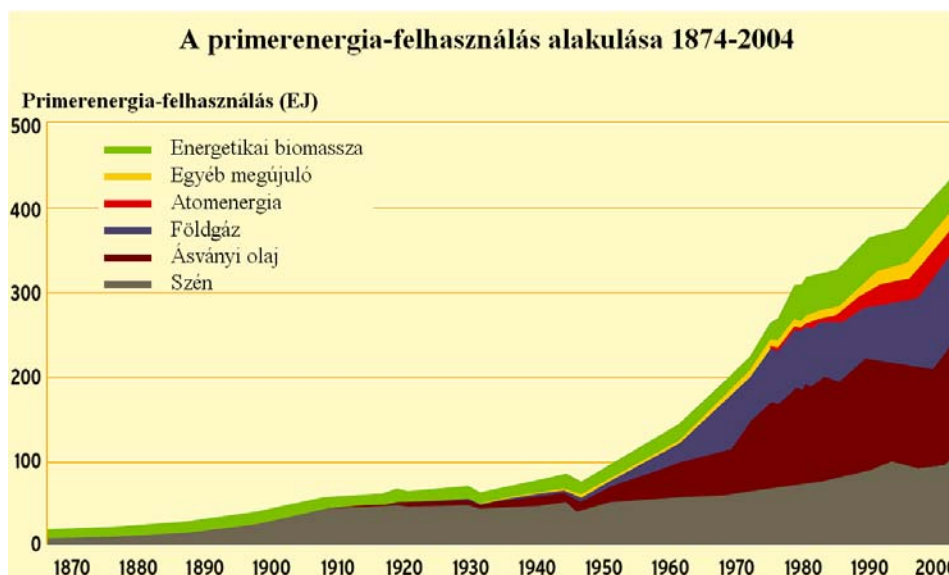
# 1. Bevezetés

## 1.1 A téma jelentősége

Az energiagazdálkodás és ennek kapcsán a fenntartható energiaellátás a XXI. század gazdaságának egyre inkább központi kérdésévé válik. Évtizedek óta folynak a fenntartható fejlődéssel kapcsolatos nemzetközi kutatások és tárgyalások. A széleskörű együttműködés és munka célja, hogy a fejlődő világ egy kíméletes kapcsolatot alakítson ki az őt körülvevő természetes környezettel, a gazdasági növekedés fenntartása és az emberi életkörülmények javítása mellett.

„Az energia felhasználása csak akkor fenntartható, ha egy széleskörű és tartós rendelkezésre állást biztosít az alkalmazott energiaforrásokból és ezzel egyidejűleg a vele kapcsolatos negatív hatásoknak korlátot szab.” *(ENSZ Környezet és Fejlődés Konferencia (UN Conference on Environment and Development) 1992. június)*

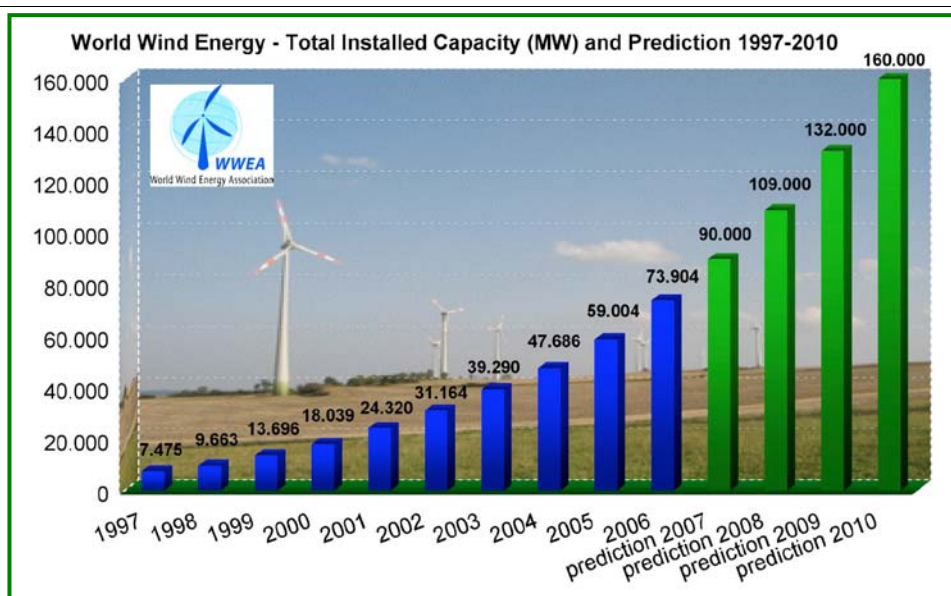
Az iparosítás óta az emberiség energiafelhasználása sokkal gyorsabban nő, mint a népesség létszáma. Miközben a világ lakosságának létszáma négyszeresére, 6,3 milliárdra nőtt, addig az energiafelhasználás és ezzel együtt a fosszilis energiahordozók, a szén, az ásványi olaj és a földgáz felhasználás a 60-szorosára. 2004-ben 450Exajoule ( $1\text{EJ}=10^{18}\text{J}$ ) (1.1 ábra).



**1.1. ábra** A primerenergiafelhasználás alakulása 1874-2004  
(forrás: IEA statisztikai adatok 2005)

A szél egyike azoknak a természeti energiaforrásoknak, amelynek szerepe az emberiség története során többször is változáson ment át.

A szél mozgási energiája, mechanikai munkává alakítva többek között felhasználható villamos generátorok hajtására. A technikatörténet során műszaki szempontból különféle megoldások kerültek kialakításra, mégis mára a vízszintes forgástengelyű szélgenerátor vált a legelterjedtebbé. Ennek oka a jelentős többlet villamosenergia termelés más műszaki megoldásokhoz képest.



**1.2. ábra** A szélenergia kapacitás növekedése a világban (1997-2006) és a következő években várható fejlődés mértéke (2007-2010) (forrás: WWEA, 2007)

A szélenergia kapacitás növekedése a telepítés helyétől és az egymáshoz való elhelyezkedéstől. Ezek figyelembevételével alapvetően két-két megoldás ismeretes: a tengeri és a szárazföldi, valamint az egyedi és a csoportos telepítés. Magyarország viszonylatában a szárazföldi jellegű erőközül az egyedi és a csoportos telepítés jöhet számításba. A szélenergia lehet hálózati, vagy szigetüzemben, de a szélenergia park, mint komplex energiatermelő egység is megjelenhet.

Hazánktól nyugatra fekvő európai országokban, annak érdekében, hogy egy adott kedvező területről a lehető legtöbb energiát nyerjék ki, ma már túlnyomó részt a csoportos telepítésre törekednek. Ez összetett és pontos műszaki ismereteket igényel. A szélenergia parkok telepítése nehezebb feladat, mint egyetlen szélenergia felállítás, mégis a gazdaságosság és az energiatermelés fokozása érdekében célszerű a bonyolultabb megoldást választani. A gazdaságosság fokozásának másik útja, a hatékonyság növelése révén a költségek csökkentése. Az Európai Szélenergia Szövetségnél közzé tett tanulmányok alapján a jövőbeli cél a 1994-es árak fokozatosan 50%-ra való csökkentése 2030-ig.

Mindezeknek köszönhetően a szélenergiahasznosítás jelentős iparággá nőtte ki magát. Az új konstrukciós aerodinamikai megoldások kialakításán keresztül a számítástechnikai szoftverfejlesztésig minden műszaki terület dinamikus fejlődésnek indult. Jelenleg a világ szélenergia kapacitása mintegy 74000 MW (1.2. ábra)

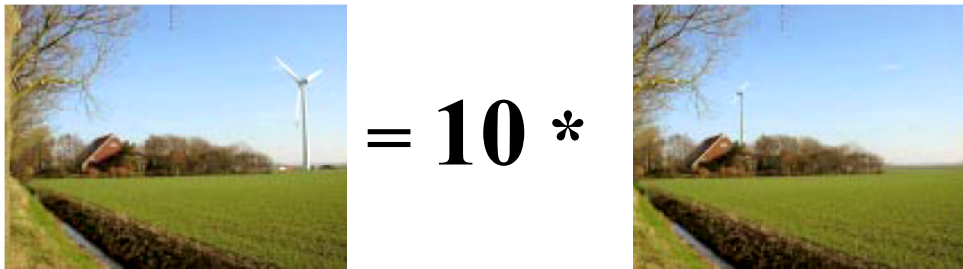
Új lapátprofilok, nagyobb és jobb hatásfokú generátorok, magasabb tartó oszlopok, hosszabb szárnylapátok, új anyagszerkezeti megoldások, könnyebb konstrukciók,

hatékonyabb és megbízhatóbb vezérlési megoldások a mai korszerű szélerőművek jellemzői.

Pontosabb mérőrendszerek és adatfeldolgozás. Az energiatermelést befolyásoló tényezők egyre szélesebb körű figyelembe vétele.

A dinamikus, teljes vertikumra kiterjedő fejlesztéseknek köszönhetően, a 2010-re tervezett költségcsökkentés és az energiatermelés növelése az EU-ban már 2002-re megvalósult, sőt 8000MW helyett közel 23000MW villamos teljesítményű szélerőmű létesült.

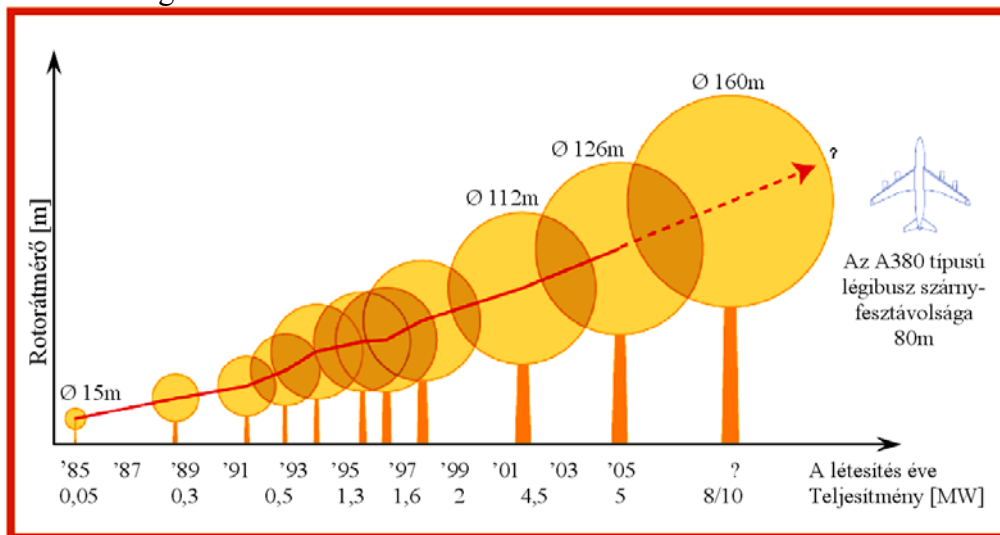
A fejlesztések további pozitív eredménye, hogy azonos teljesítményű erőműveknek kisebb a területigénye, tehát javul a területkihasználás. Dániában például az 1980-as évek 100.000-es szélgenerátor darabszámával szemben 2005-re már csak 5590 darab erőmű állt. Ezek a dán villamosenergia felhasználás 20%-át biztosították a korábbi 10%-kal szemben.



**1.3. ábra** A műszaki fejlődés egy szemléletes példája  
(forrás: Jos Beurskens, ECN 2005)

A bal oldali szélerőmű 10-szer nagyobb teljesítményű, mint a jobb oldali.

A technológiai fejlődés lehetővé tette, hogy a 80-as évektől kezdődően, a tengerpartokról egyre inkább a szárazföldek belseje felé telepítsék a generátorokat, oda ahol az energiafelhasználás folyik. Ezáltal az energia szállítási-vesztésege és a létesítés költsége is csökkent.



**1.4. ábra** A szélgenerátorok fejlődési trendje  
(forrás: Jos Beurskens, ECN 2005)

Szárazföldi körülmények között az úgynevezett másodosztályú szelek jellemzőek. Itt jelentősebb a turbulencia, és a nagyobb energiatartalmú áramlatok csak nagyobb felszín feletti magasságokban fordulnak elő. Éppen ezért a fejlesztések egy jelentős része az oszlopok magasságának növelésére irányult.

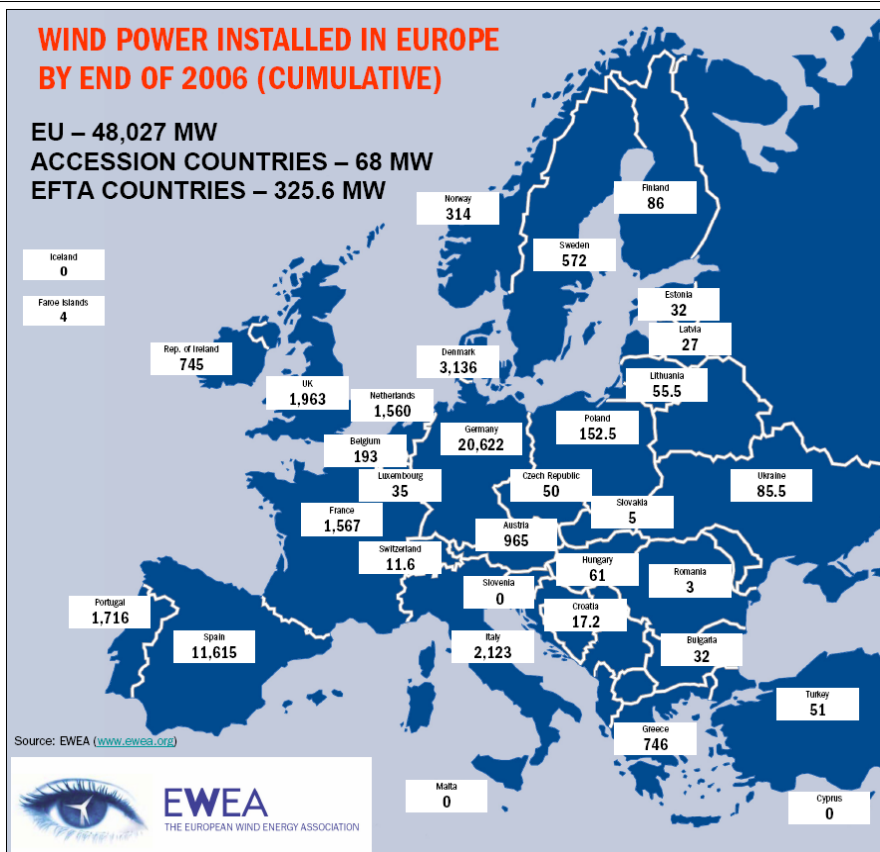
Mivel szárazföldön műszaki szempontból az ipari létesítményekhez, villamos elosztó berendezésekhez a lehető legközelebb építhetők fel a szélerőművek, számos hálózatfejlesztési és hálózatterhelési probléma is megoldódott.

1.1. táblázat: Az Európai Unió szélerőmű kapacitása 2006 végén [MW]

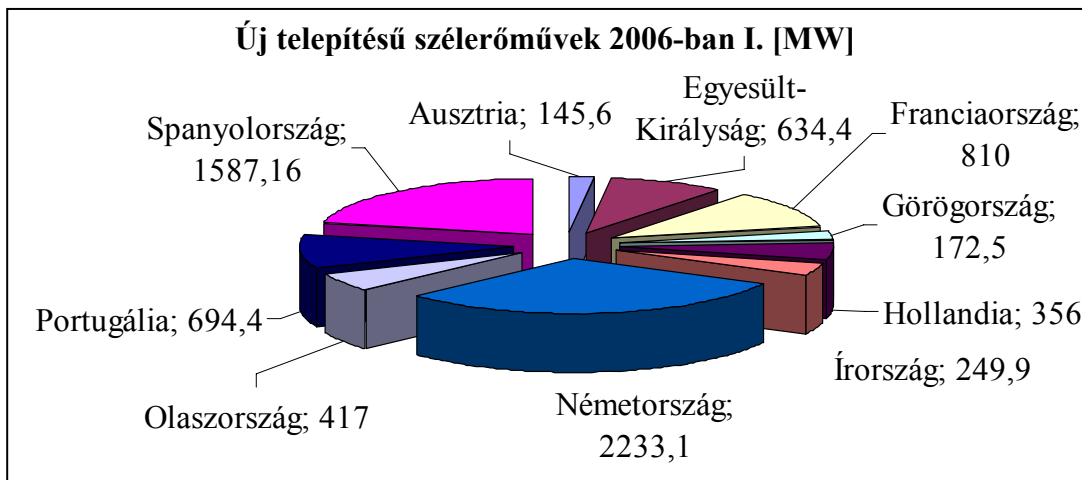
	Összes 2005 végén	Létesítés 2006-ban	Összes 2006 végén
Ausztria	819	145,6	965
Belgium	167,4	26,3	193
Bulgária*	10	22	32
Ciprus	0	0	0
Cseh Köztársaság	28	22	50
Dánia	3.128	11,5	3.136
Egyesült-Királyság	1.332	634,4	1.963
Észtország	32	0	32
Finnország	82	4	86
Franciaország	757	810	1567
Görögország	573,3	172,5	746
Hollandia	1.219	356	1560
Írország	495,5	249,9	745
Lengyelország	83	69,3	152,5
Lettország	27	0	27
Litvánia	6,4	49,05	55,5
Luxemburg	35,3	0	35
<b>Magyarország</b>	<b>17,5</b>	<b>43,4</b>	<b>61</b>
Málta	0	0	0
Németország	18.414,9	2.233,1	20.622
Olaszország	1.718	417	2.123
Portugália	1.022	694,4	1.716
Románia*	1,69	1,3	3
Spanyolország	10.028	1.587,16	11.615
Svédország	509,5	62,15	572
Szlovákia	5	0	5
Szlovénia	0	0	0
<i>EU-15</i>	<i>40.301</i>	<i>7.404</i>	<i>47.644</i>
<i>EU-10</i>	<i>199,2</i>	<i>183,7</i>	<i>383</i>
<b>EU-25</b>	<b>40.500</b>	<b>7.587,9</b>	<b>48.027</b>
<b>EU-27</b>	<b>40.511</b>	<b>7.611</b>	<b>48.062</b>

(Forrás: EWEA 2007)

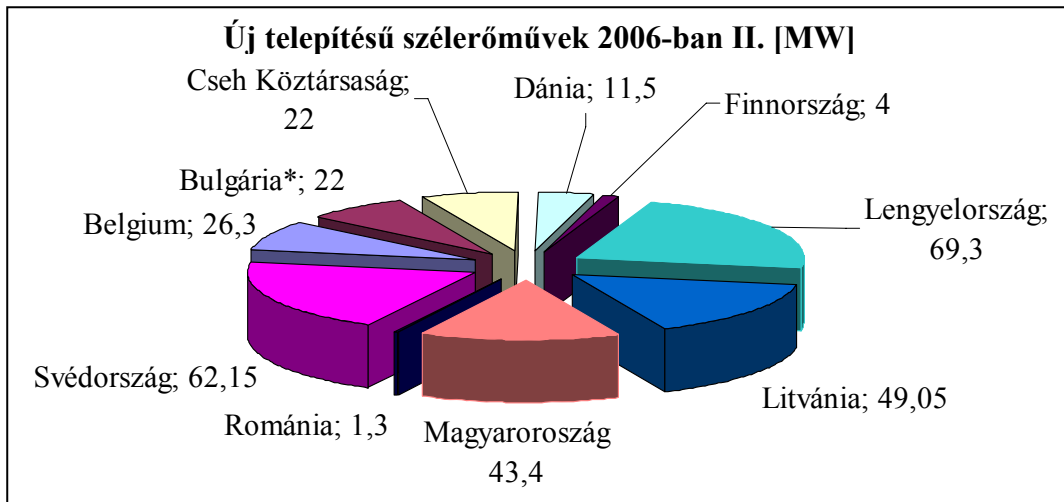




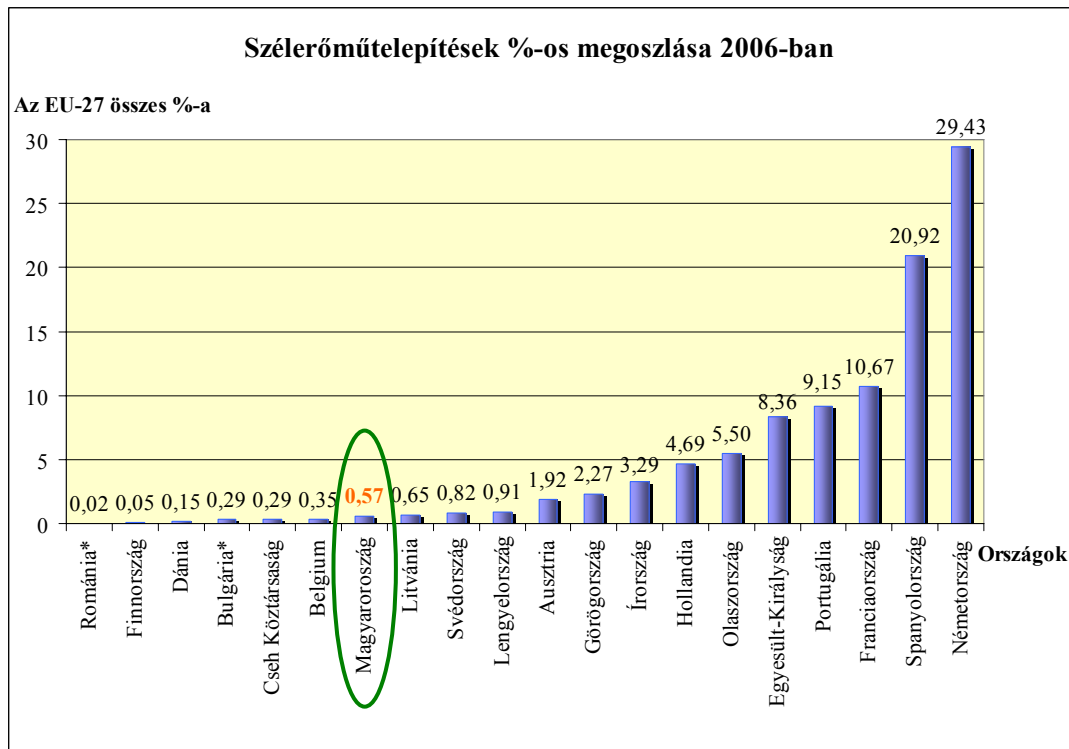
1.5. ábra Szélgenerátorok villamos teljesítménye Európában 2006 végén  
 (forrás: EWEA 2007)



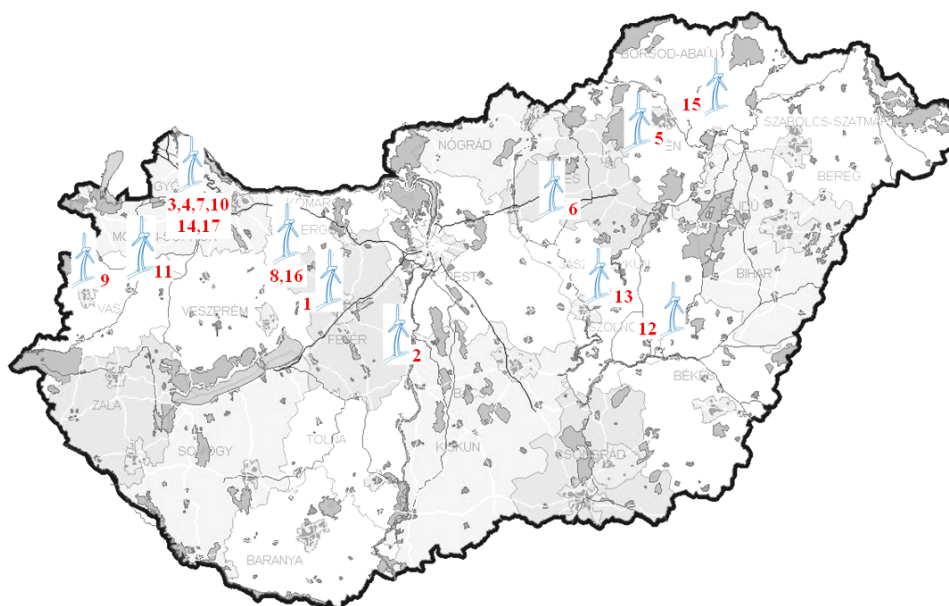
1.6. ábra 2006-ban újonnan létesített szélenergia-termelő berendezések teljesítménye I.  
 (forrás: saját szerkesztés)



**1.7. ábra** 2006-ban újonnan létesített szélenergia-művek teljesítménye II. (forrás: saját szerkesztés)



**1.8. ábra** Szélenergia-műtelepítések Európában (2006) (forrás: saját szerkesztés)



1.9. ábra A Magyarországon telepített szélenergia-termelő berendezések és szélenergia-parkok elhelyezkedése 2006 végén (forrás: saját szerkesztés)

1.2. táblázat: Magyarország szélenergia-termelő berendezések kapacitása 2006 végén [kW]

Település	Típus	Villamos telj.	Magasság	Mennyiség	Üzembe-helyezés éve	
		[kW]	[m]	[db]		
1	Inota	N29	250	40	1	2000
2	Kulcs	E40	600	65	1	2001
3	Mosonszolnok	E40	600	65	2	2002
4	Mosonmagyaróvár	E40	600	65	2	2003
5	Bükkaranyos	V25	225	29	1	2005
6	Erk	E48	800	76	1	2005
7	Újrónafő	E48	800	76	1	2005
8	Szápár	V90	1800	80	1	2005
9	Vép	E40	600	65	1	2005
10	Mosonmagyaróvár	E70	2000	113	5	2005
11	Ostffyasszonyfa	E40	600	78	1	2006
12	Mezőtúr	FL MD 77	1500	100	1	2006
13	Törökszentmiklós	FL MD 77	1500	100	1	2006
14	Mosonmagyaróvár	V90	2000	105	5	2006
15	Felsőzsolca	V90	1800	105	1	2006
16	Csetény	V90	2000	105	2	2006
17	Levél	G90	2000	100	12	2006
			Vill. telj. [kW]		Mennyiség [db]	
	Összesen:		60875		39	

(forrás: saját szerkesztés)

## 1.2 A kitűzött célok

Az elmúlt öt évben Magyarországon egy nagyszabású energiarendszer átalakítási folyamat indult el. Ennek egyik szegmense a szélenergia, mint megújuló energiaforrás hasznosítására irányul. Munkám kezdetekor, 2002-ben Magyarországon mindössze 2 MW névleges villamos teljesítménnyel rendelkező szél erőmű volt. Jelenleg már több mint 60 MW a szél erőművek névleges villamos teljesítménye. A rövidtávú cél, 330MW létesítése 2010-ig.

Az értekezésem megírása során célul tűztem ki, hogy az, tartalmában szorosan kapcsolódjon a szél erőművek létesítésének hazai folyamatához.

E munka során megfogalmazott, az értekezéshez kapcsolódó célok:

- Konzorciumi munka keretében, több mint 30 bázisponton végzett energetikai célú szél mérés eredményei és az Országos Meteorológiai Szolgálat hosszú távú adatbázisa alapján, Magyarország első energetikai célú szél térképének elkészítése.
- A várható telepítési helyek magyarországi vonatkozású speciális körülményeinek felvételezése, tekintettel a generátorok üzemi magasságára, a turbulencia helyi alakulására, a speciális szélprofilokra és a szélenergetikában meglévő szoftverek alkalmazhatóságára.
- A számított és a tényleges szél mérési adatok pontosságának meghatározása, speciálisan erre a célra készült szélcsatorna segítségével.
- Az energetikai célú szél mérésnél alkalmazott mérőrendszerek vizsgálata a felhasználási célra való alkalmasság szempontjából.

## 1.3 A megoldandó feladatok ismertetése

- 1) A témához kapcsolódó szakirodalom áttekintése és feldolgozása.
- 2) Az anemométerek ellenőrzéséhez egy szélcsatorna kialakítása és az adatok kiértékelésére alkalmas mérőrendszer összeállítása.
- 3) Az egy éves energetikai szél méréseket megelőzően és azokat követően az érzékelő műszerek ellenőrzése.
- 4) Az elvégzett szél mérések segítségével az adott helyszín szélenergetikai jellemzőinek meghatározása oly módon, hogy az a gyakorlati felhasználók számára is információval szolgáljon. Különös tekintettel a Hellmann kitevőre és a Weibull-függvény  $k$  paraméterére. Mindezek értelmezése a hazai viszonyokra.
- 5) A meteorológiai adatbázisra alapozott és vetítéssel előállított szél térképek pontosítása.
- 6) Az energetikai szél méréseknél jelenleg alkalmazott mérőrendszerek összehasonlítása.
- 7) Az energiatermelés becslése és a villamos-energiatermelés előre jelezhetőségének vizsgálata a szél erőműveknél.
- 8) Az energetikai szél mérés és tervezés adaptálása Magyarország főbb területi sajátosságaira.

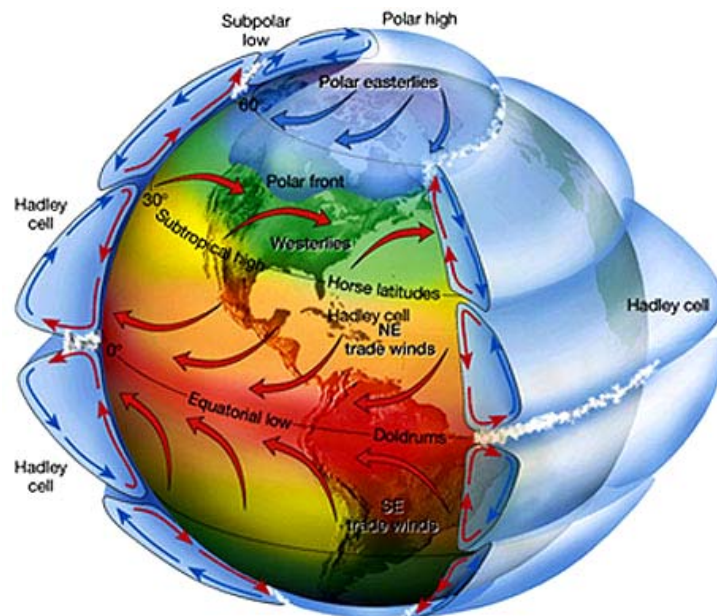
## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1 A szélenergiahasznosítás elmélete

#### 2.1.1 A szélről általában

A szél egyike azoknak a természeti energiaforrásoknak, amelyek szerepe az emberiség története során többször is változáson ment át.

Keletkezése alapvetően arra épül, hogy a földfelszín által elnyelt napsugárzás nagyobb mértékű az egyenlítőnél, mint a sarkoknál és leegyszerűsített megközelítéssel a légtömegek az egyenlítőtől a sarkok felé áramlanak. Ezt a Föld forgása módosítja, s ezzel számos örvénylés alakul ki mind az északi, mind a déli féltekén. A keleties szélövekben a légkör impulzusmomentumot nyer, a nyugatias szélövben a légkör impulzusmomentumot ad le. (2.1. ábra)



2.1. ábra A globális impulzusmomentum mérleg  
(forrás: Bartholy 2006)

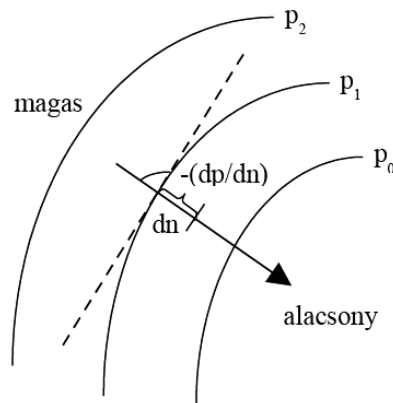
A változó sebességgel áramló levegő mozgási energiája munkavégzésre képes. Ez a munkavégző képesség a gázok áramlási törvényei alapján a sebesség harmadik hatványával arányos. Éppen ezért rendkívül jelentős hatást gyakorol a villamosenergia-termelésre.

#### 2.1.2 A bárikus gradiens és a gradiens erő

A szél vektormennyiség, így nagysággal és iránnyal rendelkezik.

A légnyomás egy adott vízszintes síkban tapasztalható egyenlőtlen eloszlásának mértékét a **bárikus gradiens** fejezi ki. E gradiens szintén vektor, amely az adott

magassági szinten lévő pontban, a legerősebb nyomásváltozás irányát és nagyságát mutatja meg.



2.2. ábra A bárikus gradiens meghatározása  
(forrás: Péczely 1998)

Értéke úgy határozható meg, hogy az adott szintre (pl. tengerszintre) vonatkozó légnyomás értékeiből egyenlőségi görbéket szerkesztünk, s egy adott izobáron fekvő ponthoz húzott érintőre merőleges irányban megállapítjuk a távolságváltozásra jutó légnyomáscsökkenést, azaz a  $-(dp/dn)$  értéket (2.2. ábra)

A bárikus gradiens által meghatározott erő a **gradiens erő**. Értékét úgy kapjuk meg, hogy a levegő vízszintes elmozdulását előidéző bárikus gradienst a levegő fajlagos térfogatával megszorozzuk. Így ez az erő a tömegegységnyi levegőre fog vonatkozni, ezért az összefüggésben a levegő tömege (m-(kg)) nem szerepel.

$$G = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dn} \quad [\text{m/s}^2] \quad (2.1)$$

A gradiens erő a légrések gyorsuló mozgását eredményezi. A tapasztalati tények azonban arra utalnak, hogy a gradiens erő által keltett mozgás gyorsulása egy idő után megszűnik, ez a talaj-közeli súrlódás és a levegőrészek egymás közötti súrlódásának, fékező erejének tudható be.

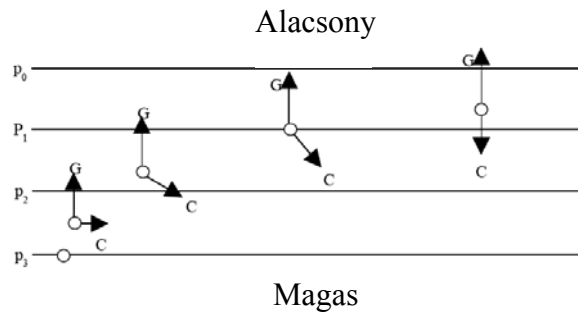
Az elmozdulásnak az erő irányába, tehát az izobárokra merőlegesen, a gradiens erő irányába kellene történnie. A valóságban a levegőrészek mozgása az izobárokkal közel párhuzamosan zajlik le, ennek oka a Föld forgására vezethető vissza.

### 2.1.3 A geosztrófikus szél

Azt az egyenes vonalú egyenletes sebességgel haladó légáramlást, amely súrlódásmentes esetben (a gradiens erő és a Coriolis-erő egyensúlyakor) jön létre vízszintes vonalon, geosztrófikus szélnek nevezzük.

A G gradiens erő hatására, az alacsony nyomás felé elmozduló légrézre, mozgása kezdetének pillanatától, egy további erő fog hatni, ez a **Coriolis-erő**. Ezen erő a forgástengelyre merőleges síkban lép fel és a forgó rendszerben mozgó minden testre hat. Ebből következik, hogy a Coriolis-erő vízszintes és függőleges

összetevőkre bontható, továbbá, hogy a sarkokban csak vízszintes, az egyenlítőkön pedig csak függőleges összetevővel rendelkeznek (2.3. ábra)



**2.3. ábra** A geosztrófikus szélre ható Gradiens és Coriolis erők  
(forrás: Péczely 1998)

A geosztrófikus szél sebessége meghatározható, ha már tudjuk, hogy a G és C erők egyenlő nagyságúak, de ellentétes irányúak, tehát  $G+C=0$   
Ekkor:

$$C = 2 \cdot \omega \cdot \sin \varphi \cdot v \quad [\text{m/s}^2] \quad (2.2)$$

és ebből:

$$v_G = \frac{1}{2 \cdot \omega \cdot \rho \cdot \sin \varphi} \cdot \frac{dp}{dn} \quad [\text{m/s}] \quad (2.3)$$

Tehát, a szélesebbég egyenesen arányos a bárikus gradienssel és az izobár sűrűséggel.

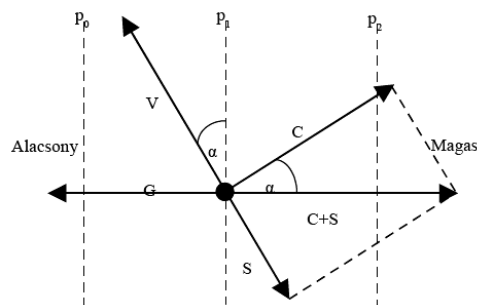
### 2.1.4 A súrlódás hatása a szélre

A talaj-közeli áramlás súrlódást eredményez, ami pedig fékező hatást von maga után, tehát negatív gyorsulással jár. A légkör alsó 1 km-es rétegét, ahol  $S$  súrlódási erővel kell számolni, *súrlódási rétegnek* is szokás nevezni.

Az  $S$  súrlódási erő:

$$S = -k \cdot v \quad [\text{m/s}] \quad (2.4)$$

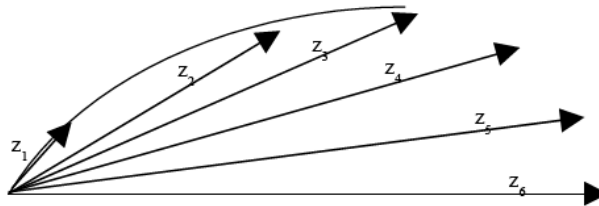
ahol  $k$  = súrlódási együttható



**2.4. ábra** A súrlódás hatása a szélre  
(forrás: Péczely 1998)

A súrlódási együttható csökkenti a szélesebességet és így a Coriolis-erő vízszintes komponensét is. Itt nem alakul ki a geosztrófikus szélmodell egyensúlyi  $G = -C$  állapota, hanem egy másik  $G = -(C + S)$  egyensúlyi állapot következik be. Ez azt jelenti, hogy *súrlódásos áramlásnál a gradiens erő a Coriolis-erő vízszintes összetevőjének és a súrlódási erőnek az összegével tart egyensúlyt*. A gradiens erővel egyensúlyt tartó  $C + S$  vektor úgy értelmezhető, hogy az egymásra merőleges  $C$  és  $S$  vektorok eredője. Ennek az eredő  $C+S$  vektornak az iránya a  $G = -(C+S)$  egyenletből következően  $G$ -vel ellentétes. Tudjuk, hogy  $S$  iránya ellentétes a  $v$  szélvektorra,  $C$  pedig merőleges is rá. Ebből következik, hogy  $v$  iránya nem fog megegyezni a  $G$ -re merőleges izobárokkal. Mindebből megállapítható, hogy:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{C} = \frac{k}{2 \cdot \omega \cdot \sin \varphi} \quad (2.5)$$



2.5. ábra A geosztrófikus szél  
(forrás: Péczely 1998)

Összegezve elmondható, hogy a súrlódási erő fellépése esetén a szél a geosztrófikus szél  $\alpha$  szöggel eltér az alacsony nyomás irányába. Az Ekman-spirál alapján megállapítható, hogy a szabad légkörben, egy bizonyos magasságban, a légáramlás iránya és sebessége megfelel a geosztrófikus szélnek. A szabad légkörben a súrlódási szint fölött a vízszintes áramlásokra a

$$v_G = \frac{1}{2 \cdot \omega \cdot \rho \cdot \sin \varphi} \cdot \frac{dp}{dn} \quad [\text{m/s}] \quad (2.6)$$

és a

$$v_G = \frac{5,38}{\sin \varphi} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta n} \quad [\text{m/s}] \quad (2.7)$$

összefüggések érvényesek.

(forrás: Péczely 1998)

## 2.2 A szél mozgási energiája

A szél a légkör termikus egyensúlyának megbomlásából eredő légmozgás, azaz a levegő áramlása.

Az  $A$  keresztmetszeten,  $v$  sebességgel átáramló légtömeg tömegárama:

$$m^* = \rho A v \quad [\text{kg/s}], \quad (2.8)$$

amelynek egy másodpercre vonatkozó mozgási energiája:

$$P_k = \frac{1}{2} (\rho \cdot A \cdot v) \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad [W], \quad (2.9)$$



Ahol:

$\rho$  - a levegő sűrűsége [ $kg/m^3$ ],

$A$  – a vizsgált (pl. generátoroknál a rotor által súrolt) felület [ $m^2$ ],

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

Az egyenlet három tényezőre is felhívja a figyelmet:

- A szélenergia arányos a levegő sűrűségével. Vagyis a magasabb hegységekben ugyanahhoz a szélesebességhez kevesebb energia tartozik.
- A szélenergia a szélesebesség köbével arányos, ezért igen fontos a nagy átlagos szélesebességű helyek kiválasztása. (10%-kal nagyobb szélesebesség 30%-kal több energiát jelent.)
- A szélgenerátoroknál a szélenergia arányos a rotor által súrolt felülettel, vagy a rotor átmérőjének a négyzetével.

### A szélérőmű teljesítménye:

Minél több energiát hasznosít egy szélérőmű a szélből, annál inkább fékezi az áramlást. Amennyiben az összes energiát hasznosítanánk, a rotor mögött nulla lenne a szélesebesség, ami tulajdonképpen azt jelentené, hogy a szél nem is hagyná el a szélérőművet. Azonban ebben az esetben egyáltalán nem tudnánk hasznosítani az energiát, mivel a szél a rotor másik oldalára nem gyakorolna hatást.

A másik szélsőséges esetben fékezés nélkül áramoltatnánk át a szelet. Természetesen ebben az esetben sem tudnánk energiát nyerni belőle.

Éppen ezért arra kell következtetnünk, hogy a két szélső helyzet között kell lennie egy olyan állapotnak, amikor a szél fékezése által, hasznos mechanikai energiát állíthatunk elő. A jelenség pontosabb vizsgálata során kiderül, hogy a megoldás egészen egyszerű. Az ideális szélérőmű, a mindenkor uralkodó szélesebességet 2/3-ával csökkenti. Ennek megértésére az aerodinamika alaptörvényeit kell a szélérőművekre alkalmazni.

A Betz törvény azt mondja ki, hogy egy szélérőmű a szél kinetikus energiájának legfeljebb 16/27-ed részét (59%) tudja mechanikai energiává alakítani.

Ezt a törvényt Albert Betz német fizikus 1919-ben alkotta. Egy szélérőmű elméleti maximális teljesítménye az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$P_{vill} \cong \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \quad [W] \quad (2.10)$$

ahol,  $P_{vill}$  = a szélérőmű elméleti maximális villamos teljesítménye [W]

$A$  = a szélérőmű rotorjai által súrolt felület [ $m^2$ ]

$\rho$  = a mindenkori levegő sűrűsége [ $kg/m^3$ ]

$v$  = a levegő sebessége [ $m/s$ ]

16/27 = a Betz féle maximum hatásfok tényező

A turbina karakterisztikájától függetlenül a turbina energia-előállítási képességét a területen mért szélesebességtől függő energiasűrűséggel fejezhetjük ki  $W/m^2$  – ben:

Szélesebesség (m/s)	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
Teljesítmény* ( $W/m^2$ )	76.6	612.5	2067.2	4900.0	95700.3

\*Normál atmoszféránál, 1,225  $kg/m^3$  – es légsűrűségnél.

Normál légköri nyomáson, 15°C hőmérsékleten a levegő sűrűsége 1,225kg/m<sup>3</sup>, viszont a nedvességtartalom növekedésével ez az érték csökken.

Ezen kívül a hideg levegő sűrűbb, mint a meleg levegő. Nagyobb magasságokban, például a hegyekben, alacsonyabb a légnyomás, ami által a levegő sűrűsége csökken.

2.1. táblázat: A levegő sűrűsége, atmoszférikus nyomáson

A levegő sűrűsége atmoszférikus nyomáson		
Hőmérséklet [°C]	A száraz levegő sűrűsége kg/m <sup>3</sup>	Legnagyobb nedvességtartalom kg/m <sup>3</sup>
-25	1,423	
-20	1,395	
-15	1,368	
-10	1,342	
-5	1,317	
0	1,292	0,005
5	1,269	0,007
10	1,247	0,009
15	1,225 *)	0,013
20	1,204	0,017
25	1,184	0,023
30	1,165	0,030
35	1,146	0,039
40	1,127	0,051

\*) A szélenergiahasznosítás területén, az atmoszférikus nyomáson 15°C-os száraz levegő, tengerszintnél mérhető sűrűség-értékét tekintjük általánosan alkalmazott adatnak. (forrás: DAWIA 2003)

Ennek bizonyítást kezdjük mindjárt egy ésszerű megfontolással, mely szerint a rotorfelületen áthaladó közepes szélesség az érkező, tehát a rotor előtti  $v_1$  és a távozó, tehát a rotor mögötti  $v_2$  szélesség számtani átlaga, azaz  $(v_1+v_2)/2$ . (Erre Betz egy bizonyítást készített. Forrás: DAWIA, 2003)

A rotoron másodpercenként átáramló légtömeg:

$$m = \rho * A * \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (2.11)$$

ahol

$m$  = az átáramló tömeg,

$\rho$  = a légsűrűség,

$A$  = a rotor által súrolt felület és

$\frac{v_1 + v_2}{2}$  = a rotorfelületen átáramló közepes szélesség.

A rotor által az átáramló szélből nyerhető teljesítmény azonos a tömeg és a sebességek négyzetének különbségéből képzett szorzattal.

$$P = \frac{1}{2} * m * (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.12)$$

Helyettesítsük be a tömeget a fenti összefüggéssel, akkor a következőt kapjuk.

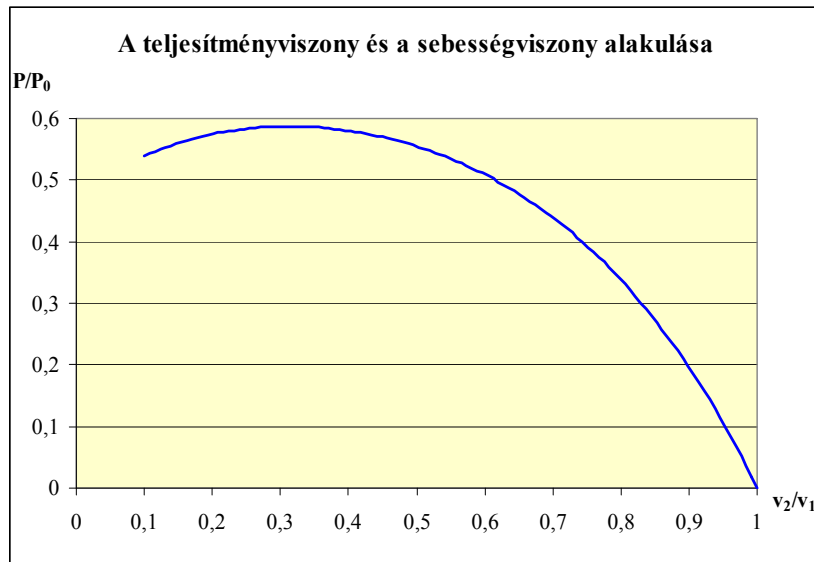
$$P = \frac{\rho}{4} * (v_1^2 - v_2^2) * (v_1 + v_2) * A \quad (2.13)$$

A rotor által súrolt felülettel azonos keresztmetszeten (A), zavartalanul átáramló levegő teljesítménye a következő összefüggéssel határozható meg:

$$P_0 = \frac{\rho}{2} * v_1^3 * A \quad (2.14)$$

Hasonlítsuk össze a két teljesítményt, és képezzük az átlagukat. A kinyerhető és a szabad áramlásban rejlő teljesítmény viszonya a következő módon alakul:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left( 1 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right) * \left( 1 + \frac{v_2}{v_1} \right) \quad (2.15)$$



**2.6. ábra** A teljesítményviszony és a sebességviszony kapcsolata  
(forrás: DAWIA 2003)

Most már  $P/P_0$  hányadost  $v_2/v_1$  függvényében ábrázolhatjuk (2.6 ábra)

A függvényből kiolvasható, hogy  $v_2/v_1 = 1/3$ -nál éri el a maximumát és ez a szélből nyerhető energia 59%-a, vagy másként 16/27 része az összes teljesítménynek.

Azaz egy  $D$  [m] átmérőjű rotortal,  $v$  [m/s] széleseesség mellett kinyerhető teljesítmény értéke:

$$P_{\max} = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^3 \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \quad \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3} \right], \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} \right], \left[ \frac{\text{J}}{\text{s}} \right], [\text{W}] \quad (2.16)$$

Az adott generátorral termelhető villamos energia mennyiségét alapvetően a pillanatnyi átlagos szélesség határozza meg.

A szélességet és a szélirányt az atmoszféra légcirkulációja, a helyi hőmérsékleti viszonyok, és a domborzat tagoltsága együttesen befolyásolják. A szél jellegének változása az általános légcirkuláció hatására hosszabb-rövidebb időszak (órák, vagy napok) alatt megy végbe. Hirtelen betörő meteorológiai frontok ezzel szemben pillanatok alatt képesek megváltoztatni a teljes áramképet (2006. 08. 20.).

A szélnek ez a változékonysága azonban a villamos áram termelésére is kifejti hatását. Éppen ezért arra kell törekedni, hogy megfelelően választott mérési pontok és mérőrendszer széladatbázisa segítségével, jó leírást adjunk, ezen változásokról.

A légkör termikus jellegétől és a domborzat tagoltságától függően kisebb-nagyobb szellőkések keletkeznek. Ennek hatására mind a szél sebességében, mind pedig irányában pillanatnyi változások következnek be. Ezen a változások jól érzékelhetők, ha a szél struktúráját úgy képzeljük el, mint különféle méretű, háromdimenziós örvények sorozatát a fő áramlás mentén. Ezt nevezzük turbulenciának. A turbulenciának is van hatása az energiatermelésre, de nem közvetlen módon, mivel a szélerőművek nem képesek a szél sebességének, vagy irányának változására azonnal reagálni.

### 2.3 A szél időbeli változásának jellemzői

Egy terület szélenergetikai jellemzése során gyakran az éves átlagos szélesség értékét adják meg. Egyetlen adat azonban elfedi a rövidebb ideig tartó változásokat. Mivel a termelhető villamos energia a szélesség köbével arányos, az ilyen jellegű elhanyagolás, illetve átlagolás jelentős eltérést okozhat az éves energiapotenciál becslésénél. E probléma a széladatok részletes, éves adatfelvételével megszüntethető. Ezért az energetikai szélmérés gyakorlatában 1-60 másodperces mintavétel átlagából képzett, 1-10 perces adatrögzítés terjedt el. A mérés során minden szélirányban tárolni kell a szélesség nagyságát, és végül éves szinten kell kiértékelni a kapott adathalmazokat. Így kapjuk az adott terület széljárásának statisztikai leírását. A legjobb statisztikák készítéséhez a méréseket éveken át - tíz évig - kell folytatni ahhoz, hogy az egyes évek közti eltéréseket is figyelembe tudjuk venni.

Számos statisztikai eloszlásfüggvényt próbáltak ki a szélesség leírásához. A kétparaméteres Weibull-eloszlás bizonyult a leginkább alkalmasnak erre a célra azért, hogy a legjobb pontossággal illeszkedik az adatsorokra.

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad [\%] \quad (2.17)$$

ahol:  $v$  = szélesség [m/s]

$c$  = méret tényező [m/s]

$k$  = alaktényező.

Ha  $k=2$ , akkor megkapjuk a Rayleigh-eloszlást, amennyiben  $k=1$ , akkor exponenciális eloszlást kapunk. Ezek a Weibull-eloszlás speciális esetei. Észak-

Európa nagy részén a  $k$  tényező közel egyenlő kettővel. A  $c$  tényező értéke az adott átlagos szélesség értékével egyezik meg.

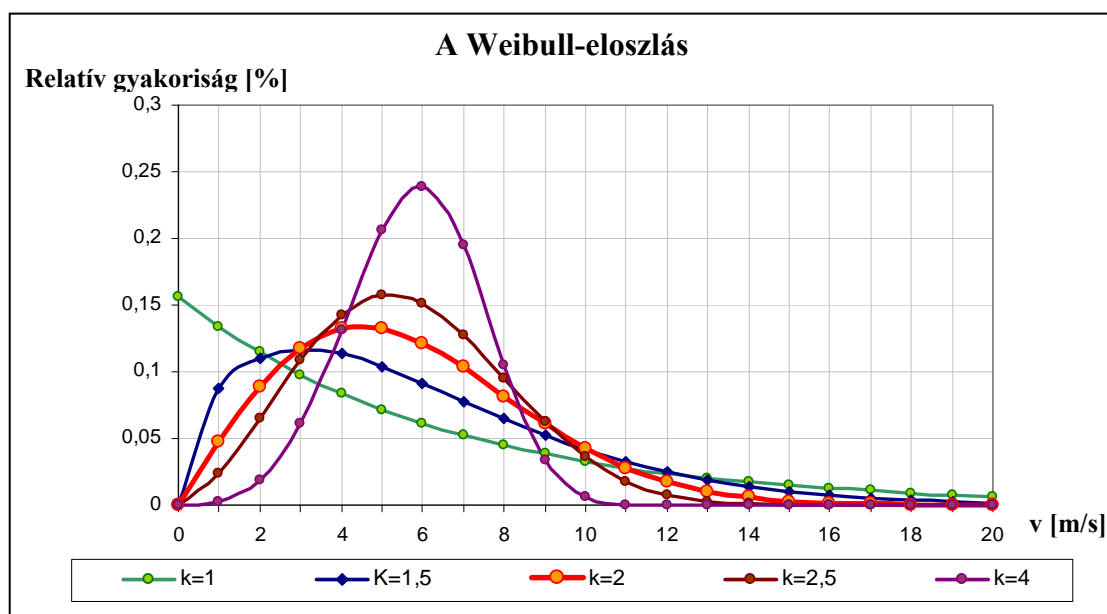
A Rayleigh eloszlásfüggvény:

$$f(v) = \frac{\pi \cdot v}{2 \cdot v_a^2} \cdot e^{-\frac{\pi}{4} \left(\frac{v}{v_a}\right)^2} \quad [\%], \quad (2.18)$$

ahol  $v_a$  = az átlagos szélesség.

A szélesség-eloszlás matematika leírása lehetővé teszi a szélerőmű teljesítmény-jelleggörbéivel való összevetést. Így megkapható a szélerőmű éves energiahozama. Továbbá lehetőség nyílik olyan konstrukció kiválasztására, amely lehetővé teszi adott helyszínen, a legnagyobb üzemi hatásfok elérését.

(forrás: Tóth-Horváth 2003)



## 2.4 A szél, magasságtól való függése

A szélesség tetszőleges  $z$  magasságban számítható, ha adott  $z_R$  referencia magasságban ismert az értéke. A logaritmus-szabály szerint:

$$\frac{v}{v_R} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_R}{z_0}\right)} \quad (2.19)$$

ahol:

$v$  a keresett szélesség (m/s), a  $z$  magasságon(m)

$v_R$  az ismert szélesség (m/s), a  $z_R$  referencia magasságon (m).

A referencia-magasság a meteorológiai méréseknél általában 10m, mivel a legtöbb átlagos szélesség érték erről a magasságról származik.

A mérnöki gyakorlat, a könnyebb kiértékelhetősége miatt, a hatványkitevő segítségével kifejezett függvénykapcsolatot részesíti előnyben:

$$\frac{v}{v_R} = \left( \frac{z - D}{z_R} \right)^\alpha \quad (2.20)$$

Az  $\alpha$  kitevő értéke jellemzően 0,1 és 0,5 között változik. Nagyságát számos tényező befolyásolja: a táj felszínének jellege, a területen található növényzet, az épületek és a különböző meteorológiai jellemzők (páratartalom, hőmérséklet, nyomás). A kitevő értéke az egyenletlenségek mértéke alapján kiszámítható.

(forrás: Tóth-Horváth 2003)

Az  $\alpha$  kitevő értéke ezen kívül még a mérési magasság függvényében is változik.

A legújabb szélgenerátorok legnagyobb üzemi magassága (a forgórész felső holtpontja) nem haladja meg 200 méter talajszint fölötti magasságot, ezért e fölött jelenleg még nem szükséges a sebességviszonyok feltérképezése.

Azonban, ha a mérőérzékelőket csak 10-20 méteres talajszint feletti magasságban tudjuk elhelyezni, a szélességet a megfelelő magasságra át kell számítani. Ez viszont jelentős hibát eredményezhet.

A földfelszín feletti magassággal növekszik a szélesség. A növekedés a terepalakulattól (a talaj egyenletlenségétől), a gradiens-szélességtől és a függőleges hőmérsékletprofiltól (az atmoszféra egyensúlyi állapotától) függ.

A légkör termikus rétegződése hatást gyakorol a gyenge szél profiljának a meredekségére. Erős szél esetén (6 m/s fölött), a 10 métert meghaladó magasságban, ez a hatás elenyészően kicsi. Erős, mechanikus turbulencia létrejöttkor (viharak, zivatarok vagy frontok alkalmával, amikor az alsóbb légrétegekben igen meleg levegő áramlik), ettől eltérő kivételek is előfordulhatnak.

A gradiens-sebességnek itt annyiban van hatása, hogy az erős szél magassággal kapcsolatos sebességnövekedése kisebb, mint a gyenge szélé. Erős szél esetén a terep egyenletlensége a döntő.

2.2 táblázat: Egyenetlenségi osztályok és a Hellmann-tényező értéke

Egyenetlenségi osztály	$z_0$ [m]	A területborítás jellege	Hellmann-tényező
0	0.0002	Nyílt vízfelszín	0,01
0,5	0,0024	Kifutópálya, nyírt füves terület, Símított földfelszín, Sima havas felület, Sima homokos felület	0,1
1	0.03	Nyílt mezőgazdasági terület, fák és bokrok nélkül, távolra elszórt épületekkel, nagyon enyhe lankák	0,15
1,5	0,055	Mezőgazdasági terület kevés építménnyel, fával, Max. 8m-es bozótossal, legalább 1250m távolságban	0,17
2	0,1	Mezőgazdasági terület kevés építménnyel, fával, Max. 8m-es bozótossal, legalább 500m távolságban	0,2
2,5	0,2	Mezőgazdasági terület kevés építménnyel, fával, Max. 8m-es bozótossal, legalább 250m távolságban	0,25
3	0,4	Falvak; kisvárosok; mezőgazdasági területek kis,vagy magas bozóttal, erdők; nagyon durva, egyenetlen domborzat	0,3
3,5	0,8	Nagyvárosok, magas épületekkel, extrém domborzat	0,5
4	1,6	Nagyvárosok, magas épületekkel és felhőkarcolókkal, hegyvidék	> 0,7

(forrás: saját szerkesztés)

A szél magasságtól való függése, a korábban már leírtak szerint, exponenciális összefüggéssel fejezhető ki (Lysen 1982)

$$\frac{v}{v_g} = \left( \frac{h}{h_g} \right)^\alpha \quad (\text{m/s}) \quad (2.21)$$

ahol:

h: magasság (m)

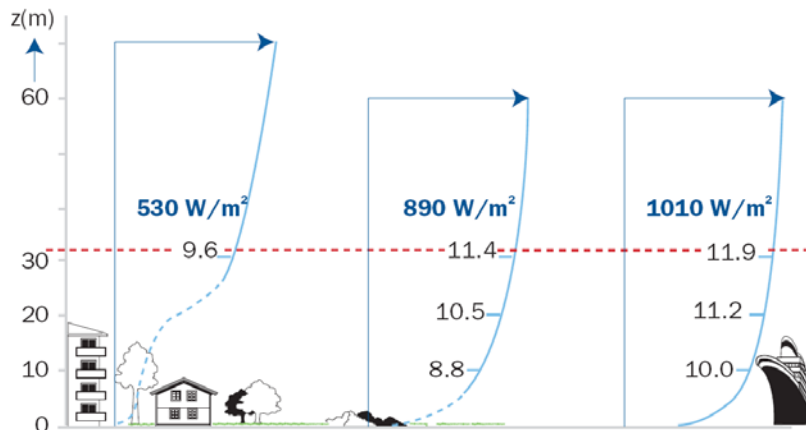
$h_g$ : határmagasság

v: h magasságban mérhető sebesség

$v_g$ : gradiens szél sebessége a határmagasságban

$\alpha$ : a terep egyenetlenségétől (érdességétől), a szélesebségtől függő tényező

(forrás: Tóth-Horváth 2003)



**2.8. ábra** A felszíni egyenetlenségek befolyásoló hatása  
(forrás: EWEA 2006)

A terep egyenetlensége, a beépítés sűrűsége, a meglévő építmények nagysága, valamint a növényzet összetétele és jellege (ez utóbbi miatt az évszakok változása is) határozza meg az  $\alpha$  értékét (2.8 ábra). Az egyenetlenség nem az egyes akadályok hatásából, hanem számos akadály összegződött hatásából származik (forrás: Davenport 1960).

Davenport vizsgálati szerint az  $\alpha$  kitevő értéke a felszín érdességétől függően a következőképpen alakul:

Sík mező	0,12
Nyílt terep	0,16
Erdős síkság	0,28
Város alacsony épületekkel	0,35
Város magas házakkal	0,50

A nem homogén területekre a leírt törvények módosított változatai használhatók, ezekhez táblázatok és grafikonok állnak rendelkezésre (Gasch 1991)

## 2.5 A szél mérése

### 2.5.1 A szél észlelése műszer nélkül

A szélirány, becsléssel történő megállapítására sok lehetőség nyílik. Alkalmas erre a célra a kéményekből felszálló füst, amely igen érzékeny a szélirányváltozásokra. Felhasználhatjuk a repülőtereken lévő szélzsákokat, a falevelek, ágak vagy a fák mozgását. Ezzel szemben a felhők vonulási iránya nem ad megfelelő támpontot, mivel még alacsonyan mozgó felhők esetén is az adott magasságban uralkodó szélviszonyok a földfelszín közeli adottságoktól jelentős mértékben eltérhetnek.

A szél sebességének műszer nélküli becslése azon a hatáson alapszik, amit a különböző erejű szelek a növényzetre, az épületekre és az emberre gyakorolnak. Ezeknek a megfigyelésével készült a Beaufort-féle tapasztalati szélerő skála, amely eredetileg a szélcsenden kívül 12 erősségi fokozatot különböztetett meg, de

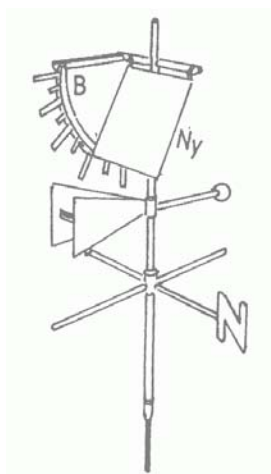


újabbán 17 részre bővítették, s ezzel a nagy trópusi viharokat is osztályozni lehet. Az egyes szélerő értékeket nehéz pontosan elhatárolni egymástól. Az 1-2 fokozat gyenge, a 3-4 mérsékelt, az 5-6 erős szelet jelöl, amit közönséges értelemben is szélnek nevezünk. A vihar a 7-es fokozattal kezdődik. A fokozat megállapításánál sohasem a legerősebb szellőkést figyeljük, hanem az átlagos erősséget becsüljük meg.

Az említett összeállítás az egyes szél-fokozatokat szárazföldi használatra adja meg; a tengeren való alkalmazására más hatások - elsősorban a szél által keltett hullámok alakja és mérete - szolgálnak.

## 2.5.2 A szél észlelése, műszerrel

*A szélirány és a szélnyomás mérése*



**2.9. ábra** Nyomólapos szélesebesség- és széliránymérő  
(forrás: Makra 1991)

A legkorábbi szélmérő műszerek a szél irányát határozták meg. Korszerűsített változatuk, a Wild-féle nyomólapos szélzászló, amely a szélirányt és a szélerősséget jelzi (2.9. ábra és a 3. melléklet). A készüléket a talaj fölött 5—6 m magasan fából vagy fémből készült rúd végére szerelik föl. Legfontosabb alkotórésze a szélfogó v. iránymutató, amely két egymáshoz hajló vékony fémlapból áll, és függőleges tengely körüli forgást végezhet. Ha a szélfogó állása nem azonos a széliránnyal, akkor szélnyomást kap, és annak engedve elfordul. Egyensúlyi helyzet csak akkor jön létre, ha a szélfogó mindkét lapján egyenlő nagyságú a szélnyomás, azaz a szélzászló „beáll” a szél irányába. A szélzászló által mutatott irány közelebbi meghatározására szolgál az égtájkereszt, az északi irányt N betűvel jelölve.

A szélzászló nyomólapja (Ny) a szélerősség meghatározását célozza, mely mindig merőlegesen áll a szélirányra. A szélnyomás a szélerőtől függő mértékben a nyomólapot nyugalmi helyzetéből kilendíti. A kilengés nagysága a Beaufort-féle fokokban (B) olvasható le.

### A szélesség és a lökésesség mérése

A szélesség mérésére szolgáló műszereket anemométereknek nevezzük, a szélességet folytonosan regisztrálókat pedig anemográfoknak. A szélességmérők vagy az egységnyi felületre ható szélnyomást mérik, vagy a szél időegység alatt megtett útját. A legegyszerűbb ilyen műszer az imént említett szélzászló fölött alkalmazott nyomólap, amit a szél, nyugalmi helyzetéből kimozdít. A többi szélességmérőnél az alábbi mérési elvek érvényesülnek:

1. *Forgókerekes* (a szél okozta nyomás egy kereket forgat, melynek forgási sebessége a szélességgel arányos)
2. *Aerodinamikus* (a szélességtől függő dinamikus nyomást mérik)
3. *Elektromos* (a szél hűtő hatásán alapszik)
4. *Akusztikus* (például a Doppler-effektus alkalmazásával)

#### *Forgókerekes (rotációs) szélességmérők:*

Legelterjedtebb a forgókanalas szélességmérő. Ezek függőleges forgástengelyű műszerek. A vízszintes síkban forgó kerék rendszerint három vagy négy küllőjére, műanyagból készült félgömböt erősítenek. A szélnek kitett érzékelő rész forgásba jön, bármilyen legyen is a szélirány, mert a kanalak homorú felületére a szél nagyobb nyomóerőt gyakorol, mint a domborúra. A kanál-körülfordulások időegységre vonatkoztatott számából meghatározható a közepes szélesség.



2.10. ábra Különböző kialakítású kanalas anemométerek

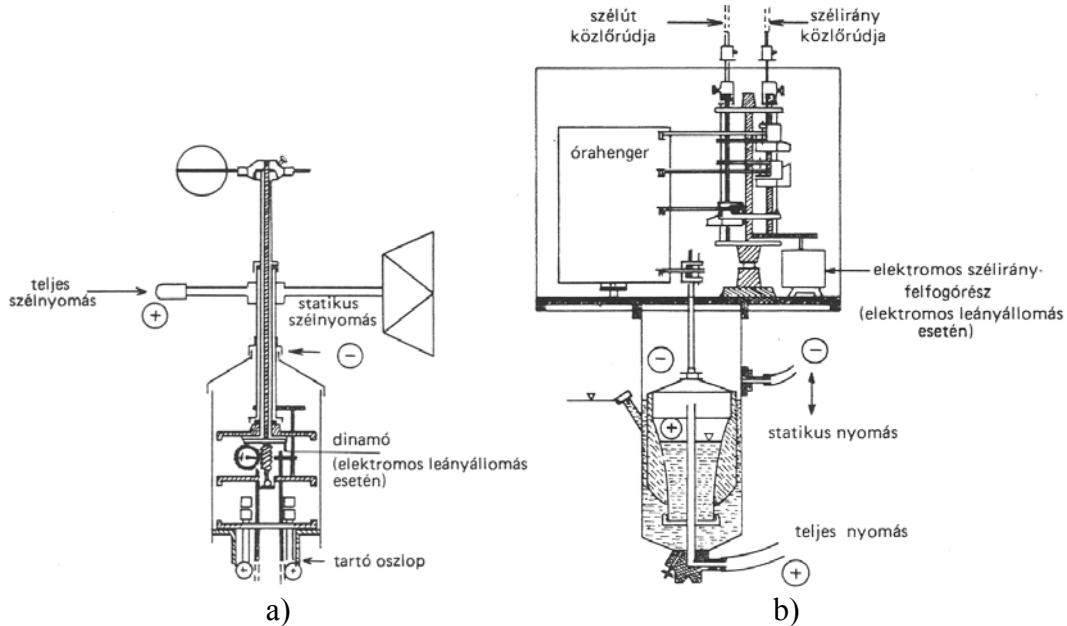
Abban az esetben, ha írókészülékkel kapcsoljuk össze a műszert, regisztrálásra is felhasználható. Az idővonal mentén fölrajzolt jelek számából meg lehet határozni a sebességet.

#### *Aerodinamikus szélességmérők*

A szél egyik hatása, hogy egy zárt tér nyomásviszonyait megváltoztatja. Ezt az új nyomást, amelyet létrehoz, dinamikus nyomásnak nevezzük, szemben a légáramlástól mentes tér úgynevezett statikus nyomásával. A dinamikus nyomás nagysága függ a szél sebességétől és a zárt térbe vezető nyílásnak a szélhez viszonyított irányától. Valamely megadott irányhelyzet mellett csak a szélességtől függ, tehát ebben az esetben a szélességmérés nyomásmérésre vezethető vissza. E módszer egyik előnye, hogy a műszerek tehetetlensége kicsiny, a szél erősség gyors ingadozását szinte azonnal követni tudják, és ezért a szél lökésességének mérésére is felhasználhatók.

A Fuess-féle univerzális szélmérő:

A műszer szélzászlójának csúcsán - amely a széllel mindig szembe fordul - nyílás található, s ebből egy cső vezet a regisztráló készülékhez. Ezt a csövet, mivel benne a dinamikus nyomás mindig nagyobb a statikusnál, nyomócsőnek nevezzük. A szélzászló oldalán jobbról és balról szintén van egy-egy nyílás, amelyben statikus nyomás áll elő. Innen szintén cső vezet a műszerhez. Mindkét cső egy fémhengerbe torkollik, amelynek belsejében folyadékon bűvárharang úszik. A nyomócső a harang alá vezet, a másik pedig a bűvárharang fölötti térbe. Amint a szél sebessége megerősödik, a nyomócsőben megnő a nyomás, ezért a harang fölemelkedik. A bűvárharang fölötti térből kiszorult levegő a másik csövön át akadálytalanul eltávozik. A szélesebesség a harang elmozdulásának mértékével lesz arányos.



**2.11. ábra** A Fuess-féle egytetemes széliró érzékelője (a) és írszerkezete (b)  
(forrás: Makra, 1991)

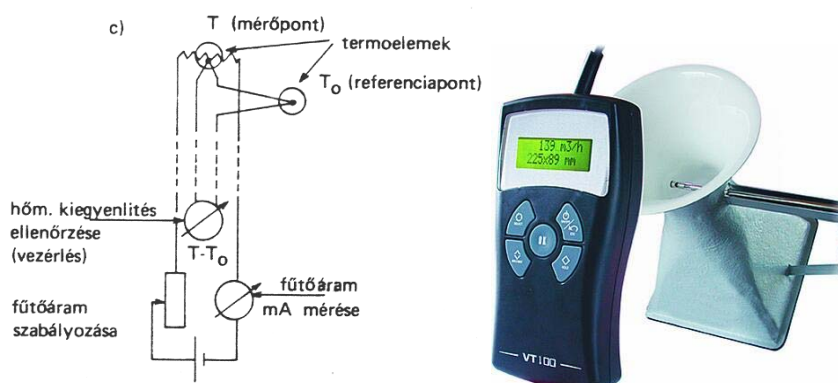
A Fuess-féle univerzális szélmérő a pillanatnyi szellőkések sebességén kívül folytonosan regisztrálja a szél irányát, és átlagsebességét.



**2.12. ábra** Korszerű Pitot-csőves sebességmérő

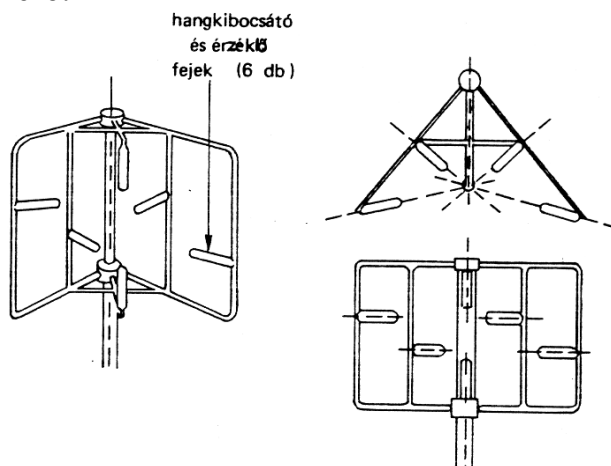
**Hődrótos anemométerek:**

Ezek a legérzékenyebb és a legkisebb tehetlenségű műszerek; iránytól független szélességmérésre használhatók. Működésük azon alapszik, hogy a levegő hőmérséklete fölé melegített vékony drót hőmérséklete a szélességtől függően csökken.



**2.13. ábra** A hődrótos anemométer  
(forrás: Makra 1991)

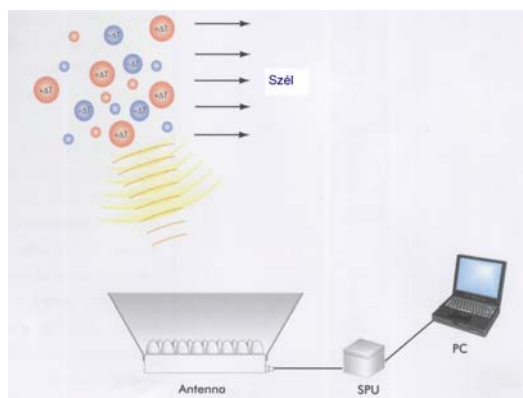
A műszer pontos működését zavarja, hogy a levegő hőmérséklete is megváltozhat, tehát a drót lehülése nemcsak a szélességtől függ. Ezt a hibát küszöböli ki az Albrecht-féle hődrótos anemométer. A műszerben két egyenlő hosszúságú, de különböző vastagságú drótot azonos áramerősséggel melegítenek. A vékony drót melegebb lesz, mint a vastagabb, a köztük lévő hőmérsékletkülönbség a szélesség növekedésével csökken, de a léghőmérséklet megváltozása a hőmérsékletkülönbséget nem befolyásolja. A fűtött vezeték hőmérsékletének mérése ellenállásmérésre vezethető vissza. A műszer mérési tartományának alsó határa  $0,5 \text{ m/s}^{-1}$ , így a mikro áramlások mérését is lehetővé teszi.

**Akusztikus szélmérő:**

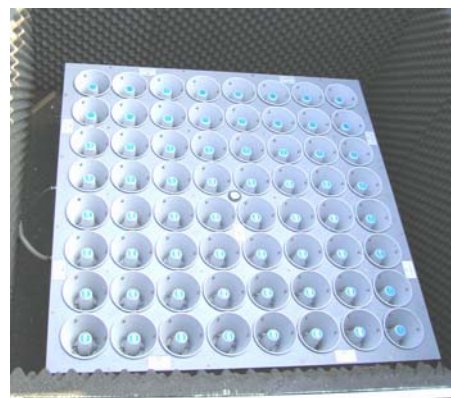
**2.14. ábra** Az „akusztikus szélmérő” érzékelő teste  
(forrás: Makra 1991)

A 2.14. ábrán egy „akusztikus szélmérő” érzékelő részének felépítését látjuk. A speciális fémkereten 6 db kettős rendeltetésű (hangkibocsátó és érzékelő) mérőtest helyezkedik el. Az egyes mérőtestek által kibocsátott hangimpulzusok a széliránytól és szélesebségtől függően különböző időbeli eltéréssel jutnak el a többi mérőtesthez. Mindezt elektronikus berendezés értékeli és a kapott jelek bonyolult halmazából rekonstruálja a szélvektor háromdimenziós változásait.

A SODAR:



a) A SODAR mérési elve



b) A 64 darab hanglokátor

### 2.16. ábra A SODAR-működése (forrás Varga et al. 2005)

A SODAR (SONic Detection And Ranging) egy olyan távérzékelési eszköz, amely a hanghullámok segítségével méri a szél irányát és sebességét.

A mérés a légkörben állandóan jelenlévő mikroturbulenciák, örvények érzékelésén alapul. A mikroturbulenciák szabálytalan változása határozza meg a szél pillanatnyi értékének függőleges és vízszintes összetevőjét. Keletkezésük egyrészt az atmoszféra termikus változásaiból ered, másrészt az áramló levegő útjában lévő természetes és mesterséges akadályok okozzák. E hatások az atmoszférában különböző turbulens rétegeket hoznak létre. Az atmoszférába kibocsájtott hanghullám találkozik, áthalad ezeken a turbulens rétegeken és az energiája minden irányba szétszóródik. Habár a különböző termikus és mechanikus turbulenciák elnyelik az energia egy részét, valamennyi visszajut a hangforráshoz. Ezt a visszasugárzott energiát (az atmoszféra visszhangját) méri a monostatikus SODAR rendszer. A monostatikus SODAR-nál a hangkibocsátó és fogadó antenna egy egységet alkot. Az érzékelt örvény és a fogadóantenna által bezárt szög  $180^\circ$ . A visszasugárzott energia kizárólag termikus turbulenciákról érkezik.

A bistatikus SODAR rendszereknél a kibocsátó és fogadó antennák egymástól elkülönített egységek. Ebben az esetben az örvény és a jelfogó által bezárt szög eltér a  $180^\circ$ -tól. A rendszer a termikus és mechanikus hatások okozta turbulenciáról érkező jelet is érzékeli. Ez egy erősebb és folyamatosabb mért jelet eredményez.

A gyakorlatban alkalmazott SODAR rendszerek többsége monostatikus, mivel ennek felépítése egyszerűbb és gyakorlatiasabb.

A Doppler jelenség következtében a kibocsátott és visszatérő jel frekvenciájában történő változás mérése alapján meghatározható az örvény mozgása és helyzete. Amennyiben az örvény a SODAR antennája felé halad akkor a visszaverődő jel frekvenciája magasabb lesz, mint a kibocsátott jel frekvenciája. Következésképpen, ha az örvény távolodik a jelfrekvencia gyengül.

Ezt a fizikai jelenséget használják fel a Doppler SODAR-nál az atmoszférikus szél és turbulencia mérésére.

A visszatérő jel intenzitásának és frekvenciájának időarányos mérése alapján a kibocsátó antennától különböző távolságra meghatározható a sebesség változása az atmoszférában.

További információ nyerhető a függőleges irányba és a függőlegeshez képest kissé dőlve, merőlegesen kibocsátott kettő, vagy több egymásutáni jelből. Ebből számítható a vertikális szélirány és a szélesebb vízszintes és függőleges komponense.

A SODAR rendszer meghatározott hullámhosszúságú jeleket bocsát ki és fogad. Minál távolabbi helyről érkezik vissza a kibocsátott jel annál gyengébb, ezért a rendszer érzékeny a háttérzajokra. Egy adott vételi jelgyengülés esetén a háttérzaj oly mértékben zavarhatja a rendszert, hogy az adatok értelmezhetetlenné válnak.

A visszaérkező jeleket a talaj közelében lévő tárgyak szintén befolyásolják. Ezek lehetnek például a mérőrendszer közelében lévő fák, vagy magas épületek. Ilyen esetben a visszaérkező jel szintén értelmezhetetlenné válik.

Fontos továbbá hangsúlyozni, hogy a SODAR-nál a hanghullámokat közvetítő közeg a levegő, ezért a közeg megváltozása (magas páratartalom, sűrű eső) is befolyásolhatja a visszatérő jeleket.



*c) A DSDPA.90-64 típusú Doppler SODAR rendszer*

**2.17. ábra** A SODAR-mérőrendszer (forrás Varga et al. 2005)

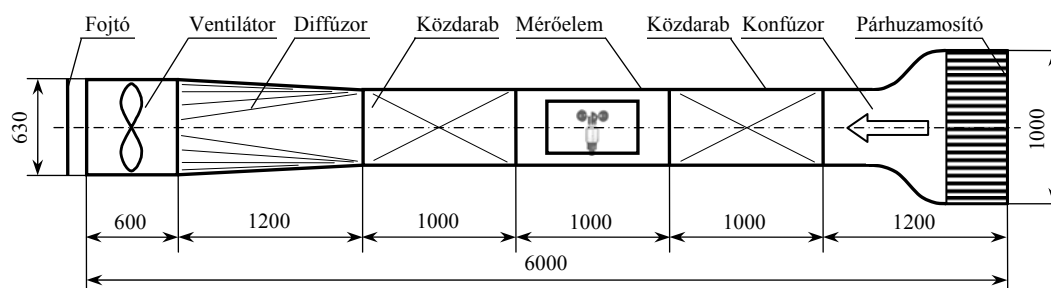
### 3. Anyag és módszer

#### 3.1 Szélcsatorna kialakítása anemométerek kalibrálására

##### 3.1.1 A szélcsatorna szerkezeti felépítése

A tervezés a Szent István Egyetem - Környezeti Rendszerek Intézet - Áramlástan Tanszékén történt.

A szélcsatorna szívó rendszerű, melynek mérőterében a mérés folyamán folyamatos depresszió alakul ki. A csatorna hossza 6 m, amelyet hat szekció épít fel (3.1. ábra). Elemeinek elkészítését a Lindab cég végezte, azok a speciális LindabRekt rendszer tagjai. A LindabRekt csoportba tartozó termékek Z275-ös minőségű tűzi-horganyzott acéllemezről készülnek.



3.1. ábra A szélcsatorna vázlatos felépítése

A rendszer elemei négyszög keresztmetszetű légcsonnak és idomok, melyek szakítószilárdsága  $200 \text{ N/mm}^2$ . A Z275-ös minőség azt jelenti, hogy a horganyzási folyamat során, a lemez mindkét oldalára, négyzetméterenként 275 g horganyt visznek fel. A standard horganyzott acél termékeket az alábbi anyagokból gyártják:

- légcsonnak és épített idomok: EN 10142 – Fe PO2 G Z 275 MA-C
- préselt idomok: EN 10142 – Fe PO2 G Z 275 MA-C és EN 10142 – Fe PO2 G Z 275 MB-C



3.2. ábra A méhsejtszerű áramlásegyenletesítő

A légcsonna elemei LS1, illetve LS11 típusú csatlakozó kerettel kerültek felszerelésre. A mérőtér keresztmetszete 500x500 mm-es szabályos négyzet, melybe a mérni kívánt tárgyat (ebben az esetben kanalas szélességmérőt), a csatorna oldalfalán található szerelőnyíláson keresztül helyezhetjük be (3.3. ábra).

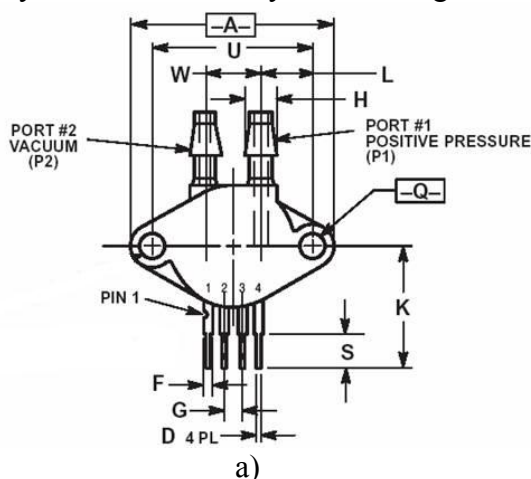


**3.3. ábra** A kanalas szélességmérő ellenőrzésére alkalmas csatornaelem és benne a Pradtl-Pitot cső elhelyezkedése

A csatorna szívótölcsérében található a méhsejtszerű áramlás-egyenirányító (3.2. ábra), melynek feladata a beszívott levegő sebességingadozásának és turbulenciájának csökkentése.

A konfúzor szakaszon átvezetett levegő 1000 mm hosszúságú közdarabba érkezik, ahol az örvénycsillapítás megy végbe, és így rendezett áramlási kép jut a mérőtérbe.

A mérőtérbe került elhelyezésre egy differenciál-manométer, melynek feladata a hozzá kapcsolt differenciál-nyomásmérő (3.4. a) és b) ábra) révén a csatornában lévő nyomásértékkel arányos feszültségérték szolgáltatása.



**3.4. ábra**

- a) Motorola MPX2010 típusú differenciál-nyomásmérő  
 b) HBM Digibar II PE350 típusú differenciál-nyomásmérő



Az arányos feszültségérték alkalmas arra, hogy számítógépen tároljuk, és nyomásértékre visszszámítva referenciaértékként felhasználjuk az anemométerek vizsgálatakor. A mérőtér oldalán elhelyezett szerelőnyílás teszi lehetővé a vizsgálni kívánt tárgyak behelyezését, és az adatgyűjtő egységhez futó vezetékek kivezetését (3.3. ábra). A differenciál-manométer Pradtl csöve a szélesség-mérő műszer előtt helyezkedik el, így a csövek által keltett örvények nem befolyásolják a mért értékeket. A Pradtl cső a szabványban előírt távolságra (350 mm) került elhelyezésre az anemométer előtt, így az általa keltett turbulencia lecseng a csövekhez érve.

A mérőtér után még egy közdarab került behelyezésre, melyhez a szélcsatorna diffúzor szekciója csatlakozik. Ez az elem az áramlás irányába tágulva segíti elő az áramlási sebesség csökkenését, továbbá ez az elem vezeti át a négyzet keresztmetszetet kör keresztmetszetbe.

A légáram fenntartásáról egy Helios HRFD 630 8/4 típusú Ø630 mm-es axiálventillátor gondoskodik (3.7. ábra).

Maximális légszállítása:  $Q = 16000 \text{ Vm}^3/\text{h}$ ,

Teljesítménye:  $P = 1,5 \text{ kW}$ .



**3.5. ábra** Helios HRFD 63/4 típusú Ø630 mm-es axiál ventillátor

A villanymotor fordulatszámának vezérlése frekvenciaváltóval történik.

### **3.1.2 A szélcsatorna kalibrálása**

A szélcsatornával hitelesítés nem végezhető, mivel ehhez az OMH engedélyre van szükség. A hitelesítéshez kapcsolódó jogszabályok a 4. mellékletben kerültek leírásra.

A szélcsatorna kalibrálásának módszere, hogy a csatorna keresztmetszetében az áramlási iránnyal párhuzamosan több helyen megmérjük a szél sebességét, a kapott értékeket diagrammban ábrázolva következtetünk áramlási viszonyaira. Az anemométerek kalibrálása során az egyenletes szélesség profil a megfelelő, melynek a mérőműszer környezetében állandónak kell lennie.

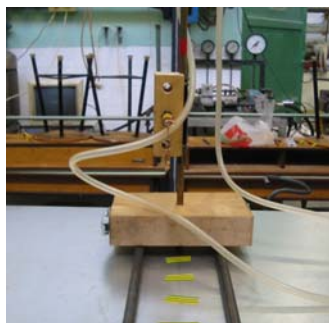
A tényleges mérendő érték mellett számos környezeti paraméter, így a nyomás, valamint a hőmérséklet értékét is rögzíteni kellett. Az áramló közegnél egy másik

változó, a viszkozitás is szerepet játszik. A viszkozitás által okozott feszültségek hozzájárulnak többek között az áramlási ellenálláshoz, az egyenetlen sebességeloszláshoz és a leválási jelenségeket a csatorna keresztmetszetben. A viszkozitás hatása olyan bonyolult, hogy nem lehet pontosan megállapítani, ezért kísérleti úton meghatározott értékekkel, pl. az átfolyási tényezővel és ellenállás értékekkel kell figyelembe venni. A négyzet keresztmetszetű csatornában kialakuló áramlás veszteségének számítása sokkal komplikáltabb feladat, mint a kör keresztmetszetű csövek esetén. Lamináris áramlásban használható a Navier-Stokes- egyenlet, de csak háromdimenziós változatban. Turbulens esetben itt is a határréteg elméletből lehet kiindulni. A gyakorlatban azonban egy sokkal egyszerűbb és jól használható fogalom, az egyenértékű átmérő (hidraulikai sugár) bevezetése teszi lehetővé az egyszerű veszteségszámítást. A hidraulikus átmérő annak a kör keresztmetszetű légcatornának az átmérőjét jelenti, melyben azonos légsebesség mellett ugyanakkora nyomásesés keletkezik, mint a négyzet keresztmetszetűben.

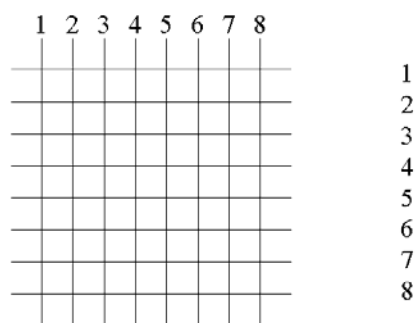
$$d_h = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b} \quad (3.1)$$

### 3.1.2.1 A kalibrálás módszere

A légcatorna szélességének kalibrálásához részletes és több szélességosztályra kiterjedő mérési sorozatot kellett végezni, a csatorna teljes keresztmetszetében. Ehhez a légcatorna mérőszekcióját egy közdarabbal kellett helyettesíteni, melyen a mérés lefolytatásához szükséges változtatásokat végeztem el. A mérési elv azon alapult, hogy kellő számú mérési pontot felvéve, a kapott értékekkel reprezentatív képet alkothassak a csatornában kialakuló áramlásról. Ennek érdekében a csatorna felső oldalára merőlegesen, egymástól 62,5mm távolságra nyolc furatot készítettem. A furaton keresztül függőlegesen lefelé, félgömbfejű Prandtl-csővet juttattam a csatorna belsejébe (3.6. ábra), melyet a mérés folyamán nyolc mélységi pozícióban rögzítettem, szintén 62,5mm-es méréslépcső alkalmazásával.



3.6. ábra A Prandtl-cső elhelyezkedése a csatorna elemen



3.7. ábra A 8x8 pontos mérési raszter

Így sikerült egy képzeletbeli négyzetháló 64 metszéspontján (3.7. ábra) a csatorna levegőáramának sebességét megmérni.

### 3.1.2.2 A kalibrálás eszközei

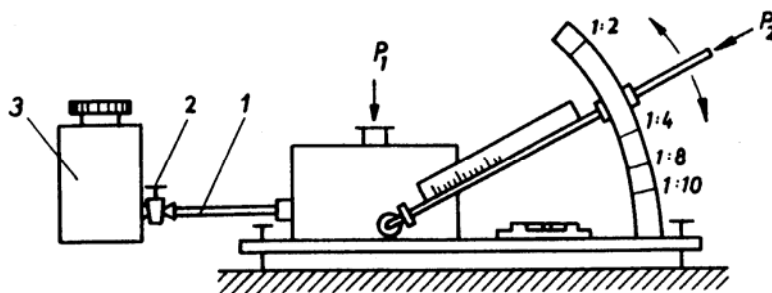
#### A Prandtl-cső

A légcsatorna szélességének mérésére a fentiekben már említett félgömbfejű Prandtl-csövet használtam, mely az MSZ 1709/17 – 1984, „Folyadékáram-mérés, Mérés Prandtl-csővel perdület- és örvénylésmentes áramlásban” című, szabvány előírásai szerint, korábban került kialakításra.

A torlósóvel csak egyfázisú folyadék vagy gáz áramlása mérhető. A folyadék vagy gáz nem tartalmazhat olyan mennyiségű, illetve minőségű szennyezést, amely a műszer eldugulását okozhatja, vagy annak szárán olyan lerakódást eredményezhet, amely az áramképet megváltoztathatja. Torlósóvet folyadékmennyiség mérésére csak állandósult vagy lassan változó áramlás esetén lehet használni.

#### A mikromanométer

A gyakorlatban használt ferdecsöves mikromanométereknek két fajtája van: az úgynevezett merevcsöves, illetve az állítható ferdecsővel rendelkező változat. Előbbit az állandó jellegű üzemi mérésekhez, utóbbit pedig ellenőrző, kísérleti mérésekhez használják. Egyik gyakran alkalmazott típus vázlatát szemlélteti a (3.8. ábra).



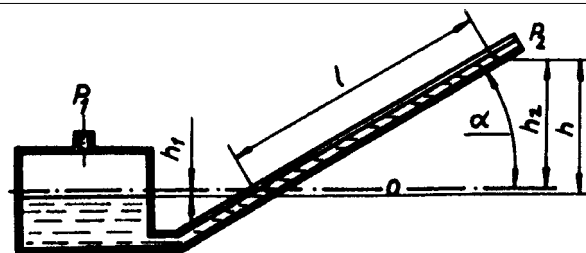
3.8. ábra A ferdecsöves mikromanométer felépítése  
(forrás: Sassy 1993)

A mérőcső előre meghatározott áttételi viszony szerint állítható be, értéke az íves skáláról közvetlenül leolvasható. Az állítható mikromanométerek nullhelyzete a mérési tartomány átkapcsolásakor megváltozik és az eltérés a skála eltolásával rendszerint nem kompenzálható.

A ferdecsöves mikromanométer mérőcsöve 1,5...2,0 mm belső átmérőjű. Ilyen vékony csöveknél nem érvényesül teljes egészében a közlekedő edények törvénye. Az ebből keletkező eltérés állandó jellegű, ezért a mérési eredmény korrigálható.

A ferdecsöves mikromanométer előnye abból adódik, hogy adott nyomáskülönbségnél a kis keresztmetszetű ferde csőben annál nagyobb  $l$  kitérés jön létre, minél kisebb a cső vízszintessel bezárt szöge.

Az  $l$  kitérés és a  $p_1-p_2$  nyomáskülönbség között a gáz alakú közegek nyomásmérésénél, a 3.9. ábra jelöléseit figyelembe véve, a következő összefüggés áll fenn:



3.9. ábra Az  $l$  kitérés és a  $p_1-p_2$  nyomáskülönbség közötti összefüggés  
(forrás: Sassy 1993)

$$p_1 - p_2 = \rho_m \cdot g \cdot h$$

$$h = h_1 + h_2$$

$$A_1 \cdot h_1 = A_2 \cdot l = A_2 \cdot \frac{h_2}{\sin \alpha}$$

$A_1$ : a mérőfolyadék-tartály belső keresztmetszete

$A_2$ : a ferdecső belső keresztmetszete

$\rho_m$ : mérés során használt mérőfolyadék sűrűsége

$$h_1 = \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{h_2}{\sin \alpha}$$

$$p_1 - p_2 = \rho_m \cdot g \cdot h_2 \left( l + \frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \right)$$

$$h_2 = l \cdot \sin \alpha$$

$$p_1 - p_2 = \rho_m \cdot l \cdot g \left( \sin \alpha + \frac{A_2}{A_1} \right)$$

Az összefüggésben szereplő állandó értékek összevonhatók egy műszerállandóba:

$$K = \rho_m \cdot g \left( \sin \alpha + \frac{A_2}{A_1} \right)$$

A nyomáskülönbség ezek után a  $p_1 - p_2 = k \cdot l$  összefüggéssel számítható.

A ferdecsöves mikromanométer geometriai méreteiből adódó korrekciót mérés során gyakran elhanyagolják és a következő összefüggéssel számolnak:

$$p_1 - p_2 = h \cdot \rho_m \cdot g$$

$$p_1 - p_2 = l \cdot \sin \alpha \cdot \rho_m \cdot g$$

A leolvasott  $l$  hosszúságból a keresett  $p_1-p_2$  nyomáskülönbség gyors megállapítására diagram is használható.

A ferdecsöves mikromanométerben mérő-folyadékként színezett desztillált vizet, etilalkoholt, petróleumot vagy egyéb, kis viszkozitású folyadékot használhatunk.

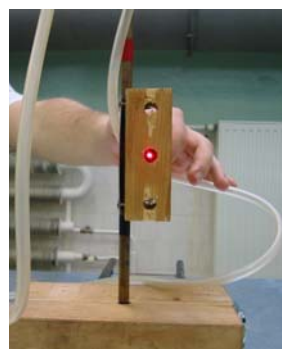
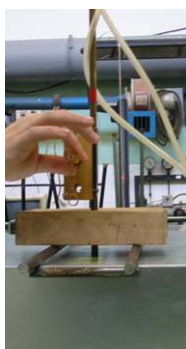
### 3.1.2.3 A szélcsatorna kalibrálásának menete

A méréseket 500 1/min, 1000 1/min, 1500 1/min-es fordulatszámokon végeztem, melyeket a ventilátor szabályzásához használt frekvencia szabályzóval állítottam be (3.10. ábra).



**3.10. ábra** Frekvenciaváltó

A Pandtl-cső áramlási irányba állítását egy lézer pointerrel egybeépített egység segítette (3.11. ábra). A lézermutató úgy került elhelyezésre a mérőszáron, hogy a Pandtl-cső mérőfejére (az áramlási irányra) merőleges legyen. Méréskor a lézertényt egy, a csatornától független, függőleges egyenesre irányítottam, így biztosítani lehetett, hogy a mérőfej mindig pontosan az áramlási irányval szemben helyezkedjen el.



**3.11. ábra** A Pandtl-cső áramlási irányba állítása

A mérést furatonként egyesével végeztem. Minden furatnál nyolc mélységbe engedtem le a mérőcsövet, melynek szárán a pontosság érdekében skálát készítettem 62,5 mm-es osztásokkal. A nyolc furat mindegyikében elvégeztem a mérést így egy fordulatszámmon 8x8, azaz 64 helyen tudtam rögzíteni az áramlási sebességet. Az adatok rögzítését 500-1000-1500 1/min fordulatszámmon végeztem el. A „hamis” levegő beszívás megakadályozása érdekében az éppen használaton kívüli furatokat lezártam, mivel az a mért értékeket torzíthatta volna.

A szélcsatorna kalibrálási adatai és a kiértékelés során levont következtetések az értekezés „4. Eredmények” című fejezetében találhatóak.

## 3.2 Energetikai célú szélmérések a gyakorlatban

Ebben a fejezetben az energetikai célú szélmérés gyakorlatában előforduló mérési módokat és az azoknál alkalmazott műszereket ismertetem.

### 3.2.1 A toronymérések fajtái

E kategóriába tartozó energetikai célú szélmérések 3 fő csoportba sorolhatók:

- 1) *Informatív jellegű szélmérések*  
A meteorológiai szolgálat mérőállomásai, vagy a telepítési hely közelében felállított és hosszabb idejű átlagadatokat rögzítő rendszerek.
- 2) *Telepítési célú szélmérések*  
Közvetlenül a telepítendő szélérőmű helyén, a mikro-domborzatra és a felület érdekességi jellemzőire figyelemmel felállított mérőrendszerek
- 3) *Ellenőrző mérések (szélparkok területén)*  
Lehetnek a korábbi, telepítési célú szélmérések bázisai is, melyek később, mint ellenőrző egységek fennmaradnak.

A szélenergetikai beruházások során, már az előkészítés folyamatában, a mérési helyszín ismeretében meg kell határozni, hogy milyen mérés alkalmazása célszerű. Ennek meghatározásához ismerni kell:

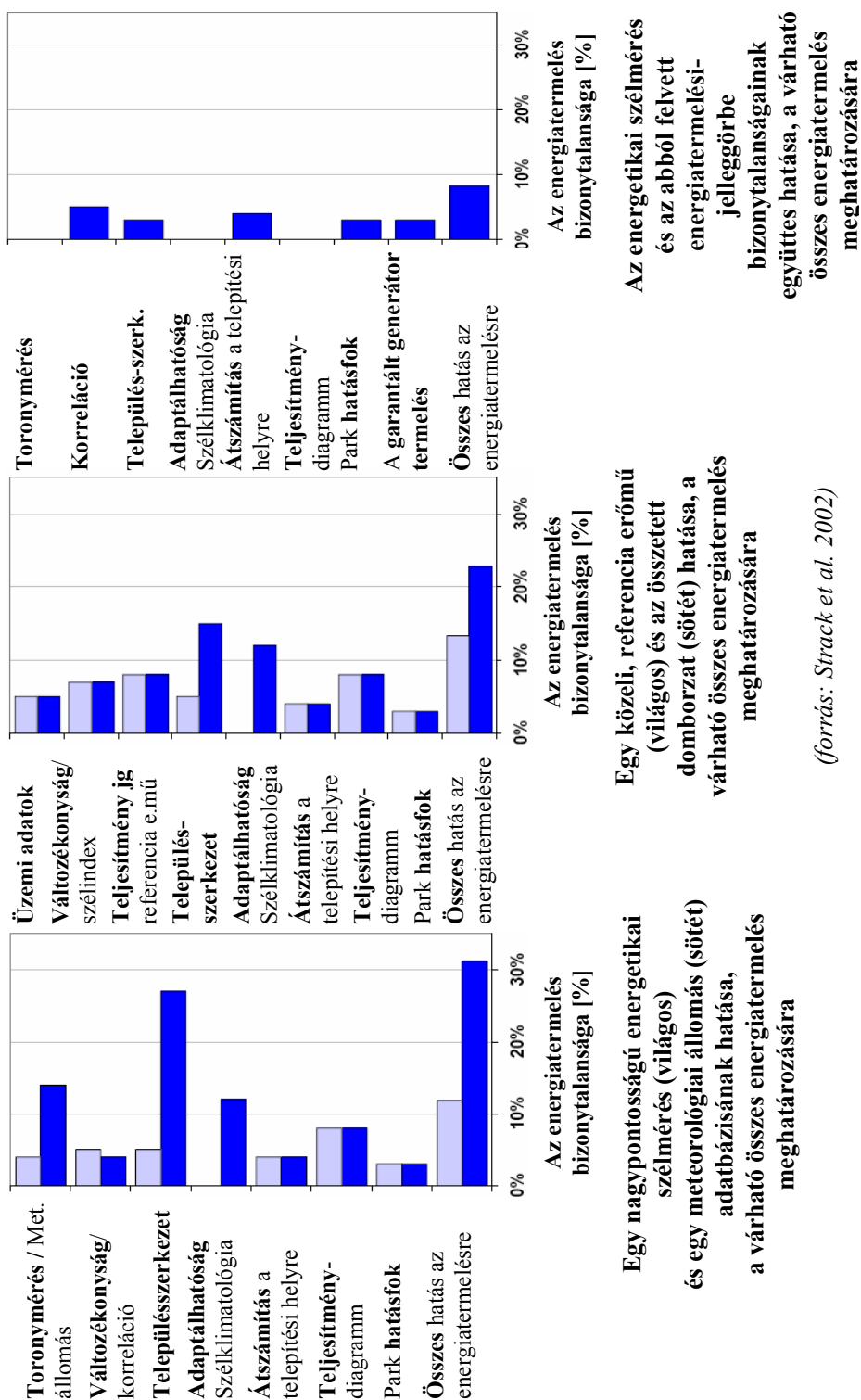
- az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatbázisában az adott helyszínre, vagy környezetére vonatkozó szélesebesség és szélirány értékeket
- a helyi domborzati viszonyokat (a várható súrlódási tényező hatása)
- a szél áramlási tulajdonságait befolyásoló, természetes és mesterséges környezeti elemeket, (növényborítottság jellege és mértéke; mesterséges tereptárgyak és/vagy települések elhelyezkedése, valamint geometriai méretei)
- a beruházás ökonómiai méretét

A várható felhasználástól függően, azaz a mérés jellege szerint különböző mérőrendszerek ismeretesek. A műszerek és a segédeszközök összeállítása elsősorban műszaki és gazdasági szempontok alapján történik.

Az OMSZ mérési adatai alapján tájékoztató képet lehet alkotni az adott területen 10-12 m magasságban uralkodó szélviszonyokról. Ennek segítségével és a domborzati, valamint a környezeti jellemzők ismeretében, átlagos magassági korrekciót alkalmazva (Hellmann-tényező) behatárolhatók a helyszín adottságai.

Amennyiben a mérési pont, a meteorológiai állomások elhelyezkedése, vagy a domborzati és környezeti feltételek miatt nem egyértelműen jellemezhető, javasolt egy előzetes, úgynevezett informatív mérés lefolytatása. Kedvező esetben, a szélgenerátor létesítésének várható helyszínén, a mérések megkezdésének első pillanatától telepítési célú szélmérés kivitelezése javasolt.

A végső energiatermelés számítását számtalan tényező befolyásolja. Ennek mértéke látható a 3.12. ábrán.



3.12. ábra A végső energiatermelés meghatározásának bizonytalansága

### 3.2.1.1. Az informatív mérések jellemzői

E mérések előnye, hogy a vizsgált terület jellemző szélviszonyainak felmérését könnyen, gyorsan és alacsony beruházási költséggel lehet megvalósítani.

Az informatív méréseknél a mérőérzékelőket 35-50 m magas csőoszlopra, két magasságban szereljük fel. Ez az energetikai mérések egyik alapfeltétele, mivel legalább két magasságban mért szélesség érték alapján tudjuk meghatározni egy adott területre, az úgynevezett Hellmann-tényező értékét. A Hellmann-tényező a magassági korrekciót határozza meg, segítségével tudjuk számítani a generátor üzemi magasságában várható szélesség értékét és felvenni a függőleges szélprofil.

#### Alkalmazott eszközök, műszerek:

*Szélességmérő:*

3.1. táblázat: A Thies, 4.3519.00.000 gy.sz., szélességmérő műszaki adatai

Típus	P 6140 Anemometer „compact”
Mérési tartomány	0,5 - 50 m/s
Mérési pontosság	± 3 % mérési adat, ill. ± 0,5 m/s
Felbontás	< 0,1 m/s
Indító szélesség	0,5 m/s
Érzékelő	Fotodióda – félgömb kanál
Környezeti hőmérséklet	(-30°C) – (+ 70°C)



(Forrás: Ammonit GmbH. 2002)

A gyártó által meghatározott, a mérőérzékelőre jellemző összefüggés:

$$\text{Megtett út} = \text{Impulzus} \cdot 0,074 + 0,6 \text{ [m]}$$

Az anemométereket és a széliránymérőt úgy kell elhelyezni, hogy az oszlopszerkezet és a rögzítési megoldás ne befolyásolja az érzékelők körüli áramlásokat.

Ebben az esetben a rendelkezésre álló legjobb adatfelbontás: 0,1 m/s szélesség, 1° szélirány, percenkénti mintavétel, a mért értékeket pedig napi átlagolással rögzíthetjük.



Széliránymérő:

3.2. táblázat: A Thies, 4.3129.X0.012 gy.sz., széliránymérő műszaki adatai.

<b>Típus</b>	<b>P6240 / P6245 Windfahne „compact”</b>
Mérési tartomány	0 – 360° fokozatmentesen
Mérési pontosság	± 2°
Felbontás	1°
Környezeti hőmérséklet	(-30°C) – (+ 70°C)
Érzékelő	Potenciométer



(Forrás: Ammonit GmbH. 2002)

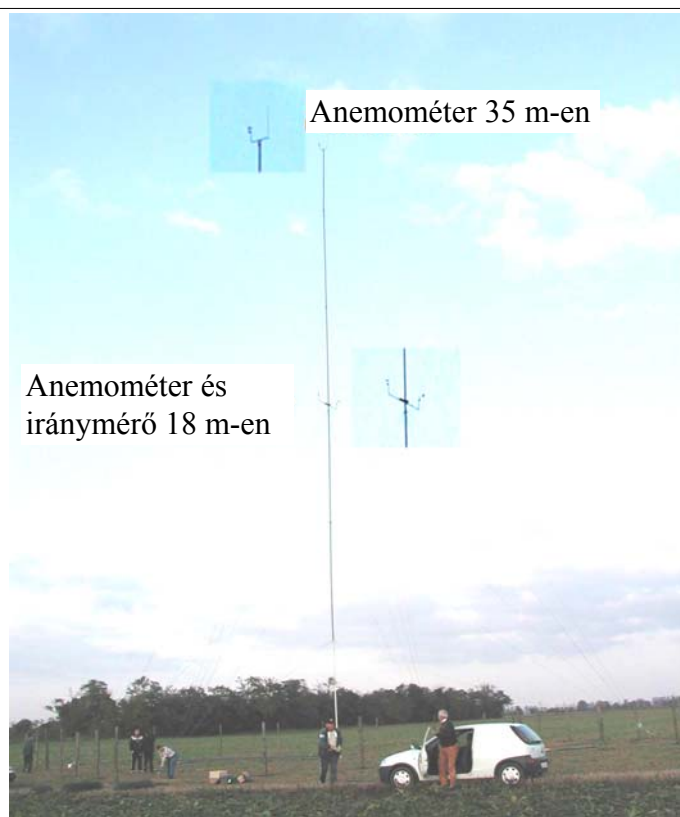
Néhány évvel ezelőtt még elegendő, illetve kielégítő volt az informatív mérés segítségével létrejött adatbázis, azonban mára az energetikai számítások, valamint egy szélerőmű-park tervezése ennél sokkal részletesebb adatbázist igényel, ezért nevezzük informatív, azaz tájékoztató jellegűnek a fent leírt méréseket.

Adatrögzítő:

3.3. táblázat: Az Ammonit, P 1301 - Windsiter 420 adatrögzítő műszaki adatai.

<b>Típus</b>	<b>P 1301 - Windsiter 420</b>	
<b>Bemeneti csatornák</b>	2 x Szélsebesség 1 x Szélirány	
<b>Hőmérséklet</b>		
- Üzemi	- 30 ... + 70 °C	
- Tárolási	- 40 ... + 70 °C	
- Kijelző-működési	- 10 ... + 50 °C	
<b>Tároló egység</b>	EPROM, 8 Kbyte (13 statisztikai adatsor)	
<b>Óra</b>	Valós-idő mérő óra, pontosság (-10°C) – (+50 °C): < 250 ppm	
<b>Adatkiolvasás</b>	Kijelző, 1 x 16 karakter soros RS232 port, 19200baud, E71 ASCII	
<b>Statisztikák</b>	1 vagy 10 perc	
- Mérési tartomány	napi, heti, vagy havi (napár szerint)	
- Tárolási tartomány	Statisztikai egységekre osztott gyűrű-tároló	
- Rendezés	30 osztály 1 m/s intervallumokban (2 magasságban)	
- Kiértékelés	12-szektorra osztott szélrózsa (az 1-es anemométer közepes szélsebessége alapján) 24 órás Napi-értékelő 2 gyakoriság elemző, beállítható tartománnyal	

(Forrás: Ammonit GmbH. 2002)



**3.13. ábra** Az informatív méréseknél alkalmazott mérőoszlop és az érzékelők elhelyezése (forrás: saját mérés)

Természetesen az informatív mérés során kapott adatbázis segítségével is lehet energiatermelést számítani, csupán kisebb a kapott adatsor felbontása, kevésbé részletes eredményt kapunk. Egy generátor létesítése esetén, a gyártó cégek még kivitelezik a beruházást.

Erre szolgál bizonyítékul az Erken megvalósult (2005), Enercon E-48 típusú, 800kW névleges teljesítményű szélenergia-telepítésének informatív mérése során akkor jelentkezik először probléma, ha egy pénzügyi intézet felé kell bizonyítani a megtérülést, mivel ma már ezek az intézetek csak a részletes mérési adatbázison alapuló, elsősorban a toronymérésekből származó energetikai számításokat és az azokra épülő gazdasági mutatókat fogadják el.

Más a helyzet, ha a szélenergia-telepítés körülményei és a tájékoztató számítások is indokolttá teszik az úgynevezett telepítési célú méréseket. Ennek két oka lehet:

1. Az egyik, hogy a kedvező eredmények alapján szélenergia-park is létesíthető, és a későbbi számítások érdekében célszerű a részletes adatregisztráció.
2. A másik, hogy továbbra is bizonytalan az adott területen egy esetleges beruházás megtérülési ideje (amennyiben lehetőség van rá, ilyenkor célszerű az informatív mérésekkel egyidejűleg a SODAR rendszerrel is egy időszakot mérni).

Szélenergia-park esetén az informatív mérés nem elfogadható.

### 3.2.1.2. A telepítési célú mérések

E méréseket azért végezzük, hogy egy szélérőmű, de leginkább egy szélérőműpark létesítési helyszínéül kiválasztott terület szélklimatológiai adottságait részletesen feltérképezzük, és adatbázist szolgáltatassunk a szélérőmű-park tervezéséhez.

#### Alkalmazott eszközök, műszerek:

*Szélesebesség-mérő:*

3.4. táblázat: A Thies, 4.3350.00.000., kanalas szélesebességmérő műszaki adatai

Típus	P 6100H Anemometer "first class"
Mérési tartomány	0,3...75 m/s
Mérési bizonytalanság (Kalibrálás nélkül)	0,3...50 m/s < 3% adat, vagy < 0,3 m/s 50...75 m/s < 6% adat
Felbontás	0,05 m/s
Környezeti hőmérséklet	- 50...+ 80° C
Érzékelő	Optoelektronikus
Csapágycsere, újkalibrálás	Legkésőbb 24havonta ajánlott



(forrás: Ammonit GmbH. 2005 – saját fordítás)

A gyártó által meghatározott, a mérőérzékelőre jellemző összefüggés:

$$\text{Szélesebesség [m/s]} = \text{frekvencia [1/s]} * \text{meredekség [m]} + \text{konstans [m/s]}$$

meredekség = 0,050m; konstans = 0,3m/s

*Légnyomás érzékelő:* Ammonit AB60

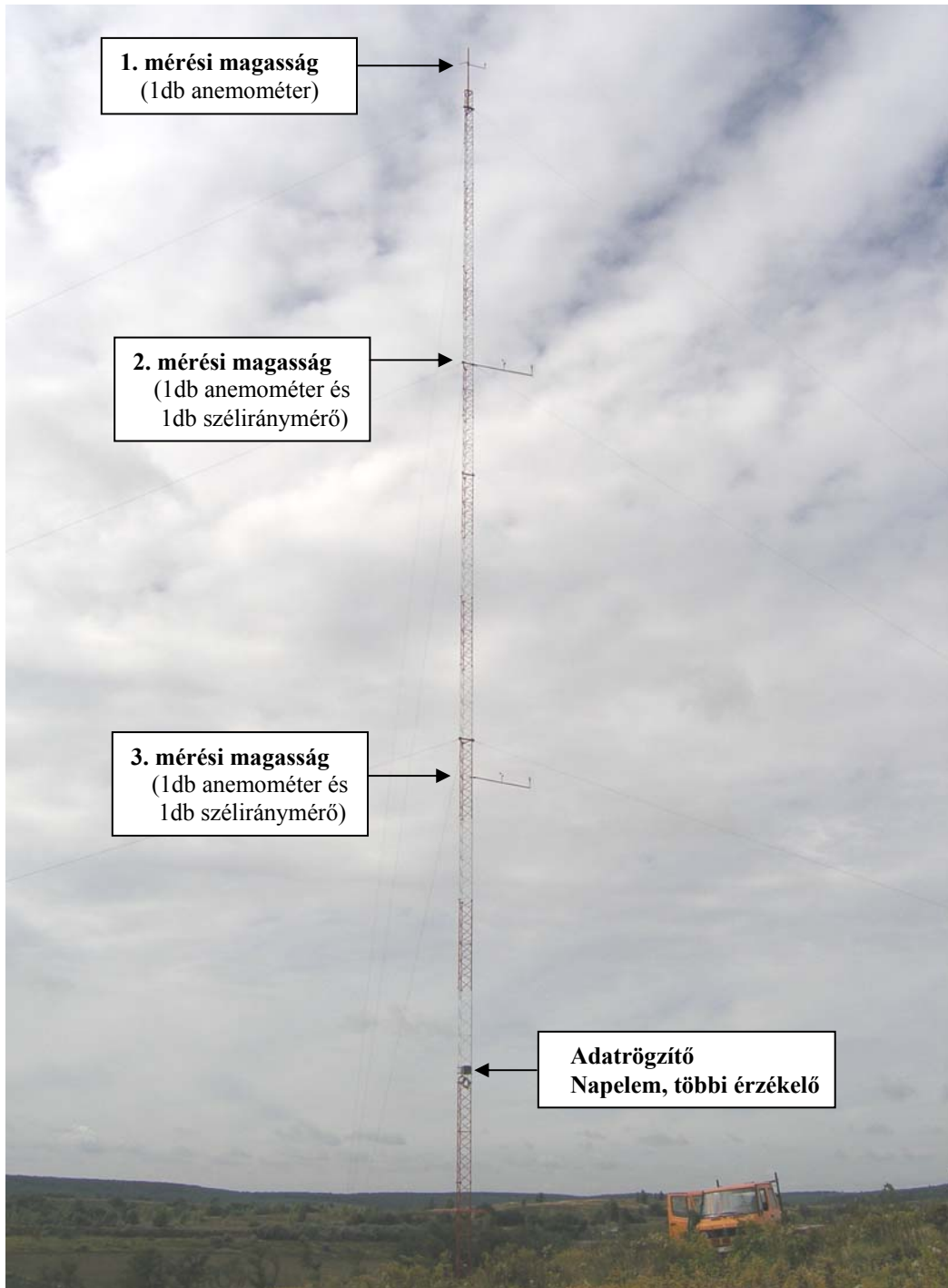
*Hőmérséklet és páratartalom érzékelő:* P6312

A 3.5. táblázatból látható, hogy ebben az esetben akár másodpercenkénti mintavétellel és 1-9999 mintavételi jel átlagolásával is mérhetjük az egyes vizsgált paramétereket. Egy-egy adatsor tartalmazza az átlagos, a maximális, valamint a minimális értéket és az értékek normál szórását. Az adattárolás, beállítástól függően Greenwich, vagy a helyi idő szerint történik. Emellett lehetőség van a későbbi könnyebb kezelhetőség érdekében havi statisztika készítésére is.

A szélesebességmérés általában három magasságban történik, ezáltal pontosabb vertikális szélprofil és két Hellmann-kitevő számítható. Az anemométerek mérési tartománya szélesebb, felbontóképeségük finomabb.

Elhelyezésüknél figyelembe kell venni a domborzati adottságoknak és a terület fedettségének, illetve az egyéb tereptárgyaknak megfelelő, jellemző kiegyenlítődesi magasságot, valamint a tervezett szélérőmű üzemi tartományát, a rotor működésének megfelelő magassági tartományt. Ennek megfelelően általában két magassági kombinációt alkalmaznak: 25-45-65m, valamint 40-60-80m (3.14. ábra). A mérőérzékelők elhelyezési szintjét minden esetben a helyi mérési körülményeknek megfelelően kell megválasztani.

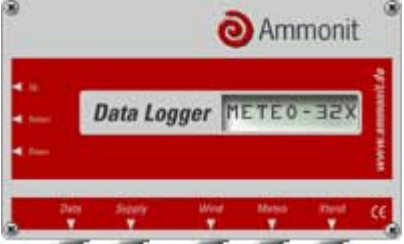
Mérőtorony:



**3.14. ábra** Telepítési célú és ellenőrző méréseknél alkalmazott mérőoszlop (rácsos tartó) és az érzékelők elhelyezése (forrás: saját mérés)

Adatrögzítő:

3.5. táblázat: Az Ammonit, P 2520 – METEO-32X adatrögzítő műszaki adata.

Típus	P2520 - METEO-32X	
<b>Bemeneti csatornák</b>	3 x Szélsébség 2 x Szélirány 1 x relatív légnedvesség 1 x léghőmérséklet 1 x légnyomás 1 x globálsugárzás 1 x csapadék 4 x 12-bit ADC 2 x 16-bit-számláló 2 x Státusz	
<b>Tároló</b>	1000 kByte (EEPROM) 500.000 mérési adat	
<b>Óra</b> - tartalék elem	Valós-idő, pontosság -30°C ... +60°C: < 25 ppm 3V Lítium gomb elem CR2032, kb. 180 ... 230mAh	
<b>Mérési adatsorok</b> - Mérési tartomány - Tárolási tartomány - Rendezés - Összetevők	1 ... 60 másodperc 1 ... 9999 Mérési tartomány Napi egységekre osztott gyűjtőtároló Közép, Maximum, Minimum, normál szórás	
<b>Statisztikák</b> - Mérési tartomány - Tárolási tartomány - Rendezés - Kiértékelés	1 perc havi (naptár szerint) 4 statisztikai egységre osztott gyűjtőtároló 29 osztály 1 m/s-os tartományokban (2 magasságban) 36-irányú szélrózsa, irányonként tárolva (Anemométer 1)	

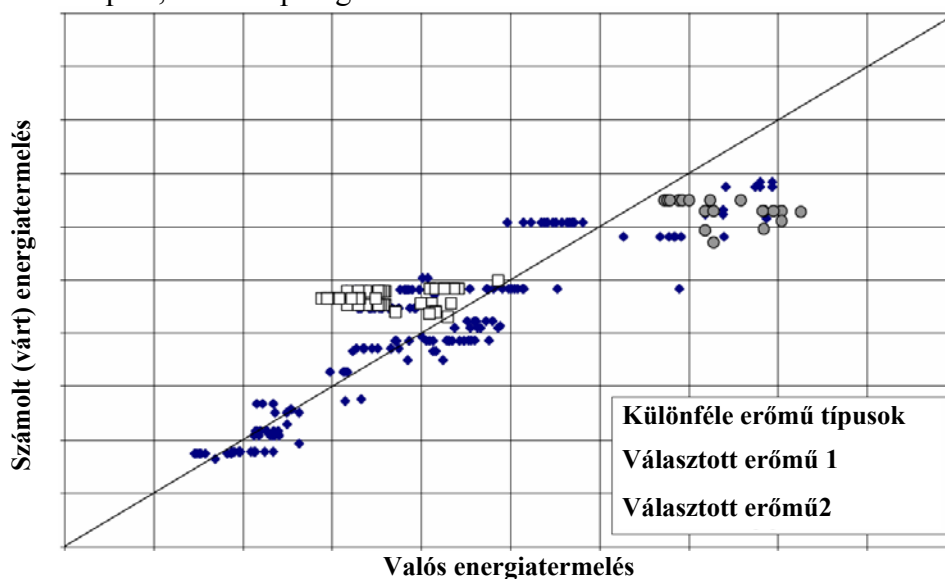
(Forrás: Ammonit GmbH.)

### 3.2.1.3. Ellenőrző mérések

Az ellenőrző méréseket a felépült és üzembe helyezett szélérőmű-parkoknál alkalmazzák, legfőképp az energiatermelési számításokhoz. Ezen mérések egyik legfontosabb célja a várható villamosenergia-termelés előrejelzése, melyet (például Németországban) már a gyakorlatban is alkalmaznak. A villamos hálózat terhelése, valamint a fogyasztói igények kielégítésének optimalizálása érdekében kiemelkedő fontosságú a szélérőműparkok várható energiatermelésének számítása. A termelés előrejelzésnél országos mérési hálózatot alkalmaznak, részben a meteorológiai állomások, részben a szélérőmű-parkokban elhelyezett mérőpontok adatbázisára támaszkodva.

E mérések másik, az előzőhöz hasonlóan fontos célja az elméleti összefüggések pontosítása annak érdekében, hogy a telepítési célú méréseknél felvett adatbázisokból a lehető legpontosabb számításokat tudjuk elvégezni. A 3.12. és a 3.15. ábra nagyon jól rávilágítanak arra, hogy mennyi bizonytalanság rejlik a

várható energiatermelés számításánál. A 3.15. ábrán külön felhívom a figyelmet arra, hogy a kiválasztott két szélerőmű típus közül az egyik rendre alul termelt a várthoz képest, a másik pedig rendre többet.



**3.15. ábra** Eltérés a számítással meghatározott és a valós energiatermelés között  
(forrás: Strack et.al. 2002)

Az ellenőrző méréseket a telepítési célú méréseknél is alkalmazott eszközökkel végzik. A mérőtorony, az érzékelők, a kiértékelés elve és módszere is azonos.

### 3.2.2. A toronymérések előkészítése

Az energetikai mérések kivitelezését megelőzően ellenőrizni kell az adott terület szélerőmű telepítési alkalmasságát.

A két legfontosabb szempont:

- a természetvédelem és
- a villamos hálózatra való csatlakozás lehetősége

#### Természetvédelem

Természetvédelmi területen, illetve annak közvetlen közelében, vagy várhatóan védettség alá kerülő területen nem engedélyezik szélerőmű létesítését. Ennél fogva ezeken a helyszíneken nem érdemes energetikai szélmérést végezni. A természetvédelmi hatóság az adott területen illetékes környezetvédelmi, természetvédelmi és vízügyi felügyelőség.

#### Hálózati csatlakozás

Hasonló a helyzet a villamos hálózattal kapcsolatban is, hiszen ha a megtermelt villamos energiát nem tudjuk hová betáplálni, vagy a beruházás, a gazdaságossági számítások alapján, a nagy csatlakozási távolság miatt nem, vagy kedvezőtlenül térül meg, akkor szintén nem érdemes méréseket folytatni.

Ebben a kérdéskörben a legilletékesebb hatóságok a területi villamos energiaszolgáltató, továbbá a TMBH, a MAVIR és a MEH.

### Meteorológiai adatbázis

Miután a vizsgálat helyszíne mind természetvédelmi, mind villamoshálózati csatlakozás szempontjából alkalmasnak bizonyult célszerű a legközelebbi meteorológiai állomás adatbázisát kikérni. Itt több szempontot kell figyelembe venni. A domborzat tagoltságától függően minél összetettebb a vizsgált terület, annál közelebbi állomás adataira van szükség. A Meteorológiai Szolgálat, állomáshálózata segítségével az ország egészének meteorológiai helyzetéről ad tájékoztatást. Ezt érdemes felhasználni, mivel a domborzat tagoltságának fokozódásával egyetlen adatbázisból kiindulva egyre nő a számítás hibaaránya. Pontosabb eredményt szolgáltat a három legközelebbi állomás adatbázisának összevetése és az adatok értékelése. Ennek során a várható fő szélirányba eső adatbázis a domináns. Természetesen, mivel elkészült Magyarország – számos energetikai mérési bázisponton alapuló – energetikai széltérképe, ennek segítségével is kaphatunk tájékoztató információt egy adott területről. Viszont tudni kell, hogy a meteorológiai adatsorok több éves trendet ábrázolnak, azaz mindkét adatbázis figyelembevételével, nagyobb biztonsággal határozható meg egy adott terület szélenergia potenciálja.

### A mérési helyszín kiválasztása

A mérőpont kiválasztása során törekedni kell arra, hogy a mérési időszak végére felhalmozódó adatbázis a szélerőmű várható telepítési helyszínét a lehető legpontosabban írja le. Ennek megfelelően a legjobb éppen azon a helyen elvégezni a mérést, ahol a szélerőmű állni fog. Egyedi létesítésnél ez megoldható feladat.

3.6. táblázat: Bizonytalansági tényezők az energetikai célú szélméréseknél

Bizonytalansági tényezők az energetikai célú szélméréseknél	Lehetséges eltérés [%]
<i>A mérőérzékelők hitelesítése, kalibrálása</i>	0,5 – 3,0
A mérőérzékelők elhelyezése a mérőoszlophoz viszonyítva	0,5 – 4,0
Turbulencia a mérési helyen (függőleges áramlás)	0,2 – 3,0
A mérési hely kiválasztása	0,5 – 5,0
A mérés időtartama	0,3 – 3,0
<i>A mérési adatok feldolgozása</i>	0,0 – 2,0
<i>Kapcsolat a hosszú távú meteorológiai adatbázissal</i>	0,5 – 5,0
<i>A mérési adatok átszámítása a megfelelő helyre és magasságra</i>	1,0 – 10,0
<b>Az energiatermelés meghatározásánál jelentkező bizonytalanság</b>	<b>3,0 – 30,0</b>
<i>A mérési pontatlanság és a kiértékelés bizonytalanságának együttes hatása</i>	<i>2,0 – 20,0</i>

(forrás: Tóth 2000)

Szélerőműpark létesítésénél sokkal körültekintőbben kell eljárni.

Az 1-es érdességi osztályba sorolható sík vidékeken, ahol az érdesség alacsony ( $z_0 = 0,03$  m), egy mérési ponton gyűjtött adatbázis több négyzetkilométer energetikai

jellemzésére alkalmas. Ilyen esetben célszerű a tervezett szélérőmű park várható középpontjába telepíteni a mérőrendszert.

Más a helyzet az erősen tagolt területeken melyek akár 3-as, vagy 4-es érdességi osztályba sorolhatók, mivel itt az érdesség az előzőnek többszörösére nő ( $z_0 = 0,4-1,6$  m). Ezeken a területeken már egyéb szempontokat is figyelembe kell venni.

Ilyenek például:

- az áramlást akadályozó tényezők (természetes és mesterséges tereptárgyak, takaró növényzet jellege)
- a völgyhatás
- a dombhatás
- a tengerszint feletti magasság változása
- az áramlások turbulenciája és annak jellege

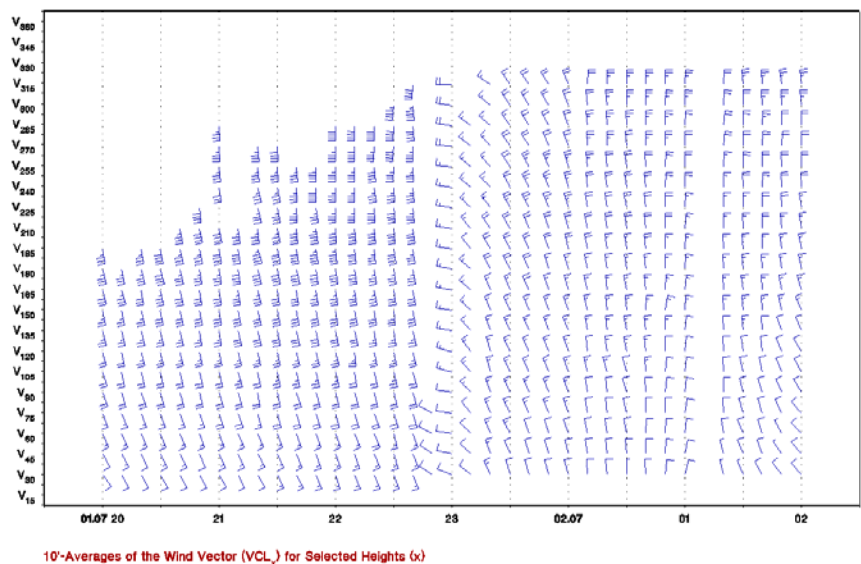
Mindezeket pedig fokozottan figyelembe kell venni a fő szélirányokban. Ennek jelentősége a későbbi parktervezésnél van, hiszen egy a gyakorlatban alkalmazott szabály szerint a berendezéseket a rotor átmérő 5-9-szeres távolságára kell elhelyezni a fő szélirányban, és 3-5-szörös távolságra, a főirányra merőlegesen, mivel maguk a szélgenerátorok is (a komplett berendezés), mint akadály állnak a szél útjában.

Éppen ezért, ezeken a területeken, a megfelelő mérőpont kiválasztása a jellemzők összetett elemzését igényli.

### A mérőműszerek előkészítése, kalibrálása, utólagos ellenőrzése

Ugyancsak látható a 3.6. táblázatból, hogy a mérőeszközöket megfelelően kell elhelyezni a mérőoszlopon és az érzékelőket mind a mérés kezdetét megelőzően, mind a mérés végét követően kalibrálni kell. Mindközül legfontosabb az anemométerek pontos működésének ellenőrzése.

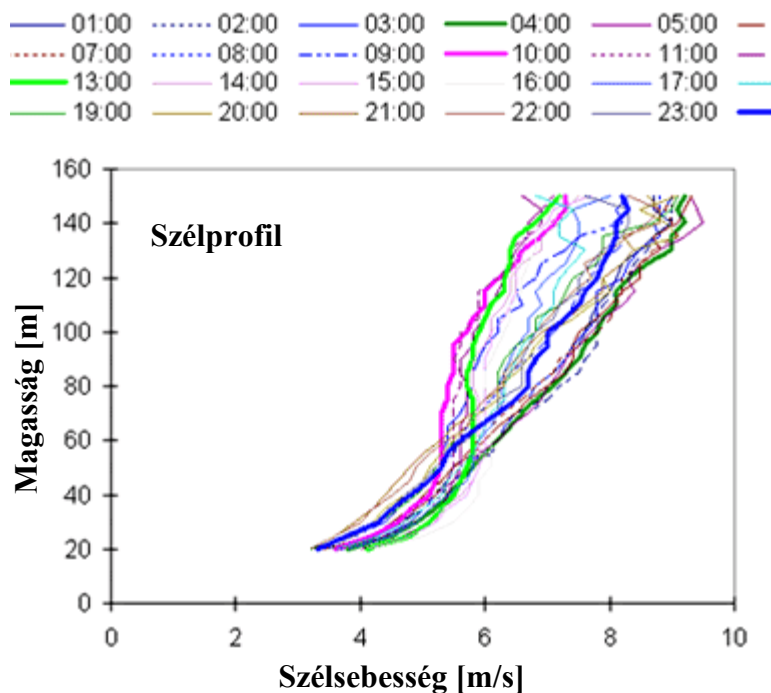
### 3.2.3. Mérési adatok a SODAR rendszernél



3.16. ábra A SODAR adatok egyik ábrázolási módja (forrás: METEK 2005)



A SODAR-ból származó sebesség adatokat előre beállított mértékegységben kapjuk meg (mph/h; km/h, vagy m/s). Az irány értékét fokokban szolgáltatja. A mintavételezés 3 másodpercenként történik, melyekből 10 perces normál átlagot képez. Az ábrázolás során a szoftver (a 3.16. ábrán jelölt módon) az egyes mérési magassági szintekhez tartozóan különböző méretű és irányú kis szélzászlókkal szemlélteti a szél sebességét és irányát. Ebből jól látható, hogy egy függőleges sík mentén, ugyanazon 10 perces mérési időszakban hogyan változik a szél sebessége és iránya. A számszerű adatok feldolgozása a későbbiekben megoldható mind az Excel segítségével, mind pedig a későbbiekben bemutatásra kerülő, a szélenergia-hasznosítás területén elterjedten alkalmazott WinPRO szoftverrel.

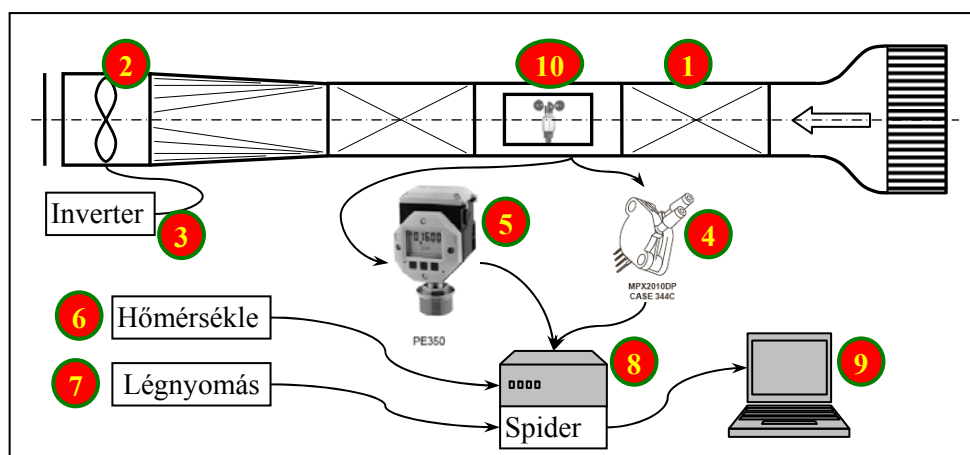


**3.17. ábra** A vertikális szélprofil óránkénti változása SODAR mérések alapján  
(forrás: Guttenberger 2005)

A 3.17. ábra nagyon jól szemlélteti, a SODAR rendszer előnyeit. Ennél a mérési módnál akár 20 mérési magasságból kaphatunk adatokat a szél sebességére és irányára vonatkozóan. Gyakorlatilag lehetővé teszi a valóságos vertikális szélprofil megszerkesztését. A mérési adatok 10 percenként történő átlagolásával pedig lehetővé teszi a vertikális szélprofil időbeli változásának nyomon követését.

A szélprofil szerkesztése során itt már nem kell teljes egészében az elméleti összefüggésekre hagyatkozni. Zavarás mentes környezetben, körültekintő kalibrálás esetén, egy anemométeres rendszerrel párhuzamosan működtetve az elméleti összefüggések is ellenőrizhetők.

### 3.3. A kutatás során kialakított kalibráló rendszer



3.18. ábra A mérőkör vázlatja (soros mérés)  
(forrás: saját összeállítás)

A mérőkör elemei:

- 1) Szélcsatorna
- 2) Ventilátor (Helois HQ 630)
- 3) Frekvenciaváltó (Inverter)
- 4) Differenciálynomás-mérő (Motorolla MPX 2010)
- 5) Differenciálynomás-mérő (HBM Digibar II. PE350)
- 6) Léghőmérséklet mérő
- 7) Légnyomásmérő
- 8) Mérő-adatgyűjtő (HBM Spider8)
- 9) Hordozható személyi számítógép (HP OmniBook XE<sub>3</sub>)
- 10) Anemométer (Thies Compact)  
Anemométer (Thies Classic)  
Anemométer (Thies First Class)

A kalibrálásnál először a Motorola MPX 2010 differenciálynomás-mérőt használtam referencia érzékelőként. Az adatgyűjtő a Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH. Spider 8 típusjelű műszere volt.

A Spider8 típusú mérő adatrögzítő berendezés mérési tartománya 25000 digitre tudja felosztani a beérkező jelet. Az általunk beállított mérési tartomány 100 mV. Az MPX 2010 differenciál nyomásmérő kimeneti jele 25 mV. Ezt a Spider, mérési tartományának egynegyedére, 6250 digitnek megfelelő részre tudja felosztani. Az MPX 2010 differenciál nyomásmérő méréstartománya 0-tól 10 kPa-ig (10000 Pa) terjed, mivel a maximális kimeneti jel (25 mV) 10000 Pa mért értéknek felel meg, így 1 digit  $10000/6250=1,6$  Pa. Ez az MPX 2010 érzékelő úgynevezett „digit hibája”, mely a 0 – 1 átmenetnél jelentkezik, azaz 1,6 Pa mérésekor a differenciál nyomásmérő hibája 100% az általunk alkalmazott mérőkörben. Ahogy nő a mért jel úgy csökken a mérési hiba aránya, azaz nő a mérési pontosság. Jelen esetben

körülbelül 6 m/s-os szélesség mellett csökken oly mértékben a differenciál nyomásmérőből származó mérési hiba, hogy a mérési eredmények összehasonlíthatóak és kiértékelhetőek legyenek. Mivel az így létrejött referenciajel felbontását nem tartottam elegendőnek, ezért vele párhuzamosan egy Digibar II. PE350 típusjelű differenciálnyomás-mérőt is a mérőkörbe iktattam. Az így kialakult mérőrendszer segítségével az anemométerek három nagyságrenddel pontosabban ellenőrizhetők.



**3.19. ábra** Szélcsonna a SZIE-GÉK tanműhelyében  
(műszaki tervező: Szlivka Ferenc – Balló Béla) (forrás. saját kép)

A kialakított mérőrendszerrel összesen 108 alkalommal ellenőriztem a kanalas szélességmérők működését. Ennek során 30000 mérési adatot vettem fel egy-egy mérőérzékelőről. A nagy számú mintavételezés tette lehetővé a későbbi következtetések megfogalmazását.

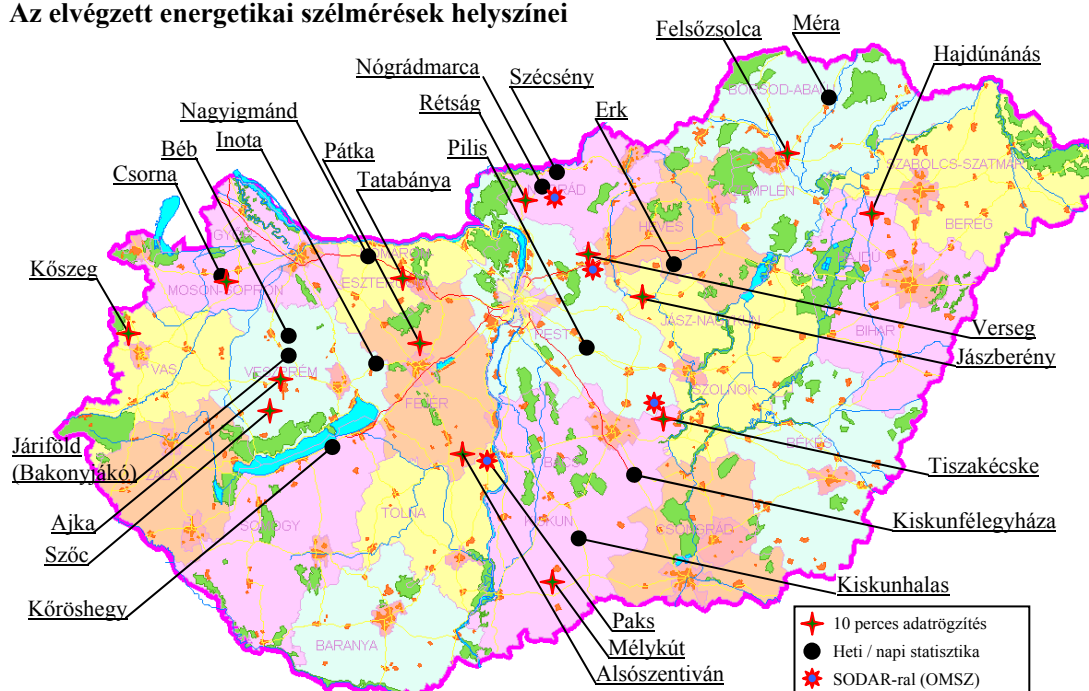
Az 5. mellékletben a kutatási időszakban létrehozott szélcsonnával végzett mérés látható.

### **3.4. Az energetikai szélmérések adatbázisának feldolgozása**

A kutatási időszakban (2002-2007) 26 helyszínen végeztem, valamint irányítottam energetikai célú szélmérést (3.20. ábra) (NKFP kutatási konzorcium keretében).

Ennek során módomban állt megismerni a szélenergiahasznosítás gyakorlatában elterjedten alkalmazott mérőrendszereket és a kapott adatok kiértékelésének módját. A várható energiatermelés számítása sokrétű, összetett feladat. Nagy gondosságot igényel a szélerőmű-parkok tervezése, az erőműkiosztás és az egyes szélerőművek várható termelési adatainak kellő pontosságú megállapítása. Az egyes helyszíneken a másodpercenkénti mintavételezésnek köszönhetően, éves szinten 31.536.000 adatsor került feldolgozásra. A következő fejezet az adatbázisok feldolgozásának folyamatát tartalmazza.

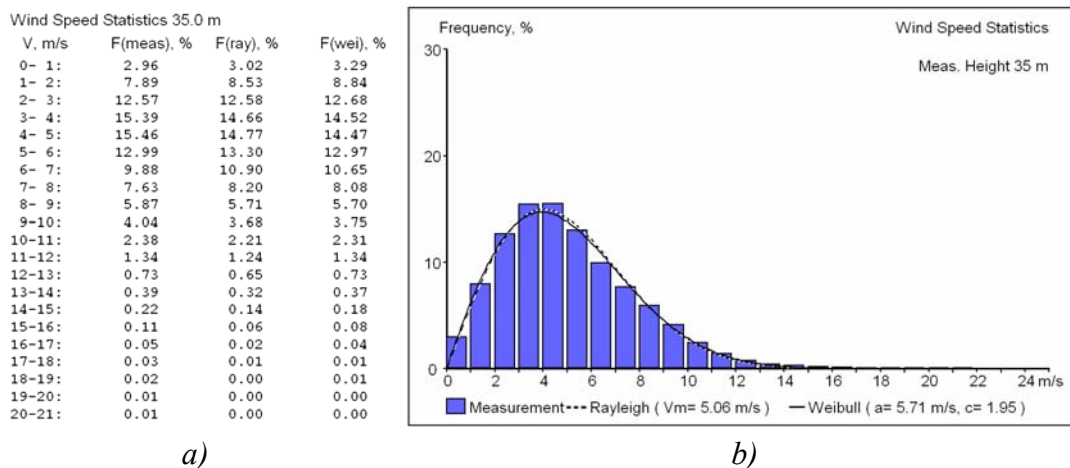
**Az elvégzett energetikai szélmérések helyszínei**



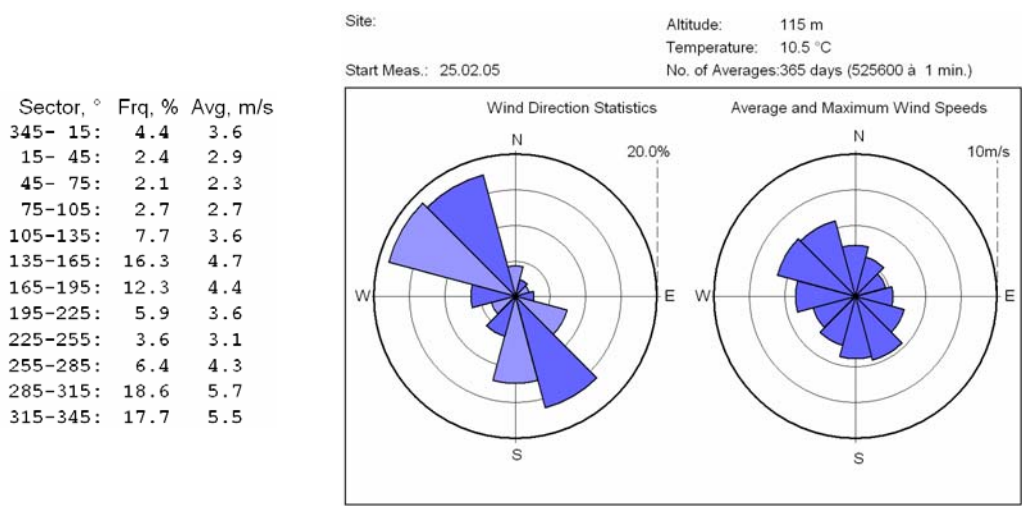
**3.20. ábra** A kutatási időszakban elvégzett energetikai szélmérések (forrás: saját szerkesztés)

**3.4.1. A mérési adatok feldolgozás az ALWIN programmal**

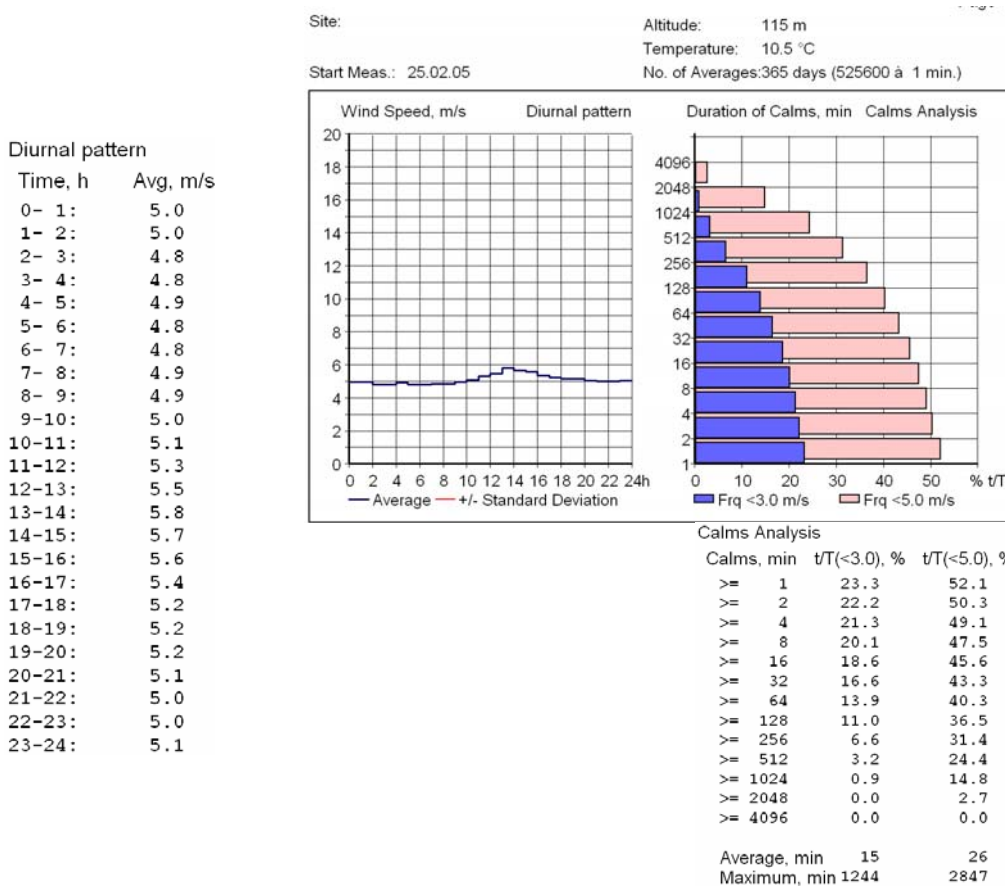
Felhasználásra, korlátozottabb információszolgáltatása miatt ma már főként csak az informatív célú méréseknél alkalmas. A példában szereplő mérést mezőgazdasági területen, 18 és 35 m magasságban, síkvidéki viszonyok között végeztem, Komárom térségében (3.21. és 3.22. ábra).



**3.21. ábra** Az átlagos szélesebesség alakulása 35 m magasságban az év során, a mérési adatsorok, valamint a Rayleigh és Weibull függvények szerint eloszlás (a – táblázat, b – ábrázolva).



3.22. ábra Szélirányok %-os alakulása az év során (táblázat) az átlagos szélesebbesség a szélirányok %-os alakulása szerint az év során



a)

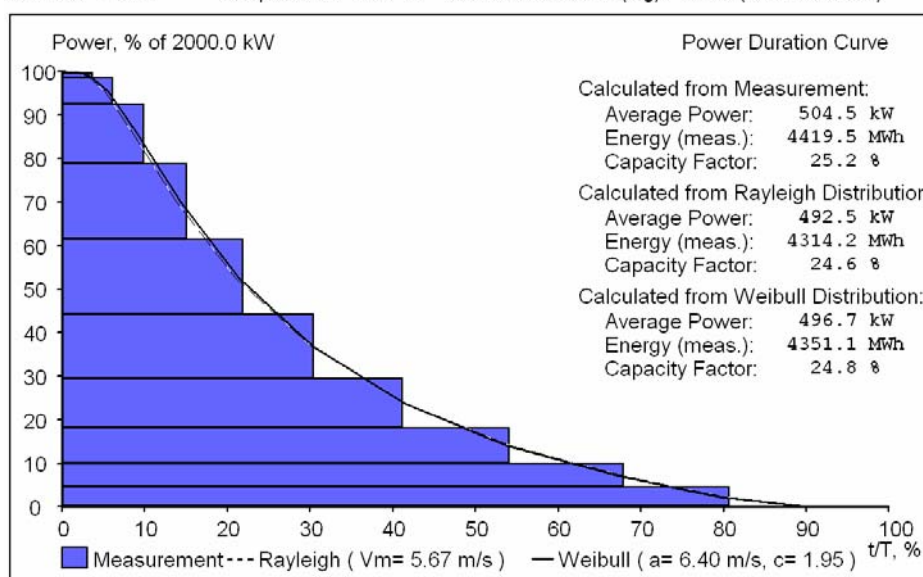
a)

b)

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

### Vestas V90-2.0 MW\_80m

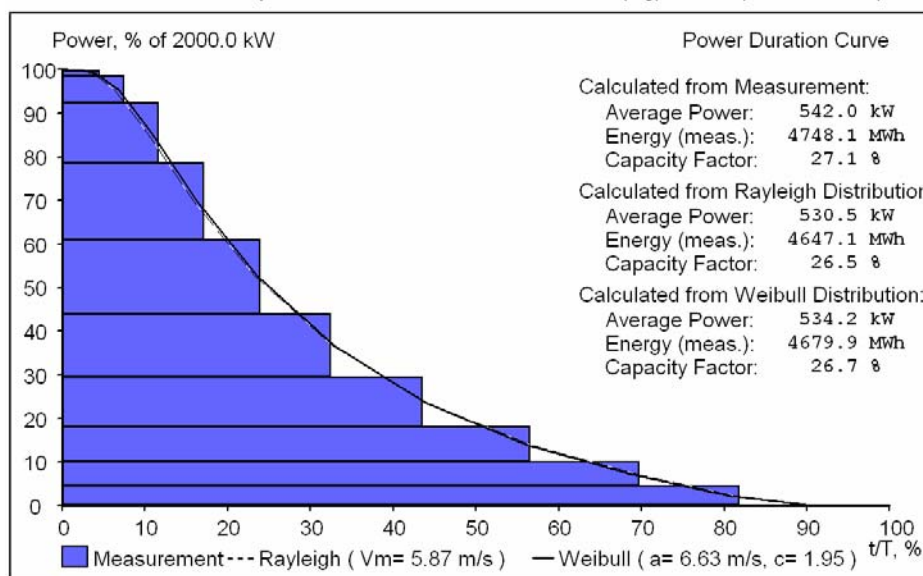
Time: 25.02.05 Meas.Height: 35.0 m Hub Height: 80.0 m  
 Altitude: 115 m Temperature: 10.5 °C Conversion factor (log): 1.121 ( Z0 = 0.038 m)



**3.24. ábra VESTAS V90 2 MW-os szélérőmű teljesítmény és energetikai mutatói 80 m-es torony**

### Vestas V90-2.0 MW

Time: 25.02.05 Meas.Height: 35.0 m Hub Height: 105.0 m  
 Altitude: 115 m Temperature: 10.5 °C Conversion factor (log): 1.161 ( Z0 = 0.038 m)



**3.25. ábra VESTAS V90 2 MW-os szélérőmű teljesítmény mutatói 105 m-es torony**

(forrás: saját adatfeldolgozás)

A 3.24. ábra az átlagos generátor teljesítményt, a várható éves energiatermelést, valamint a hatásfokot mutatja a diszkrét adatokból számítva, valamint a két használatos eloszlásfüggvény szerint, 80 m magas tornyon. (2 MW névleges teljesítményű, VESTAS V90, Pitch rendszerű szélerőműre.)

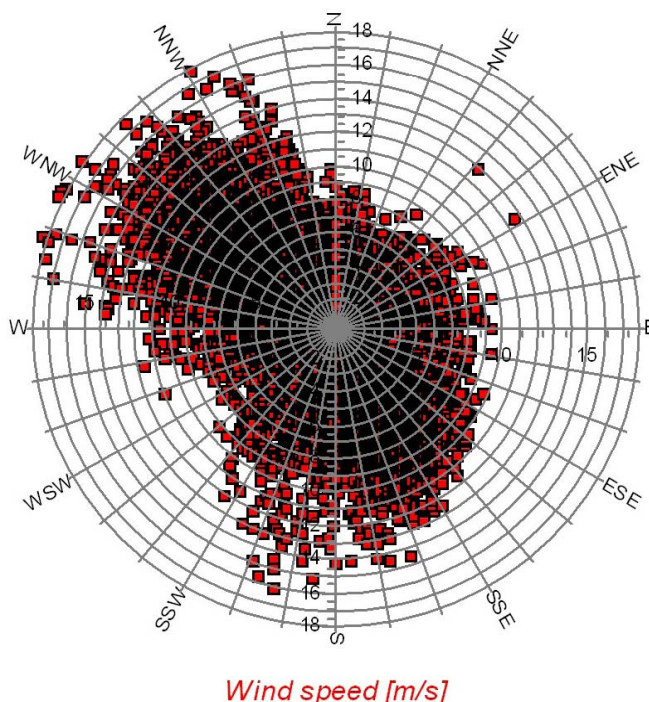
A 3.25. ábra az átlagos generátor teljesítményt, a várható éves energiatermelést, valamint a hatásfokot mutatja a diszkrét adatokból számítva, valamint a két használatos eloszlásfüggvény szerint, 105 m magas tornyon. (2 MW névleges teljesítményű, VESTAS V90, Pitch rendszerű szélerőműre.)

A toronymagasság növeléséből eredő termelési növekmény: ~330 000 kWh/év

Az Ammonit program nem ad választ a különböző szektorokból várható turbulencia, Hellmann tényező és energiatermelési értékekre. (Ezek a szoftver felhasználhatóságának alapvető problémái és korlátai.)

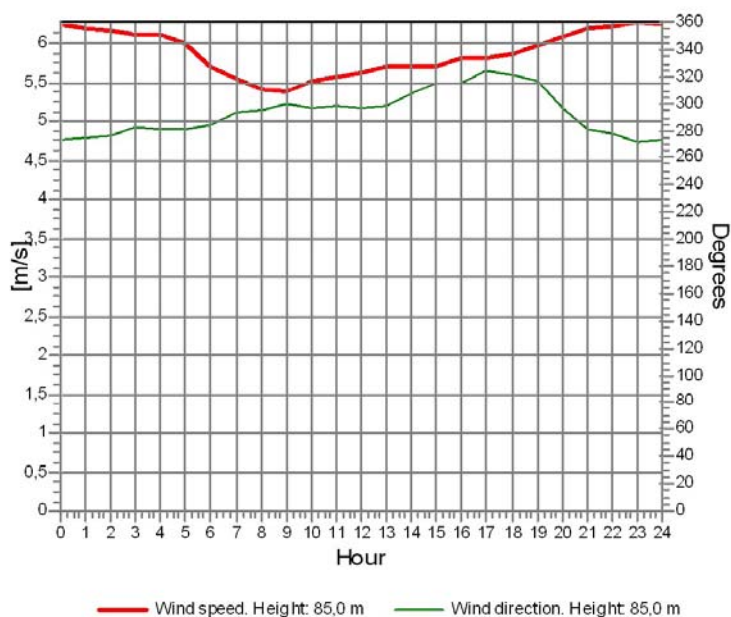
### 3.4.2. A mérési adatok feldolgozása a WindPro 2.5 programmal

A WindPro 2.5 szoftver mér egy fejlettebb mérő rendszerre épül. Itt már nem csak a mintavételezett adatokból szerkesztett statisztikák kiértékelésére van lehetőség, hanem közvetlenül a mérési adatok kiértékelésére is. A felhasznált adatbázis általában a mért értékek 10 percenkénti átlagolásával lesz előállítva. Minimálisan tartalmazza a szélesebbség átlagos értékét és szórását két magasságban, valamint az egyik magassághoz tartozó irány átlagos értékét és szórását. Lehetőség van ennél több szintről származó mérési adatok feldolgozására is valamint az egyes érzékelőkkel észlelt maximum és minimum értékek feldolgozására is. A részletes adatbázis lehetővé teszi az energiatermelés pontos számítását szélparkok tervezése esetén is.



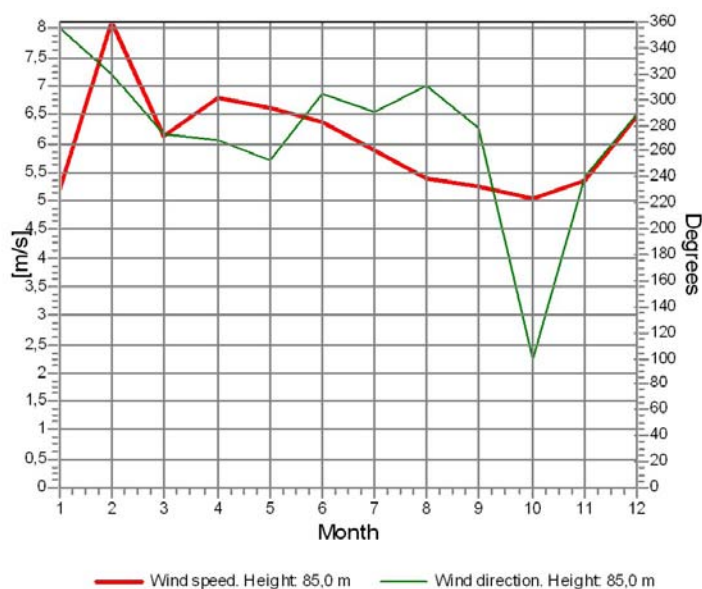
3.26. ábra 10 perces, átlagos szélesebbség, a szélirányok szerint

A 3.26. ábra a szélesség és a szélirány eloszlását ábrázolja szemléletes módon. Segítségével a fő irányok közvetlenül is megállapíthatóak.



**3.27. ábra** Egy nap során az átlagos szélesség és szélirány

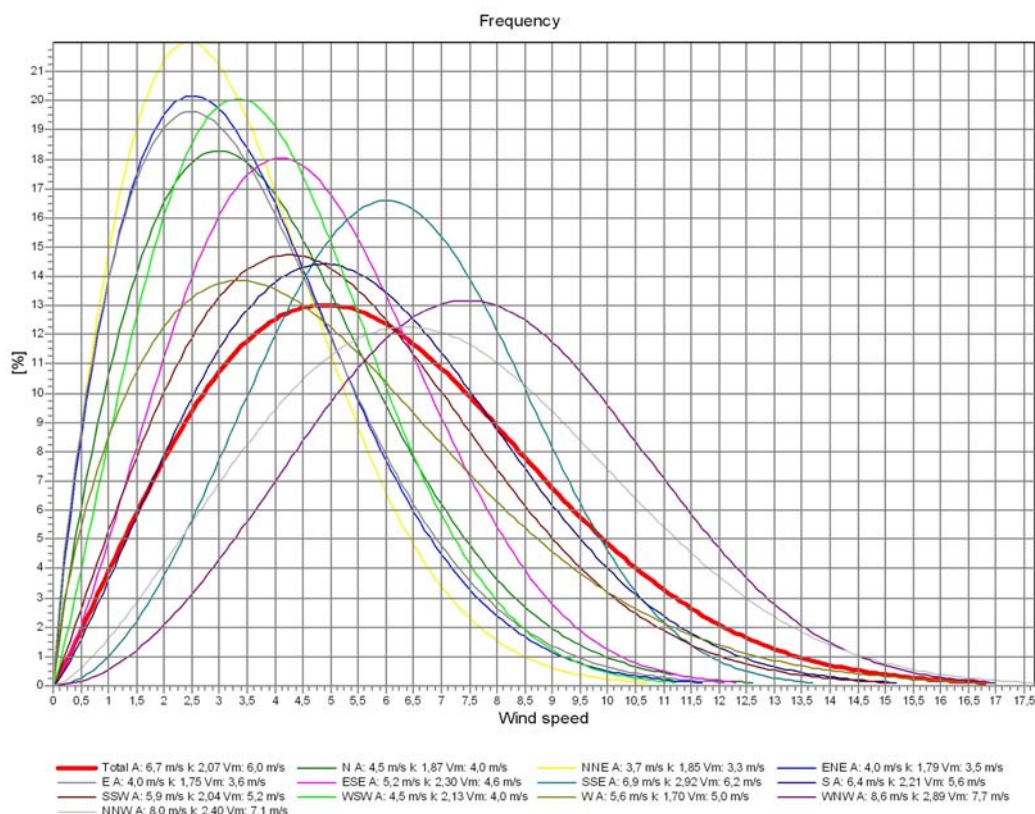
A 3.27. ábra az átlagos szélesség óránkénti változását mutatja. Segítségével az energiatermelés napi menete számítható.



**3.28. ábra** Egy év során a havi átlagos szélesség és szélirány  
(forrás: saját adatfeldolgozás)

A 3.28. ábra az átlagos szélesség havi változását mutatja. Segítségével az energiatermelés éves menete számítható.





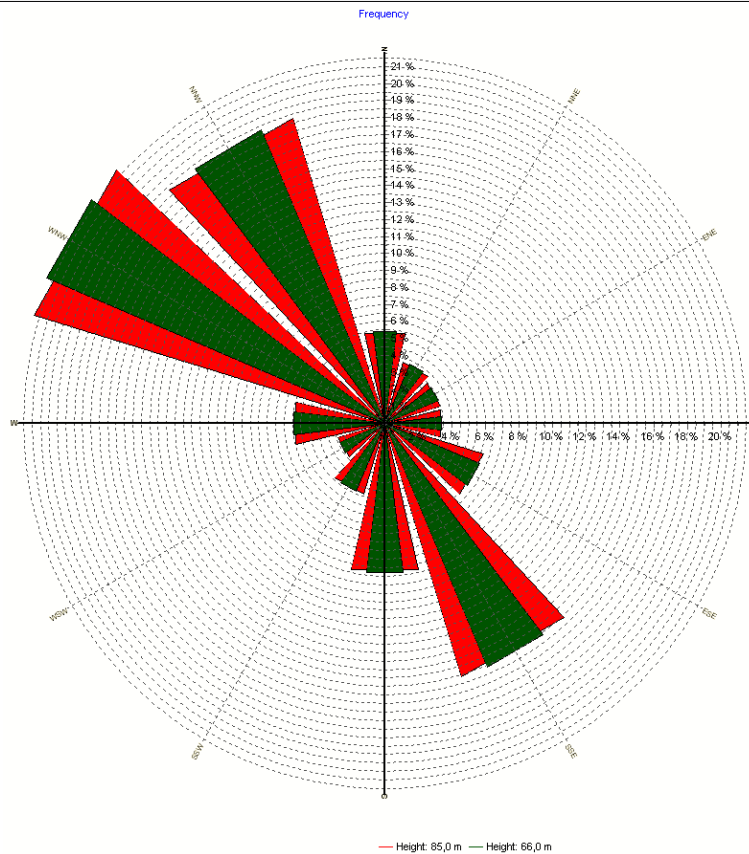
**3.29. ábra** A szélesebbesség Weibull szerinti eloszlása 12 szélirányból ill. azok átlaga az energiatermelés irányonkénti számításához (forrás: saját adatfeldolgozás)

A 3.29. és 3.30. ábrán az irányonkénti Weibull-elosztás és számszerű értékei láthatók, melyeket az energiatermelés irányonkénti számításánál alkalmazunk.

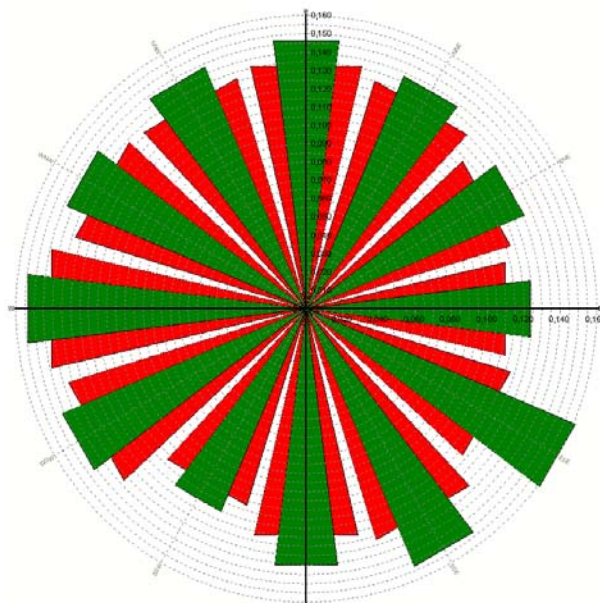
**Weibull data 85 m above ground level**

Sector	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter	Frequency [%]	Wind gradient exponent
0 N	4,49	3,99	1,866	5,4	0,262
1 NNE	3,72	3,30	1,854	3,8	0,150
2 ENE	3,98	3,54	1,791	3,5	0,270
3 E	4,04	3,60	1,751	3,4	0,252
4 ESE	5,24	4,65	2,297	6,1	0,891
5 SSE	6,93	6,18	2,922	15,6	0,410
6 S	6,38	5,65	2,213	8,9	0,300
7 SSW	5,90	5,23	2,043	4,4	0,222
8 WSW	4,46	3,95	2,131	2,9	0,236
9 W	5,64	5,03	1,699	5,5	0,383
10 WNW	8,64	7,70	2,892	21,8	0,385
11 NNW	7,98	7,07	2,401	18,8	0,317
All	6,73	5,96	2,070	100,0	

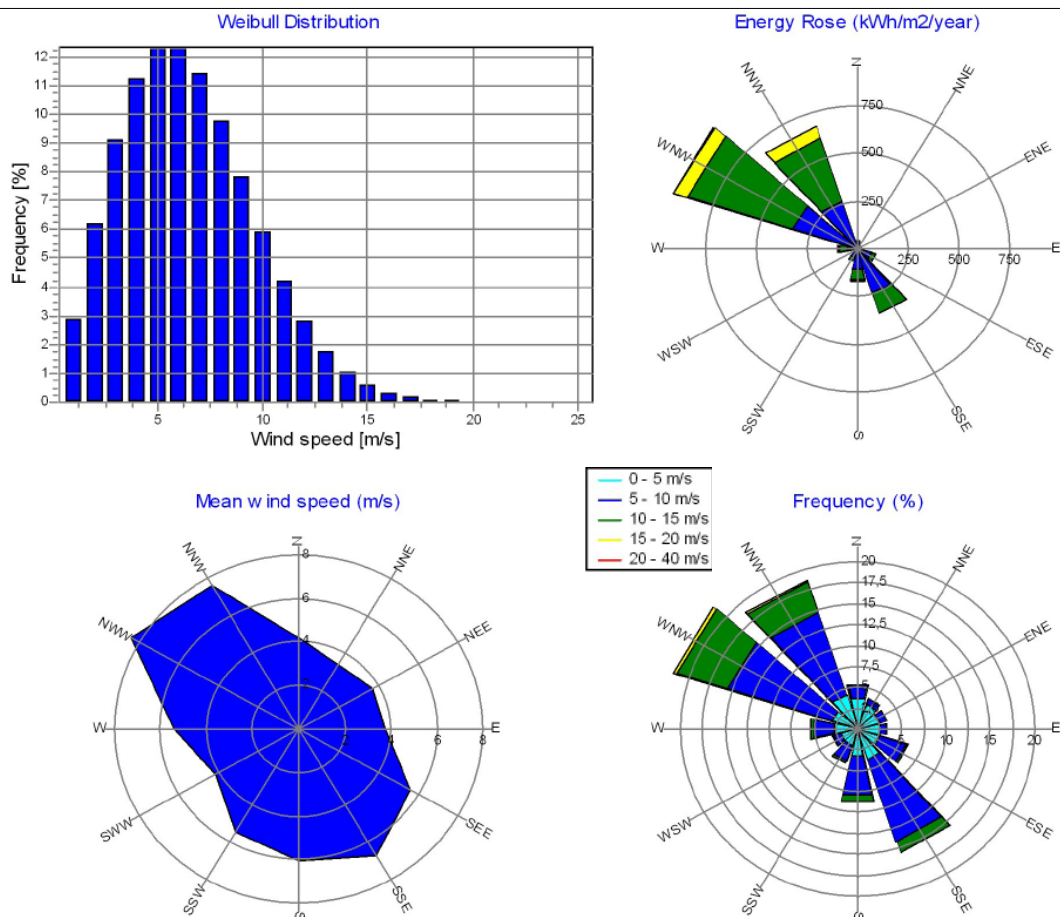
**3.30. ábra** Az energetikai számítások alapjául szolgáló legfontosabb paraméterek 85 m-es mérési magasságban rögzített adatok alapján (forrás: saját adatfeldolgozás)



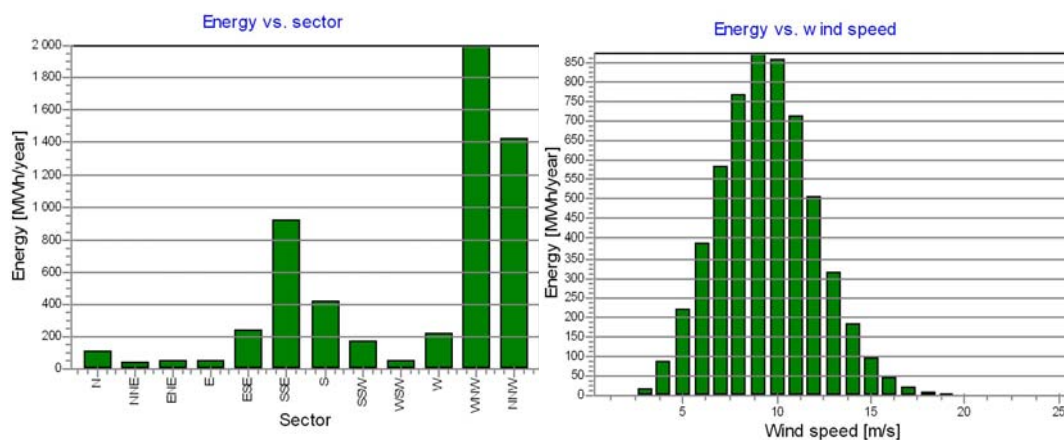
3.31. ábra A szélirányok előfordulásának százalékos gyakorisága két magasságban (forrás: saját adatfeldolgozás)



3.32. ábra Turbulencia a 4 m/s-nál nagyobb szélességeknél, szélirányok szerint, két mérési magasságban (forrás: saját adatfeldolgozás)

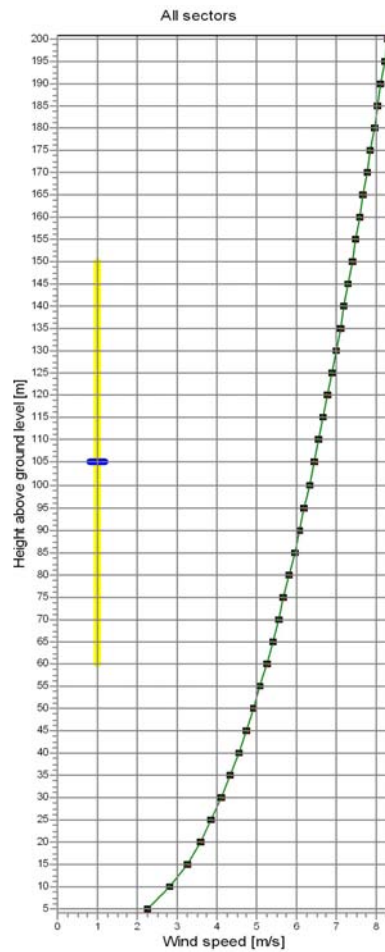


3.33. ábra A mérési adatok alapján, 105 m-en várható energetikai szélviszonyok



3.34. ábra A várható évi energiatermelés (teoretikus) szélirányok szerint és a szélesség függvényében (VESTAS V90,  $P_{névl} = 2 \text{ MW}$ ,  $h = 105 \text{ m}$ )  
(forrás: saját adatfeldolgozás)

Height	Mean wind speed	A- parameter	k- parameter	Wind energy	Yield	Yield change
	[m/s]	[m/s]		[kWh/m <sup>2</sup> ]	[MWh]	[MWh]
5	2,25	2,5	1,46	174	362	-5 320
10	2,84	3,1	1,53	323	757	-4 926
15	3,25	3,6	1,59	462	1 127	-4 556
20	3,58	4,0	1,63	594	1 472	-4 210
25	3,87	4,3	1,68	720	1 796	-3 887
30	4,12	4,6	1,72	843	2 105	-3 578
35	4,34	4,9	1,76	963	2 399	-3 284
40	4,55	5,1	1,79	1 079	2 681	-3 002
45	4,74	5,3	1,83	1 194	2 950	-2 733
50	4,92	5,5	1,86	1 308	3 211	-2 472
55	5,09	5,7	1,89	1 420	3 463	-2 219
60	5,25	5,9	1,93	1 531	3 709	-1 974
65	5,41	6,1	1,96	1 641	3 947	-1 735
70	5,55	6,3	1,99	1 751	4 180	-1 502
75	5,70	6,4	2,02	1 861	4 408	-1 275
80	5,83	6,6	2,04	1 970	4 631	-1 052
85	5,96	6,7	2,07	2 079	4 849	-834
90	6,09	6,9	2,10	2 189	5 063	-619
95	6,22	7,0	2,12	2 298	5 274	-409
100	6,34	7,2	2,15	2 408	5 480	-203
105	6,45	7,3	2,17	2 518	5 683	0
110	6,57	7,4	2,19	2 629	5 882	199
115	6,68	7,5	2,22	2 740	6 078	395
120	6,79	7,7	2,24	2 851	6 270	587
125	6,90	7,8	2,26	2 964	6 459	776
130	7,00	7,9	2,28	3 077	6 645	962
135	7,11	8,0	2,30	3 191	6 827	1 144
140	7,21	8,1	2,32	3 305	7 006	1 323
145	7,31	8,2	2,34	3 421	7 181	1 498
150	7,41	8,4	2,36	3 537	7 353	1 671
155	7,50	8,5	2,37	3 654	7 522	1 839
160	7,60	8,6	2,39	3 772	7 687	2 005
165	7,69	8,7	2,41	3 891	7 849	2 166
170	7,78	8,8	2,42	4 011	8 008	2 325
175	7,88	8,9	2,44	4 132	8 163	2 480
180	7,97	9,0	2,45	4 255	8 315	2 632
185	8,05	9,1	2,46	4 378	8 463	2 780
190	8,14	9,2	2,48	4 502	8 608	2 925
195	8,23	9,3	2,49	4 628	8 750	3 067
200	8,31	9,4	2,50	4 755	8 889	3 206



**3.35. ábra** A szélprofil alakulás a Hellmann tényezők felhasználásával (forrás: saját adatfeldolgozás)

A 3.31. ábra szemlélteti a szélirány gyakoriságot melynek a 3.26 és 3.32. ábrával együtt van jelentősége a szélerőmű üzemeltetése szempontjából. E diagrammokról ad összesítő képet a 3.33. ábra, mely az irányonként várható szélenergia mennyiségét mutatja egy adott magassági szinten. Ebben az esetben már az adatok komplex elemzésére van szükség.

A 3.33. ábrából kiindulva, egy szélerőmű műszaki paramétereinek ismeretében számítható az irányonként várható energiatermelés értéke (3.34. ábra).

A mért és számított értékek alapján elkészíthető a 3.35. ábrán látható összesített energetikai kimutatás és átlagos vertikális szélprofil.

Az értekezés 6. mellékletében szélirányonként felvett szélprofilok láthatók.

## 4. Eredmények

Ebben a fejezetben bemutatásra kerülnek a kutatási időszakban kapott eredményeim, melyeket felhasználtam az új tudományos eredmények megállapítása során.

Részletes elemzésre kerül:

- a szélcsatorna kalibrálása során kapott mérési eredmények értékelése
- a kanalas szélességmérők vizsgálati eredményei
- a megismert energetikai célú szélmérő rendszerek vizsgálata és a
- a mérési adatok kiértékelésének tapasztalatai
- a várható energiatermelés meghatározása

### 4.1 A szélcsatorna kalibrálása során kapott mérési eredmények

A mérés folyamán a nyomás és a hőmérséklet értékét is rögzítettem, és ezek segítségével meghatároztam a levegő sűrűségét. A ferdecsőves manométeren leolvasott értékeket átszámoltam légsebesség értékekre melynek lépései a következők:

$$v = \sqrt{\frac{2 * \Delta p_{din}}{\rho}} \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (4.1)$$

$$\frac{\rho}{2} * v^2 = \Delta p_{din} \quad (4.2)$$

$$\rho = \frac{p}{R * T} \quad (4.3)$$

$$p = 1025 [mbar] \\ T = 23 + 273 [K] \quad (4.4)$$

$$R = 287 \left[ \frac{J}{kgK} \right]$$

$$\Delta p_{din} = l * \sin \alpha * \rho_{mérőfolyadék} * g \quad (4.5)$$

$$\Delta p_{din} = l * \frac{1}{10} * 0,8 * 9,81 [Pa]$$

$l$  = a manométeren leolvasott érték

$l/10$  = a ferde cső helyzete (beállításonként eltérő)

$\rho_{mérőfolyadék} = 0,8 \text{ kg/m}^3$ , a ferde csőben lévő alkohol sűrűsége

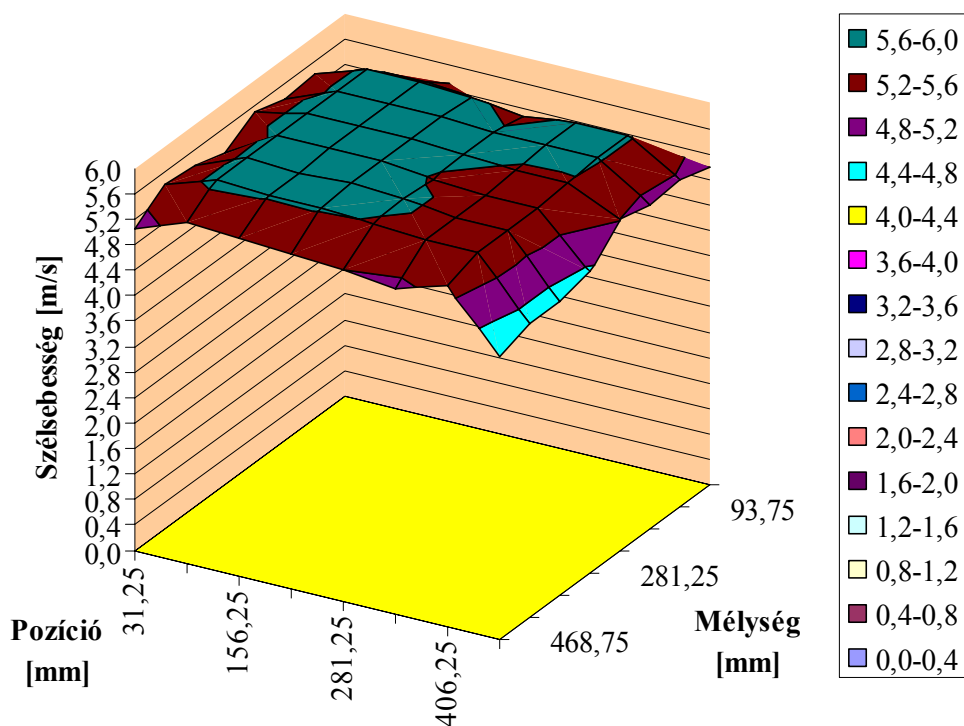
A szélcsatorna kalibrálása során felvett nyomásértékek az 5. mellékletben szerepelnek.

### 4.1.1 Eredmények 500 1/min fordulaton

4.1. táblázat Szélsébség értékek [m/s],  $n = 500$  1/min fordulatszám

			Pozíció							
			1	2	3	4	5	6	7	8
mm			31,25	93,75	156,25	218,75	281,25	343,75	406,25	468,75
Mélység	1	31,25	5,0	5,2	5,3	4,7	4,7	4,7	4,9	5,0
	2	93,75	5,4	5,7	5,7	5,6	5,5	5,6	5,6	5,2
	3	156,25	5,3	5,7	5,7	5,7	5,6	5,6	5,6	5,1
	4	218,75	5,5	5,7	5,7	5,7	5,6	5,6	5,6	5,2
	5	281,25	5,2	5,7	5,7	5,7	5,6	5,5	5,5	4,7
	6	343,75	5,3	5,7	5,6	5,7	5,6	5,5	5,5	4,6
	7	406,25	5,4	5,7	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5	4,6
	8	468,75	5,0	5,3	5,3	5,3	5,2	5,1	5,3	4,4

Szélsébség  $n=500$  1/min fordulatszám

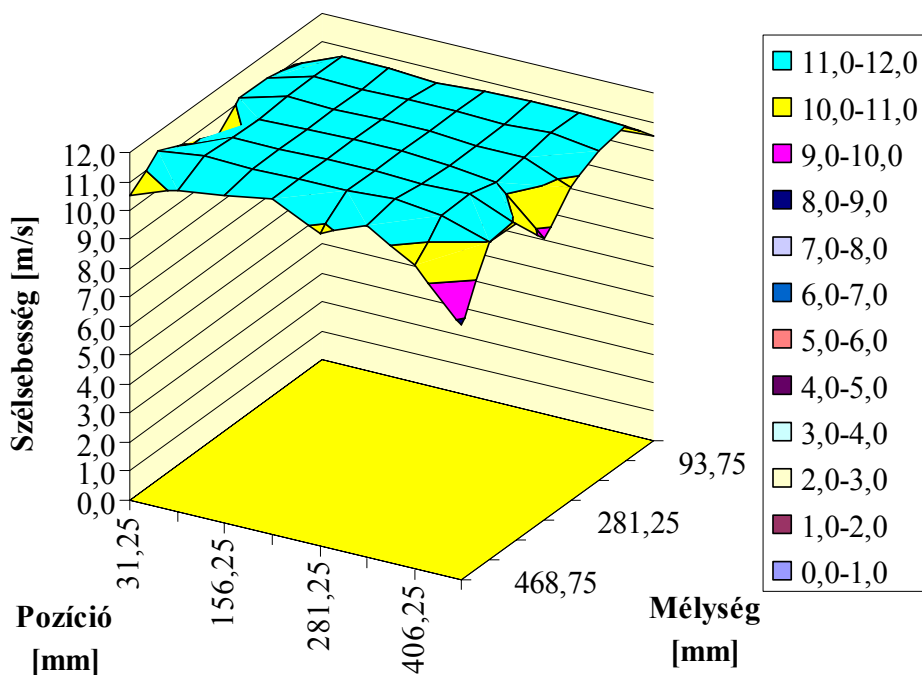


4.1. ábra Szélsébség-eloszlás  $n = 500$  1/min fordulatszám

## 4.1.2 Eredmények 1000 1/min fordulaton

4.2. táblázat Szélesség értékek [m/s],  $n = 1000$  1/min fordulatszám

			Pozíció							
			1	2	3	4	5	6	7	8
mm			31,25	93,75	156,25	218,75	281,25	343,75	406,25	468,75
Mélység	1	31,25	9,9	10,3	10,5	10,2	10,5	10,5	10,4	10,5
	2	93,75	10,9	11,6	11,6	11,5	11,6	11,6	11,6	11,6
	3	156,25	11,1	11,6	11,5	11,6	11,6	11,5	11,6	11,4
	4	218,75	11,1	11,6	11,5	11,6	11,6	11,5	11,5	10,8
	5	281,25	10,2	11,5	11,5	11,6	11,6	11,5	11,3	9,7
	6	343,75	10,9	11,5	11,5	11,6	11,6	11,5	11,6	10,9
	7	406,25	11,3	11,6	11,5	11,6	11,6	11,7	11,5	11,0
	8	468,75	10,5	11,1	11,3	11,6	10,8	11,5	10,5	8,8

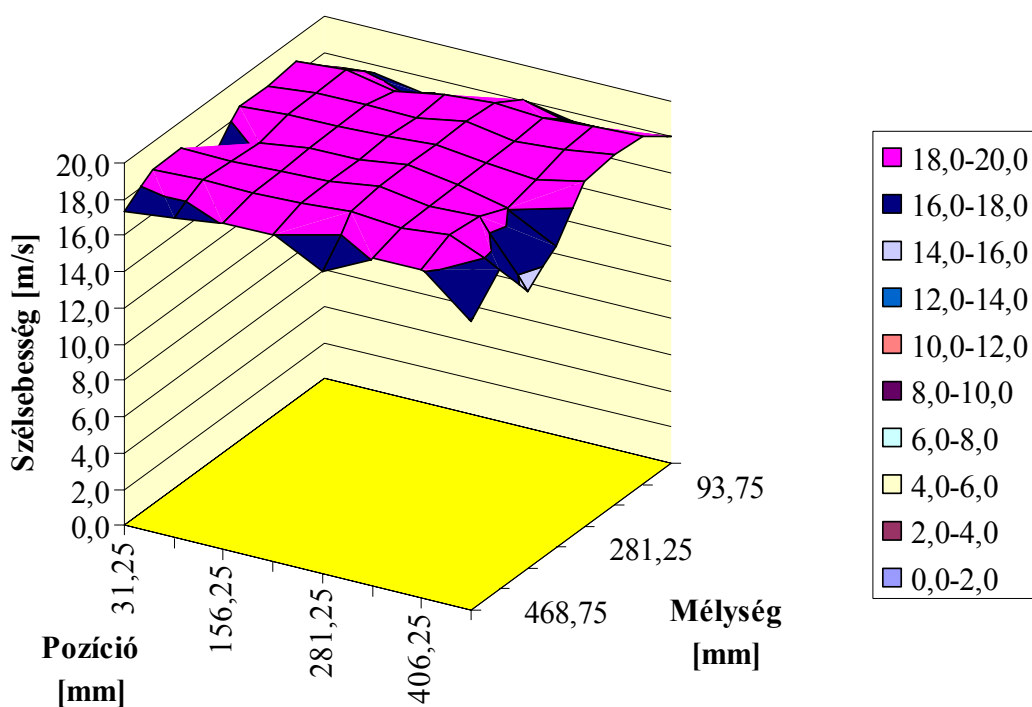
Szélesség  $n=1000$  1/min fordulatszám4.2. ábra Szélesség-eloszlás  $n = 1000$  1/min fordulatszám

### 4.1.3 Eredmények 1500 1/min fordulaton

4.3. táblázat: Szélesség értékek [m/s],  $n = 1500$  1/min fordulatszám

			Pozíció							
			1	2	3	4	5	6	7	8
mm			31,25	93,75	156,25	218,75	281,25	343,75	406,25	468,75
Mélység	1	31,25	17,1	17,6	17,1	15,1	18,0	17,6	17,6	18,0
	2	93,75	18,7	18,9	18,3	18,8	19,0	18,9	19,1	19,2
	3	156,25	18,5	18,7	18,7	18,7	19,2	18,7	18,9	19,3
	4	218,75	18,5	18,7	18,7	18,8	19,1	18,7	18,5	19,0
	5	281,25	16,6	18,3	18,7	18,7	19,1	18,7	18,0	16,6
	6	343,75	18,5	18,5	18,6	18,7	19,1	18,7	18,7	15,3
	7	406,25	18,5	18,6	18,5	18,7	18,8	18,6	18,9	17,6
	8	468,75	17,3	17,6	18,0	18,0	16,6	18,0	18,1	15,9

Szélesség  $n=1500$  1/min fordulatszám



4.3. ábra Szélesség-eloszlás  $n = 1500$  1/min fordulatszám



---

## 4.2 A szélcsatorna, mérési eredményeinek értékelése

A mért értékek kiértékeléséhez a matematikai statisztika eszközeit használtam fel, mellyel a szélcsatorna áramlási sebességének az átlagos sebességtől való eltérését vizsgáltam. Az áramlástechnikában egyezményesen elfogadható hibahatárnak a  $\pm 4\%$ -ot tekintik. Ez az eltérés azt mutatja meg, hogy az adott fordulatra jellemző szélesebbesség átlagos értékétől milyen mértékben térnek el a mérési pontokon a sebességek. Ha a fent említett  $\pm 4\%$ -os határokon belül maradnak az értékek, akkor az áramlási sebességet homogénnek tekinthetjük. A szélesebbeségről készített diagrammok (4.1.-4.2.-4.3. ábra) jól mutatják a csatorna fala melletti áramlási sebesség csökkenést, melynek oka a falsúrlódás keltette turbulencia. Ezekben a helyeken az átlagtól való eltérés jóval meghaladja a  $\pm 4\%$ -ot.

Ez a jelenség teljesen nem küszöbölhető ki. A szélcsatorna oldalfalának érdességi tényezőjét helyesen megválasztva, valamint az elemek illesztésénél a tömítettség fokozásával ez az érték csökkenthető.

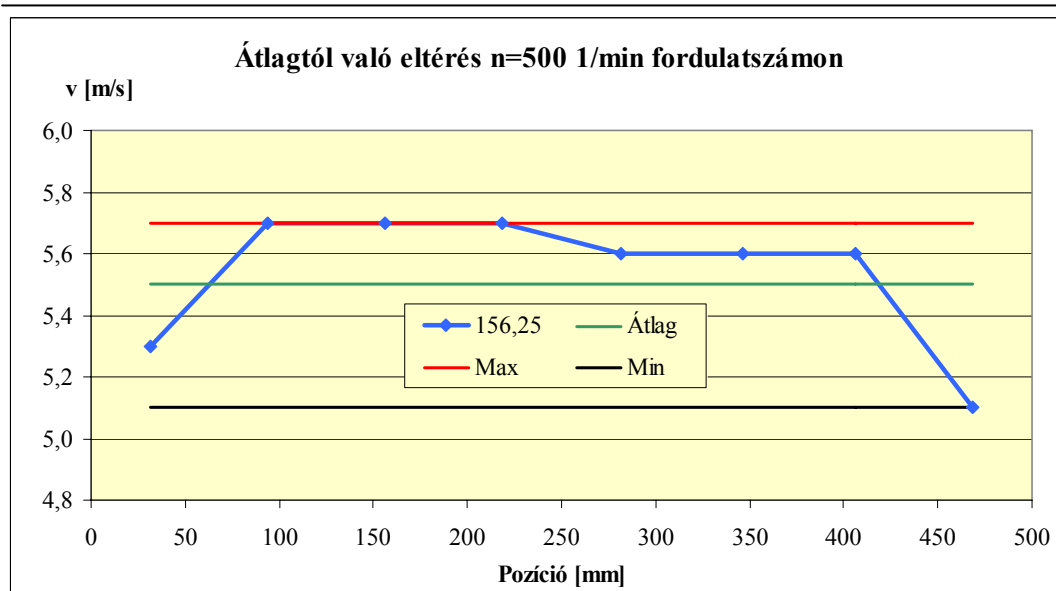
A diagrammok elemzése után megállapítható, hogy az oldalfalaktól számítva 50 mm-es sávban, a keresztmetszet megbízható mérésre nem alkalmas. A légcatorna belső zónájában viszont a vizsgált sebességek nem lépik túl a  $\pm 4\%$ -os határt (4.4.-4.5.-4.6. ábra).

Az általam vizsgálni kívánt anemométerek kanalainak maximális külső forgási átmérője 240 mm, a csatorna átmérője maximálisan 80 mm. Ez azt jelenti, hogy 240 mm szélességű és 80 mm magas tartományban kell biztosítani az egyenletes, átlagos szélesebbeséget legfeljebb  $\pm 4\%$ -os hibahatár mellett.

Fontos megjegyezni, hogy az anemométerek forgó részegységének forgási középsíkja a szélcsatorna felső oldalfalától lefelé 156,25 mm-es mérési szintre kerüljön. Ezt a szélcsatornában kialakított 8X8 pontos mérőmátrix segítségével felvett keresztmetszeti áramkép indokolja.

Összességében kijelenthetjük, hogy a szélcsatorna, kanalas anemométerek áramlási vizsgálatára akkor alkalmas, ha az anemométer működése, a háromdimenziós térben, minden áramlási feltételnek maradéktalanul eleget téve ellenőrizhető.

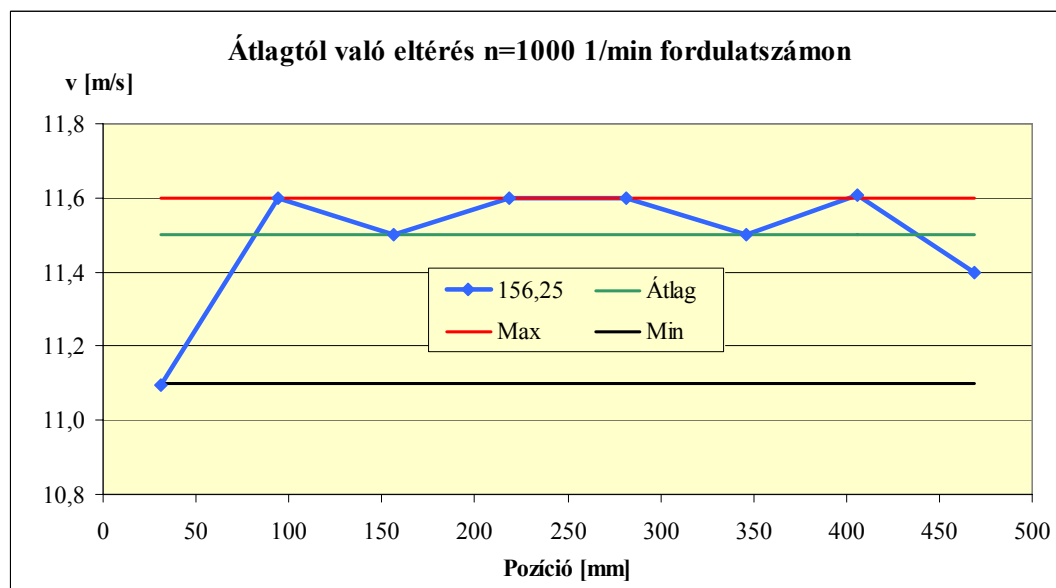
A szélcsatornát, az ellenőrző vizsgálati eredmények alapján kanalas anemométerek áramlási vizsgálatára alkalmasnak találtam.



**4.4. ábra** A szélesség átlagtól való eltérése 156,25 mm mérési mélységben,  
 $n = 500$  1/min ventilátor fordulatszámon

$$v_{\text{átlag}} = 5,5 \text{ m/s}; \text{ a } \pm 4\text{-os hibahatár} = \pm 0,22 \text{ m/s}$$

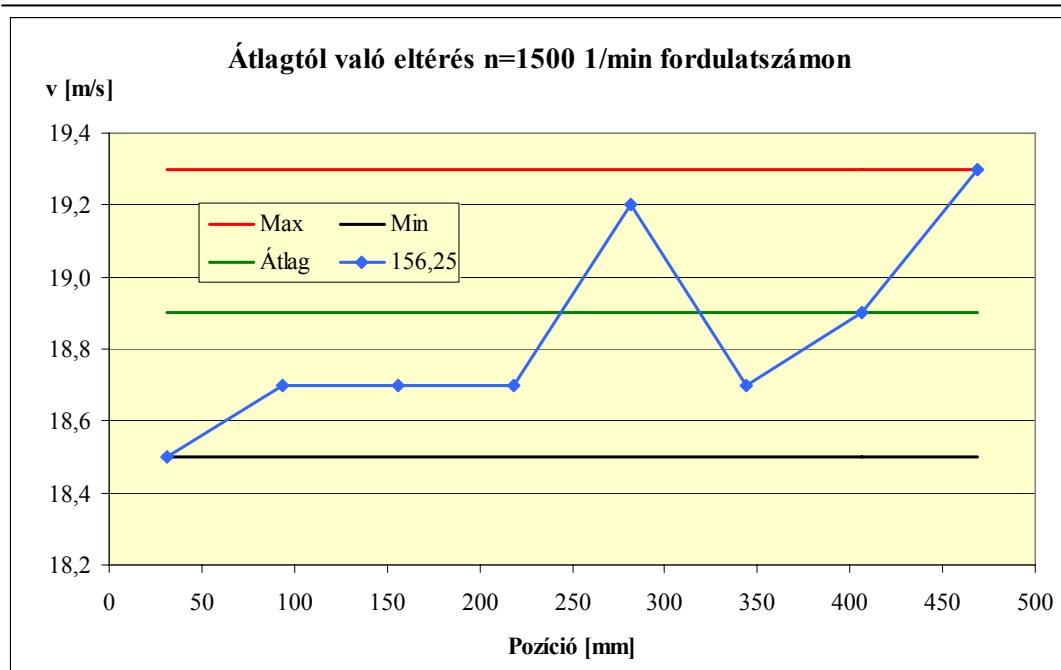
(forrás: saját adatfeldolgozás)



**4.5. ábra** A szélesség átlagtól való eltérése 156,25 mm mérési mélységben,  
 $n = 1000$  1/min ventilátor fordulatszámon

$$v_{\text{átlag}} = 11,5 \text{ m/s}; \text{ a } \pm 4\text{-os hibahatár} = \pm 0,46 \text{ m/s}$$

(forrás: saját adatfeldolgozás)



**4.6. ábra** A szélesség átlagtól való eltérése 156,25mm mérési mélységben,  
 $n = 1500$  1/min ventilátor fordulatszámon

$$v_{\text{átlag}} = 18,9 \text{ m/s}; \text{ a } \pm 4\text{-os hibahatár} = \pm 0,76 \text{ m/s}$$

(forrás: saját adatfeldolgozás)

### 4.3. Az anemométerek kalibrálási eredményeinek értékelése (soros mérések)

Az energetikai szélméréseknél a sebesség meghatározásához kanalas szélsébségmérőt alkalmaztam mérőérzékelőként. E műszereknél a gyakorlati alkalmazást megelőzően, az adatok pontos kiértékelése érdekében fel kell venni a kalibrálási jelleggörbét.

Az ellenőrzéseket különböző Thies gyártmányú anemométereken végeztem el összesen 120 esetben. A statikus mérést minden esetben tíz állandó sebességértéknél végeztem el.

Egy sebességértékhez tartozóan a mérés  $T = 10 \text{ min}$  ideig tartott.

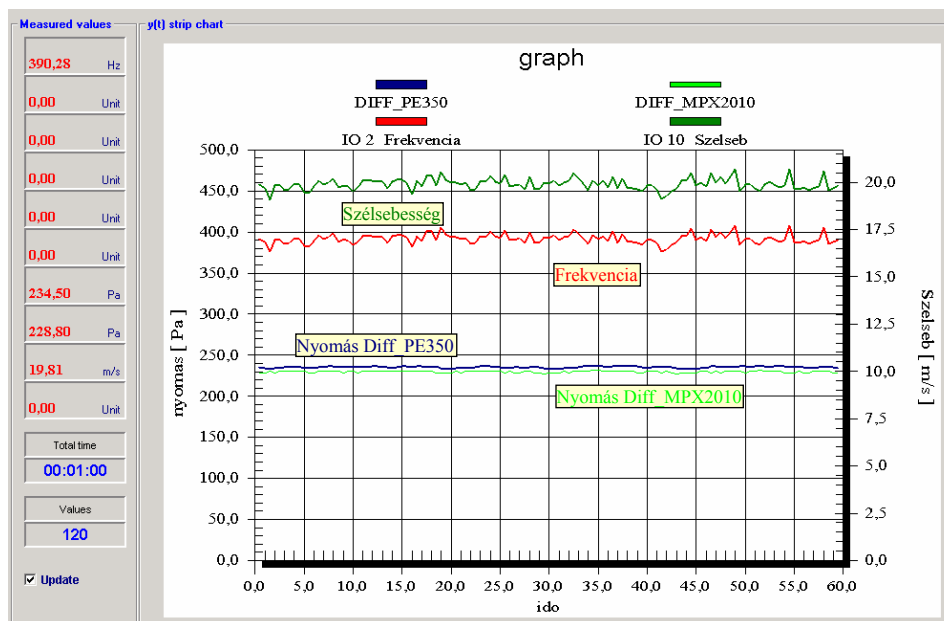
A mintavételezés időt  $t = 0,5 \text{ s}$ -ra állítottam.

Az elvégzett méréseket a 4.1 és 4.2 fejezetekben bemutatott szélcsatornával végeztem a SZIE-GÉK Áramlástan Tanszék műhelyében.

A mérések időtartama alatt folyamatosan ellenőriztem a környezeti feltételeket, melyek a 4.4 táblázat szerint kerültek rögzítésre.

4.4. táblázat: A mérés környezeti jellemzői

	Környezeti jellemzők			
	Mért			Számított
Mennyiség	T	R	$p_{\text{atm}}$	$\rho_{\text{levegő}}$
Mértékegység	[K]	[J/kgK]	[mbar]	[kg/m <sup>3</sup> ]
	291	287	1027	1,229



4.7. ábra A HBM Catman Express program segítségével, állandó ventilátor fordulatszámon rögzített mérési eredmények

A mérés során, a mért értékeket, a mérési idő függvényében folyamatosan ellenőrizhettem, amely a 4.7. ábra segítségével követhető nyomon.

A vízszintes tengelyen a mérési idő látható, a könnyebb szemléltetés érdekében  $T = 1 \text{ min}$  intervallumban. A bal oldali függőleges tengelyhez az ellenőrző műszerként alkalmazott differenciálynomás mérők skáláját rendeltem. A jobb oldali tengelyhez a mért jelfrekvencia (impulzus) értékét és az ebből egyidejűleg számítással meghatározott sebesség értékét rendeltem.

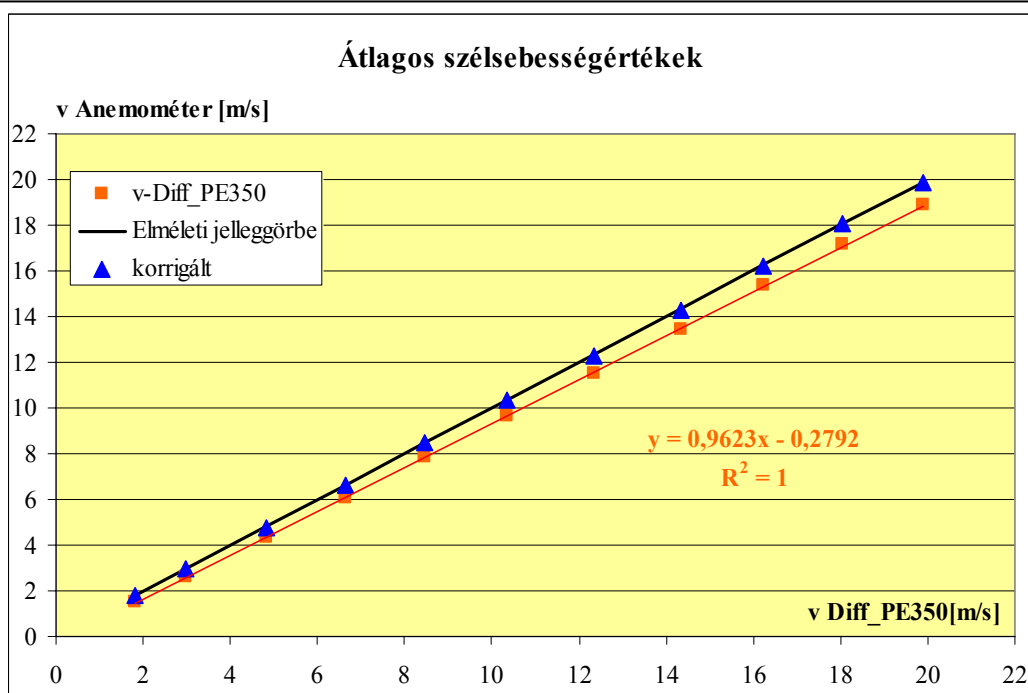
A 4.5. táblázatban foglaltam össze egy Thies 4.3519.00.000 típusú anemométer ellenőrzésénél rögzített és számított adatokat.

Az anemométer kalibrálási jelleggörbáját és a 4.5. táblázat adatait a 4.8., 4.9. és a 4.10. ábrák segítségével szemléltetem.

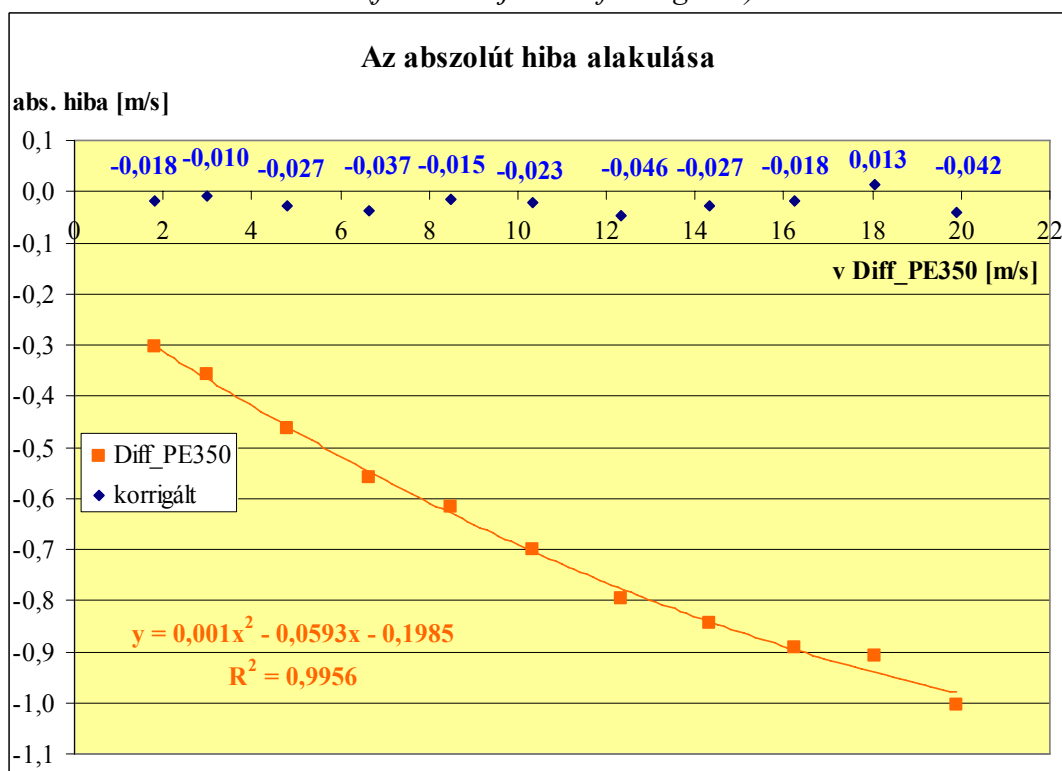
Az anemométerrel mért, és az ellenőrző műszernek választott differenciálynomás-mérővel mért adatokból számított, szélesebbesség értékek összevetéséből (4.8. ábra) megállapítható, hogy az eredmények igen jól illeszkednek egy egyenesre. Tehát az anemométer a szélesebbesség változását lineárisan követi. Ebből következik, hogy a műszer megfelelően működik, hiszen a gyártó által megadott összefüggés szerint a sebesség értéke egyenesen arányos a körülfordulások során megtett úttal. Az is látható, hogy az anemométer alacsonyabb értékeket mér a teljes mérési szakaszon, mint a referencia műszer, azaz a megadott összefüggés nem írja le pontosan a megtett út és a sebesség kapcsolatát.

4.5. táblázat: A statikus mérés eredményei, és a számított értékek

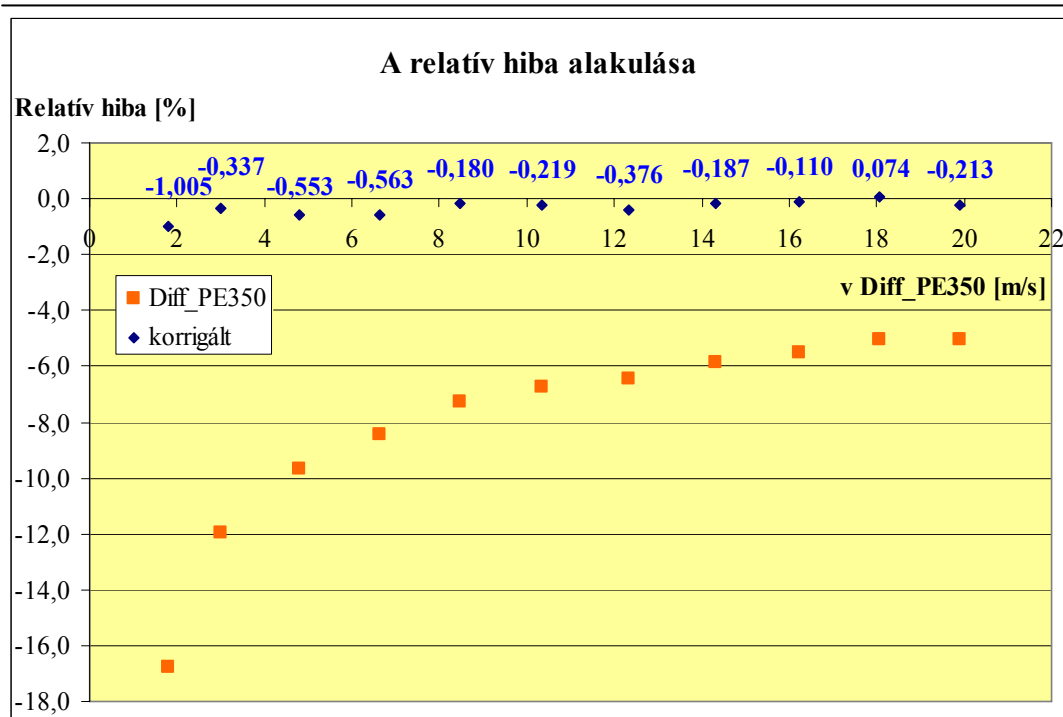
Statikus mérés						
Mennyiség	v anemométer	p PE350	v PE350	v korrigált	absz. hiba	rel. hiba
Mértékegység	[m/s]	[Pa]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[%]
Sorszám	A mérési sorozatok átlag értékei		Számított értékek			
1	1,510	2,024	<b>1,814</b>	<b>1,796</b>	-0,018	-1,005
2	2,637	5,517	<b>2,995</b>	<b>2,985</b>	-0,010	-0,337
3	4,347	14,232	<b>4,811</b>	<b>4,784</b>	-0,027	-0,553
4	6,072	27,032	<b>6,631</b>	<b>6,594</b>	-0,037	-0,563
5	7,858	44,176	<b>8,476</b>	<b>8,461</b>	-0,015	-0,180
6	9,643	65,769	<b>10,343</b>	<b>10,320</b>	-0,023	-0,219
7	11,539	93,545	<b>12,335</b>	<b>12,289</b>	-0,046	-0,376
8	13,482	126,176	<b>14,325</b>	<b>14,298</b>	-0,027	-0,187
9	15,351	162,205	<b>16,242</b>	<b>16,224</b>	-0,018	-0,110
10	17,150	200,507	<b>18,058</b>	<b>18,071</b>	0,013	0,074
11	18,879	243,057	<b>19,883</b>	<b>19,841</b>	-0,042	-0,213



4.8. ábra A szélesség értékek egymáshoz viszonyítva  
(forrás: saját adatfeldolgozás)



4.9. ábra Az abszolút hiba alakulása  
(forrás: saját adatfeldolgozás)



**4.10. ábra** A relatív hiba alakulása  
(forrás: saját adatfeldolgozás)

Ez még jobban szemléltethető az abszolút és a relatív hiba kiszámításával (4.9. és a 4.10. ábra). A pontosabb összefüggés meghatározásához a két érték közti kapcsolatot magasabb rendű függvénnyel közelítettem. Ennek során megállapítottam, hogy alkalmazva a

$$v_{\text{korrigált}} = v_{\text{mért}} + \left| 0,001v_{\text{mért}}^2 - 0,0593v_{\text{mért}} - 0,1985 \right| \quad (4.6)$$

összefüggést, a 4.8., a 4.9. és a 4.10. ábrán „korrigált” megnevezésű értékek 99,56% pontossággal közelítik a referenciaműszer által mért értékeket, és mind az abszolút hiba, mind a relatív hiba elfogadható mértékben közelít a nullához.

$$(-0,046) \text{ m/s} < \text{abszolút hiba} < 0,013 \text{ m/s}$$

$$(-1,005[\%]) < \text{relatív hiba} < 0,074[\%]$$

Az összefüggés meghatározása során törekedtem a lehető legkisebb kitevőjű hatványfüggvény alkalmazására az értékek minél szorosabb közelítése mellett. Az értekezés 8. mellékletében látható két éves mérési időszakot követő ellenőrzés eredményeként, három darab Thies4.3303.22.007 típusú anemométerrel felvett relatívhiba-jelleggörbe sorozat.

A görbékben jól érzékelhető, hogy az első érzékelő, főleg az alacsony sebességtartományok tekintetében hibásan működik.

#### **Példa a mérési hiba hatására (soros mérés)**

Az anemométerek kalibrációjából eredő hibát egy általam választott mérési helyre adaptálva mutatom be.

A példában szereplő adatok az előző vizsgálatnál bemutatott anemométer segítségével kerültek rögzítésre. Az adott helyszínen a 105 m-re számolt átlagos szélesség 6,06 m/s. Ez a 4.5. táblázat 4. sorának felel meg ( $v_{anemométer} = 6,072$  m/s). Ugyanebben a sorban látható, hogy a korrigált sebességérték  $v_{korrigált} = 6,594$  m/s, jó közelítéssel 0,5 m/s-mal nagyobb. A vertikális szélprofil szerint, ez az érték a 165 m szintmagasságon várható szélességnek felel meg, ahol  $v = 6,58$  m/s (4.12. ábra).

Műszaki szempontból ez annyit jelent, hogy jelentős alulbecslést követünk el az energiatermelés meghatározása során.

A számított energetikai mutatóknál az éves szinten várható eltérés az energiatermelésben közel 800 MWh, a kihasználtságnál több mint 4% (4.11. ábra).

A fenti egyszerű példa alapján látható, hogy a pontatlanul felvett műszer-jelleggörbe, több mint 10% negatív eltérést is okozhat a várható energiatermelés meghatározása során.

Ezt úgy ellenőriztem, hogy a feldolgozott adatbázis segítségével kiszámoltam egy 105 méteres forgási középponttal rendelkező szélerőmű várható energiatermelését, majd ezt követően ugyanazt a szélerőművet 165 méter magas forgási középpontba helyeztem (4.11. ábra).

Természetesen a helyesen felvett szélprofil nem pont ugyan ezt az eltérést tükrözné, hiszen a hibás mérésnél a mérési hiba halmozott hatása egzaktnál nehezen határozható meg.

#### Calculated Annual Energy

WTG type		Power curve					Annual Energy		Mean	Capacity	
Valid	Manufact.	Type	Power	Diam.	Height	Creator	Name	Result	Result	wind	Factor
			[kW]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	speed	[%]
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	105,0	EMD	Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005	4 997,0	4 497	6,1	28,5
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	165,0	EMD	Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005	5 807,4	5 227	6,6	33,1

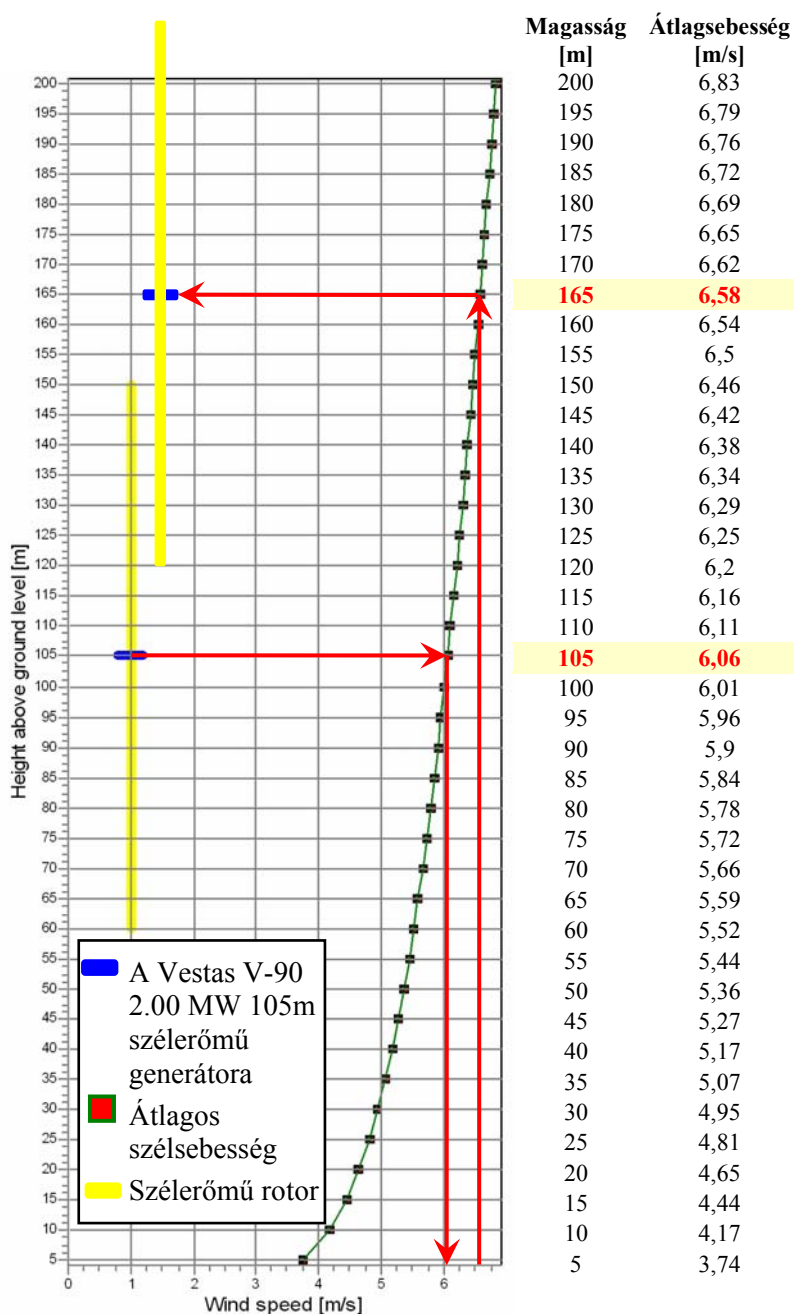
#### 4.11. ábra A várható energiatermelésre gyakorolt hatás

A tengerpartoktól távolodva a szélviszonyok a tengeri szelekkel szemben kevésbé kiegyenlítették és átlagértékük csökken, ezért az alacsonyabb tartományba eső szélességek és az értékek változásának pontos mérése kontinentális viszonyok között különösen fontos.

Míg tengeri szeleknél a szélerőművek üzemi középpontjában a szélesség várható átlagos értéke 12-14 m/s körül alakul, addig kontinentális viszonyok között ez az érték 6-8 m/s közé tehető.

Nyilvánvaló tehát, hogy ha a mérés hibája az alacsonyabb szélességszáltyokban nagyobb, akkor a kiértékelés hibája is megnő.





4.12. ábra A szélesebbség a magasság függvényében (A vertikális szélprofil) (forrás: saját szerkesztés)

## 4.4 Mérőrendszerek összehasonlítása

### 4.4.1 Azonos mérési elven működő energetikai szélmérőrendszerek

#### 4.4.1.1 A Weibull-függvény $k$ paraméterének alakulása Magyarországon

A szélességmérő rendszerekkel rögzítésre kerülő mérési adatok feldolgozásánál az első lépés az adatok osztályba sorolása. Az egyes adatok ábrázolása oszlopdiagramm segítségével történik. A várható energiatermelés könnyebb meghatározása érdekében, a sebesség változását, az adatok eloszlásának alakulását a matematikai statisztikában alkalmazott eloszlásfüggvényekkel közelíthetjük.

A szélesség eloszlásának leírására leggyakrabban Weibull-eloszlás függvényt alkalmaznak, amely a széleenergiahasznosítás területén a következő módon alakul:

$$f(v) = \frac{k}{v_{\text{átlag}}} \cdot \left( \frac{v}{v_{\text{átlag}}} \right)^{k-1} \cdot e^{-\left( \frac{v}{v_{\text{átlag}}} \right)^k} \quad [\%] \quad (4.7)$$

ahol:  $v$  = szélesség [m/s]

$v_{\text{átlag}}$  = átlagos szélesség [m/s]

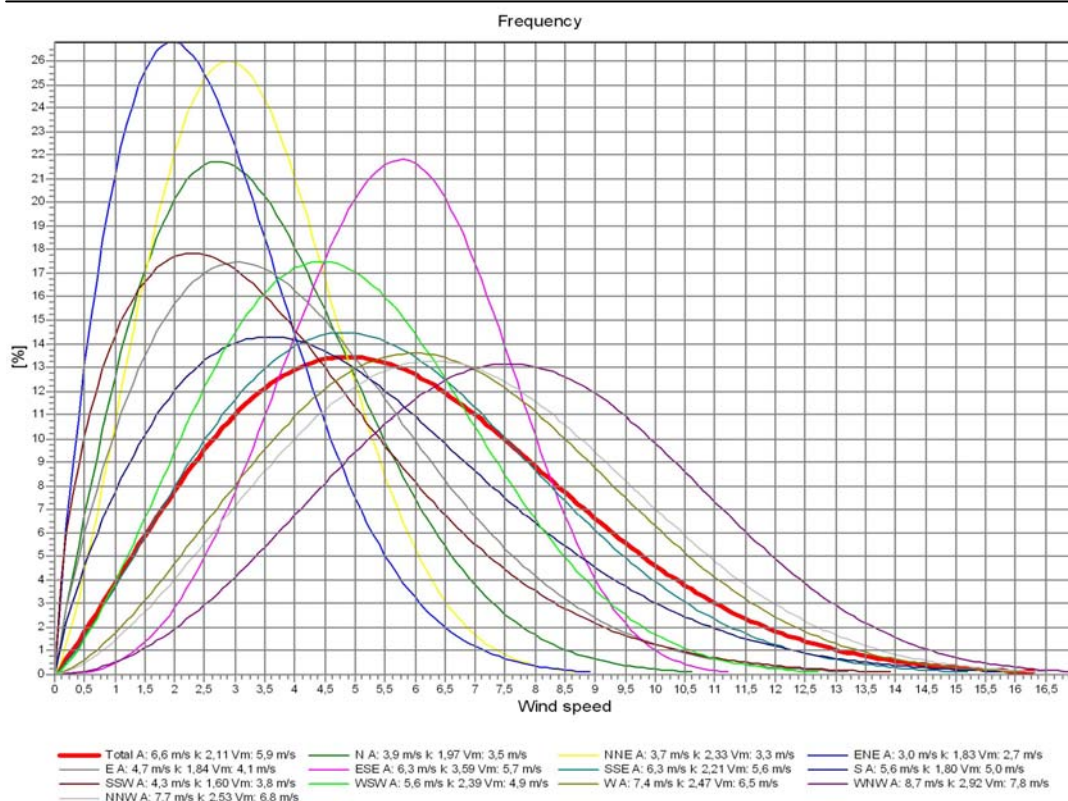
$k$  = alaktényező.

Észak-Európa nagy részén a  $k$  tényező közel egyenlő kettővel.

Ebből látható, hogy a függvényben egyetlen paraméter marad, mely a mérési helyre jellemző speciális érték, a  $k$  tényező.

4.6. táblázat: A Weibull  $k$  tényező alakulása szélirányok szerint, Nagyigmánd térségében, 60 méteres magasságban

Irány	A- paraméter	Vátlag	k- paraméter	Gyakoriság
	[m/s]	[m/s]	-	[%]
<b>0-N</b>	3,91	3,46	1,968	3,74
<b>1-NNE</b>	3,68	3,26	2,334	2,12
<b>2-ENE</b>	3,03	2,69	1,827	1,28
<b>3-E</b>	4,66	4,14	1,835	3,27
<b>4-ESE</b>	6,31	5,69	3,587	12,08
<b>5-SSE</b>	6,34	5,62	2,206	12,30
<b>6-S</b>	5,62	5,00	1,795	9,07
<b>7-SSW</b>	4,26	3,82	1,595	6,20
<b>8-WSW</b>	5,57	4,94	2,390	7,87
<b>9-W</b>	7,37	6,54	2,475	10,94
<b>10-WNW</b>	8,73	7,79	2,919	20,07
11-NNW	7,69	6,82	2,529	11,06
<b>Átlag</b>	<b>6,61</b>	<b>5,86</b>	<b>2,109</b>	<b>100,00</b>



4.13. ábra A Weibull-eloszlás és a k tényező alakulása szélirányok szerint Nagyigmánd térségében (forrás: saját szerkesztés)

4.7. táblázat: A Weibull k tényező alakulása szélirányok szerint, Nagyigmánd térségében, 105 méteres magasságban

Irány	A- paraméter [m/s]	Vátlag [m/s]	k- paraméter -	Gyakoriság [%]
0-N	4,03	3,57	2,328	3,74
1-NNE	4,44	3,95	2,694	2,12
2-ENE	3,29	2,91	2,187	1,28
3-E	5,26	4,66	2,195	3,27
4-ESE	7,09	6,42	3,947	12,08
5-SSE	7,27	6,46	2,566	12,30
6-S	6,42	5,68	2,155	9,07
7-SSW	5,17	4,59	1,955	6,20
8-WSW	6,51	5,79	2,750	7,87
9-W	8,32	7,42	2,835	10,94
10-WNW	9,79	8,78	3,279	20,07
11-NNW	8,81	7,86	2,889	11,06
Átlag	7,53	6,67	2,355	100,0

A  $k$  tényező értéke alapvetően a mérési környezettől függ. Országos vonatkoztatású értékének meghatározásához a legjobb közelítés a mérési helyszínek darabszámának növelésével érhető el, tapasztalati úton.

Egy mérési adatbázishoz tartozóan a  $k$  tényező értéke a különböző irányokban eltérő (4.6. táblázat, 4.13 ábra). Az átlagérték megállapításánál alapvetően figyelembe kell venni a szélirány-gyakoriságot (4.6.-4.7. táblázat)

További fontos jellemző a vonatkoztatási magasság.

A 4.7. táblázatban látható, hogy a magasság növelésével a  $k$  tényező értéke is nő. Ezért az egyes mérési helyszínek összehasonlításánál fontos, hogy azonos magasságra vonatkoztassuk a  $k$  értékét.

Az elvégzett energetikai méréseknél az alábbi átlagértékeket kaptam a  $k$  tényezőre:

4.8. táblázat: A Weibull  $k$  tényező alakulása Magyarországon

Település	Weibull $k$ tényező
<b>Ajka</b>	1,948
<b>Alsószentiván</b>	2,330
<b>Bánk</b>	1,627
<b>Bogyoszló</b>	1,928
<b>Felsőzsolca</b>	1,705
<b>Hajdúnánás</b>	2,025
<b>Jászberény</b>	1,740
<b>Kartal</b>	1,948
<b>Kőszeg</b>	1,895
<b>Mélykút</b>	2,267
<b>Nagyigmánd-2005</b>	2,109
<b>Nagyigmánd-2006</b>	2,241
<b>Pátka</b>	2,025
<b>Szőc</b>	1,871
<b>Tatabánya</b>	1,845
<b>Tiszaújváros</b>	2,023

A 4.8 és táblázatban szereplő adatok az egyes helyszínekre jellemző átlagértékek, melyeket 12 égtáj súlyozott átlagaiként kaptam, 60 méter magasságban. A mérés másodpercenkénti mintavételezéssel és 10 percenkénti átlagolással történt. A szín jelölés a mérési hely domborzati jellegére utal. Barnával a magyarországi dombvidéki jellegű területeket jelöltem és zölddel a magyarországi síkvidéki jellegű területeket.

A domborzat jellegének megadásakor mindenkor szükséges utalni a nagyobb földrajzi térségre, mivel az általam is használt dombvidék és síkvidék jelentős

eltéréseket tartalmazhat. Erre szemléletes példa, hogy hazánk legnagyobb kiterjedésű sík területe az Alföld, sűrűdési szempontból nem azonos, például egy Dániai sík vidékkel, holott esetleg azonos a tengerszint feletti magasság. Ennek oka a hazánkban telepítésre került szélvédő erdősávokban rejlik, melyek már nevükből eredően is éppen azt a célt szolgálják, hogy a talajfelszín közelében lassítsák a szél haladását, mint egy akadály az áramlás útjában.

A kapott eredményekből jól látható, hogy hazánk sík vidékein a Weibull k-tényező értéke az esetek többségében meghaladja a 2,0 értéket, a dombvidéki jellegű területeken pedig jóval 2,0 alatt marad.

Három helyszínen figyelhető meg eltérés, név szerint Bogyoszló, Felsőzsolca és Jászberény esetében.

Habár ezek a területek domborzati szempontból sík vidéknek számítanak, a mérési körülmények megváltoztatták ezt a jelleget. Bogyoszló esetében épp a fent említett szélvédő erdősávok okozzák a változást, Felsőzsolca és Jászberény esetében pedig a mesterséges tájelemek, sóder bánya és ipari létesítmények. E tényezők hatását szigorúan figyelembe kell venni, mivel a szélerőművek energiatermelésére is hatást gyakorolnak. Az ilyen jellegű áramlásmódosító elemek elhanyagolása súlyos hibához vezet az energiatermelés számításánál.

#### 4.4.1.2 A magassági hatványkitevő alakulása Magyarországon

Az energetikai szél mérés gyakorlatára jelenleg túlnyomórészt a mérőtornyokon elhelyezett kanalas szélesebségmérőkkel történő sebességérzékelés a jellemző.

E mérőrendszerek egyik jellegzetessége, hogy a mérési adatok csak meghatározott magassági szintekről, az anemométerek elhelyezési magasságából származnak. Ez azt eredményezi, hogy a működtetni kívánt szélerőmű üzemi tartományában uralkodó szélviszonyoknak csak egy kis részéről származik közvetlen információ.

Annak érdekében, hogy a teljes tartomány ismertté váljon számunkra elméleti összefüggéseket alkalmazunk. A számos függvény közül a szélerőenergiahasznosítás gyakorlatában az úgynevezett Hellmann-kitevős hatványfüggvény terjedt el:

$$\frac{v}{v_{ref}} = \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha \quad (4.8)$$

ahol,

$v$  = a keresett szélesebség érték ( $m/s$ ),  $h$  ( $m$ ) magasságban

$v_{ref}$  = az ismert szélesebség érték ( $m/s$ ),  $h_{ref}$  ( $m$ ) referencia magasságban

$\alpha$  = a magassági hatványkitevő, Hellmann-tényező (-)

A Hellmann-tényező értékének alakulását számos környezeti paraméter befolyásolja, mely az adott mérési hely sajátosságaiból ered. Ilyenek a domborzat, a magasság, a különféle meteorológiai jellemzők (hőmérséklet, páratartalom, nyomás), a felszín borítottságának mértéke és jellege. Ezért e tényező értékének a pontos meghatározási is csak helyszíni mérésekkel lehetséges.

A Hellmann-tényező Magyarországra vonatkoztatott átlagos értékének meghatározásával már több ízben foglalkoztak. Ezek közül kiemelendő Tóth Gábor, valamint Tarr Károly munkája.

Tóth Gábor elsősorban az alfa értékének napi alakulásával foglalkozott egy adott mérési helyszínen.

Tarr Károly pedig ugyanezen helyszín alfa értékeit határozta meg égtájak szerint. E munkákhoz képest alapvető eltérés, hogy számomra nem csupán egyetlen helyszín mérési adatai állnak rendelkezésre, hanem országosan közel negyven mérési pont adatbázisa, melyek közül 26 saját mérés. Ezen belül 15 helyszínen végeztem nagy pontosságú, másodpercenkénti mintavételezésen alapuló mérést.

4.9. táblázat: A Hellmann-tényező alakulása égtájak szerint Nagyigmánd térségében

<b>Irány</b>	<b>Gyakoriság</b>	<b>Hellmann-tényező</b>
	[%]	-
<b>0-N</b>	3,74	0,0544
<b>1-NNE</b>	2,12	0,3367
<b>2-ENE</b>	1,28	0,1468
<b>3-E</b>	3,27	0,2155
<b>4-ESE</b>	12,08	0,2071
<b>5-SSE</b>	12,30	0,2436
<b>6-S</b>	9,07	0,2365
<b>7-SSW</b>	6,20	0,3473
<b>8-WSW</b>	7,87	0,2783
<b>9-W</b>	10,94	0,2169
<b>10-WNW</b>	20,07	0,2039
<b>11-NNW</b>	11,06	0,2448
<b>Átlag</b>	<b>100,00</b>	<b>0,2269</b>

A 4.19. táblázat adataiból jól látszik, hogy egy helyszínt nehezen lehet jellemezni a Hellmann-tényező egyetlen értékével. A feltüntetett átlagérték, irányonkénti súlyozással került meghatározásra.

Az elméleti összefüggések hazánk tájaira vonatkoztatott általános alkalmazhatósága érdekében azonban célszerű megállapítani jellemző értékeket. Erre legjobb bizonyítékot az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSz) adatbázisának feldolgozása során láttam. Konzorciumi munkában az OMSz-nál több magassági szintre elkészítették hazánk energetikai széltérképét. Az adatok elsődleges feldolgozásánál azonban a magassági korrekcióra vonatkozó adatok nem álltak rendelkezésre, ezért annak mértéke az egyes mérési pontokon becsléssel került meghatározásra. A térképek korrigálására az energetikai mérések alapján meghatározott adatokkal került sor.

A Hellmann-tényező átlagos értékének megállapítását súlyozott matematikai átlagolással kell elvégezni, a normál átlag hibát eredményez.

A 4.10. táblázatban felsoroltam a magassági korrekciós tényező átlagos értékét az általam végzett sűrű mintavételezésű helyszínekre.

4.10. táblázat: A Hellmann-tényező alakulása Magyarországon

Település	Hellmann tényező
Ajka	0,2241
Alsószentiván	0,3998
Bánk	0,3991
Bogyoszló	0,3615
Felsőzsolca	0,2015
Hajdúnánás	0,2776
Jászberény	0,2876
Kartal	0,2541
Kőszeg	0,2336
Mélykút	0,2938
Nagyigmánd	0,2269
Pátka	0,2560
Szóc	0,2941
Tatabánya	0,1692
Tiszakécske	0,2946

Zöld színnel a hazánk sík vidékeiről származó adatokat jelöltem, a barna szín pedig a helyszín dombvidéki jellegére utal hasonlóan a 4.8. táblázathoz.

A mérési helyszín ismeretében a z adatokból az állapítható meg, hogy a Weibull  $k$  tényezővel szemben a Hellmann-tényező jelentősebb mértékben függ a mikro-domborzati elemektől, melyek a terület fedettségének jellegére és mértékére utalnak.

A 60 méteres magasságra kapott adtok alapján a Hellmann-tényező értéke Magyarország nagyobb tájegységeinél:  $0,15 \leq \alpha \leq 0,40$  között változik.

A magassági korrekció helyes megállapítása elengedhetetlen az energiatermelés meghatározásához.

Egy szélerőmű elméleti energiatermelése a:

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot c_t \quad [\text{W}] \quad (4.9)$$

Ebben az összefüggésben a szélesebbesség a harmadik hatványon szerepel, ha a helytelenül meghatározott magassági korrekciós tényező hibát eredményez a számításnál, akkor a relatív hiba nagyjából háromszorosára nő.

#### 4.4.1.3 Energetikai elemzés

A következőkben a *Thies* gyártmányú kanalas anemométerek és széliránymérők segítségével rögzített mérési adatokból számított energiatermelés összehasonlítását végeztem el. A mérések Nagyigmánd térségéből származnak.

A vizsgált két mérőrendszerrel két különböző mérési magasságot alkalmaztam, 15 és 25 métert, valamint 40 és 60 métert.

A mérőrendszerek összehasonlítására két okból került sor:

Az energetikai szélmérések gyakorlatában, kezdetben az *z* alkalmazott mérőoszlop magasság 25 – 40 méter közé esett. Céлом volt megvizsgálni, hogy e magassági szintekről származó adatok alapján is ugyan olyan jó közelítéssel végezhető-e el a szél erőművek üzemi tartományában várható energiatermelés meghatározása, mint a magasabb szintekről származó adatokból. Ez azért fontos, mert kedvező esetben nem kell megismételni az ilyen jellegű méréseket, legfeljebb kis mértékű korrigálásra szorulnak.

A másik ok, hogy az alacsonyabb tornyok alkalmazása költségtakarékosabb megoldást jelent. Amennyiben meghatározott feltételek mellett eredményesen alkalmazhatók, nem szükséges jóval drágább szerkezeteket alkalmazni.

A vizsgált két mérőrendszer egy azon időben és helyen került felállításra. A megegyező mérési időszaknak köszönhetően az egymást követő évek eltérő időjárási frontjai és a változó meteorológiai jellemzők nem zavarták a mérési adatok összehasonlíthatóságát.

A mérőoszlopok elhelyezésénél figyelembe vettem a várható fő szélirányokat (Ny-ÉNy, DK), hogy ne jelentsen egyik mérőrendszer sem fizikai akadályt a másiknak. Az alacsonyabb mérőoszlop 200 méterrel délebbre került telepítésre a magasabbhoz képest.

Az alacsonyabb mérőrendszerrel Ammonit Windsiter 420 adatrögzítőt alkalmaztam, a magasabbnál Ammonit Wicom-32 típust.

Az egyes mérőrendszereknél a mintavételezésben némi eltérés van.

A szélesség mérése mindkét esetben másodpercenként történt. A Windsiter azonban csak átlag és maximum értéket, valamint az értékek szórását rögzítette, a Wicom-32 viszont átlagot, maximumot, minimumot és szórást rögzített. Ezért az összehasonlításnál csak az átlag és a szórás értékét vettem figyelembe.

A szélirány meghatározásában mutatkozik nagyobb eltérés, mivel a Windsiter csak a percenként mért egyetlen irány értékét rendeli hozzá az átlagos sebességértékhez. A Wicom-32 ezzel szemben hasonló mintavételezéssel dolgozik az irány tekintetében is, mint a sebesség esetén.

A mért adatokból percenként egy statisztika készült. Az egy perces statisztikák összessége a Windsiternél hetente, a Wicom-32-nél havonta került tárolásra.

Az adatok összehasonlításához a Windsiter csak a statisztikákat tudja biztosítani. A Wicom-32 esetén lehetőség van a mintavételezés során felvett adatok számtani átlagának képzésére és tárolására is. A vizsgálatban az átlagolást 600 adat alapján, tehát 10 percenként végeztem el a sebességre és az irányra vonatkozóan is, a fenti bontásban (max., min., átlag, szórás).

---



A közvetlen mérési adatok a Windsiter esetén nem rögzíthetőek, erre csak a Wicom-32 esetén volt lehetőségem.

Az adatkiértékelés szempontjából összességében az alábbi hibatényezők jelentkeznek:

Windsiter: Számítási átlag képzése percenként a sebesség adatokból

Percenkénti mintavételezés a szélirány meghatározásához

Wicom-32: Számítási átlag képzése percenként a sebesség adatokból

Számítási átlag képzése percenként az irány adatokból

Tehát az adatok nem sebesség-irány adat-párként kerülnek átlagolásra.

A kiértékelésnél és az energiatermelés számításánál ez nem jelent számottevően nagy eltérést, a szélerőművek üzemeltetésénél pedig nincs szükség ilyen részletes adatfeldolgozáshoz. Az erőművek csak az irány tartós változására (legalább 10 perc) reagálnak.

Az energiatermelés meghatározásánál a Windsiter adatrögzítési módja miatt a közvetlen mérési adatokat nem használhattam csak a statisztikákat, ezért az elemzésnél egy hosszabb mérési időszakot (62 nap) vettem figyelembe.

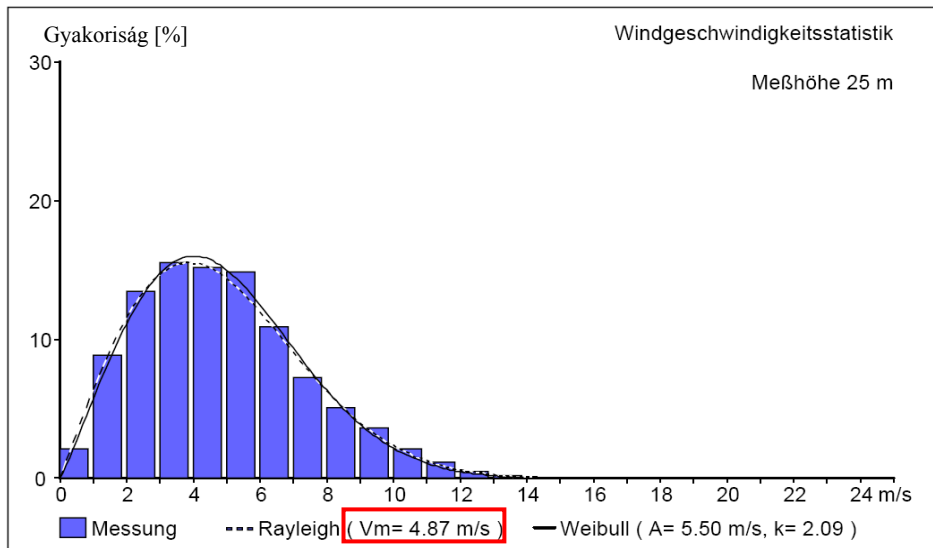
A vizsgált terület jellemzéséhez tartozik, hogy Magyarország sík vidékei közé tartozik, azaz a domborzat tagoltsága csak kis mértékben befolyásolja a légáramlatokat, a területre jellemző irányonkénti Hellmann-tényező alacsony (Magyarország esetében) (4.11. táblázat). Kiugró értékek csak ÉÉK és DDNy irányból tapasztalhatók.

4.11. táblázat: A Hellmann-tényező alakulása a két mérőrendszer szerint

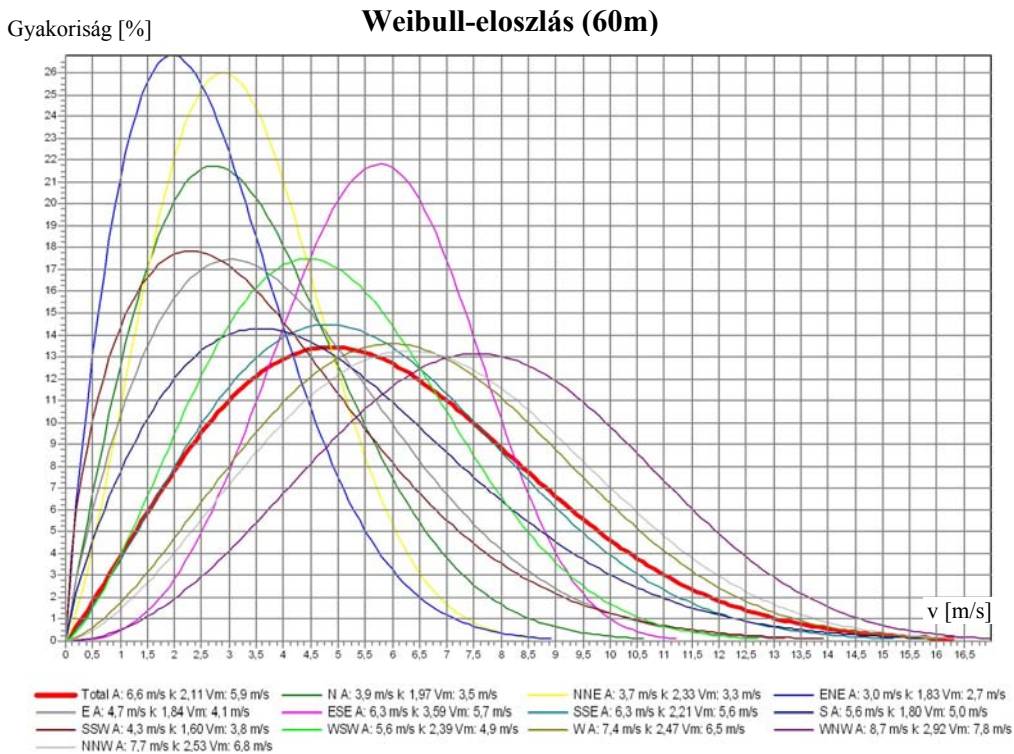
60 m-es mérési magasság	Irány	Hellmann-tényező
	É	0,0544
	ÉÉK	0,3367
	KÉK	0,1468
	K	0,2155
	KDK	0,2071
	DDK	0,2436
	D	0,2365
	DDNy	0,3473
	NyDNy	0,2783
	Ny	0,2169
	NyÉNy	0,2039
	ÉÉNy	0,2448

A mérőrendszerek környezete akadálymentes volt, tehát épületek, fák, bokrok nem módosították az áramlásokat. Az előző számsorban, az értékek eltérése a minimális domborzati egyenetlenségből ered.

A 4.14. ábra és a 4.15. ábra a klasszifikált szélesebbesség-eloszlást ábrázolja a ráillesztett Rayleigh- és Weibull-eloszlás függvényvel.



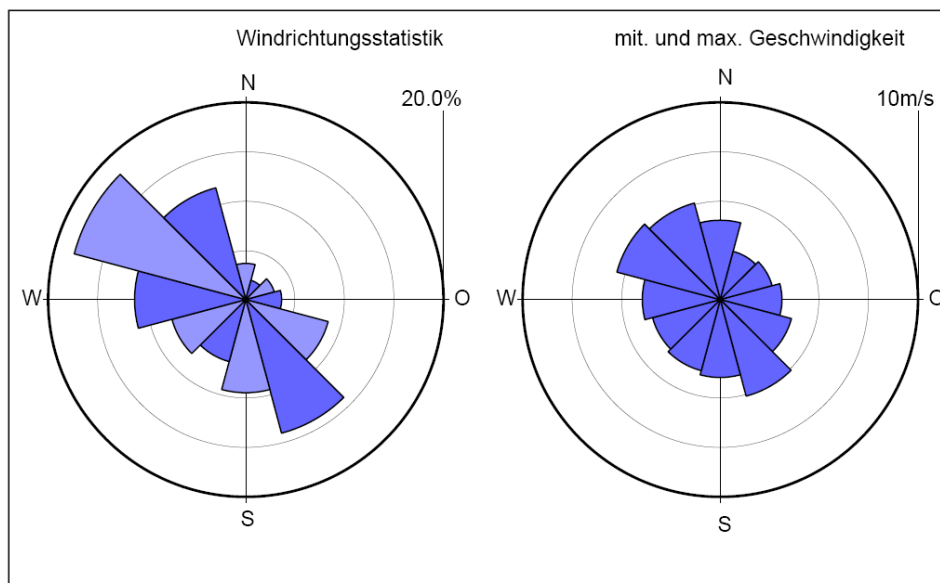
**4.14. ábra** Weibull-eloszlás a 25 m-en mért szélességadatok alapján (forrás: saját adatfeldolgozás)



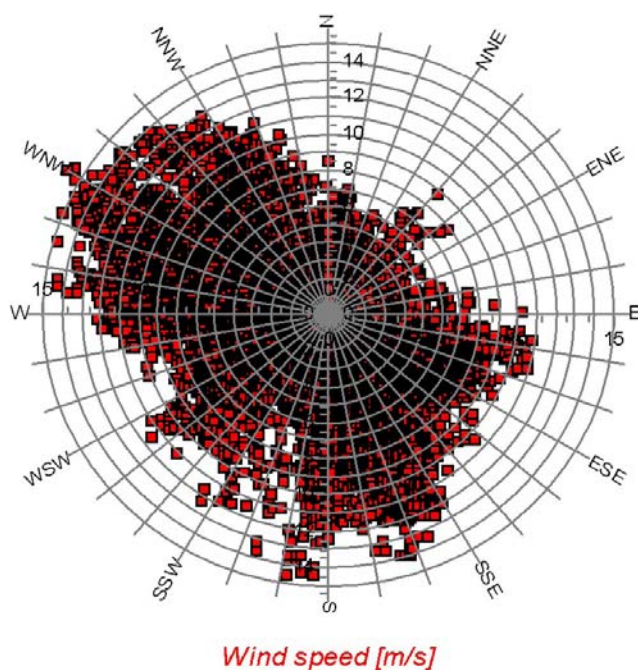
**4.15. ábra** Weibull-eloszlás 12 irányban, a 60 m-en mért szélességadatok alapján (forrás: saját adatfeldolgozás)

Mindkét mérés esetén kedvezően alakul a  $k$  paraméter, amely a Weibull-függvény, adatsorra illeszthetőségére utal (Rayleigh –  $k=2$ , állandó). Ez azt jelenti, hogy a mérési pont, szélenergetikai szempontból az elméleti összefüggések szerint leírt

helyszínek közé tartozik, ami a későbbi vizsgálatok szempontjából fontos, mivel ennek hiányában okkal lenne felvethető, hogy az alkalmazott összefüggések nem a vizsgált körülményekre vonatkoznak.



**4.16. ábra** Szélesebesség-eloszlás a szélirány függvényében, a 25m-en mért adatok felhasználásával (forrás: saját adatfeldolgozás)



**4.17. ábra** Szélesebesség-eloszlás és gyakoriság a szélirány függvényében, a 60 m-en mért adatok felhasználásával (forrás: saját adatfeldolgozás)

Az 4.16. és a 4.17. ábrán a szélsébség gyakorisági eloszlása szélirányonként látható. Mindkét esetben egyértelműen kivehető a markáns Nyugat Észak-nyugati és Dél Dél-keleti áramlási irány.

Az áramlási fő irány Észak-nyugati, amely hazánk területének nagy részére jellemző, kiváltképp Észak-Dunántúlon. A Dél-keleti irányt a Móri-árokából érkező légáramlatok okozzák. Így hasznosítva a mérés helyszínén, a hazánk területére Déli irányból érkező meteorológiai frontokat.

### Nagyigmánd

### Vestas V90-2.0 MW

Time: 02.03.05

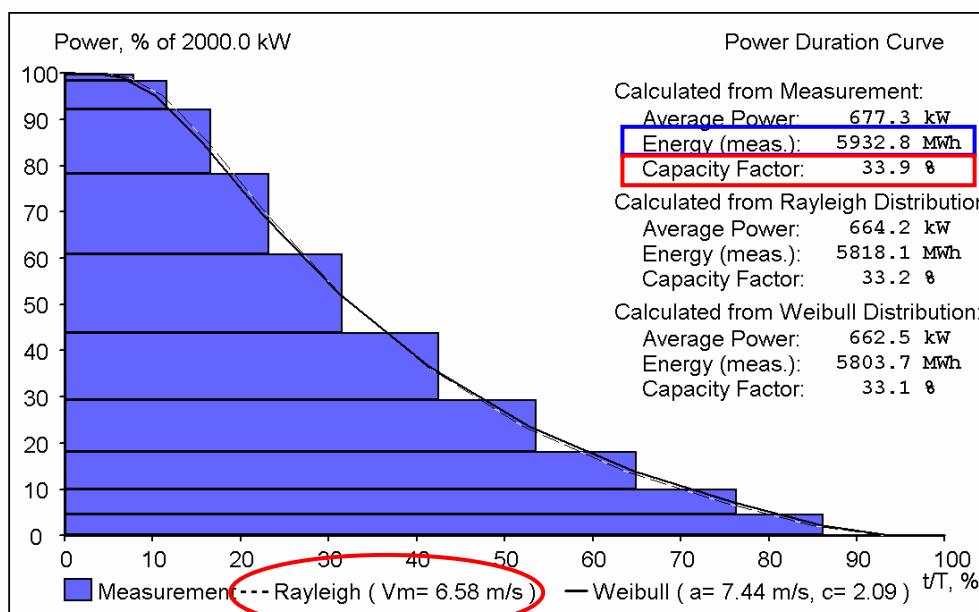
Meas. Height: 25.0 m

Hub Height: 105.0 m

Altitude: 145 m

Temperature: 11.0 °C

Conversion factor (log): 1.352 ( Z0 = 0.424 m)



**4.18. ábra** A mérési időszak alapján, éves szinten várható energiatermelés és generátor kihasználtság a 25 m-en végzett mérések alapján (forrás: saját adatfeldolgozás)

#### Calculated Annual Energy

##### WTG type

Valid Manufact. Type Power Diam. Height Creator Name

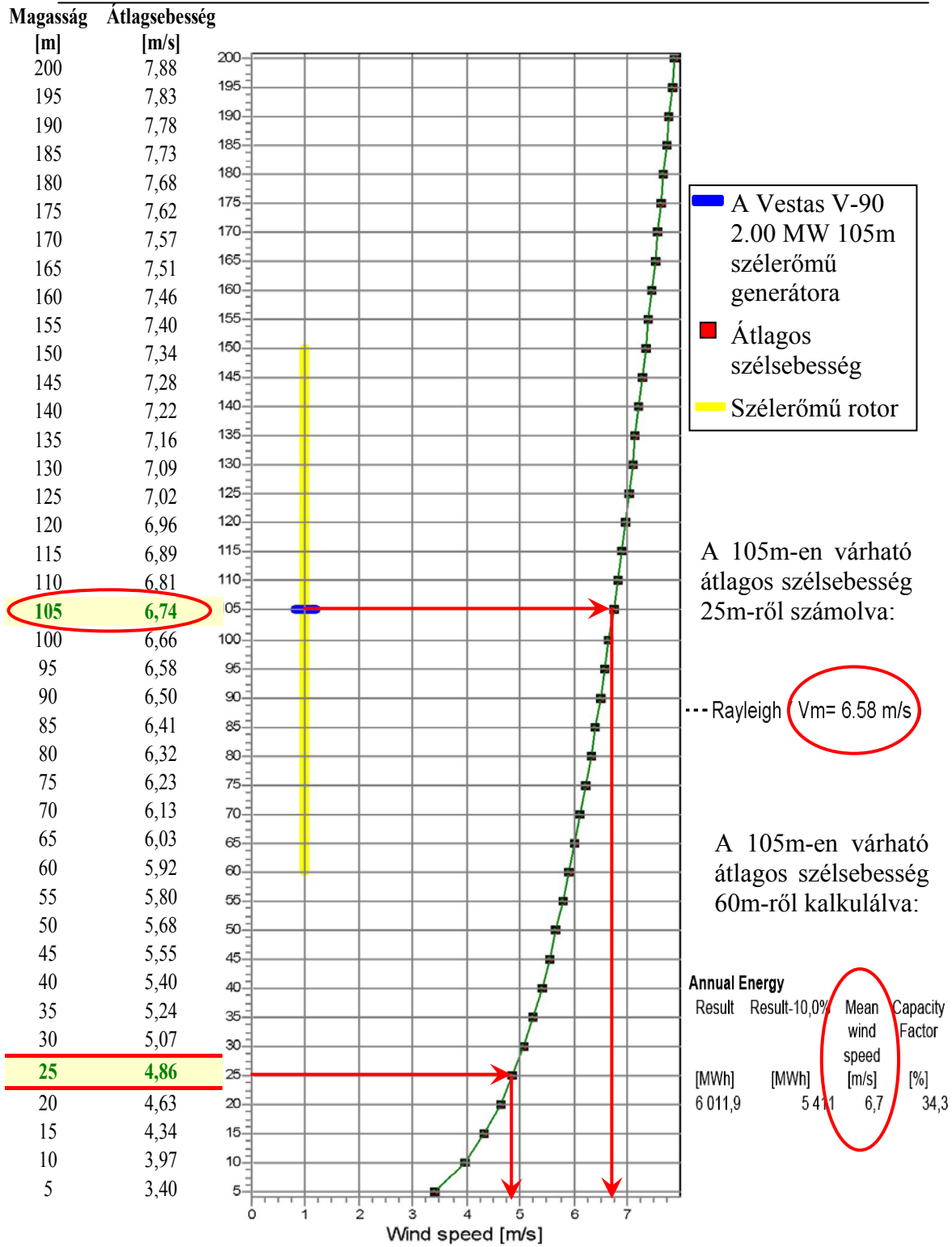
	[kW]	[m]	[m]			
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	105,0	EMD Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005

##### Annual Energy

Result	Result	10,0%	Mean wind speed	Capacity Factor
[MWh]	[MWh]		[m/s]	[%]
6 011,9	5 411,9		6,7	34,3

**4.19. ábra** A mérési időszak alapján, éves szinten várható energiatermelés és generátor kihasználtság a 60m-en végzett mérések alapján (forrás: saját adatfeldolgozás)

A két mérés végső és lényegi összehasonlítása a 4.18., 4.19. és a 4.20. ábrák segítségével lehetséges, amelyeken egy általam választott szélgenerátor üzemi magasságában várható szélsébség és a mérési adatok alapján várható éves energiatermelés látható.



4.20. ábra Függőleges szélprofil a 40-60m-en mért szélesebességadatok alapján és a 105m-es magasságban várható átlagos szélesebesség

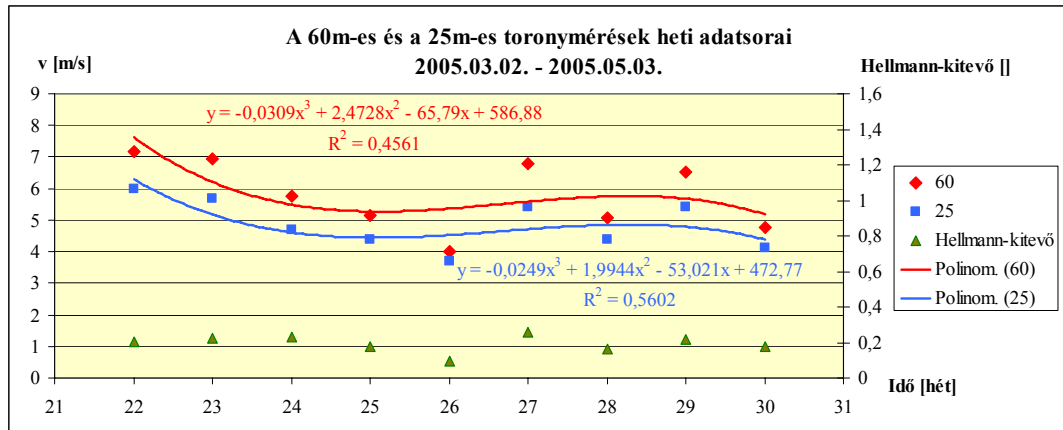
A 105 m-es forgási középpontban, a 25 m-es magasságból származó mérési adatok alapján 6,58 m/s az átlagos szélesség, a 60 m-es mérések alapján 6,7 m/s.

Az energiatermelés a 25 m-es adatsorok alapján 5933 MWh, a 60 m-es adatsorok alapján 6012 MWh.

Az eltérés, a generátorkihasználtságban, a két mérési adatsor alapján, mindössze 0,4%.

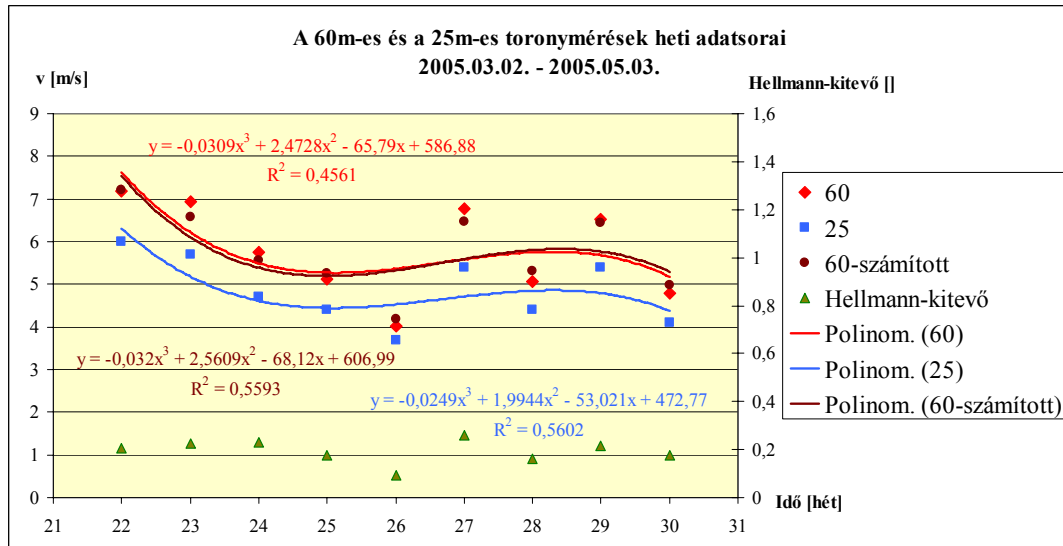
Továbbá a 25 m-en végzett mérések átlagos szélességértékével (4.14. ábra) a 40-60 m-es mérés alapján szerkesztett szélprofil is nagyon jó egyezést mutat (4.20. ábra).

A fentiekén kívül még egy összehasonlítást végeztem a vizsgált adatbázison, a heti átlagos szélességek egymáshoz mért viszonyát.



4.21. ábra A heti átlagsebesség alakulása

Az 4.22. ábra diagrammján látható, hogy a két különböző mérési magasságban és eltérő mintavételi gyakorisággal rögzített adatsorok jól követik egymást.



4.22. ábra A 60 m-es magasságra átszámított, heti átlagsebesség alakulása

A két mérési adatbázis és az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy Magyarország területén, az akadálymentes sík területeken, határozott szélprofil alakul ki. Így hazánk e vidékein kisebb magasságban végzett mérések alapján is jó pontossággal lehet kalkulálni a hosszútávon várható energiatermelést, egy darab szélerőmű tervezése esetén. Ezek alapján az is kijelenthető, hogy a mérések az energetikai célú széltérkép szerkesztéséhez is jó adatbázist szolgáltatnak.

#### 4.4.2 Eltérő mérési elv alapján működő mérőrendszerek

Ennél a mérési sorozatnál az anemométerekkel szerelt mérőrendszer mérési adatait hasonlítottam össze a SODAR nevű műszer mérési adataival.



4.23. ábra Az összeszerelt SODAR  
(forrás: OMSZ)

Az összehasonlítás célja a SODAR energetikai célú szélméréseknél történő alkalmazhatóságának megállapítása volt.

A mérési adatok Tiszakécske és Kartal térségéből származnak. Mindkét esetben ugyan azt a SODAR műszert és ugyan azt a kanalas anemométerrel szerelt Ammonit rendszert használtam.

Egy alapvető eltérés volt a két helyszín között, a Tiszakécskénél végzett mérőoszlop csak 50 méter magas volt, míg a SODAR 60 méteren mért. Ezért itt csak egyszerű összehasonlítást végeztem.

A két rendszer működésében több eltérés van. A SODAR 3 másodpercenként vesz mintát, és ezeket átlagolja 10 percenként, az Ammonit másodpercenként vesz mintát és ezt átlagolja 10 percenként.

Az alapvető eltérés az érzékelés módjában van. A SODAR (SOmic Detection And Ranging) egy olyan mérőeszköz, amely a hanghullámok kibocsátása és a műszerbe történő visszaérkezése alapján méri a szél irányát és sebességét.

A mérés során a 64 tagot számláló hangszórócsoport először függőleges irányban bocsát ki egy hanghullám-nyalábot, amely a légkörben állandóan jelen lévő mikroturbulenciákról verődik vissza. A hangszórók ezután „vételi” funkcióra kapcsolnak, és detektálják a visszaérkező, fáziseltolódást szenvedett hanghullámokat. A következő hanghullámot 25°-kal északi irányban, az utolsót

pedig 25°-kal keleti irányba dőlve bocsátja ki a berendezés. Így származtatja a szél irányát és sebességét.

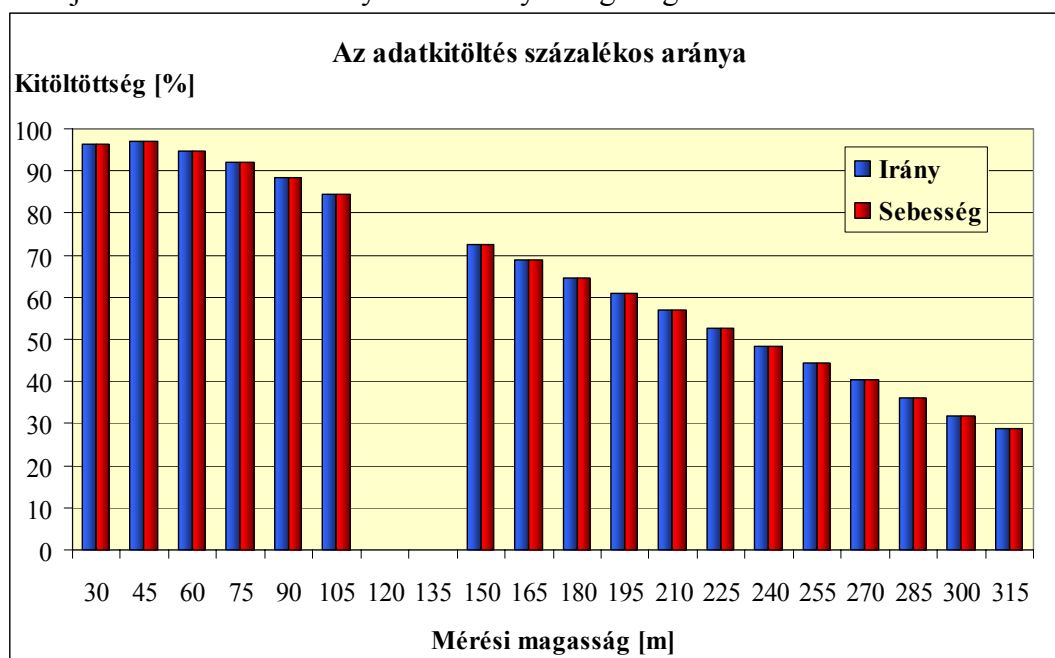
Az anemométerek optoelektronikus mérőeszközök, melyek impulzus jeleket mérnek a körülfordulások arányában, és ezt vezetik vissza a hosszúság, illetve a megtett út meghatározására. Az így kapott érték időarányosan sebességet ad. Az irány mérése szélzászló segítségével történt, mely egy fokozatmentes érzékelést lehetővé tevő potencióméter feszültség kimenettel.

Az általam felhasznált adatbázis a meteorológiai szolgálatnál működő SODAR berendezéstől származik. A vizsgálat során beállított mérési tartomány 30-315 méterig terjedt, a vertikális felbontás pedig 15 méter volt. Egy-egy kibocsátás és a detektálás között eltelt idő 3-4 másodperc volt. A beérkező adatokat pedig 10 perces időközönként átlagolva rögzítette a műszer.

#### 4.4.2.1 Tiszakécske térségében végzett energetikai célú szélmérések

Tiszakécske közelében 50 és 25 m magasságban folyt energetikai szélmérés anemométerek segítségével. A mérőoszlop és a SODAR egymáshoz viszonylag közel, hozzávetőlegesen 100 m-re lett felállítva.

A két mérőrendszert egymáshoz túl közel sem szabad állítani nehogy épp az oszlop zavarja a SODAR-t. Ez irányú tanulmány eddig még nem készült.



**4.24 ábra** A SODAR rendszerrel, Tiszakécskén rögzített adatsorok kitöltöttsége

A mérési adatok összehasonlításánál először azt vettem észre, hogy a SODAR minden nap egy darab 10 perces adatsort elveszít a rendszer frissítése idején, ez azonban a kiértékelés és az összehasonlítás szempontjából nem jelent problémát.

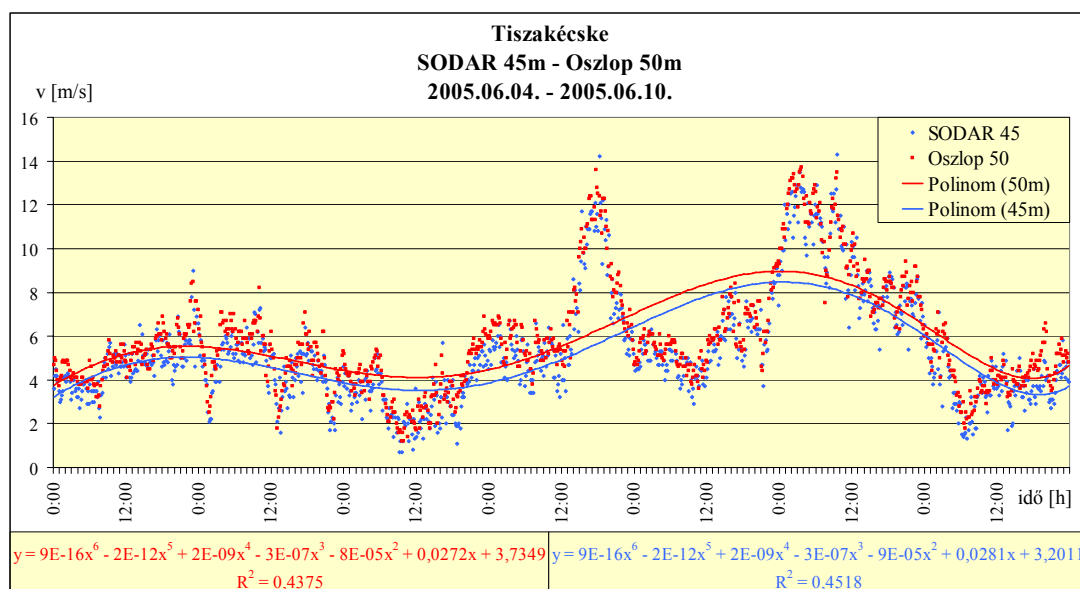
Az előzőnél sokkal fontosabb, hogy teljesen véletlenszerűen, azaz a mérési magasságtól és az adatrögzítés időpontjától függetlenül hiányosak az adatsorok.



Ez az adathiány a mérési magasság növekedésével arányosan, de nem egyértelműen leírható módon növekszik. Az adatok hiánya, a hiány mértékétől függően már jelentősen befolyásolja a kiértékelés eredményét, sőt szélsőségesen nagy adathiány esetén a kiértékelhetőséget.

A 4.24. ábra százalékosan ábrázolja, hogy a mérési időtartam alatt az elméleti 10 percnkénti adatrögzítéshez képest a valóságban mennyiszor történt meg az adatok tárolása. Látható, hogy már 90 m-en meghaladja az adathiány a 10%-ot. 120 m-en és 135 m-en az adatok nem voltak alkalmasak kiértékelésre. 165 m felet pedig az adathiány meghaladja a 30%-ot, ezért e magassági szint feletti adatokat nem szabad energetikai számítások bázisául használni. Az adathiány azt jelenti, hogy egy adott tíz perces időintervallum mérési eredmény cellája üres marad, arról az időszokról nincs információ.

Jelen adatbázisból tehát, energetikai számítások céljára, a 120 m-es és a 135 m-es magassági szinttől eltekintve, a 30 m-től 165 m magassági szintig terjedő részt szabad megvizsgálni. Ezek közül is érdemes a 45-105m közötti tartományt kiemelni, mivel itt még viszonylag alacsony szintű az adathiány mértéke. Továbbá az esetleges talaj-közeli hangok zavaró hatása a 45 méteres magasság eléréséig jelentősen csökken.



**4.25. ábra** Egy hetes, 10 perces adatbázis összehasonlítása Tiszakécskén  
SODAR rendszerrel és anemométerrel végzett mérésnél

Az összehasonlítást 2006 júniusában rögzített adatokon végeztem el. Az elemzést egy hónapnyi mérési időszak, 10 perces adatbázisával kezdtem. A nagy mennyiségű adat miatt ezt nem tudtam szemléltetni. Egy hónap, 10 percnként rögzített mérési adatai bizonyos elemzésekhez túlzottan sűrű adathalmazt eredményeznek, azonban nagyon jól szemléltetik, hogy a vizsgált rendszerek mind alacsony, mind magas szélsősebesség-tartományban jól követik egymást. Továbbá

azonos idő alatt reagálnak a hirtelen változásokra, legyen az sebességnövekedés, vagy csökkenés.

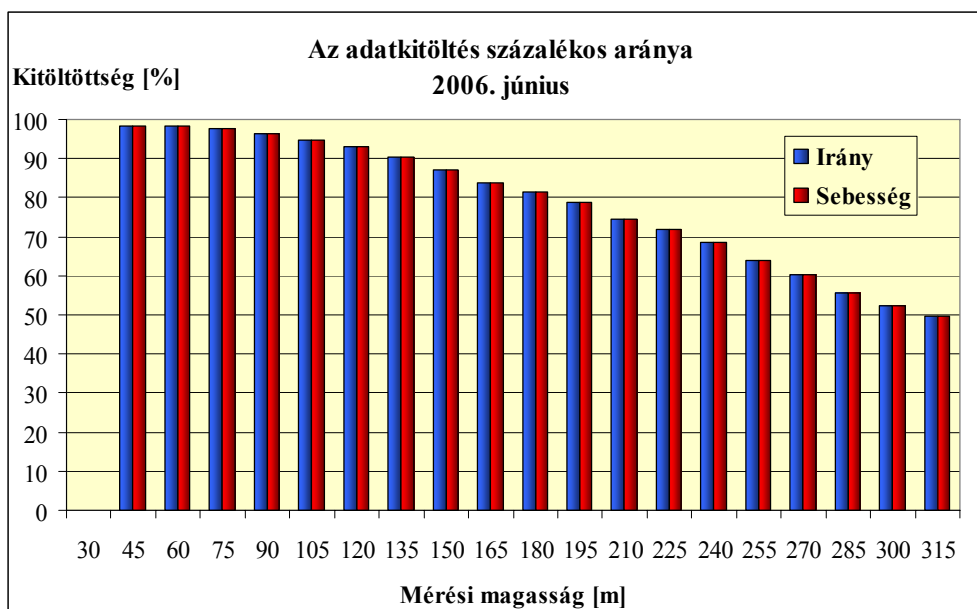
A részletesebb vizsgálat érdekében a következő lépésben az adatbázis egy rövidebb, egy hetes szakaszát vizsgáltam meg. A mérési adatokra illesztett polinom itt mutatja meg legjobban a két függvény futásának egyezőségét (4.25. ábra).

Ezt követően az egyes adatokat egyetlen napi adatsor segítségével elemeztem. Az így választott adathalmaz egyes elemei, illetve elempárainak változása egyenként is nagyon jól követhető. Itt már lehetőség nyílik az eltérő mérési módból eredő, az adatkövetésben és az adatok ingadozásában mutatkozó kis fokú bizonytalanság nyomon követésére. Az ingadozás alapvető oka, hogy a SODAR közel 5-ször vastagabb légréteget „tapogat” le, mint az anemométer kanalai. Tehát már maga a mért közeg sem azonos.

A SODAR rendszer és az anemométerrel történő mérések további elemzéséhez arra volt szükség, hogy mindkét esetben azonos magassági szint szélviszonyait vizsgáljam.

#### 4.4.2.2 Kartal térségében végzett energetikai célú szélmérések

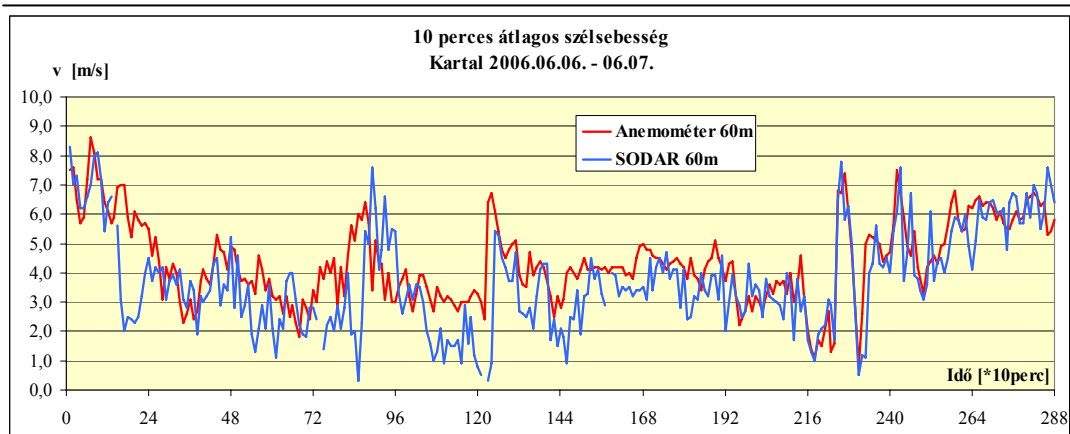
Ezen a helyszínen már mindkét rendszerrel volt egy azonos mérési pont 60 m-es magasságban és a SODAR-nál is jobb volt az adatkitöltöttség aránya.



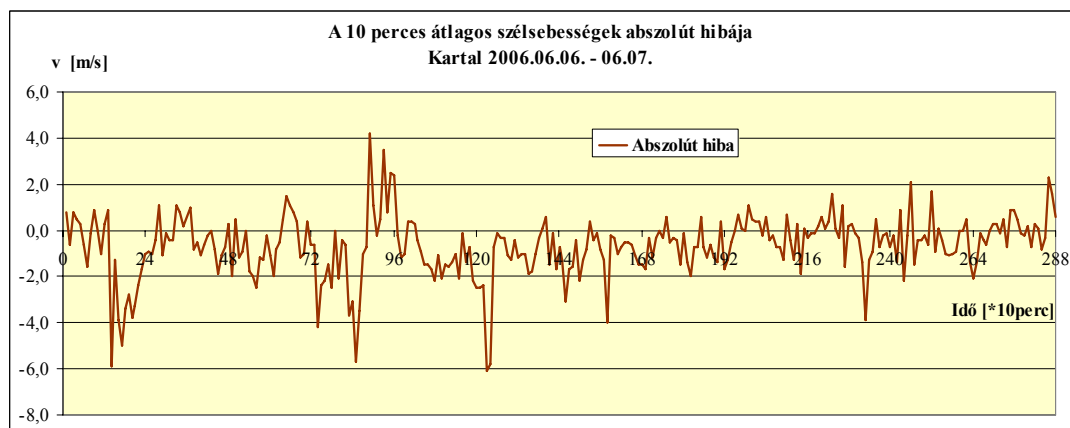
**4.26. ábra** A SODAR rendszerrel rögzített adatsorok kitöltöttsége

A SODAR rendszerrel, hasonlóan az előzőekhez, de jelentősen kisebb arányban, ismét előfordult adatvesztés. A 4.26. ábrán látható, hogy az adathiány 135 m felett meghaladja a 10%-ot éppen ezért e magasság felett, ebből a mérőrendszerből származó adatbázisra nem célszerű energetikai számítást végezni. 210 m felett, ahol az adathiány meghaladja a 25%-ot, nem szabad ezt az adatbázist használni.

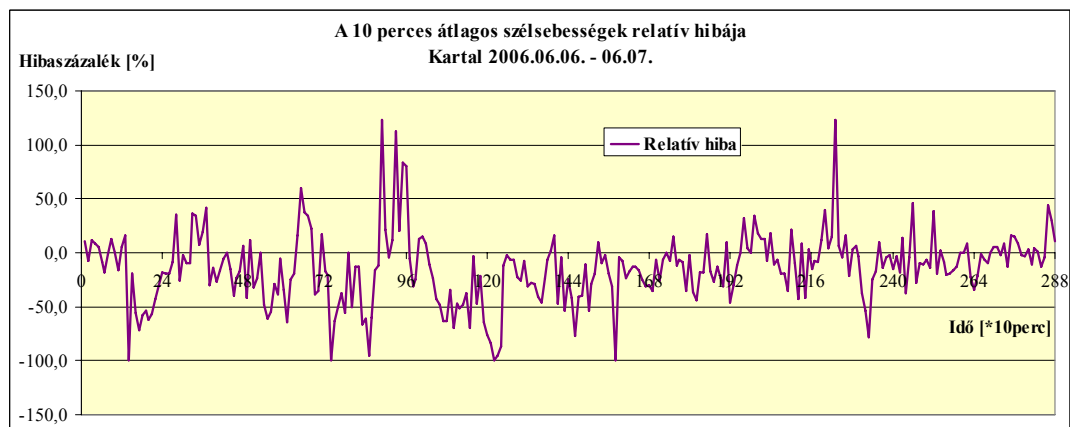
## EREDMÉNYEK



4.27. ábra Anemométerrel és SODAR-ral mért 10 perces átlagolású szélesség a mérési idő függvényében (forrás: saját adat)



4.28. ábra A 10 perces adatsorok abszolút hibája a mérési idő függvényében (forrás: saját adat)



4.29. ábra A 10 perces adatsorok relatív hibája a mérési idő függvényében (forrás: saját adat)

A 30 m-ről származó adatok nagyfokú zajterhelést szenvedtek, ezért azok nem kerültek bele a kiértékelni kívánt adatbázisba.

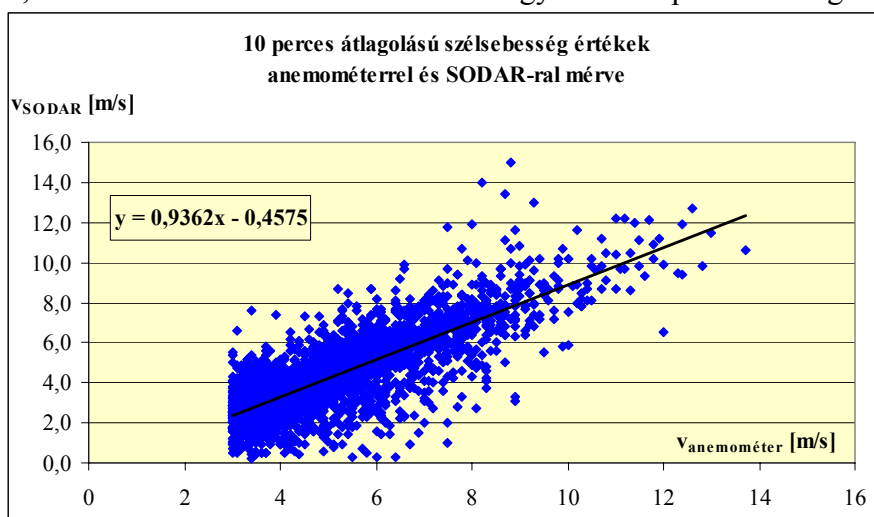
A toronymérés adottságaiból eredően (rögzített mérési magasság két ponton 40 m és 60 m) a SODAR 45 m-en és 60 m-en mért adatai segítségével végeztem el a két rendszer összehasonlítását. Valós értéknek a kalibrált anemométer adatait tekintettem. A 4.27. ábrán jelentős eltérés mutatkozik az azonos időben felvett 10 perces átlagadatoknál. Ennek oka valószínűleg a SODAR működésében rejlik, a műszer érzékenysége miatt. A hanghullámok terjedését és visszaverődését számos dolog kedvezőtlen módon befolyásolja ezért célszerű lenne például további meteorológiai jellemzők egyidejű mérése.

Az áttekinthetőség érdekében, a 10 perces adatsorokat, véletlenszerűen kiválasztott, két nap adatai alapján hasonlítottam össze (4.27.-4.28.-4.29. ábra).

#### A mérési adatok részletesebb elemzése

A láthatóan nagy eltérések miatt a mérési adatokat különböző matematikai függvények és hibaszámítási módszerek segítségével részletesebben is kielemeztem. Ezek közül itt a lineáris függvénnyel történő illesztést mutatom be.

A gyakorlatban alkalmazott szélgenerátorok átlagosan 3 m/s szélességnél indulnak, ezért a továbbiakban csak az ennél nagyobb adat-párokat vizsgáltam.



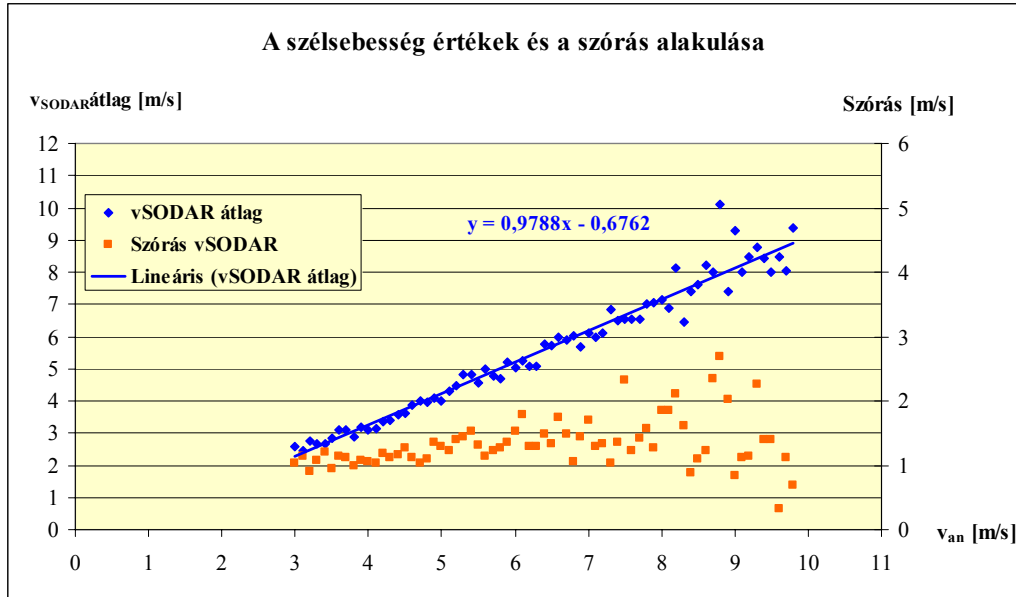
**4.30. ábra** A 3,0 m/s-ot meghaladó 10 perces átlagolású szélesség adat-párok lineáris függvényhez való illesztése (forrás: saját adat)

A 4.30. ábrán felvett lineáris egyenletről jól látszik, hogy a SODAR rendszerből származó adatok alacsonyabbak és a függvény meredekségét, valamint elhelyezkedését is módosítják. Az adat-párokat az anemométerrel mért értékek alapján növekvő sorrendbe rendezve ellenőriztem.

Az abszolút és a relatív hiba értékei igen tág határok között mozognak. A relatív hiba esetenként eléri, valamint meghaladja a 100%-os értéket. Éppen ezért tovább szűkítettem az egyidejűleg vizsgált adat-párokat.

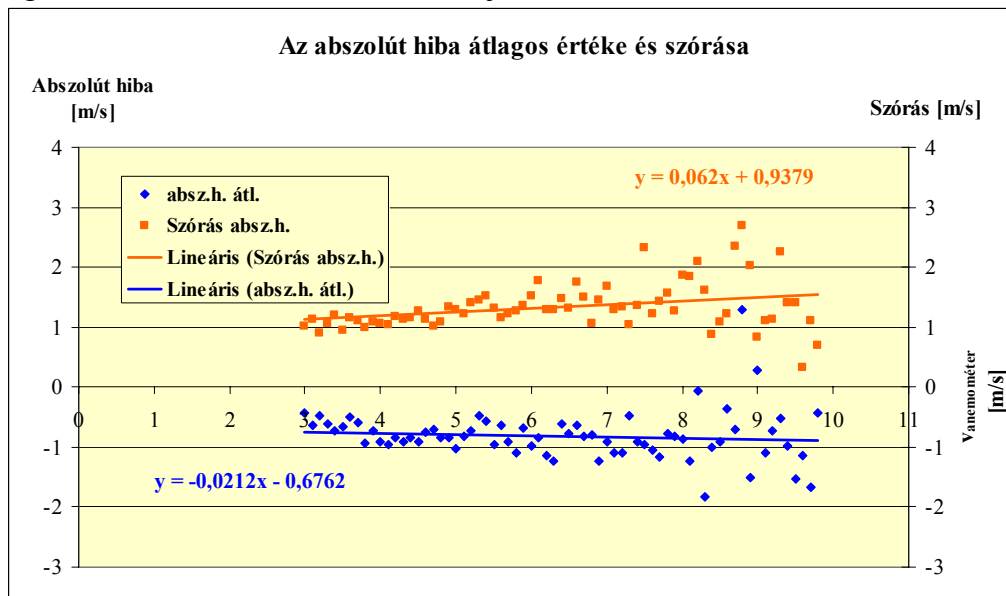
Az adat-párok elemzése során problémát jelentett, hogy az anemométer több azonos szélességértékéhez tartozó SODAR adatot kellett vizsgálni. A jelenség

egyébként természetes, hiszen nyilván valóan többször adódik azonos nagyságú szélesség a valóságban.



**4.31. ábra** A 3,0 m/s-ot meghaladó szélesség adatok és az adatok szórásának alakulása (forrás: saját adat)

A probléma matematikai jellegű, mivel ha egy adatponthoz (az adathalmaz értelmezési tartományának egy eleméhez) több érték (értékkészletből vett elem) tartozik, akkor az adat-párok összessége nem alkot függvényt. Az adatok elemzése érdekében az anemométerrel mért egy-egy értékhez tartozó SODAR értékeket átlagoltam és az adatokat a szórásukkal jellemeztem. Ez látható a 4.31. ábrán.



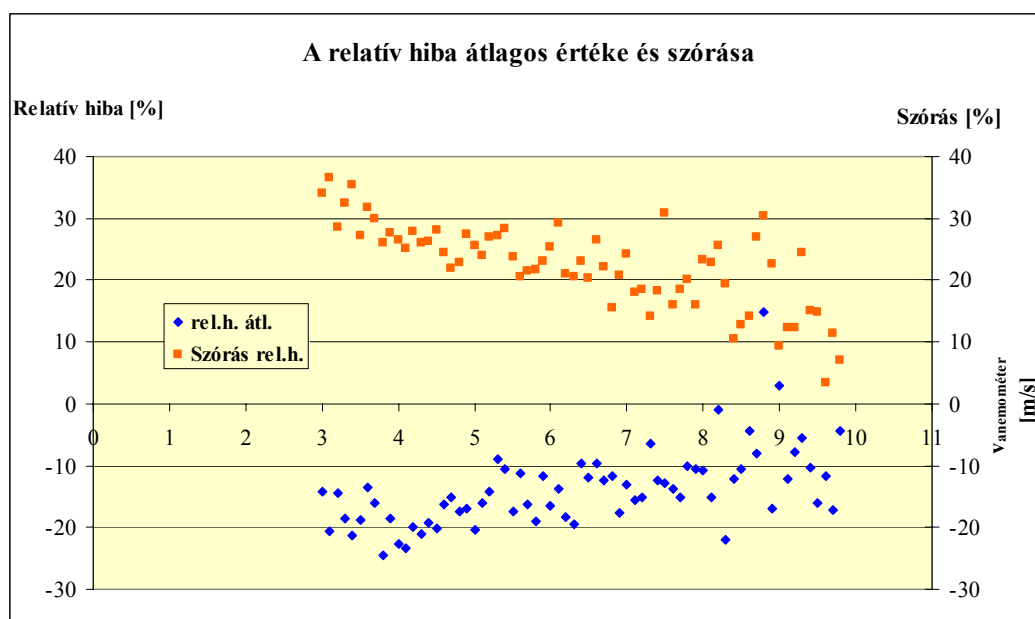
**4.32. ábra** A 3,0 m/s-ot meghaladó szélesség adatok abszolút hibája (forrás: saját adat)

Hasonló elvet követve az abszolút és a relatív hiba alakulását is bemutatom a 4.32. és a 4.33. ábra segítségével.

Az átlagolás finomította a hibahatárokat, és segítségével jól kirajzolódik, hogy a sebesség növekedésével a relatív hiba értéke csökkenő tendenciát mutat. Ez energetikai szempontból kedvező mivel a sebesség a harmadik hatványon szerepel az energiatermelés számításánál.

Az abszolút hiba értékében enyhe növekedés mutatható ki, de nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az elemzésnél felhasznált adatbázisnál jelentős mértékben lecsökken a 9 m/s-ot meghaladó sebességértékekhez tartozó adat-párok száma.

Ennek hatása egyaránt érzékelhető az abszolút és a relatív hiba értékének alakulásánál és jól szemlélteti az értékek szórásának növekedése.



**4.33. ábra** A 3,0 m/s-ot meghaladó szélesség adatok relatív hibája (forrás: saját adat)

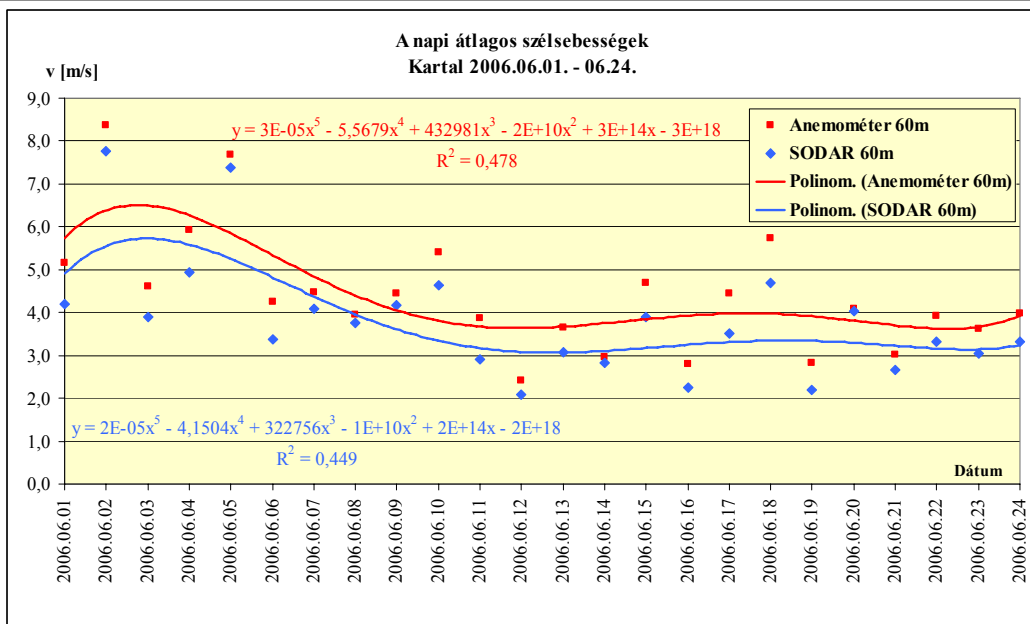
A továbbiakban 1m/s-os adattartományokat alakítottam ki az alapadat-párokból és így elemeztem a sebesség, valamint az abszolút és a relatív hiba alakulását.

E diagrammokon is látható, hogy a megfelelően nagy mennyiségű adat-párokat tartalmazó adathalmazok esetében a sebesség növekedésével arányosan csökken a relatív hiba mértéke.

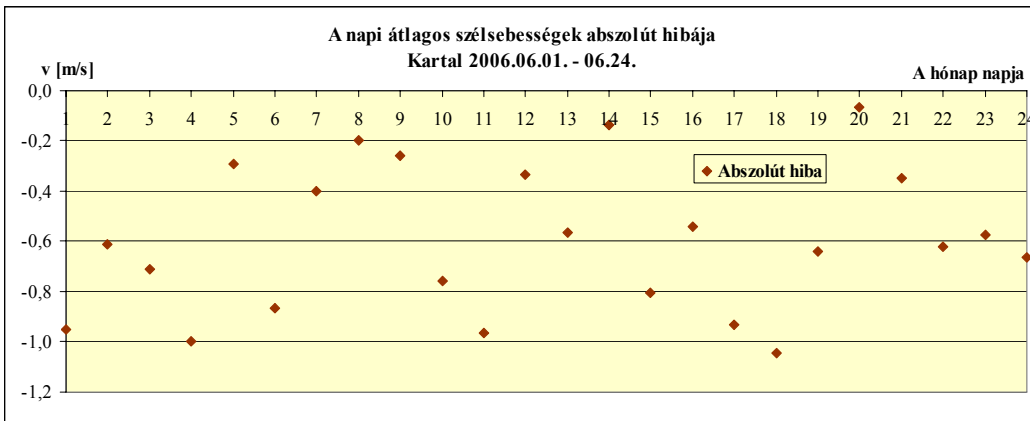
Ezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a SODAR rendszerű mérés 10 perces adatsorai nem alkalmasak szélenergetikai számításokra.

Mivel azonban a két diagramm láthatóan jól követi egymást, megpróbáltam ritkább adatsorokkal elvégezni az összehasonlítást. Ennek során először órás, majd négyórás, legvégül pedig napi átlagadatokat hasonlítottam össze különböző időintervallumokban (2 nap, 1 hét, 1 hónap).

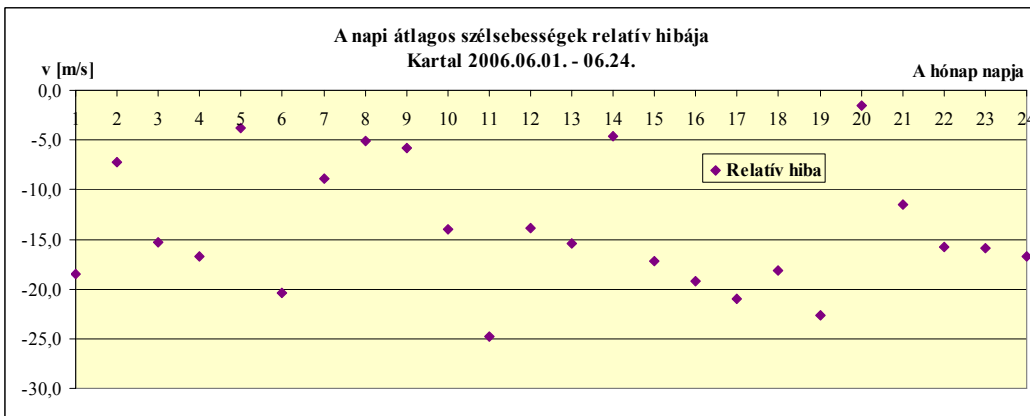
EREDMÉNYEK



4.34. ábra A napi átlagos szélesség értéke



4.35. ábra A napi átlagos szélességértékek abszolút hibája



4.36. ábra A napi átlagos szélességértékek relatív hibája

Az előrejelzés igényeit is figyelembe véve, az adatokat legjobban a napi átlagértékek segítségével tudtam összehasonlítani (4.34.-4.35.-4.36. ábrák).

Az abszolút, illetve a relatív hiba számítását követően egyértelműen kijelenthetem, hogy:

- a SODAR hosszabb idejű átlag-adatsorok tekintetében, rendre az anemométernél alacsonyabb értékeket mér, tehát negatív hibával dolgozik
- ennek mértéke, az országban több helyen elvégzett, összehasonlító mérés alapján 0,6-1,0 m/s közé esik
- rövidebb idejű adatsorok vizsgálatánál az átlagos eltérés lecsökkenhet 0,2 m/s-ra is, azonban az időintervallum csökkentésével jelentősen megnő a hiba szórása

Az eddig említett területeken kívül, a SODAR mérőrendszert még Szécsény, Paks és Szeged térségéből származó adatsorok segítségével is módomban állt értékelni.

Mindezen elemzéseket összegezve az alábbi megállapításokat teszem:

A SODAR rendszerű mérés elsősorban:

- a várható energiatermelés becslésére alkalmas
- informatív jellegű tájékoztatást ad arról, hogy egy helyszínen érdemes-e jelentős beruházással járó toronyméréseket végezni azáltal, hogy
- gyors helyszíntérképezésre képes (a valóságnak megfelelő vertikális szélprofil felvétele irányonként, 20 magassági szint adatai alapján).

További előnye:

- a viszonylag gyors telepíthetőség és
- a rendszer mobilitása.

A rendszer hátrányos tulajdonságai közé tartozik, hogy:

- nem ismert a légkört meghatározó jellemzők, rendszerre gyakorolt hatása, úgy, mint hőmérséklet-, légnomás-, páratartalom-, levegősűrűség-, stb. változása
- nem ismert továbbá a természetes környezet hatása, például hangvisszaverődés egy repülő objektumról (bár meg kell jegyezni az ez számszerűen elenyésző, mégis jelen felsorolásba beletartozik)
- a mérés módjából eredően jelentős a zajhatás érzékenysége (ezért legalább 40-45 m-es szintnél célszerű beállítani a legalsó mérési magasságot)
- bizonytalan a kalibrálás módja, illetve például épp a kanalas szélességmérők mérési adatbázisán alapul, és ebből eredően
- fizikailag nehezen ellenőrizhető (mérési magasságonként egy-egy referencia anemométerrel kellene összehasonlítani)

További hátránya, hogy:

- folyamatos hálózati energiaellátást igényel és
- jelentős a sérülés-veszélyeztetettsége (kizárólag körülkerített és őrzött területre telepíthető)
- e két jellemzőből eredően pedig korlátozott a területi telepíthetősége

A két rendszer összehasonlítása során szélprofil vizsgálatot nem végeztem, mert kettő magassági szint adatait nem tartottam összevethetőnek húsz mérési magasság adataival.



---

## 4.5 Azonos módszerrel felvett mérési adatok elemzése

### 4.5.1 Különböző helyszínek egyidejű vizsgálata

Az itt bemutatásra kerülő elemzéseket azonos mérőrendszerrel (Thies anemométerekkel és széliránymérővel, WICOM-32 adatrögzítővel) végeztem el. Az azonos időben mintavételezett adatsorokat, az ország három eltérő pontján, Tatabánya, Mélykút és Hajdúnánás települések közelében rögzítettem 60 és 40 méteres magasságban. A mérési pontok elhelyezkedése a 9. mellékletben került ábrázolásra.

Az összehasonlítás a szélerőművek villamos-energia termelésének előre jelezhetőségére irányul. Itt nem csupán azt kell figyelembe venni, hogy a meteorológiai frontok követhetőek-e, hiszen erre az Országos Meteorológiai Szolgálat állomáshálózata is képes. A szélerőművi energiatermelés előrejelzésénél két fontos információt kell közölni. Az első, hogy mekkora szélesebesség várható egy adott területen létesített szélerőmű üzemi magasságában. Ez lehet egy érték a forgási középpontra vonatkoztatva, de lehet egy szélprofil is (adat-párok halmaza), amennyiben ismertek a terület sűrűlási viszonyaira jellemző értékek.

A másik fontos információ, a várható energiatermelés meghatározása, mely különösen a szélerőmű parkok hálózatterhelése szempontjából lényeges.

A 4.37. ábrán 2006. szeptember 1.-én, Tatabánya valamint Mélykút települések területén mért adatsorokat elemeztem. Ennek során a 60 m-es magasságban uralkodó szélviszonyokat a sebesség és az irány adatok felhasználásával hasonlítottam össze.

Első lépésben a sebesség értékeket vizsgáltam. A felrajzolt diagramm szemléletesen ábrázolja a 10 perces átlagértékek változását a nap folyamán. A két görbe jól követi egymást, nagyobb eltérés csupán a hajnali-délelőtti órákban (2.00-10.00 óra között) mutatkozik, illetve kisebb eltérés tapasztalható az éjszakai órákban (21.00-24.00).

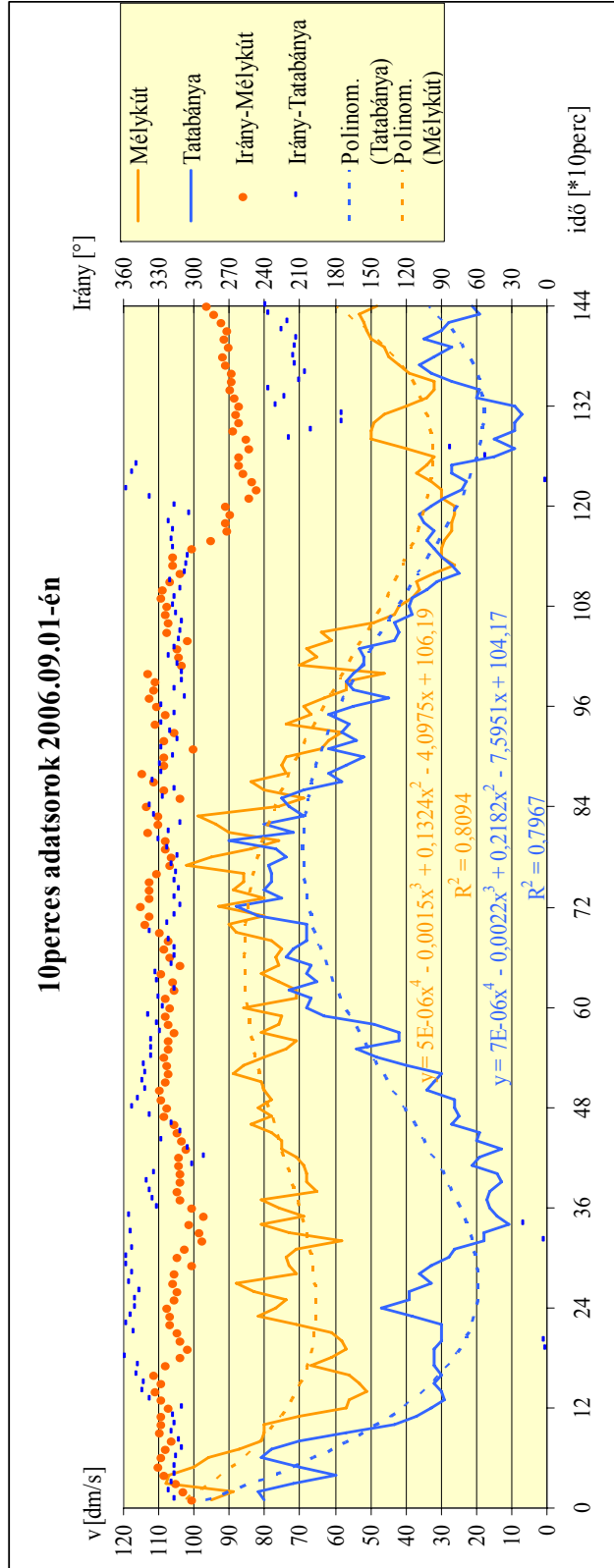
A diagrammokra illesztett polinom segítségével jól ábrázolható, hogy a légvonalban nagyjából 150 km-re lévő mérési pontokon, azonos módon jelentkezik a hazánkban éppen uralkodó meteorológiai front hatása.

A mérőpontok egymástól dél dél-keletre helyezkednek el.

Annak érdekében, hogy a két helyszínt további vizsgálatok alá vonhassam, a sebességadatokat mellet, az irányadatokat is ábrázoltam ugyanazon diagrammon belül. Erre elsősorban azért van szükség, hogy megállapítható legyen az egyes mérési pontokon uralkodó frontrendszer haladási iránya.

Miután ábrázoltam az irányokat is, láthatóvá vált, hogy abban az időszakban (például 10.00 és 21.00 óra között), amikor azonos szélesebesség volt mérhető a két helyszínen, a szélirány is azonos volt. Ugyanakkor például 02.00 és 10.00 óra között, valamint éjszaka, a szélesebesség változásához kisebb, illetve nagyobb mértékű irányváltozás párosult. Ez konkrétan azt jelenti, hogy ezen a napon, a két mérési ponton egy olyan front éreztette hatását, melynek iránya jó megközelítéssel Észak-nyugati volt (4.10. táblázat) és mind a két helyszínt azonos mértékben érintette, tehát az átmérője legalább 150km volt.

---

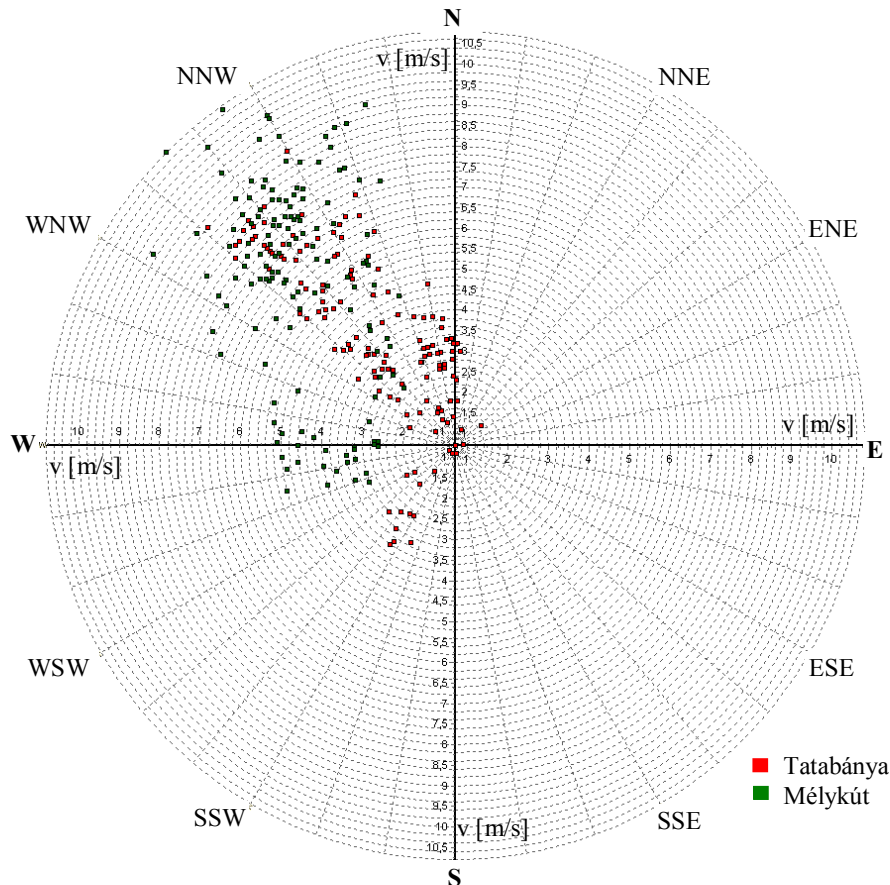


**4.37. ábra** 10 perces átlagos szélsősebesség és szélirány értékek Tatabánya és Mélykút térségében 2006. szeptember. 01.-én (forrás: saját adat)

A hajnali-délelőtti órák sebességcsökkenése Tatabánya térségében abból ered, hogy az uralkodó szélirány ezen a helyszínen Észak-nyugatról Északira változott, feltehetően azért, mert itt helyezkedett el a front Északi széle. Ugyanezen időszakban Mélykúton mért adatok arra utalnak, hogy a helyszín az átvonuló front mélyén helyezkedett el, mivel itt az állandó szélirány mellett a sebesség növekedése volt tapasztalható.

Az éjszakai órákban, ugyancsak Tatabánya területén, a szélirány először északira, majd hirtelen irányváltással Dél-nyugatra változott. Ez a front elvonulását jelzi. Ezt támasztja alá az is, hogy azonos időpontban Mélykúton a szélirány Nyugatra változott, ugyanakkor mindkét helyszínen ekkorra már folyamatos sebességcsökkenés volt tapasztalható.

Most ez utóbbi mérési pont került az átvonuló front szélére.



**4.38. ábra** 10 perces szélesség átlagok Tatabánya és Mélykút térségében

A 4.38. ábra kör-diagrammban mutatja be a szélesség és a szélirány alakulását a két helyszínen 2006. 09. 01-én. A vízszintes és függőleges tengelyeken, a kör középpontjától kifelé növekedve a sebesség került felvételezésre, a kör kerülete mentén pedig a négy fő égtáj, valamint nyolc mellékirány. Az adatok ilyen formában történő ábrázolása szemléletes képet ad egy adott helyszínen uralkodó szélviszonyokról.

Jól látszik például, hogy az adott napon az uralkodó szélirány Észak-nyugati volt,

mivel ebben az irányban (a diagramm e területén) csoportosulnak az adatpontok. Egyszerre látszik az is, hogy 4 – 6m/s közötti tartományba esik az átlagos szélsébség, mivel itt található a legtöbb adatpont.

A számszerű szélirányeloszlást a 4.12. táblázatban tüntettem fel.

A két mérőpont egymáshoz igen közeleső hosszúsági körön helyezkedik el, ezért szükségesnek találtam egy harmadik mérési pont bevonását a vizsgálatba.

A következő helyszín Hajdúnánás térségében található, Tatabányával közel azonos szélességi körön (9. melléklet).

Mind a Tatabányán, mind pedig a Mélykúton rögzített eredményeket összehasonlítottam a hajdúnánási adatsorral. A mérőpontok egymáshoz képest viszonylag nagy távolsága miatt, a könnyebb időbeli áttekinthetőség érdekében, 1 hetes időtartamot választottam a vizsgálat alapjául.

4.12. táblázat: A szél irányának százalékos eloszlása Tatabánya és Mélykút térségében, 2006. szeptember 1-én (10 perces átlagértékek alapján)

<b>Irány (HU)</b>	<b>Irány (EN,DE)</b>	<b>Fok -tól</b>	<b>Fok -ig</b>	<b>Tatabánya</b>	<b>Mélykút</b>
		[°]	[°]	[%]	[%]
É	N	345	15	17	0
ÉÉK	NNO	15	45	1	0
KÉK	ONO	45	75	1	0
K	O	75	105	1	0
KDK	OSO	105	135	0	0
DDK	SSO	135	165	0	0
D	S	165	195	1	0
DDNy	SSW	195	225	7	0
NyDNy	WSW	225	255	3	4
Ny	W	255	285	0	16
NyÉNy	WNW	285	315	19	24
ÉÉNy	NNW	315	345	50	56

Tatabánya – Hajdúnánás viszonylatában, ebben az időtartományban közvetlen kapcsolat nem fedezhető fel. Ennek magyarázata, hogy ezen időszakban hazánk területén előforduló időjárási frontok főként Észak-nyugat felől érkeztek. Ezek csak közvetett hatást gyakoroltak a hajdúnánási térségre, ami azt jelenti, hogy a Tatabányánál még Észak-nyugat felől érkező front irányt változtatott és Hajdúnánásnál Nyugati időjárási frontként jelentkezett. Ez látható például szeptember 1-én és szeptember 2-án, amikor is a déli napszakban még Tatabányán átvonuló front hatása, a szélsébségtől függően 7-12 órás eltolódással jelentkezett Hajdúnánáson.

A frontok Északra tolódásával ez az időeltolódás csökken.

Tehát a hazánk területére Észak-nyugat felől érkező frontok átlagosan 45° irányeltolódással éreztetik hatásukat az Észak-keleti országrészben.

Megfigyelhető továbbá, hogy Dél, Dél-nyugat irányú időjárési frontok esetén az időbeli eltolódás eléri a minimumot.

Hajdúnánás – Mélykút kapcsolatában, a települések elhelyezkedéséből adódóan, elsősorban a Dél Dél-nyugat, másodsorban az Észak Észak-nyugat irányú időjárési frontokat érdemes elemezni.

Ebben az összehasonlításban nagyon jól megfigyelhető az a jelenség, amelyről Tatabánya – Hajdúnánás viszonylatában írtam. A déli órákban nyugatira változó front hatása (2006. szeptember 01.). Mélykúton már csökken a szélsébség, miközben Hajdúnánáson növekszik.

A vizsgált időszak nagyobb részében nem vonultak át az országon olyan időjárési frontok, amelyek mindkét helyszínen egyszerre fejtették volna ki közvetlenül hatásukat.

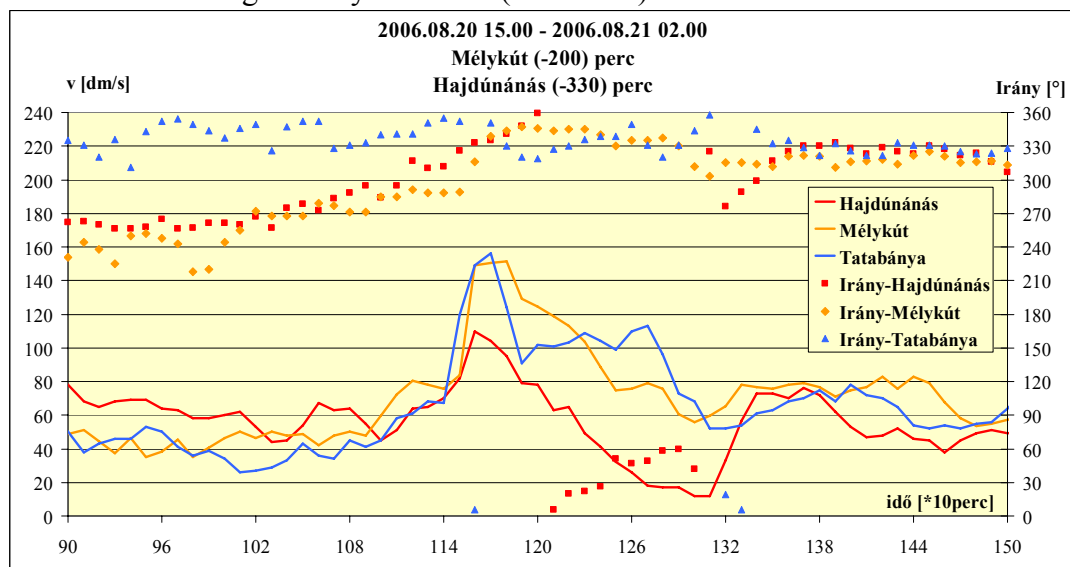
Egymáshoz közel eső sebesség és irány adatok legközelebb a vizsgált időszak végén jelentkeztek. Ekkor viszont, a Déli meteorológiai front hatása mindkét helyszínen tapasztalható volt.

#### 4.5.2. 2006. 08. 20.

A fenti vizsgálatok eredményeinek egy szemléletes példája a hazánk területén 2006. augusztus 20-21-én átvonuló, orkán erejű időjárési front. (10. melléklet)

Az adatok összehasonlításánál bázisidőnek Tatabányát vettem alapul (mivel ezt a települést érte el a legkorábban a front) és ehhez képest módosítottam a másik két mérési pont idő adatait. A vizsgált időszakra és helyszínekre vonatkozóan:

Mélykútnál 200 perccel korábban, Hajdúnánásnál pedig 330 perccel korábban datáltam a sebesség és irány értékeket (4.39. ábra).



**4.39. ábra** Tatabánya – Mélykút – Hajdúnánás térségében 2006. augusztus 20 – 21-én uralkodó 10 perces szélsébség és szélirány adatok összehasonlítása az értékek időbeli eltolásával

---

A mérési adatok alapján a meteorológiai front fő iránya Észak Észak-nyugat volt. Megérkezése előtt mind a három területen 4 – 6 m/s erősségű szél uralkodott. Amint a front elérte az egyes településeket a szélirány markánsan Észak-nyugatra változott (10 percen belül) és a sebesség 11 – 15 m/s-ra erősödött.

A front hatása Tatabánya és Mélykút térségében tovább volt érezhető, Hajdúnánáson kisebb intenzitással rövidebb ideig tartott.

Ezzel kapcsolatban összehasonlítottam azonos időben, tehát az augusztus 20 – 21 időszakban a maximális szélsébség értékeket. Itt érzékelhető igazán a front ereje és nagysága. Egyetlen adatrögzítési egység, azaz 10 perc alatt 8 m/s-ról 19 m/s-ra nőtt a szélsébség maximuma, majd pedig fél órán belül elérte a 22 m/s-ot (79 km/h), ezután hirtelen ismét visszaesett 13 m/s körüli értékre, amit kilencven percen át tartott. (10. melléklet)

A mérési eredmények ilyen részletes felvétele és az adatok elemzése a szél, és ezáltal a szélerőművi villamosenergia-termelés előrejelzése szempontjából rendkívüli jelentőséggel bír. Egyetlen mérőpont az ország egész területe szempontjából jelentéktelen. Ez látható a fenti példák adatsoraiból. Viszont a megfelelő bázispontokban elhelyezett és energetikai szélmérésre kialakított mérőrendszer, az ország területén belül képes a Villamos Rendszerirányító felé informatív értékű adatok szolgáltatására. Ennek segítségével nagymértékben csökkenthető lenne a magyar villamosenergia-rendszer, szélerőművek üzemeltetéséből eredő terhelésingadozása. A bázispontokat a nagyobb villamos teljesítménnyel rendelkező szélerőműparkok közelében célszerű elhelyezni, a domborzat tagoltságához mérten sűrűbben, illetve ritkábban.

Annak érdekében, hogy ne csak az országon belül valósuljon meg az előrejelzés, szükséges a szomszédos országokkal is felvenni a kapcsolatot. Elsősorban Ausztriával, mivel innen érkezik a legtöbb időjárási front és jelenleg, villamos teljesítmény és darabszám tekintetében is az ország Észak-nyugati területére tervezik a legtöbb szélerőművet.

A vizsgált időszakok tekintetében a következő megállapításokra jutottam:

- Az 1 hónap időtartamú adatsorok elsősorban az ország területén átvonuló időjárási frontok megfigyelésében játszanak jelentős szerepet.
- Az egy hetes adatsorok a helyi regionális frontok elemzésére alkalmasak
- Energetikai előrejelzésre leginkább az egy, esetleg két nap időintervallumhoz tartozó mérési adatok alkalmasak, mivel a szél sebességétől függően, de átlagosan is 4-6 órás előrejelzésre adnak lehetőséget. Az adatokat célszerű másodpercenkénti mintákkal vételezni és percenként kiértékelni. A 4-6 órás előrejelzés elegendő a Villamos Rendszerirányító számára, hogy felkészüljön az egyes mérlegkörökön jelentkező szélerőművi villamosenergia-termelés változására.
- Az óras adatok elemzése szintén a Villamos Rendszerirányító felé adhat hasznos információkat, mivel az elvonuló frontok után következő termelés csökkenésre fel tudja készíteni az adott mérlegkör többi erőművét.

### 4.5.3. Energetikai elemzés Tatabánya, Mélykút és Hajdúnánás térségében

#### Weibull data 60 m above ground level

Sector	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter	Frequency [%]	Wind gradient exponent
0 N	4,08	3,76	1,311	6,9	0,079
1 NNE	2,33	2,06	2,133	1,3	0,150
2 ENE	3,70	3,28	2,231	1,5	0,388
3 E	4,54	4,02	2,243	3,1	0,136
4 ESE	7,52	6,75	3,328	32,4	0,304
5 SSE	6,33	5,62	2,638	15,0	0,156
6 S	4,13	3,66	2,071	4,9	0,245
7 SSW	3,22	2,85	2,010	4,9	0,027
8 WSW	2,87	2,59	1,545	4,1	0,041
9 W	2,84	2,70	1,157	4,3	0,170
10 WNW	4,94	4,54	1,330	5,2	0,241
11 NNW	6,81	6,06	1,785	16,3	0,185
All	5,92	5,26	1,855	100,0	

#### Tatabánya

#### Weibull data 60 m above ground level

Sector	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter	Frequency [%]	Wind gradient exponent
0 N	4,86	4,33	1,716	4,3	0,259
1 NNE	5,89	5,29	3,355	7,4	0,320
2 ENE	5,90	5,37	4,265	8,5	0,333
3 E	5,98	5,39	3,621	11,6	0,327
4 ESE	7,37	6,63	3,494	19,0	0,311
5 SSE	7,64	6,78	2,564	11,0	0,322
6 S	3,69	3,27	2,089	2,5	0,289
7 SSW	4,39	3,89	2,161	3,7	0,288
8 WSW	4,38	3,91	2,872	4,1	0,295
9 W	4,51	4,01	2,648	5,0	0,296
10 WNW	5,46	4,86	2,700	7,8	0,304
11 NNW	6,99	6,20	2,316	15,1	0,313
All	6,28	5,57	2,496	100,0	

#### Mélykút

#### Weibull data 60 m above ground level

Sector	A- parameter [m/s]	Wind speed [m/s]	k- parameter	Frequency [%]	Wind gradient exponent
0 N	4,13	3,66	1,978	4,0	0,326
1 NNE	7,23	6,57	4,150	14,1	0,371
2 ENE	5,69	5,10	3,158	20,0	0,296
3 E	5,56	4,95	2,805	17,5	0,260
4 ESE	5,77	5,11	2,060	11,6	0,193
5 SSE	4,89	4,34	2,610	6,0	0,290
6 S	5,12	4,54	2,417	4,5	0,449
7 SSW	4,60	4,08	2,314	4,4	0,329
8 WSW	6,30	5,59	2,508	6,2	0,296
9 W	6,20	5,53	1,735	4,8	0,259
10 WNW	6,20	5,51	1,846	3,6	0,300
11 NNW	4,27	3,79	1,792	3,3	0,195
All	5,79	5,13	2,417	100,0	

#### Hajdúnánás

**4.40. ábra** A 60m magasságban felvett mérési adatok  
Weibull-eloszlás szerint történt elemzése  
(forrás: saját adatfeldolgozás)

A mért adatokat (két magasságban a sebesség átlagos, maximális és minimális értéke, valamint ezek szórása és ezen értékekhez tartozó szélirány), az osztályba sorolást követően, a korábban már leírt Weibull-eloszlás segítségével elemeztem (4.40. ábra). Ennek során az átlagos szélesség értékét (a szórás –  $\sigma_s$  –

figyelembevételével) szélirányok szerint felbontottam (12 irányban) és kiszámoltam a Hellmann-tényező értékét.

Ennek segítségével tudom meghatározni a 105 m-es magasságban várható szélviszonyokat. A Hellmann-tényező értékéből következtetni lehet a terület domborzati viszonyainak, az energiatermelésre gyakorolt hatására. Azaz a domborzat, és a tereptárgyak által keltett turbulencia mértékére.

A domborzat és a domborzati elemek jelentősen befolyásolják egy szélerőmű energiatermelését, ezért hatásukat már a mérési adatok feldolgozásának első fázisában figyelembe kell venni. Ennek elmulasztása hibát okoz a későbbi számításokban.

Magyarországon a Hellmann-tényező értéke  $\alpha \approx 0,25$  körüli. Sík területeken ennél alacsonyabb, a domborzat tagoltságának mértékében pedig ennél nagyobb is lehet. Jelen példában szereplő területeken, az átlagos  $\alpha$ -tényező az irányonként megállapított értéktől szinte kivétel nélkül eltér ( $\alpha_{\text{Tatabánya}} = 0,177$ ;  $\alpha_{\text{Mélykút}} = 0,305$ ;  $\alpha_{\text{Hajdúnánás}} = 0,297$ ). Tatabánya esetén ebből, nagyon tévesen, arra következtethetnék, hogy egy turbulens áramlásokban szegény, szinte sík vidéki területet vizsgálunk, miközben ez (-85%) és (+119%) közötti relatív hibát okozna.

Az energiatermelésre gyakorolt hatását, az adott szélirány gyakorisága is jelentősen befolyásolja. Ehhez járul hozzá ugyanezen irány átlagos, maximális és minimális sebessége. Mindezek együttesen határozzák meg a mért magasság szélviszonyait. Mivel a szélerőmű-lapátok teljes üzemi tartományát (az alsó holtponttól a felső holtpontig) nem tudjuk pontról pontra végigmérni (mivel jelentős beruházási költséget igényelne), ezért szükséges a kezdetektől a pontos adatfeldolgozás.

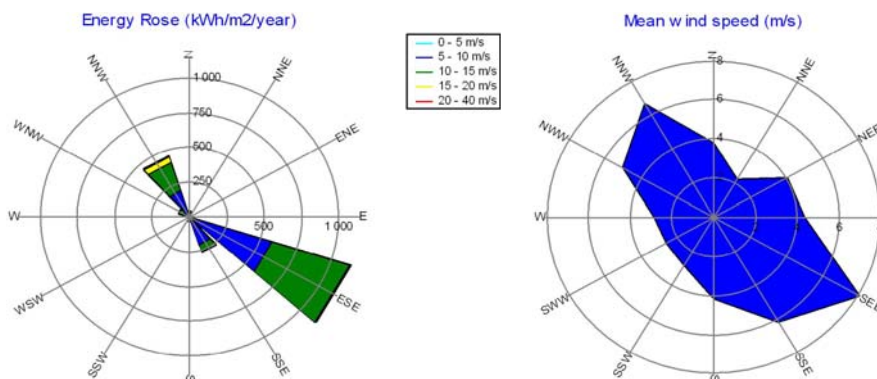
Mindhárom helyszín esetében láthatunk jelentősen turbulens szélirányokat. Tatabányán például, Kelet Észak-kelet (ENE)  $\alpha=0,388$ , nem jellemző szélirány (1,5%). Az alfa értékét a mérési pont közelében fekvő Gerecse-hegység befolyásolja. Ezzel szemben kelet dél-kelet (ESE)  $\alpha=0,304$ , jellemző szélirány (32,4%). Az alfa értékét a mérési időszakban, a területen átvonuló nagy erejű frontok okozzák, melyet erősít az érkezési irány enyhe tagoltsága és a makrodomborzat által alkotott természetes szélcsatorna.

A 105 m-es magasság (a szélerőmű-rotor forgástengelyének magassága) kalkulált szélviszonyai láthatók a 4.41. ábrán. A három helyszín egy dologban mindenképpen megegyezik. Vannak úgynevezett uralkodó szélirányok, mégpedig általában kettő. Ez azt jelenti, hogy a leggyakoribb szélirányhoz tartozik a legnagyobb átlagos szélesebesség. Ennek energetikai szempontból kettős jelentősége van. Részben, a fő szélirány erős szelekkel párosulva, növeli egy terület fajlagos „energiagazdagságát”. Ezt  $W/m^2$  dimenzióban fejezzük ki és megkülönböztetünk vízszintes és függőleges síkra vetített fajlagos energiatartalmat. A vízszintes a domborzat adottságaival, a függőleges az áramlási jellemzőkkel van nagyobb mértékű kapcsolatban.

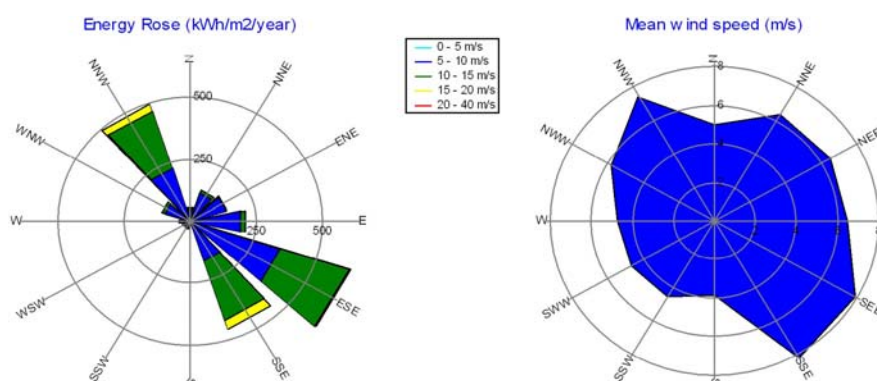
Az uralkodó szélirány másik jelentősége a szélerőmű műszaki üzemeltetésére gyakorol kedvező, vagy hátrányos hatást (hátrányos, ha a szélirány nem egyértelmű). Azokon a területeken, ahol egy, vagy két irányból érkezik az év jelentős részéből a szél, ott a szélerőműnek főleg csak ezen irányokba kell beállnia,



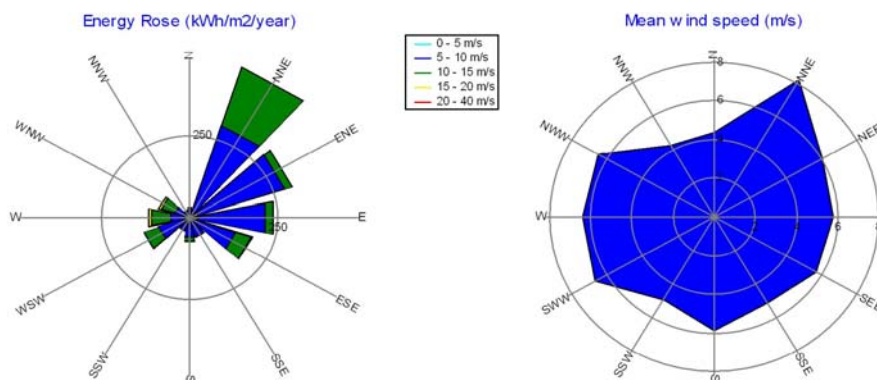
csökkentve ezzel a mozgatás energiaigényét. Gondoljunk bele, hogy több tíz tonna a komplett generátorház (gondola) és a forgó rész (rotor) tömege, amit mozgatni kell.



Tatabánya

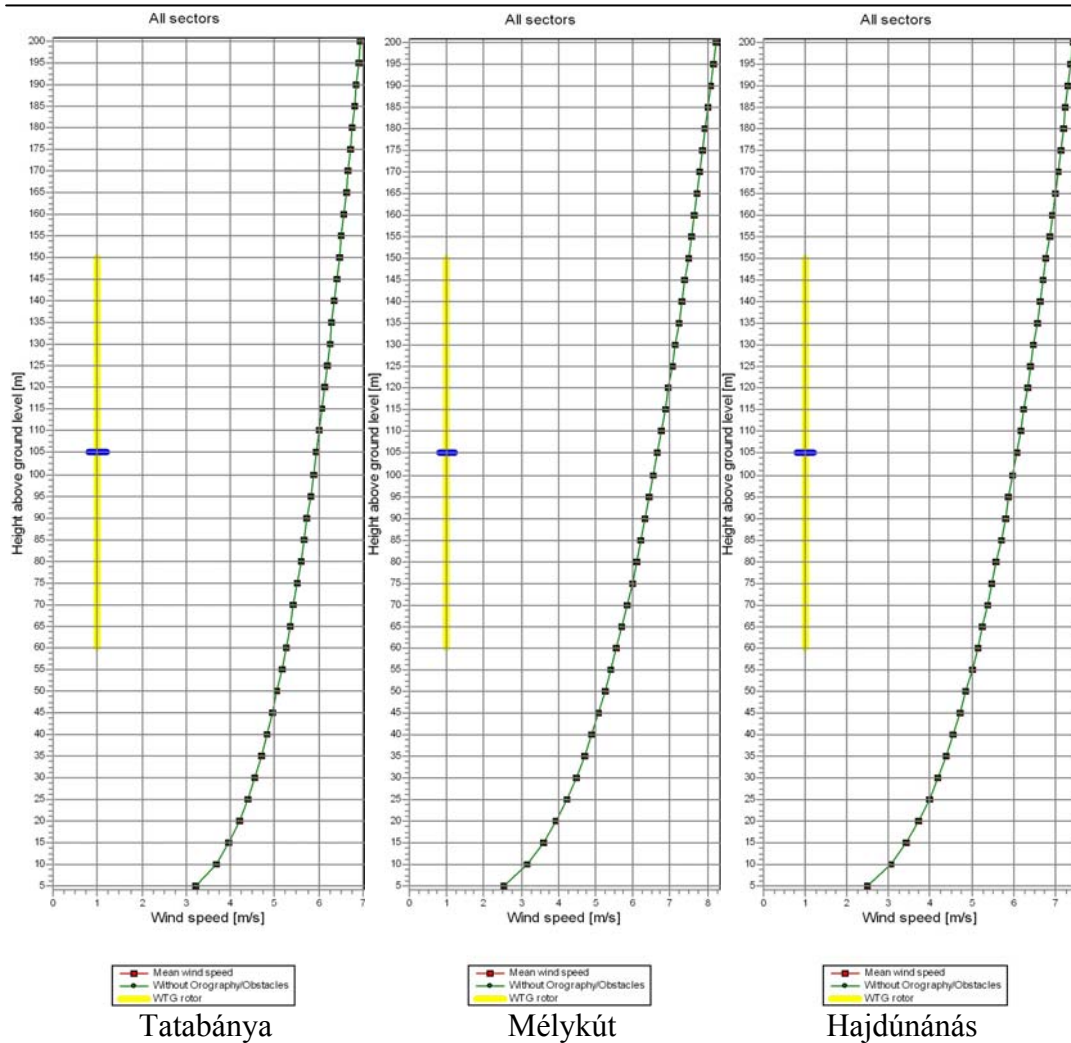


Mélykút



Hajdúnánás

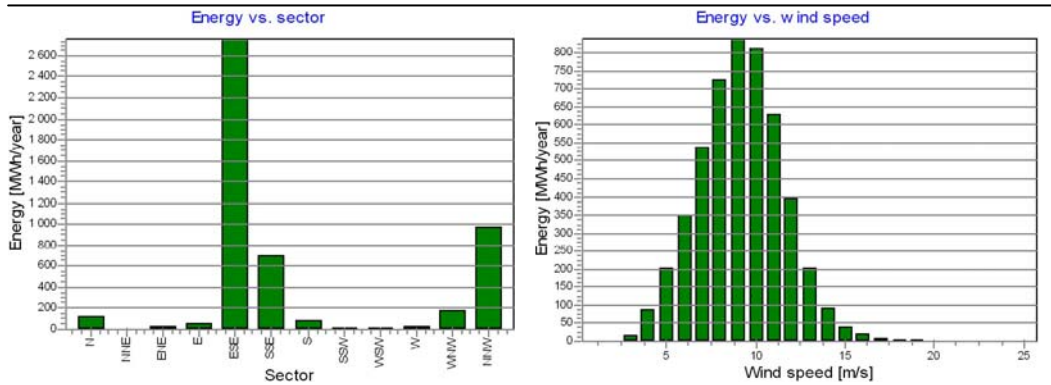
4.41. ábra Kiértékelés 105 m-re



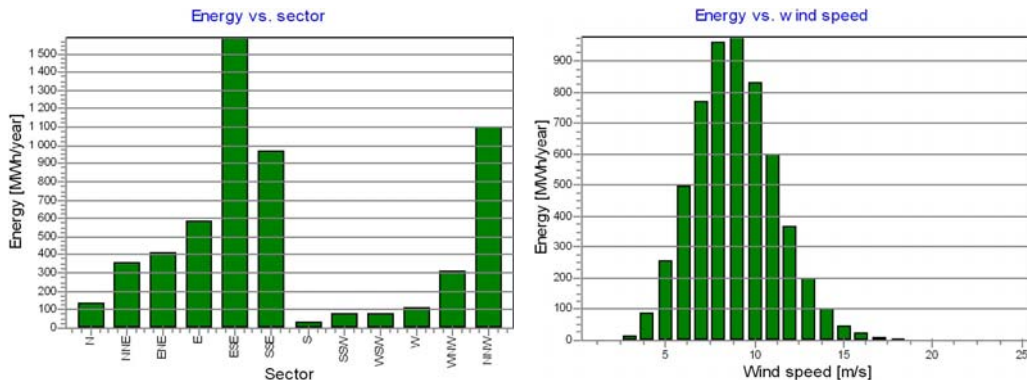
4.42. ábra Vertikális szélprofil

A mérési adatokból, 5 m-es szintkülönbséggel, 200 m-ig számoltam ki a szélesség értékét, és az adatokból szerkesztettem a vertikális szélprofil (4.42. ábra). Így a rotor teljes üzemi tartományára nyerek adatokat, és lehetőségem van a különböző műszaki paraméterekkel rendelkező szélörvények várható energiatermelésének meghatározására.

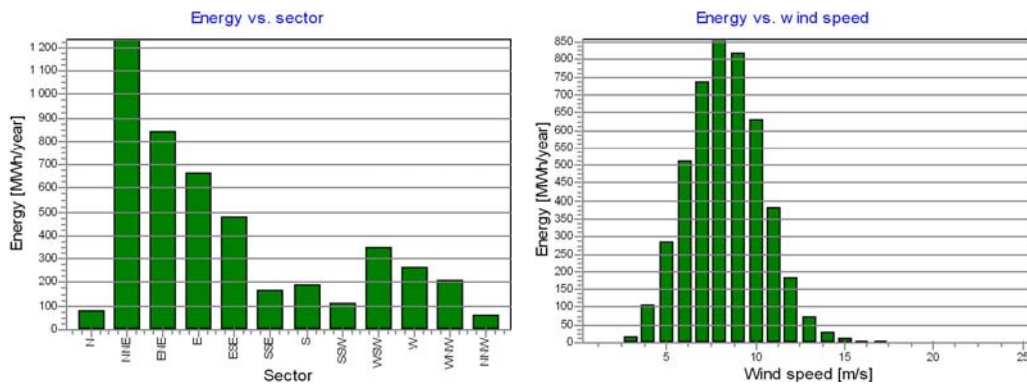
Az energiatermelés számítása során is, először szélirányonként határoztam meg a várható energiataralmat. Az értékeket a teljes évre vonatkoztattam, mivel egy év számít egy gazdasági egységnek. Viszont érezhető, hogy milyen bizonytalanságot jelent csupán egy hónap adatsorából az egész évet meghatározni. Többek között ezért is van szükség legalább egy éves időtartamú energetikai szélmérésre egy adott területen. Miután megkaptam irányonként a várható energia értékét, az alkalmazott szélörvény műszaki adatainak ismeretében felrajzoltam a várható energiatermelést a szélesség függvényében (4.43. ábra).



Tatabánya



Mélykút



Hajdúnánás

#### 4.43. ábra A várható energiatermelés, irányonként és a sebesség függvényében

A három helyszín közül Tatabánya mutatja a legkedvezőbb képet. Itt szinte egy uralkodó szélirány van, Kelet Dél-kelet, melyből mintegy 2700 MWh megtermelt villamos energia várható. Itt hívom fel ismételtlen a figyelmet a rövid adatsorú kiértékelés veszélyeire, mivel Tatabánya térségében az éves uralkodó szélirány a fent ábrázolttól eltérő. Ezt a teljes év folyamán, részletesen felvett adatbázissal lehet igazolni.

## EREDMÉNYEK

### Calculated Annual Energy

WTG type			Power curve				Annual Energy				
Valid	Manufact.	Type	Power	Diam.	Height	Creator	Name	Result	Result-10,0%	Mean wind speed	Capacity Factor
			[kW]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	[m/s]	[%]
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	105,0	EMD	Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005	4 964,4	4 468	5,9	28,3

### Tatabánya

### Calculated Annual Energy

WTG type			Power curve				Annual Energy				
Valid	Manufact.	Type	Power	Diam.	Height	Creator	Name	Result	Result-10,0%	Mean wind speed	Capacity Factor
			[kW]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	[m/s]	[%]
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	105,0	EMD	Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005	5 742,9	5 169	6,7	32,8

### Mélykút

### Calculated Annual Energy

WTG type			Power curve				Annual Energy				
Valid	Manufact.	Type	Power	Diam.	Height	Creator	Name	Result	Result-10,0%	Mean wind speed	Capacity Factor
			[kW]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	[m/s]	[%]
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	105,0	EMD	Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005	4 653,7	4 188	6,1	26,5

### Hajdúnánás

#### *4.44. ábra A várható energiatermelés, egy konkrét szélörömű esetén*

Az energetikai számítások utolsó lépése a várható energiatermelés meghatározása egy konkrét erőműre (4.44. ábra). Egy helyszínrre, illetve területre általában három szélörömű gyártó cég egy-egy erőművével végzem el a termelési adatok meghatározását. Így a későbbi gazdasági számítások során további jellemzők párosulhatnak az eddig meghatározottak mellé.

#### 4.5.4. Energiatermelés az oszlopmagasság növelése esetén

Bevezetőként el kell mondanom, hogy az itt szereplő értékek teoretikusak, mivel az összehasonlíthatóság érdekében a számítást a fenti erőműtípusra végeztem el, de ezt az erőművet nem gyártják a vizsgálatban szereplő magasságú oszloppal.

### Calculated Annual Energy

WTG type			Power curve				Annual Energy				
Valid	Manufact.	Type	Power	Diam.	Height	Creator	Name	Result	Result-10,0%	Mean wind speed	Capacity Factor
			[kW]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	[m/s]	[%]
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	105,0	EMD	Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005	4 970,3	4 473	5,9	28,3
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	165,0	EMD	Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005	6 139,4	5 525	6,6	35,0

### Tatabánya

### Calculated Annual Energy

WTG type			Power curve				Annual Energy				
Valid	Manufact.	Type	Power	Diam.	Height	Creator	Name	Result	Result-10,0%	Mean wind speed	Capacity Factor
			[kW]	[m]	[m]			[MWh]	[MWh]	[m/s]	[%]
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	105,0	EMD	Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005	5 761,5	5 185	6,7	32,9
Yes	VESTAS	V90	2 000	90,0	165,0	EMD	Level 0 - 80m hub - Mode 0 - 06-2005	7 947,2	7 152	7,7	45,3

### Mélykút

#### *4.45. ábra A várható energiatermelés, 165 m forgási középpontú szélörömű esetén*

Látható a 4.45. ábrából, hogy csupán az oszlopmagasság növelése milyen jelentős energiatermelési többletet eredményez.

A számítást azért végeztem el, mert már gyártanak olyan szélérőműveket, melyek rendelkeznek ilyen magas oszloppal, ugyan ebben a teljesítménykategóriában.

A 11. mellékletben Mélykút térségére készítettem összehasonlítást két eltérő magasságú oszlop alkalmazásával egy szélérőműre. Az eddigi tapasztalatok szerint az üzemi magasság növelése jelentette gazdaságilag a legkedvezőbb költségnyereség arányú megoldást a nagyobb energia kihozatal elérésére.

A vizsgált esetben a várható energiatermelés növekedése:

$$E_{\text{yeald change}} \approx 0,05 \cdot E_{\text{hub}} / 10 \text{ m}$$

Összességében a vizsgálatba vont helyszínek mindegyike kedvező realitással alkalmas akár szélérőműpark telepítésére is. Szélérőműpark tervezésénél azonban fokozott figyelmet kell fordítani az egyes erőművek elhelyezésére, különösen Mélykút és még inkább Hajdúnánás térségében a gyakoribb mellékirányok miatt.

A vizsgált időszakban a Dél-kelet felől érkező meteorológiai frontoknak volt döntő szerepe az energiatermelésben. Így e példákon keresztül is látható, hogy hazánkban nem csupán az észak-nyugati szelekre lehet építeni a szélérőművek gazdaságos üzemeltetésénél és telepítésénél.

#### 4.6. Az energetikai célú széltérképek

„Magyarország légköri eredetű megújuló energiaforrásainak vizsgálata, a meglévő potenciálok feltérképezése és felhasználásuk elősegítése meteorológiai mérésekkel és előrejelzésekkel.” című 2002-2005 NKFP-3A 0038 2002 számú kutatási program keretében elkészült Magyarország több szintű, számos energetikai mérési bázisponton alapuló széltérkép rendszere.

A kutatás konzorciumi munkában folyt. A konzorcium résztvevői:

- Országos Meteorológiai Szolgálat
- Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék
- Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar
- Megavill-Mix Kft.
- Boreas Magyarország Kft.

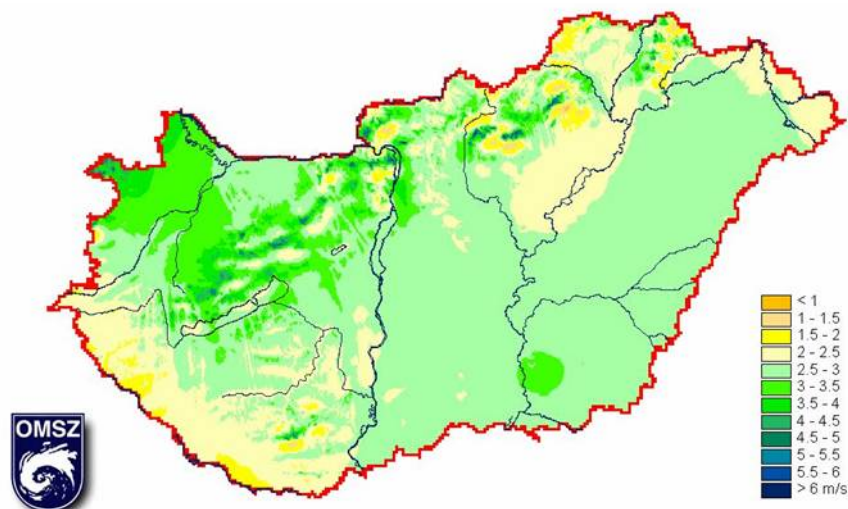
A széltérkép elkészítésénél alapvetően két módszer került alkalmazásra:

- 1) Statisztikai módszer
- 2) Dinamikus módszer

##### A statisztikai módszer:

A széladatok e módszerrel történő feldolgozása érdekében az OMSZ-nál kifejlesztésre került az úgynevezett MISH (Meteorological Interpolation Based on Surface Homogenized Data Basis) interpolációs rendszer, amely meteorológiai és éghajlati adatok számítására használható (Szentimrey 2005, Bihari 2005). A módszer az optimális interpolációs paramétereket több évtizedes éghajlati adatsorok statisztikai elemzésével állapítja meg, ellentétben a térinformatikai rendszerekbe beépített geostacionárius modellekkel (inverz távolság, kriging,

spline stb.), melyek csupán egy időbeli realizációt használnak (forrás: Dobi et al. 2005).



**4.46. ábra** Statisztikai módszerrel számított évi átlagos szélességek 10 m-rel a talajfelszín fölött.  
(Interpolálás az OMSZ állomásadatai alapján 0,1 m érdességi értékkel)  
(forrás: Dobi, 2005)

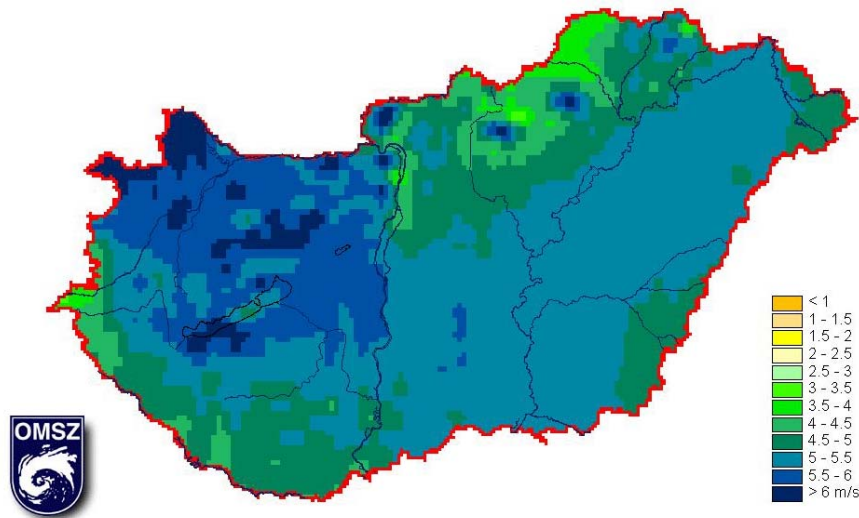
#### A dinamikus módszer:

A módszer kiinduló adatai az ECMWF (Európai Középtávú Előrejelző Központ) ERA-40 ún. újraanalizált mezői, amelyek az 1957 és 2002 közötti időszakra, 6 órás felbontásban az egész Földet lefedő 3-dimenziós rácsra vonatkozóan tartalmazzák a legfontosabb meteorológiai változókat (hőmérséklet, nedvesség, a szélességek komponensei, felszíni légnyomás). Az ERA-40 előállítását a lehető legtöbb múltbeli mérési adat felhasználásával (felszíni megfigyelések, rádiószondás felszállások, időjárási radar és műholdas mérések adatai, repülőgépes mérések, stb.), illetve modellek (korábbi időpontból induló igen rövidtávú) előrejelzései segítségével történt.

Az igényelt, 5 km-es felbontású szélmező előállításához az ERA-40 adatok ún. dinamikai leskalázását kellett végrehajtani. Ennek során az OMSZ-ban a rövidtávú előrejelzésre használt ALADIN korlátos tartományú modell (Horányi, Ihász, Radnóti, 1996) került felhasználásra az ERA-40 által biztosított kezdeti- és peremfeltételekkel, egy kisebb, ugyanakkor finomabb felbontású tartományon, a légkör alsó 150 m-es rétegére. A leskalázást több lépésben, a modell egyre finomabb felbontáson (45 km, 15 km, majd 5 km) történő rövidtávú futtatásával valósult meg. (Dobi et al. 2005)

A leírt módszerrel 10, 25, 50, 75, 100, 125, és 150 m magasságra készültek el a sokévi átlagos szélességértékek alapján az energetikai célú térképek. A verifikációhoz többek között az általam végzett lokális energetikai szélmérések adatai is felhasználásra kerültek. Összességében az országban 35 különböző helyszíni adatbázisa.

Az energetikai mérések alapján tudtam meghatározni az egyes területekre vonatkozó súrlódási hossz ( $z_0$ ) értékét, valamint a Hellmann-kitevő nagyságát. Az így kapott adatok segítségével pontosítani lehetett a dinamikus leskálázás eredményeit.



**4.47. ábra** Dinamikus módszerrel számított évi átlagos szélesség értékek 75 m-es magasságban (forrás: OMSZ 2006)

Ezen óriási, számos forrásból származó adatbázis segítségével kerültek végleges kialakításra az elkészült széltérképek.

#### 4.7. A mérési eredmények próbája

A méréseim közül 2 helyszínen valósult meg szélerőmű is. Erk településen egy Enercon E-48 típusú, 800 kW névleges teljesítményű, 76 m toronymagasságú szélerőmű (4.48. ábra); valamint Felsőzsolca településen egy Vestas V90 típusú, 1,8 MW névleges teljesítményű, 105 m toronymagasságú szélerőmű (4.49. ábra).



**4.48. ábra** Szélerőmű, Erk településen (Enercon E-48, 800 kW, 76 m) (forrás: saját felvétel)

Mindkét berendezésnél, a végzett energetikai célú szélmérések adataiból számított várható eredményeket összehasonlítottam a tényleges termelési eredményekkel. Megállapítottam, hogy az energetikai célú szélmérések kellő pontosságot nyújtanak a várható eredmények meghatározásához, amelyeket a tényleges termelés bizonyított.



**4.49. ábra** Szélerőmű, Felsőzsolca településen (Vestas V-90 1,8MW, 105 m)  
(forrás: saját felvétel)

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 elérhet, de szélsőséges esetben akár 20% is adódhat. Egy egész év vonatkozásában azonban maximálisan 10% a reális eltérés, 20% inkább az év rövidebb időszakaira jellemző.

Csupán Mosonszolnok térségében sikerült megvalósítanom, hogy már üzemelő szélerőmű „közelében” (30 km-es távolság) végzett energetikai célú szélmérésből származó adatbázist, azonos időben rögzített termelési adatokhoz hasonlítsak.

Az elvégzett mérések alapján további 5 helyszínen tervezik szélerőművek létesítését: Ostffyasszonyfa, Ajka, Székesfehérvár, Csorna, Komárom.



## 5. Új tudományos eredmények

- 1) Az elemzéseknél használt kanalas szélességmérőkre jellemző szélút értékét az érzékelők kalibrálásánál statikus és dinamikus igénybevétel esetén a gyári elsőfokú összefüggéssel szemben másodfokú összefüggés felhasználásával kell megadni. Az általánosan alkalmazott:

$$v(t) = m \cdot \text{impulzusok} + c$$

összefüggés helyett energetikai méréseknél a:

$$v_k(t) = v + \left| m_{k1} \cdot v^2 + m_{k2} \cdot v + c_k \right|$$

összefüggés alkalmazása esetén a *relatív hiba*  $< 1\%$  -ra mérsékelhető, az eredeti függvény alkalmazásánál tapasztalt  $5\% < \text{relatív hiba} < 20\%$  értékkel szemben.

Az eredeti összefüggés szerint elvégzett kalibráció a várható energiatermelés meghatározásánál *relatív hiba*  $> 15\%$  eltérést jelenthet.

- 2) A  $T \geq 2$  év időtartamot meghaladó mérések kezdetén és végén a szélszatórnával felvett hibagörbéknel esetenként jelentős eltérés mutatható ki. Az energetikai szélmérésekhez kapcsolódó hazai és nemzetközi szabványokat módosítani kell azzal, hogy a kanalas szélességmérőket, a mérési hiba mérséklése és korrigálhatósága érdekében a mérési időszakot követően is kalibrálni kell.

- 3) Magyarország energetikai széltérképének szerkesztése során az egységes magassági korrekciós tényező alkalmazása helytelen. A térkép szerkesztéséhez legalább főbb földrajzi tájegységenként szükséges meghatározni a korrekciós tényező magassági szintenkénti értékét, szélirányok szerinti bontásban.

Magyarország földrajzi tájegységeinél a magassági korrekciós tényező jellemző értéke általánosan csak egységes talajszint feletti magasságra megadva értelmezhető. Célszerűen  $h \geq 40$  m-re.

Mérés hiányában megközelítő számításokhoz Magyarország domborzata tekintetében:

Dombvidéki jellegű területeken  $\alpha \geq 0,30$

Sík vidéki jellegű területeken  $\alpha \leq 0,30$

érték alkalmazható  $h \approx 40$  m talajszint feletti magasságnál.

- 4) A részletes energetikai célú szélmérések alapján a szélesség eloszlásának jellemzésére alkalmazott Weibull-eloszlás függvény

$$f(v) = \frac{k}{v_{\text{átlag}}} \cdot \left( \frac{v}{v_{\text{átlag}}} \right)^{k-1} \cdot e^{-\left( \frac{v}{v_{\text{átlag}}} \right)^k} \quad [\%]$$

$k$  paraméterének értéke Magyarország földrajzi tájegységeire vonatkoztatva:

Dombvidéki jellegű területeken  $k \leq 2$

Sík vidéki jellegű területeken  $k \geq 2$

A  $k$  tényező értéke irányonként és magassági szintenként változik.

Mérés hiányában megközelítő számításokhoz Magyarország domborzata tekintetében:

Dombvidéki jellegű területeken  $k = 1,95$

Sík vidéki jellegű területeken  $k = 2,10$

érték alkalmazható  $h \approx 60$  m talajszint feletti magasságnál.

- 5) A SODAR berendezés adatbázisa rövid időszak energetikai számításainál nem alkalmazható, mivel  $3\text{ m/s} \leq v_{SODAR} \leq 8\text{ m/s}$  esetén a relatív hiba mértéke meghaladja a 10%-ot

A SODAR elsősorban egy adott terület szélviszonyainak előzetes felmérésénél, a nagyobb költségű, részletesebb mérés célszerűségének eldöntésénél előnyös. Alkalmazása  $45\text{ m} \leq h \leq 150\text{ m}$  szintmagasságok között, jelentős turbulens áramlatok és az áramlást nagymértékben módosító helyi topográfiai és súrlódási elemek esetén különösen javasolható. A  $h > 150\text{ m}$  mérési magasságnál az adatkimaradások aránya esetenként meghaladja a 20%-ot, ezért ilyen esetekben ott már nem tekinthető reprezentatívnak az adatbázis.

- 6) A hosszú távú adatbázisok elemzése szerint a SODAR tendenciózan kisebb értéket mér, mint a kanalas szélesebbégmérők.

Az eltérés mértéke:  $v_{SODAR} = v_{anemometer} - 0,7 \pm 0,4\text{ m/s}$

A  $3\text{ m/s} \leq v_{SODAR} \leq 8\text{ m/s}$  tartományban a nagyobb szélesebbégosztályok felé haladva az eltérés relatív hibája csökken.

- 7) A szélprofil vizsgálatok alapján a Magyarországot jellemző domborzati viszonyoknál, a 100 métert meghaladó magasságban a szél erőművek várható energiatermelésének növekedése:

$$E_{\text{yeald change}} \approx 0,05 \cdot E_{\text{hub}} / 10\text{ m}$$

$h = 210$  méter talajszint feletti magasságig.

- 8) Több, földrajzilag egymástól távol eső helyszínen, egyidejűleg végzett nagy pontosságú szél mérés alapján, Magyarországon a szélenergia hasznosításából származó energiatermelés előre jelezhető.

## 6. Következtetések és javaslatok

Az anemométerek hitelesítése során arra a következtetésre jutottam, hogy egyes esetekben az érzékelők nem tudják biztosítani a gyártó által megadott két éven belül a pontosságukat, ezért az üzemeltetés második évében célszerű többször kalibrációt végezni, vagy már az első év után csapágyat cserélni.

A szélenergia hasznosítási célú beruházások várható dinamikus növekedése szükségessé tenné egy hitelesített szélcsatorna építését Magyarországon is, amely az energetika e területén alkalmazott anemométerek ellenőrzésére is alkalmas.

Az elkészült széltérkép pontosítása érdekében célszerű lenne egy országos, energetikai célú szélmérőállomás hálózat kialakítása 80 és 100 méter magasságú mérőtornyok alkalmazásával, legalább három szintmagasságban végzendő mérésekhez. Ennek segítségével a jelenlegi 5X5 km-es raszter helyett lényegesen pontosabb térképezés lenne megvalósítható.

Ugyan ez a mérőállomás hálózat, megfelelő számítástechnikai hardver háttérrel, alkalmas lenne az ország egész területére vonatkozó várható energiatermelés előrejelzésére is. Segítségével a szélerőművek üzemeltetése által okozott hálózati terhelésingadozás jelentősen mérsékelhető lenne. Erre jó példát szolgáltatnak az Európai Unió azon országai is, ahol jelentős mértékű a szélerőművek szerepe a villamos energiaellátásban.

Az állomáshálózat kialakításánál figyelemmel kell lenni a mindenkori domborzati viszonyokra és a terület fedettségére. A tagolt, változatos fedettségű területeken célszerű az állomások sűrűbb elhelyezése.

Továbbá érdemes figyelembe venni a már meglévő, valamint a várhatóan telepítésre kerülő nagyobb szélerőmű parkok elhelyezkedését is annak érdekében, hogy közvetlenül az energiatermelő helyre vonatkozzanak az információk.

A meglévő parkok közelében történő telepítés további információkat szolgáltat a szélerőművek csoportos telepítésére vonatkozóan, melyet a telepítés és üzemeltetés hatékonyságának növelésénél lehet felhasználni.

Az energetikai szélméréseknél alkalmazott SODAR mérőrendszer üzemeltetésénél célszerű lenne minél több meteorológiai tényező (hőmérséklet, páratartalom, nyomás, csapadékmennyiség, napsütéses órák száma, stb.) és a környezeti zaj mérése, annak érdekében, hogy megállapítható legyen az adatkimaradások oka, valamint az üzemeltetést befolyásoló tényezők száma és a befolyásolás mértéke.

E mellett célszerű lenne a műszer kalibrálását a lehető legtöbb szinten elvégezni minden egyes üzembe helyezés előtt. Lehetőség szerint kalibrált, vagy még inkább hitelesített, az energetikai szélméréseknél alkalmazott anemométerek segítségével.

A szélerőművek telepítésénél alkalmazott toronymagasságra vonatkozó korábbi megállapításokat ( $h_{\min} = 100$  m, Tóth 2005) megerősítem, valamint kiegészítem azzal, hogy kontinentális viszonyok között minden esetben a műszakilag kifejlesztett legmagasabb oszlopot célszerű alkalmazni.



## 7. Összefoglalás

A kutatási időszakban Magyarországon nagy léptékekben elindult a szélenergiahasznosítás folyamata. A szélerőművek névleges villamos teljesítménye 2007-re meghaladta a 60MW-ot. A cél 2010-ig, 330MW létesítése.

Mindezek mutatják, hogy mennyire aktuális a dolgozat témája.

Munkám során, a célul kitűzött feladatokhoz kapcsolódó szakirodalom áttekintését követően első lépésben részt vettem az energetikai szélméréseknél használt kanalas anemométerek kalibrálására alkalmas szélcsatorna létesítésénél. A későbbi kutatási feladatok szempontjából ennek megléte alapvető fontosságúnak bizonyult. Az anemométerek kalibrálása során bebizonyosodott, hogy nem csak a helyszíni mérések előtt, hanem azt követően is szükség van a műszerek hitelesítési, de legalább a kalibrálási összefüggés megállapítására.

Az energetikai szélmérések sorát az ország egész területére kiterjesztettem annak érdekében, hogy a különböző domborzati és meteorológiai adottságokkal rendelkező területeket össze tudjam hasonlítani, valamint, hogy minél több információt gyűjtsek a hasonló területekről.

A mérési adatok és az azok alapján elkészült kiértékelés eredményei Magyarország első, több bázispont energetikai szélmérésén alapuló széltérképének szerkesztésénél kerültek felhasználásra. A térképszerkesztés folyamatában fény derült a mérési adatbázis számos előnyére és hiányosságára. Sikerült megállapítani, hogy a különböző domborzati adottságok mellett milyen mérőrendszert érdemes alkalmazni és, hogy a kapott adatokat a környező területeken milyen távolságban szabad alkalmazni.

A nagyszámú mérési helynek köszönhetően sikerült elemezni a szélenergiahasznosításra alkalmas magyarországi jellemző területeket. Ezek segítségével általános érvényű következtetéseket vonhattam le egy adott mérési környezet esetén alkalmazandó mérőrendszer összeállításra vonatkozóan és az adatok kiértékelésével kapcsolatban.

További általános érvényű információhoz jutottam az energiatermelés számítása és az előre jelezhetőség területén. Ezek mind gazdasági szempontból mind pedig a villamos hálózat üzemeltetése szempontjából állandóan vitatott kérdések.

Végeredményben sikerült megállapítanom, hogy az általam felhasznált mérőrendszer, és a hozzá kapcsolódó szoftverek milyen feltételek mellett alkalmazhatók Magyarországon és a kapott adatokból sikerült a szélenergia hazai hasznosítása szempontjából számos általános érvényű következtetést levonnom.



## 8. Summary

In the course of the research, in Hungary, the process of wind-energy use started in a large scale. In 2007 the nominal electric power capacity of the wind-power plants exceeds 60 MW. The fundamental aim is to establish a capacity of 330 MW.

During my research, after reviewing the professional literature sources in connection with the tasks aimed at, as the first step, I assisted at the design and origination of a wind tunnel for calibration of cup-anemometers. For the later research tasks, this existing and available device approved itself as of basically important. With the calibration of the anemometers, it has proved that the calibration of the instruments – but at least the determination of the calibration relationship – is required not only before but after the on-site measurements as well.

I extended the wind measurement series to the whole area of the country with the purpose that I could compare the regional areas with different topographical and meteorological, and collect information about the similar areas, as more as possible.

The measured data and the results of the evaluation of this measurement data base were used during plotting the first wind chart of Hungary based on a multi-base-point energetic wind measurement. Several advantages and disadvantages of the measurement data base came out. It was managed to establish what kind of measurement systems are suitable for use at the different topographical conditions, and at what distances the gained data can be used in the surrounding areas. Due to the large number of measurement sites, the analysis of the characteristic areas of Hungary usable for wind-energy utilization could be carried out. With the help of these, I could extract generalized conclusions for making up the measuring system usable in the case of an actual measurement ambience, and for the evaluation of the data.

I gained new additional generalized information in the field of the calculation and forecasting possibilities of the energy production – the continuously debated questions of the power-network operation and economic efficiency.

As a result, I managed to establish the conditions of applying the measurement system and the connected software programmes used by me in Hungary and I successfully could extract several generalized conclusions in terms of the domestic utilization of wind energy.





**9. Mellékletek****M1****IRODALOMJEGYZÉK**

1. Antal E. – Jeney Cs. – Urbán L. (1980): Meteorológiai műszertan, Gödöllő, 65-69. p.
2. Antall J. (szerk.) (1980): Fizikai kézikönyv műszakiaknak, I. kötet, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1980. 50 – 73. p.
3. Balogh E. – Homola V. (1997): A szélerőművek jövője, Energiagazdálkodás XXXVIII. évf. 1997. 11. szám
4. Barótfi I. (szerk.) (1994): Energiafelhasználói kézikönyv, Környezet – technika Szolgáltató Kft., Bp. 927-933. p.
5. Bartholy J. (2006): Általános légkörvzés, ELTE Budapest, pp. 17-18.
6. Willi Bohl (1983): Műszaki áramlástan; Műszaki könyvkiadó, Budapest
7. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2006): Erneuerbare Energien, Innovationen für die Zukunft, Berlin, 6-65. p.
8. Bundesverband Windenergie (2000): New Energy. Installed wind power capacity, Osnabrück
9. Clark, R. N. - Schneider, A. D. (1980): Irrigation pumping with wind energy, Transactions of ASAE. 850-853. p.
10. Czelnai R. (1980): A meteorológia eszközei és módszerei (kézirat), Bp. 115-120. p.
11. Czelnai Rudolf (1995): Bevezetés a meteorológiába I.: Légkörtani alapismeretek. ELTE, Budapest, 6- 12. p.
12. Danish Wind Industry association (2003): Woher kommt Windenergie?, Copenhagen, 1 – 120 p.
13. Davenport W. (1960): Rationale for determining design wind velocities. ASCE
14. Dévényi – Gulyás (1988): Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában, Tankönyvkiadó, Budapest
15. Dobesch, H. - Tran, H. V. (2001): Objective interpretation of wind measurements, MSZTE Konferencia előadásai, Gödöllő, 16 – 20 p.
16. Wantuchné Dobi I. – Szépszó G. – Konkolyiné Bihari Z. – Szentimrey T. (2005): Széltérképek Magyarországról, MSZTE Konferencia, Gödöllő
17. EMD International A/S (2006): WindPRO 2.5 Handbuch, Aalborg, 9-278. p. 381-405. p.
18. EMD International A/S (2006): WindPRO Modulbeschreibung, Aalborg, 5-59. p.
19. EMD International A/S (2006): WindPRO Quick guide, Aalborg, 1-14 p.
20. European Commission, Directorate - General Science, Research and Development: European wind turbine standards. Bruxelles : EC, 1996.
21. European Communities 1996. Non-Nuclear Energy-Joule II European Wind Turbine Standards Project, ISBN: 9282779483
22. European Wind Energy Association (2002): Wind Energy, The Facts. Brussels: European Communities, 2 – 13 p.

23. European Wind Energy Association (2005): Prioritising Wind Energy Research, Strteic Research Agenda of the Wind Energy Sector, Brussels, 6-42. p.
24. Gasch, R. (1991): Windkraftanlagen. B.G. Teubner, Stuttgart
25. GKM – PYLON Kft. Dr. Unk Jánosné: A megújuló energiahordozó-felhasználás növelésének költségei, Budapest 2004.
26. Global Wind Energy Council (2005): Wind Force 12, Brussels, 2-45. p.
27. Gruber J - Blahó M. (1973): Folyadékok mechanikája; Tankönyvkiadó Budapest, 400-410. p., 424-433. p.
28. J. Guttenberger (2005): Wind & Regen, <http://www.wind-sodar.de/>
29. Hunyár M. – Tar K. – Tóth P. (2004): Magyarország szélenergia potenciálja, Energiagazdálkodás 45. évf. 6. szám
30. Hütte: A mérnöki tudományok kézikönyve. Budapest: Springer, 1993.
31. Johansson T.B. et al. (1994): Renewable Energy. Sources for Fuels and Electricity, Island Press, Washington
32. Johnson G. L. (1985): Wind Energy Systems. New Jersey: Prentice-Hall Inc,
33. Kacz K. - Neményi M. (2000): Megújuló energiaforrások Agrárműszaki Kiskönyvtár 1. Mg. Szaktudás Kiadó, Budapest
34. L. D. Landau - E. M. Lifsic (1980): Elméleti fizika VI. Hidrodinamika; Tankönyvkiadó, Budapest
35. Litvai E.: Alkalmazott áramlástan (A vegyipari gépészek részére); J4 -730 kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest
36. Lysen E. H. (1982): Introduction to Wind Energy, S.W.D. Amersfoort 16-51.p.
37. Makra László (1995): Meteorológiai műszertan. JATEPress, Szeged, 5–131.p.
38. Melzer, C. (2001): Wind measurement for energy prognosis, MSZTE Konferencia előadásai, Gödöllő, 21-27p
39. Mortensen, N. G. et al. (1993): Wind Atlas Analysis and Application Program Riso National Laboratory, Roskilde
40. Murakami S. (1993): Computational wind engineering I. Amsterdam: Elsevier Science
41. Palotás L. (1984): Mérnöki kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
42. Patay I. (1984): A szélenergia alkalmazási lehetőségei drénezett területeken Tessedik S. Tiszántúli Tudományos Napok kiadványa, Szarvas, 28-34p.
43. Patay I. (1992): A szélenergiahasznosítás lehetőségei és korlátai, MTA AMB Tanácskozás kiadványa, Gödöllő
44. Patay I.(1998): Alternatív energiagazdálkodás - lehetőségek és korlátok Szolnoki Tudományos Közlemények, 24-28.p
45. Patay I. (1985): Lassújárású szélmotorok üzemi jellemzői, Járművek, Mg. Gépek, 89-96p.
46. Patay I. (1997): Összefüggések a szélmotorok és szélgenerátorok telepítésének tervezéséhez. Gödöllő: Mezőgazdasági Technika
47. Péczely Gy. (1998): Éghajlat, Nemzeti tankönyvkiadó, Budapest
48. Petersen E. L. (1998): Wind Power Meteorology, Wind Energy 1, 2-22. p.

49. Radics K.: A szélenergiahasznosítás lehetőségei a Kárpát-medencében KLTE Meteorológiai Füzetek, 14. 1999.
50. Sassy L.: Áramlástan mérések. Gödöllő: Egyetemi Nyomda, 1993.
51. Sembery P. – Tóth L. (2004): Hagyományos és megújuló energiák, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 327-398. p.
52. Smith, D. R. (1982): Optimum rotor diameter for horizontal axis wind turbines Wind Engineering, No. 6. 12-18p.
53. Szlivka F. (1999): Áramlástan, Egyetemi Nyomda, Gödöllő, 5-62. p.
54. Tar K. (2001): Kísérlet a szélenergia statisztikai becslésére MSZTE Konferencia előadásai, Gödöllő, 28-34. p.
55. Tóth G. (2005): Energia célú szélmérés, Doktori értekezés, SZIE-MTDI Gödöllő
56. Tóth G. - Horváth G. - Tóth L. (2001): Energetikai célú szélmérés és széltérkép készítés, MSZTE Konferencia előadásai, Gödöllő, 6-10. p.
57. Tóth L. – Horváth G. (2003): Alternatív energia, Szélmotorok, szélgenerátorok, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 73-220 p., 301-323. p.
58. Tóth L. - Horváth G. - Tóth G. (1998): A szélenergia hasznosítása I-II., Mezőgazdasági Technika
59. Tóth L. Honti V. (1987): Környezetkímélő energiaforrás a szélmotor. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest
60. Tóth L.– Horváth G. – Tóth G. – Berencsi B. (2000.): A hazai energia célú széltérkép elkészítésének feltételei, SZIE GMK AEET, Gödöllő
61. Tóth P. (2001): A szélenergia hasznosítás hatása a környezet-, az éghajlat-, a természet és a tájvédelemre. Magyar Szélenergia Tudományos Egyesület, Nemzetközi szélenergia Konferencia, Gödöllő
62. Tóth P. (2003): A Magyar Szélenergia Társaság Legfontosabb Célkitűzései és Cselekvési Programja. 4. Hírlevél
63. Tóth P. (2005): A szélenergia hasznosítása a világban, Európában és Magyarországon, MSZTE Konferencia, Gödöllő
64. Troen – Petersen: (1989): European Wind Atlas, Risoe National Lab., Roskilde 30-33. p., 56-58. p.
65. Varga B. – Németh P. (2005): Hazai szélprofil vizsgálatok SODAR mérések eredményeiből, MSZTE Konferencia, Gödöllő
66. World Wind Energy Association (2005): Wind Energy International, Bonn
67. World Wind Energy Association (2006): Statistics. Windenergie Worldwide, Bonn
68. World Wind Energy Association (2007): Statistics. Windenergie Worldwide, Bonn
69. [www.sodar.com](http://www.sodar.com)

---

**AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK****Lektorált cikk világnyelven**

1. Tóth, L. – Horváth, G. – Tóth, G. – **Schrempf, N.** – Fogarasi L. (2003): Domestic Experiences of Operating Wind Generators, Hungarian Agricultural Engineering N°16/2003, 63-65p.
2. **SCHREMPF, N.** – TÓTH, L. (2004): Controlling of Energetic Wind Measurement (Calibration of Cup Anemometers), Hungarian Agricultural Engineering N° 17/2004, 76-79p.
3. **SCHREMPF, N.** – TÓTH, G. – TÓTH, L. (2005): Energy Aspects of Wind Measurements in Hungary, Hungarian Agricultural Engineering N° 18/2005, 42-44p.
4. **SCHREMPF, N.** – TÓTH, L. (2006): Application of the Electricity Act (AC) and Renewable Energies, Hungarian Agricultural Research Vol. 15 N°4 2006, 20-23p.
5. **SCHREMPF, N.** – VÁGÓ, K. – TÓTH, L. (2006): Economical and Environment-Protecting Questions of Erection of Wind-Power Stations in Hungary; The Journal of Management and Sustainable Development, Sofia, Bulgaria (1-2/2006 vol.14, 95-101p.)

**Lektorált cikk magyar nyelven**

1. TÓTH L. – **SCHREMPF N.** – TÓTH G. (2004): A megújuló energiaforrások hasznosítása az EU elvárások tükrében, Mezőgazdasági Technika, XLV. évf. 7. szám, 23-26p.
2. REZSABEK T. – **SCHREMPF N.** – TÓTH L. (2005): A szélérőmű környezeti hatásai, Gazdálkodás 13. számú különdiadás, 114-122p.
3. TÓTH, L. – KÖLES, P. – **SCHREMPF, N.** (2005): Megújuló energiaforrások, jelen és jövő, Mezőgazdasági Technika XLVI. évf. 12. szám, 5-7p.
4. TÓTH, L. – **SCHREMPF, N.** – TÓTH, G. (2006): Magyarország energetikai szélpotenciáljának meghatározása, Energiagazdálkodás, 2006. 1. szám, 12-15p.
5. **SCHREMPF, N.** – TÓTH, L. – TÓTH, G. (2006): Energetikai célú szélmérések kivitelezése, Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei; OMSZ, Budapest, 21-39p.
6. TÓTH, L. – **SCHREMPF, N.** – TÓTH, G. (2006): Toronymérések tapasztalatai, a várható energia-termelés becslése. Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei; OMSZ, Budapest, 40-53p.

7. TÓTH L. – SCHREMPF N. (2006): Nemzetközi kiállítás és üzemi tapasztalatcsere a megújuló energiák felhasználásáról, Mezőgazdasági Technika, XLVII. évf. 10. szám, 32-33p.

#### **Egyéb magyar nyelvű tudományos cikk**

8. TÓTH L. – SCHREMPF N. – TÓTH G. (2004): A szélenergiát hasznosító berendezések, Áram és Technológia, III. évf. 3. szám, 37-40p.
9. TÓTH L. – SCHREMPF N. – TÓTH G. (2004): A szél jellemzése, várható energiatermelés, Áram és Technológia, III. évf. 4. szám, 34-37p.
10. TÓTH L. – SCHREMPF N. – TÓTH G. (2004): A villamos szélérőgépek működése, Áram és Technológia, III. évf. 5-6. szám, 32-36p.
11. TÓTH L. – SCHREMPF N. – TÓTH G. (2004): A szélérőmű környezeti hatásai, Áram és Technológia, III. évf. 7-8. szám, 23-27p.

#### **Nemzetközi konferencia proceedings**

1. SCHREMPF N. (2005): Wind energy investment, costs & employment, Perspectives of Regional Development in the Europe of Regions, SZIE Gödöllő, 138-143p.
2. SCHREMPF N. – REZSABEK T. (2005): Wind Energy and the Environment, 5<sup>th</sup> International Conference of PhD Students, University of Miskolc; 391-395p.
3. REZSABEK T. – SCHREMPF N. (2005): Wind Energy Technology and Possibilities in Hungary, 5<sup>th</sup> International Conference of PhD Students, University of Miskolc; 397-402p.
4. SCHREMPF N. – TÓTH G. – TÓTH L. (2005): Energy Purposive Wind Measurements in Hungary; 27<sup>th</sup> International Conference of CIGR, Section IV: (The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources), Ege University, Ismir, 213-218p.
5. TÓTH, L. – SCHREMPF, N. – BUZÁS, J. – FOGARASI L. (2005): Solar Energy Use in a Wellness Hotel, 27<sup>th</sup> International Conference of CIGR, Section IV: (The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources), Ege University, Ismir, 301-305p.

#### **Magyar nyelvű konferencia proceedings (előadások)**

1. SCHREMPF N. (2004): Szélsebességmérők kalibrálására alkalmas szélcsatorna létesítése, IX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülészaka Kolozsvár, 33-36p.
2. TÓTH L. – SCHREMPF N. – TÓTH G. (2004): Szélmérés, széltérkép, tervezés-gyakorlat, II. ENERGexpo Nemzetközi Energetikai Szakkiállítás és Konferencia, 159-164p.

3. TÓTH G. – SCHREMPF N. – TÓTH L. (2005): Energiaprognózisok ellenőrzése üzemi tapasztalatokkal, MTA AMB, K+F Tanácskozás N°29 Gödöllő, Szélergia Magyarországon Szekció, 33-37p.
4. SCHREMPF N. – TÓTH L. (2005): Szélpotenciál meghatározásához alkalmazott mérési módszerek, MTA AMB, K+F Tanácskozás N°29 Gödöllő, Szélergia Magyarországon Szekció, 38-42p.
5. SCHREMPF N. (2005): Szélebbességmérők statikus és dinamikus vizsgálata, X. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka Kolozsvár, 189-192p.
6. TÓTH L. – SCHREMPF N. – TÓTH G. (2006): Magyarország energetikai célú szélpotenciálja, MTA AMB, K+F TanácskozásN°30Gödöllő,(1.kötet 161-168p.)
7. SCHREMPF N. – TÓTH L. (2006): Energetikai célú szélmérések tervezésének elvi kérdései, XI. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka Kolozsvár, 327-330 p.
8. TÓTH L. – SCHREMPF N. – TÓTH G. (2006): A szélergia felhasználás lehetőségei és korlátai Magyarországon II., Alternatív Eneriaforrások Tudományos és Befektetési Konferencia, Szeged, 21-23 p.

### Magyar nyelvű konferencia proceedings

(posztterek)

1. TÓTH L. – HORVÁTH G. – TÓTH G. – SCHREMPF N. (2003): Szélerőművek létesítése Magyarországon; MTA AMB, K+F Tanácskozás N°27 Gödöllő, 3. kötet 166-171. p.
2. TÓTH L. – HORVÁTH G. – SCHREMPF N. (2004): Energetikai széltérkép készítésének metodikája; MTA AMB, K+F Tanácskozás N°28 Gödöllő, 4. kötet 246-250. p.
3. TÓTH L. – SZLIVKA F. – BALLÓ B. – TÓTH G. – SCHREMPF N. (2004): Szélebbességmérők kalibrálására alkalmas szélcatorna fejlesztése; MTA AMB, K+F Tanácskozás N°28 Gödöllő, 4. kötet 417-421 p.
4. SZLIVKA F. – KESZTHELYI I. – TÓTH L. – TÓTH G. – SCHREMPF N. (2004): Axiális ventilátor mérésére alkalmas mérőberendezés fejlesztése a Szent István Egyetemen, MTA AMB, K+F Tanácskozás N°28 Gödöllő, 4. kötet 422-426p.
5. SCHREMPF N. – TÓTH L. (2006): Az erki 800kW teljesítményű szélerőmű telepítési tapasztalatai, MTA AMB, K+F Tanácskozás N°30 Gödöllő, (3. kötet 148-152 p.)

6. WANTUCHNÉ DOBI I. – VARGA B. – TAR K. – TÓTH L. – SCHREMPF N. – GERGEN I. – CSENTERICS D. (2006): Beszámoló a szél és napenergia projekt tevékenységéről, MTA AMB, K+F Tanácskozás N°30 Gödöllő, (3. kötet 153-157 p.)

#### **Nemzetközi konferencia abstract**

1. SCHREMPF N. (2004): Calibration of Cup Anemometers; X. Nemzetközi Környezetvédelmi és vidékfejlesztési diákkonferencia Mezőtúr, 50p.
2. TÓTH L. – SCHREMPF N. (2006): Conditions of Utilization of Wind Energy in Hungary, Economical Questions of Utilizing Renewable Energy Sources, International Conference, Sopron, 27p.

#### **Magyar nyelven megjelent, lektorált elektronikus publikáció**

1. TÓTH L. – SCHREMPF N. (2004): Lehetőségek a szélenergiában a hazai mérések és tapasztalatok alapján; A megújuló energiaforrások esélyei Magyarországon Konferencia, Kiskunmajsa, CD
2. TÓTH L. – SCHREMPF N. – TÓTH G. (2004): A szélenergia hasznosítása és a mezőgazdaság, IV. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok, Mezőtúr, CD
3. TÓTH L. – SCHREMPF N. (2006): A szélenergia hasznosításának feltételei Magyarországon, Az alternatív energiaforrások hasznosításának gazdasági kérdései Nemzetközi Konferencia, Sopron, CD

#### **Magyar nyelvű könyv (jegyzet) részlet**

1. TÓTH L. – HORVÁTH G. (2003): Alternatív energia, Bp., Szaktudás Kiadóház, 57-71p.

#### **Kongresszus, konferencia szervezőbizottság tisztségviselője**

1. Szélenergia Magyarországon Konferencia (2005), SZIE-GÉK, Gödöllő, 2005.01.19

### A Wild féle nyomólapos szélmérő



1. ábra A Wild féle nyomólapos szélmérő skálái (Dobogókő)





*2. ábra A Wild féle nyomólapos szélmérő (Dobogókő)*

## A hitelesítéshez kapcsolódó jogszabályok

*(forrás: CD jogtár)*

Az „1991. évi XLV. törvény a mérésügyről, egységes szerkezetben a végrehajtásáról szóló 127/1991. (X. 9.) Kormányrendelettel” alapján, a teljesség igénye nélkül.

*A törvény hatálya*

Tv. 1. § E törvény hatálya a Magyar Köztársaság területén a mérésügyi szervezet tevékenységére, a mértékegységek használatára és a joghatással járó mérésekre terjed ki.

*Mérésügy, mérésügyi szervezet*

Tv. 2. § (1) A mérésügy a mérésekkel kapcsolatos tevékenységkörnek az a része, amelyet a mérések hazai és nemzetközi egységességének és pontosságának biztosítása céljából a jog eszközeivel kell szabályozni, és amelynek ellátásáról az állam gondoskodik.

(2) Az Országos Mérésügyi Hivatal (a továbbiakban: OMH) önálló feladat- és hatáskörrel rendelkező központi hivatal, irányítását a Kormány által kijelölt miniszter látja el, aki a hivatal elnökével kapcsolatos munkáltatói jogokat gyakorolja és jóváhagyja a hivatal szervezeti és működési szabályzatát, valamint éves munkatervét.

(3) A mérésügy központi irányító, felügyeleti és ellenőrző szerve az OMH, területi szervei (a mértékHITELESÍTŐ hivatalok) tevékenységük során az e törvényben meghatározott állami feladatokat látják el a közigazgatási eljárás szabályainak alkalmazásával.

*Hitelesítetési kötelezettség, felmentés*

Tv. 7. § (1) A hitelesítetési kötelezettség az e törvény végrehajtására kiadott kormányrendeletben felsorolt kötelező hitelesítésű használati mérőeszközökre (a továbbiakban: kötelező hitelesítésű mérőeszköz) vonatkozik.

(2) Kötelező hitelesítésű mérőeszköz csak érvényes hitelesítéssel forgalmazható, használható vagy tartható használatra kész állapotban.

(3) A kötelező hitelesítésű mérőeszköz hitelesítettetéséről

a) a belföldi forgalomba hozatal előtt (első hitelesítés) a belföldi forgalomba hozónak,

b) javítás után (javítás utáni hitelesítés) a javítást végzőnek,

c) meghatározott időközönként (időszakos hitelesítés) a mérőeszköz tulajdonosának, illetve használójának kell gondoskodnia.

(4) A helyhez kötött mérőeszköz első hitelesítettetése az üzembe helyező szerv (személy) feladata.

(5) Nem kötelező a mérőeszközök hitelesíttetése, ha azok nem kerülnek belföldi forgalomba, valamint nem kötelező a magánszemélyek által háztartási célra használt mérőeszközök időszakos hitelesíttetése.

(6) Az OMH csak jogszabályban meghatározott esetekben adhat felmentést a hitelesítetési kötelezettség alól.

(7) A mérőeszközök sajátos használati körülményeire tekintettel az OMH - az általa meghatározott feltételek teljesülése esetén - feljogosíthat más szervet az időszakos javítás utáni mérőeszköz-minősítésre. A feljogosítás alapján végzett mérőeszköz-minősítés annak hitelesítését helyettesíti.

#### *Hitelesítési engedély, típusvizsgálat*

Tv. 8. § (1) A kötelező hitelesítésű mérőeszközök hitelesítési engedély alapján hitelesíthetők. A hitelesítési engedélyt az OMH típusvizsgálat alapján adja ki.

(2) A hitelesítési engedély megszerzéséről a mérőeszköz belföldi forgalomba hozója, vagy ha ez nem állapítható meg egyértelműen, a mérőeszköz felhasználója tartozik gondoskodni.

(3) A hitelesítési engedéllyel rendelkező mérőeszköz típuson változtatást csak akkor lehet végrehajtani, ha a forgalomba hozó előzetesen gondoskodott a hitelesítési engedély módosításáról.

Tv. 9. § (1) A mérőeszköz típusvizsgálat célja annak elbírálása, hogy a mérőeszköz típus megfelel-e a vele szemben támasztott mérésügyi előírásoknak.

(2) Nemzetgazdasági vagy más fontos érdekből az OMH egyes nem kötelező hitelesítésű mérőeszközök meghatározott célú használatát típusvizsgálat eredményétől teheti függővé.

(3) Kötelező hitelesítésű mérőeszközök esetében az OMH felmentést adhat a típusvizsgálati kötelezettség alól.

(4) A hitelesítési engedélyt az OMH visszavonhatja, ha a mérőeszköz típus az engedélyezési okiratban foglaltaktól eltér, illetőleg a további hitelesítést vagy mérőeszköz használatot újabb feltételekhez kötheti.

#### *Hitelesítési eljárás*

Tv. 10. § (1) A mérőeszköz-hitelesítés célja annak elbírálása, hogy a mérőeszköz megfelel-e a vele szemben támasztott mérésügyi előírásoknak.

(2) A kötelező hitelesítésű mérőeszközök hitelesítése a hitelesítési előírásban és/vagy a hitelesítési engedélyben meghatározott mérésügyi vizsgálatból és a hitelesítés tanúsításából áll.

(3) A hitelesítés tényét a mérőeszközön elhelyezett törvényes tanúsító jel és/vagy hitelesítési bizonyítvány tanúsítja. A mérésügyi szervek által használt törvényes tanúsító jeleket és alkalmazásuk módját az e törvény végrehajtására kiadott kormányrendelet tartalmazza.

(4) A kötelező hitelesítésű mérőeszközök mérésügyi követelményeit, a hitelesítés általános feltételeit és eljárási rendjét az OMH hitelesítési előírásban határozza meg.

*Hitelesített mérőeszközök használata*

Tv. 13. § (1) A hitelesített mérőeszközt úgy kell üzemben tartani és használni, hogy rendeltetésszerű működése, a mérési eredmények pontos leolvasása biztosítva legyen.

(2) Ha a hitelesített mérőeszköz valamely méréstechnikai tulajdonsága a hitelesítés érvényének időtartamán belül megváltozik, vagy rendeltetésszerű működése kétségessé válik, a mérőeszköz használója köteles gondoskodni a mérőeszköz használaton kívül helyezéséről, javíttatásáról és hitelesíttetéséről.

(3) A hitelesített mérőeszközt - az ellenkező bizonyításáig úgy kell tekinteni, hogy annak nincs a mérési eredményt befolyásoló hibája.

*Hitelesítetési kötelezettség, felmentés*

Tv. 7. § (1) A hitelesítetési kötelezettség az e törvény végrehajtására kiadott kormányrendeletben felsorolt kötelező hitelesítésű használati mérőeszközökre (a továbbiakban: kötelező hitelesítésű mérőeszköz) vonatkozik.

(2) Kötelező hitelesítésű mérőeszköz csak érvényes hitelesítéssel forgalmazható, használható vagy tartható használatra kész állapotban.

(3) A kötelező hitelesítésű mérőeszköz hitelesíttetéséről

a) a belföldi forgalomba hozatal előtt (első hitelesítés) a belföldi forgalomba hozónak,

b) javítás után (javítás utáni hitelesítés) a javítást végzőnek,

c) meghatározott időközönként (időszakos hitelesítés) a mérőeszköz tulajdonosának, illetve használójának kell gondoskodnia.

(4) A helyhez kötött mérőeszköz első hitelesíttetése az üzembe helyező szerv (személy) feladata.

(5) Nem kötelező a mérőeszközök hitelesíttetése, ha azok nem kerülnek belföldi forgalomba, valamint nem kötelező a magánszemélyek által háztartási célra használt mérőeszközök időszakos hitelesíttetése.

(6) Az OMH csak jogszabályban meghatározott esetekben adhat felmentést a hitelesítetési kötelezettség alól.

(7) A mérőeszközök sajátos használati körülményeire tekintettel az OMH - az általa meghatározott feltételek teljesülése esetén - feljogosíthat más szervet az időszakos javítás utáni mérőeszköz-minősítésre. A feljogosítás alapján végzett mérőeszköz-minősítés annak hitelesítését helyettesíti.

*Hitelesítési engedély, típusvizsgálat*

Tv. 8. § (1) A kötelező hitelesítésű mérőeszközök hitelesítési engedély alapján hitelesíthetők. A hitelesítési engedélyt az OMH típusvizsgálat alapján adja ki.

(2) A hitelesítési engedély megszerzéséről a mérőeszköz belföldi forgalomba hozója, vagy ha ez nem állapítható meg egyértelműen, a mérőeszköz felhasználója tartozik gondoskodni.

(3) A hitelesítési engedéllyel rendelkező mérőeszköz típuson változtatást csak akkor lehet végrehajtani, ha a forgalomba hozó előzetesen gondoskodott a hitelesítési engedély módosíttatásáról.

Tv. 9. § (1) A mérőeszköz típusvizsgálat célja annak elbírálása, hogy a mérőeszköz típus megfelel-e a vele szemben támasztott mérésügyi előírásoknak.

(2) Nemzetgazdasági vagy más fontos érdekből az OMH egyes nem kötelező hitelesítésű mérőeszközök meghatározott célú használatát típusvizsgálat eredményétől teheti függővé.

(3) Kötelező hitelesítésű mérőeszközök esetében az OMH felmentést adhat a típusvizsgálati kötelezettség alól.

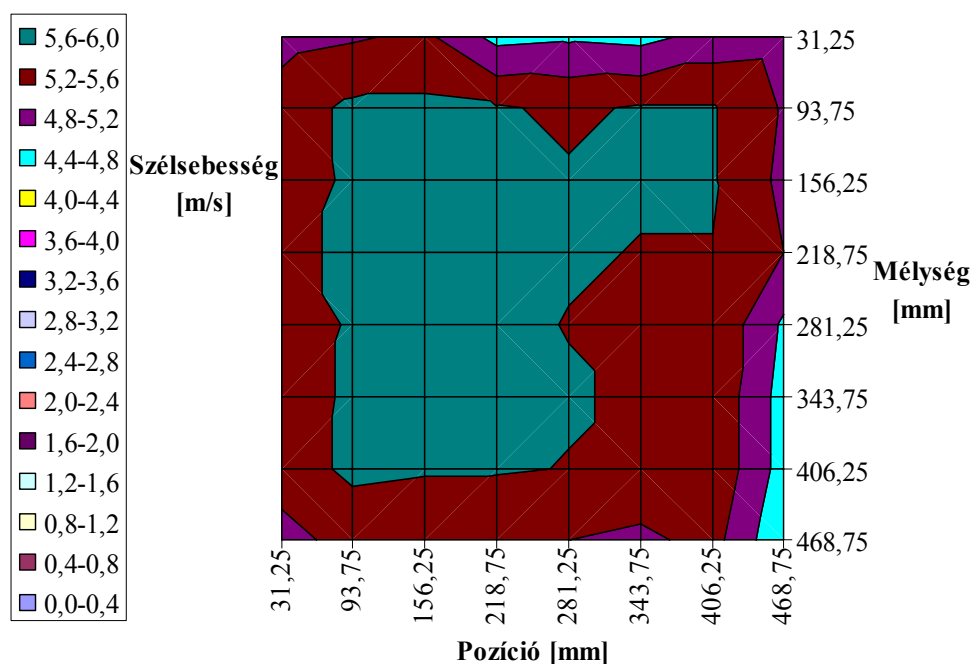
(4) A hitelesítési engedélyt az OMH visszavonhatja, ha a mérőeszköz típus az engedélyezési okiratban foglaltaktól eltér, illetőleg a további hitelesítést vagy mérőeszköz használatot újabb feltételekhez kötheti.

### A szélcsatorna kalibrálási eredményei

1. Táblázat: Manométeren mért értékek, 1/25-ös beállításnál,  $n = 500$  1/min fordulatszám

			Pozíció							
			1	2	3	4	5	6	7	8
mm			31,25	93,75	156,25	218,75	281,25	343,75	406,25	468,75
Mélység	1	31,25	49	51	54	42	43	42	47	48
	2	93,75	56	62	62	61	59	61	61	51
	3	156,25	55	62	62	62	61	61	61	50
	4	218,75	58	62	62	62	61	60	60	52
	5	281,25	52	62	62	62	60	59	59	43
	6	343,75	55	62	61	62	61	59	59	41
	7	406,25	56	62	61	61	60	59	59	41
	8	468,75	49	55	54	53	52	50	55	38

Szélesség  $n=500$  1/min fordulatszám

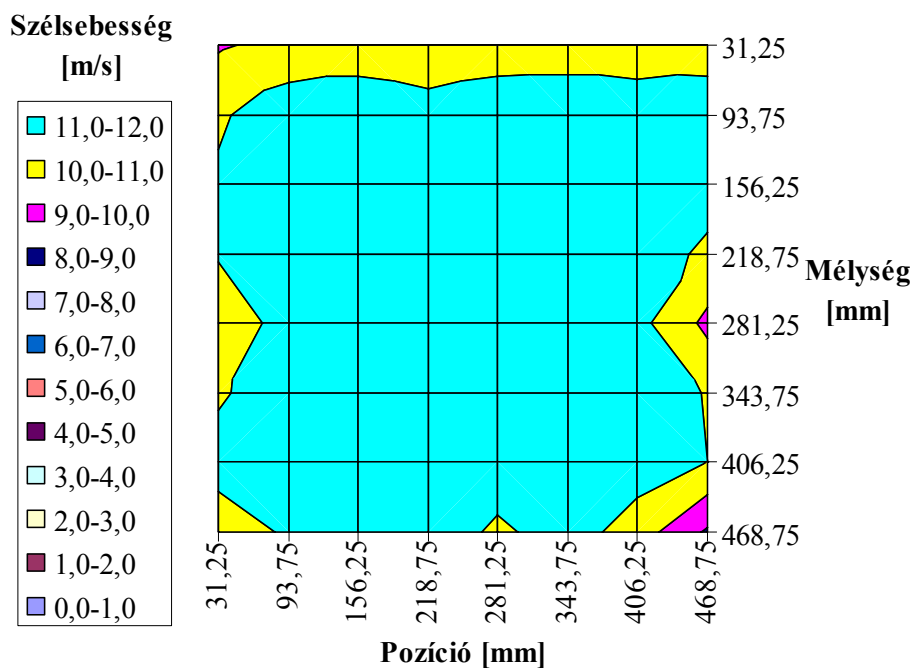


1. ábra Szélesség-eloszlás  $n = 500$  1/min fordulatszám

2. Táblázat: Manométeren mért értékek, 1/10-es beállításnál,  $n = 1000$  1/min fordulatszám

			Pozíció							
			1	2	3	4	5	6	7	8
mm			31,25	93,75	156,25	218,75	281,25	343,75	406,25	468,75
Mélység	1	31,25	75	82	85	80	85	85	83	85
	2	93,75	91	103	103	101	103	104	104	103
	3	156,25	95	103	102	103	103	102	104	100
	4	218,75	95	103	102	103	103	101	101	90
	5	281,25	80	101	102	103	103	101	98	73
	6	343,75	91	102	102	103	103	102	103	92
	7	406,25	99	103	102	103	103	105	102	93
	8	468,75	85	95	98	103	90	101	85	60

Szélesség  $n=1000$  1/min fordulatszám

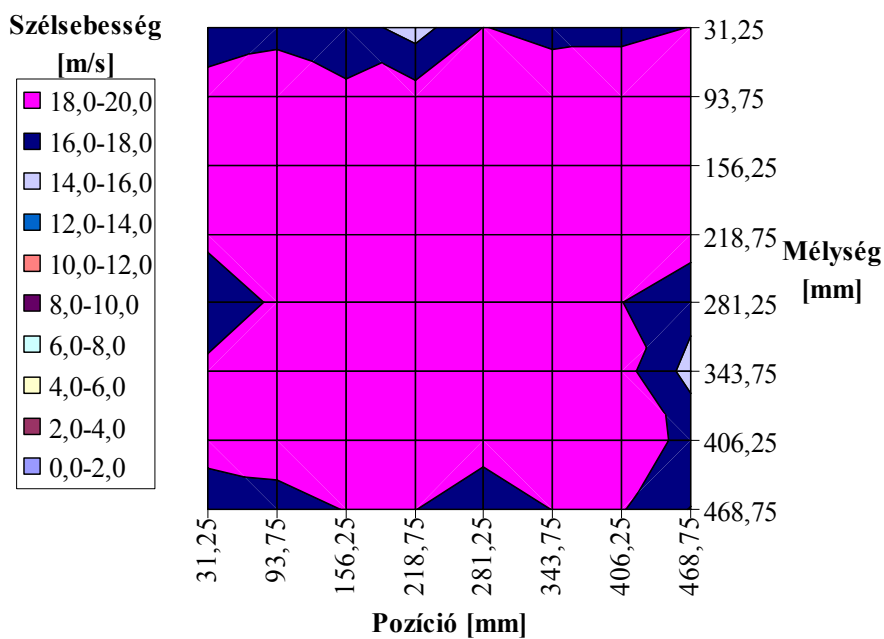


b)

2. ábra Szélesség-eloszlás  $n = 1000$  1/min fordulatszám

3. Táblázat: Manométeren mért értékek, 1/4-es beállításnál,  $n = 1500$  1/min fordulatszám

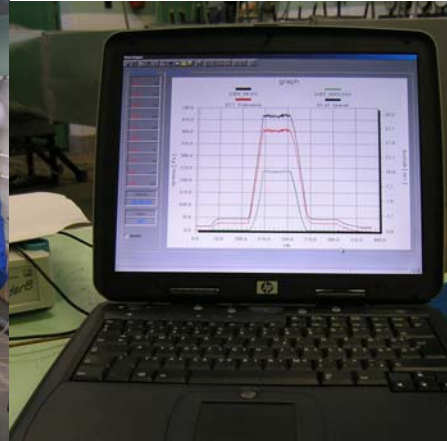
		Pozíció								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
mm		31,25	93,75	156,25	218,75	281,25	343,75	406,25	468,75	
Mélység	1	31,25	90	95	90	70	100	95	95	100
	2	93,75	107	110	103	109	111	110	112	113
	3	156,25	105	108	108	108	113	108	110	115
	4	218,75	105	108	108	109	112	107	105	111
	5	281,25	85	103	107	108	112	107	100	85
	6	343,75	105	105	106	107	112	107	108	72
	7	406,25	105	106	105	107	109	106	110	95
	8	468,75	92	95	100	100	85	100	101	78

Szélesség  $n=1500$  1/min fordulatszám3. ábra Szélesség-eloszlás  $n = 1500$  1/min fordulatszám



**Mérések a szélsatornával**

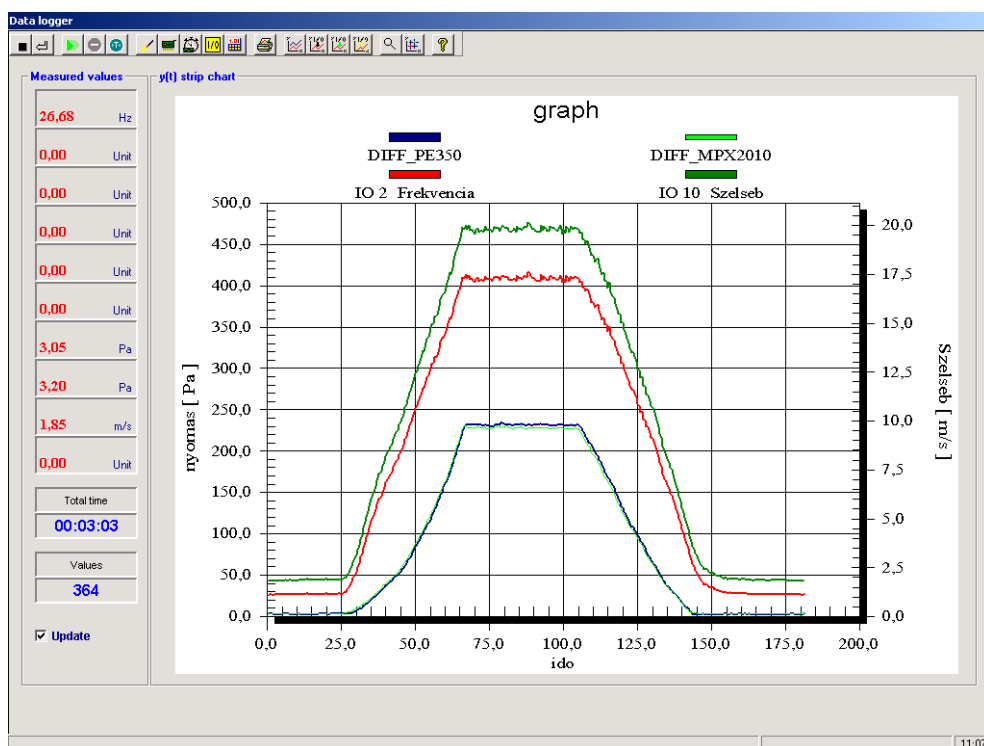
*1. ábra* Mérési helyzet



*2. ábra* A mérési adatok rögzítése



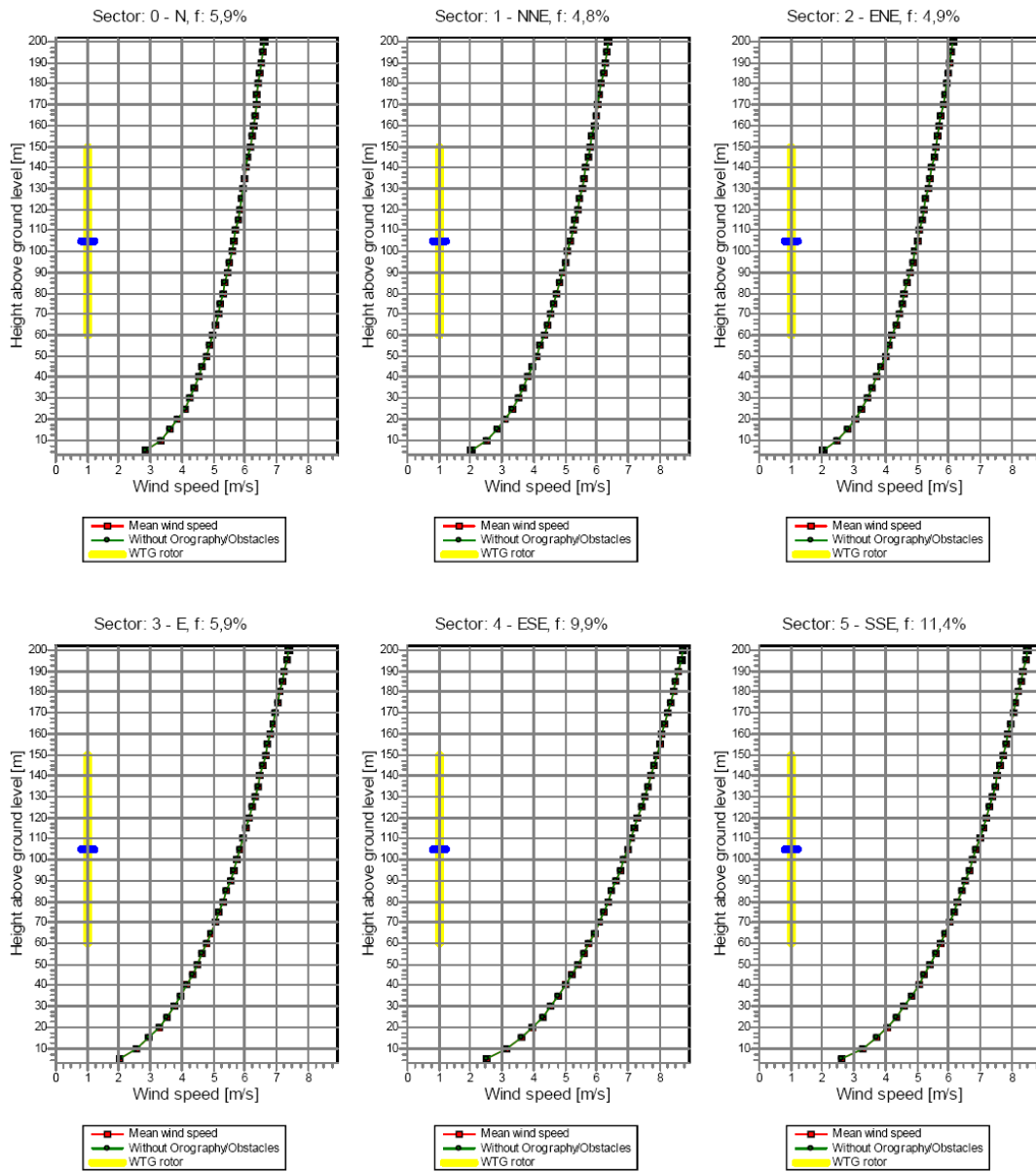
*3. ábra* Anemométer hitelesítés a gyakorlatban



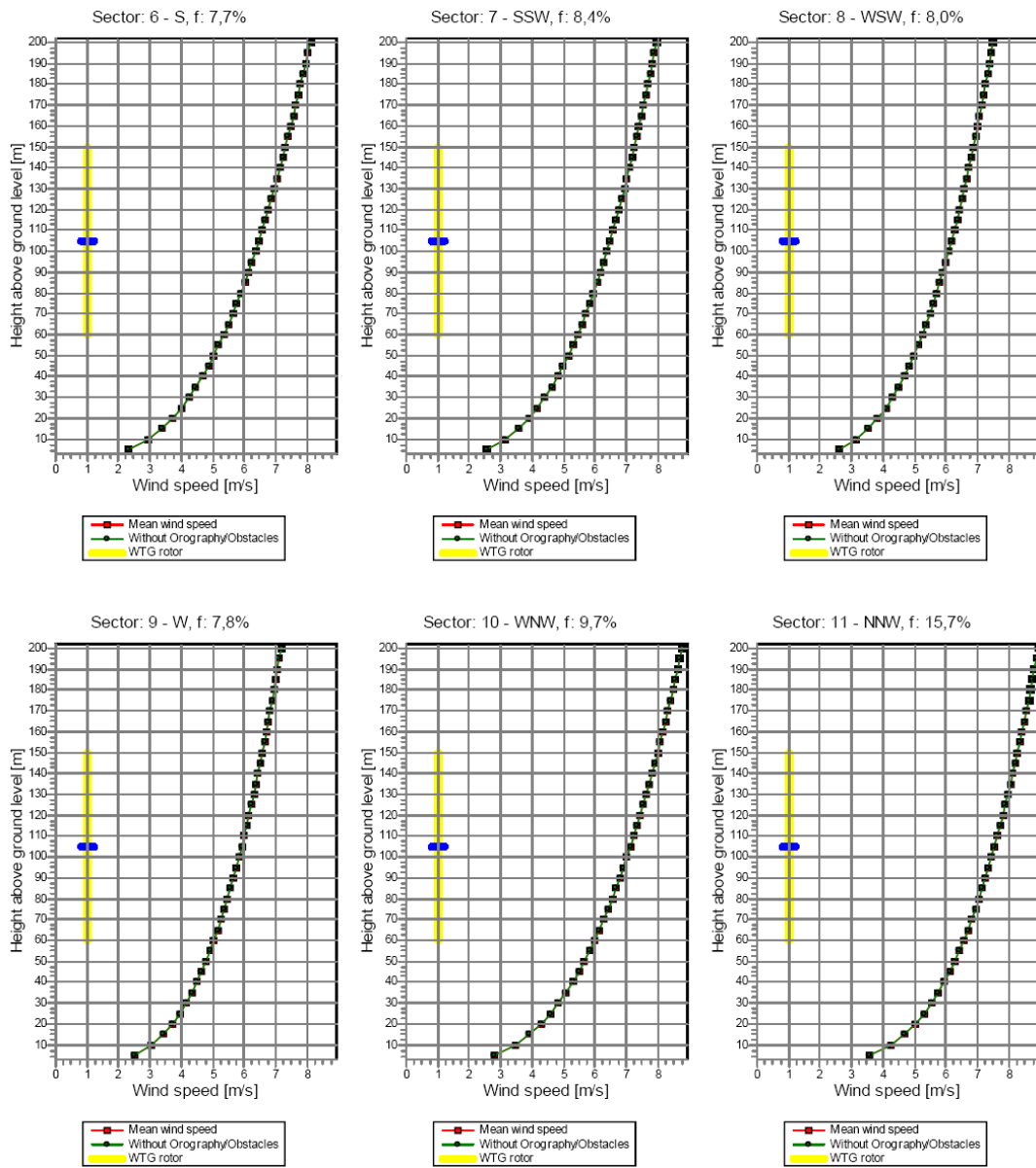
4. ábra Folyamatos mérés a teljes mérési tartományban  
(a tehetetlenség ellenőrzése)

(forrás: saját adatbázis)

## Szélségségprofilok szélirányok szerint



1. ábra Szélprofilok 6 szélirányból  
(É, ÉÉK, KÉK, K, KDK, DDK)

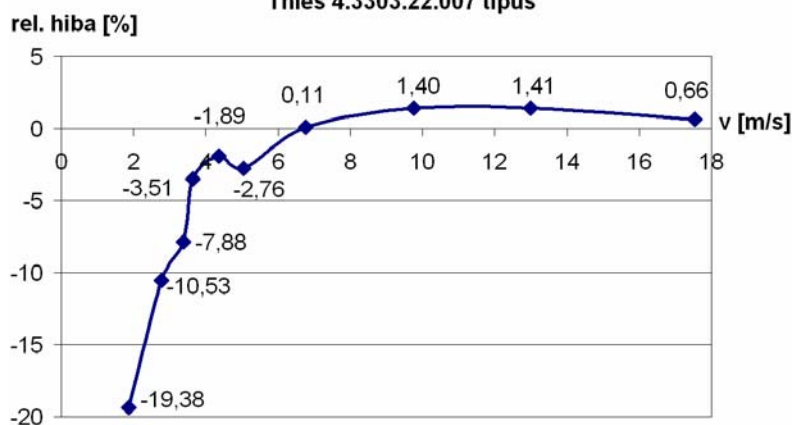


2. ábra Szélprofilok 6 szélirányból  
(D, DDNy, NyDNy, Ny, NyÉNy, ÉÉNy)

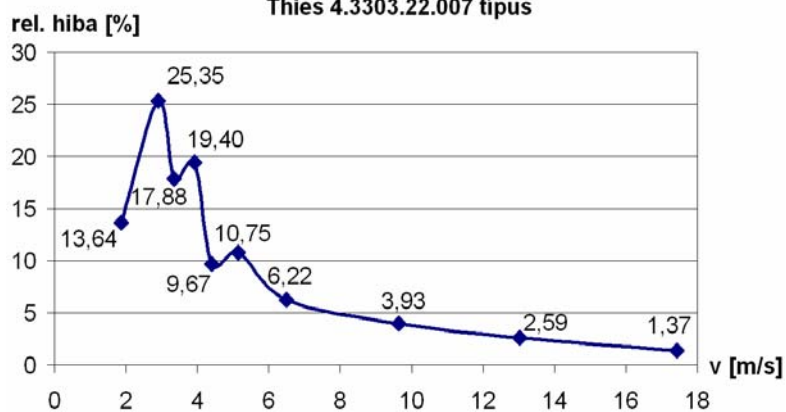
## A relatív hiba alakulása három azonos típusú anemométernél két éves mérési időszakot követően

(forrás: saját adatbázis)

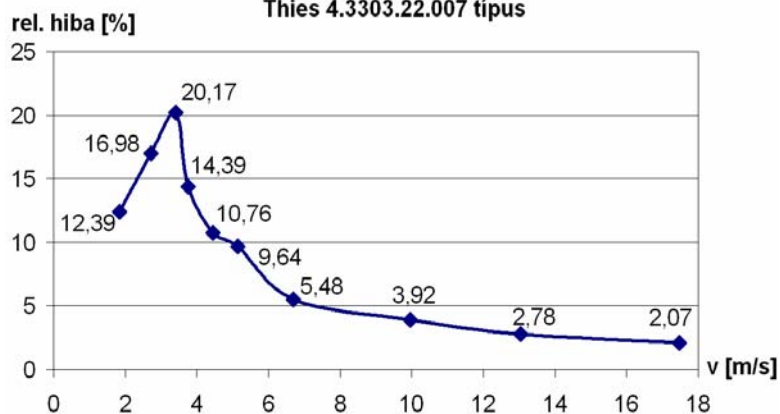
A relatív hiba alakulása az I. anemométernél  
Thies 4.3303.22.007 típus



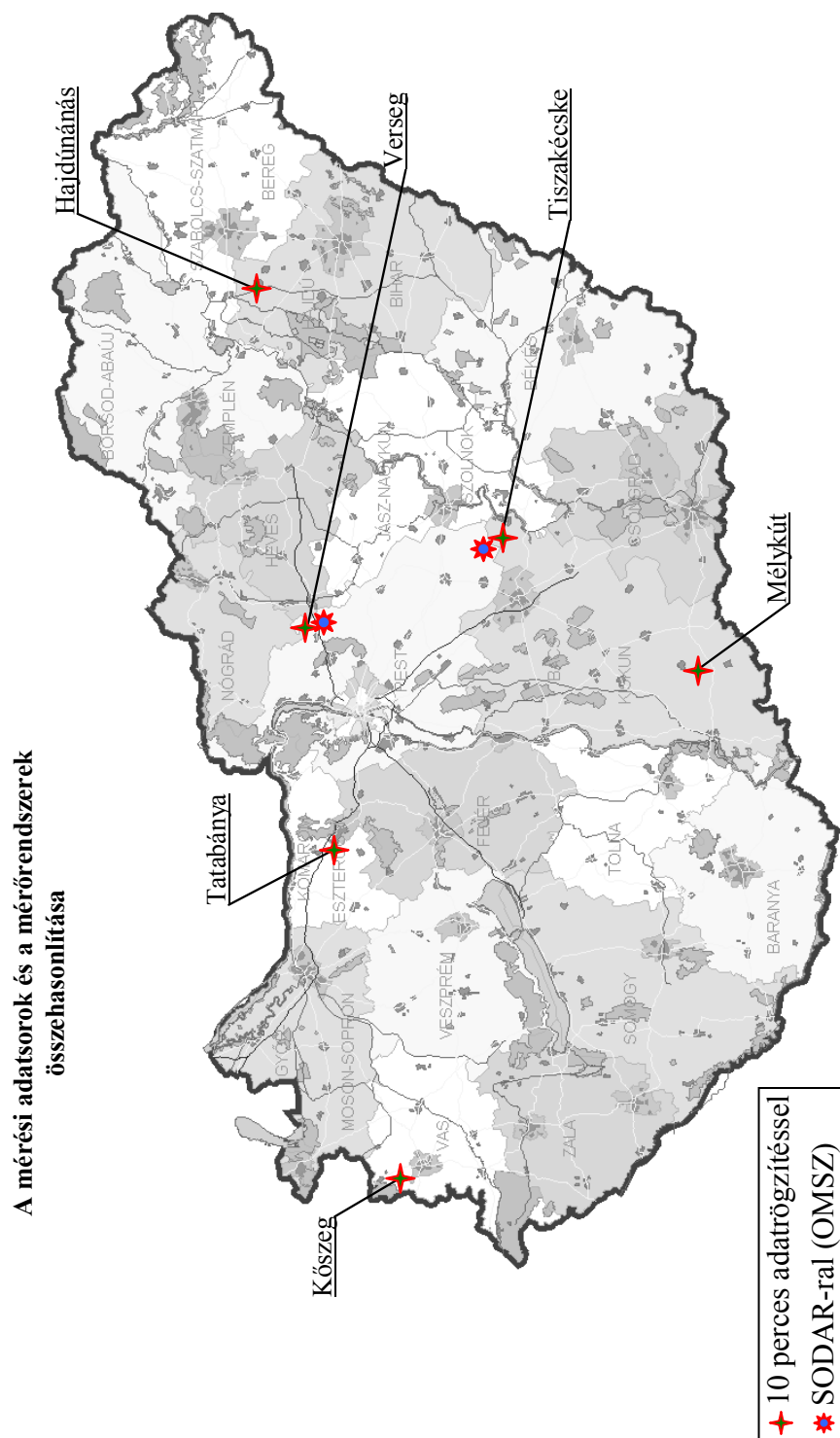
A relatív hiba alakulása a II. anemométernél  
Thies 4.3303.22.007 típus



A relatív hiba alakulása a III. anemométernél  
Thies 4.3303.22.007 típus

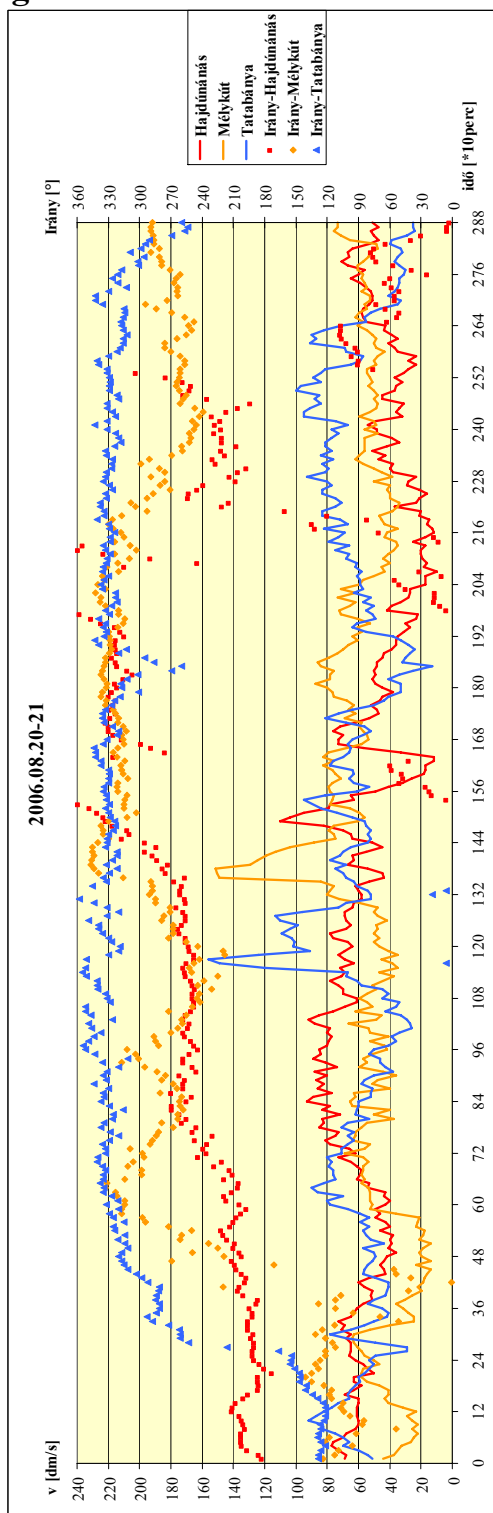


## Mérési adatsorok és mérőrendszerek összehasonlítása

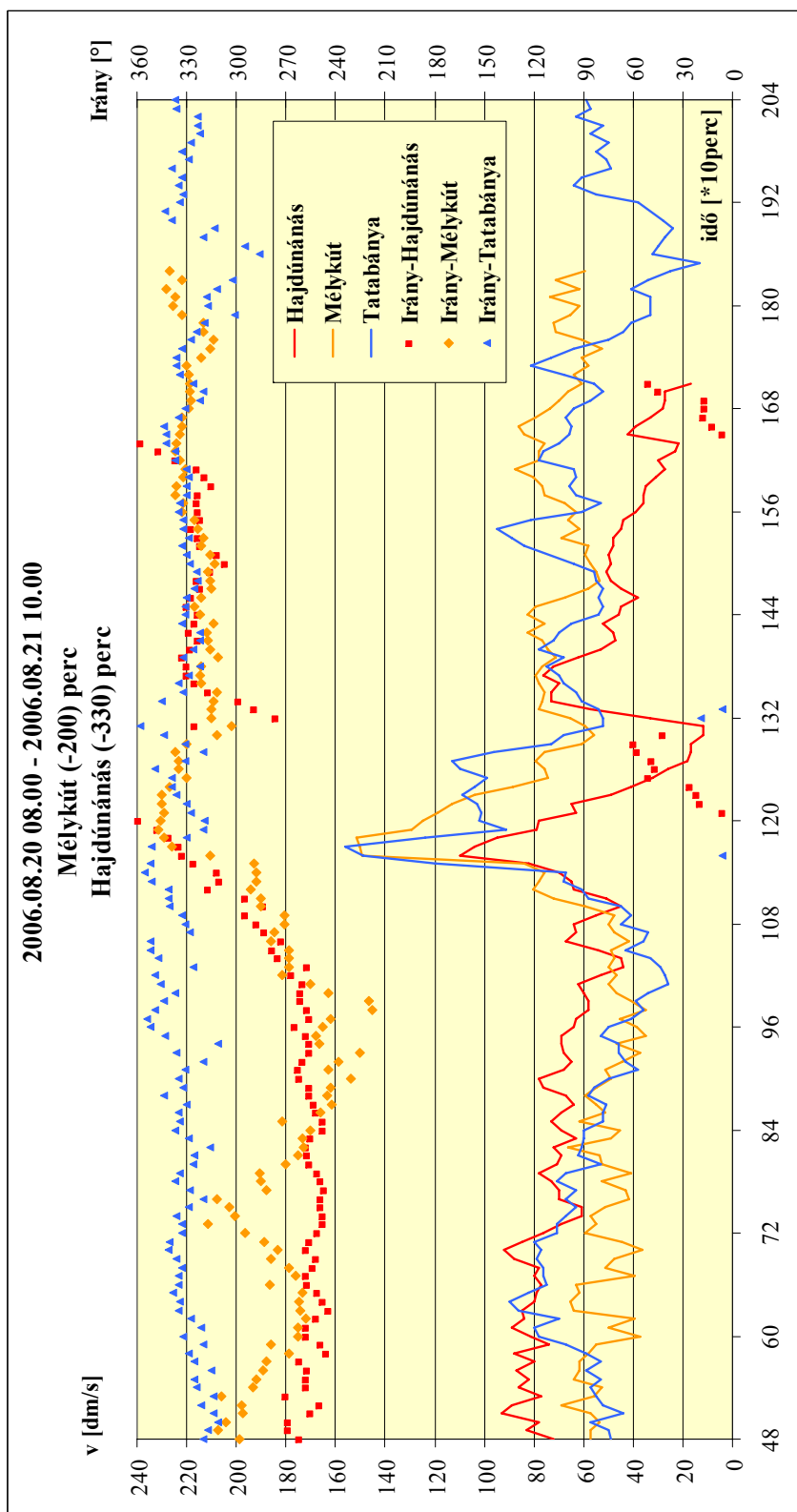


1. ábra Azonos időben azonos mérőrendszerrel végzett mérések elhelyezkedése  
(forrás: saját szerkesztés)

## Az augusztus 20-án Magyarországon átvonuló időjárási front az energetikai célú szélmérő rendszereken keresztül

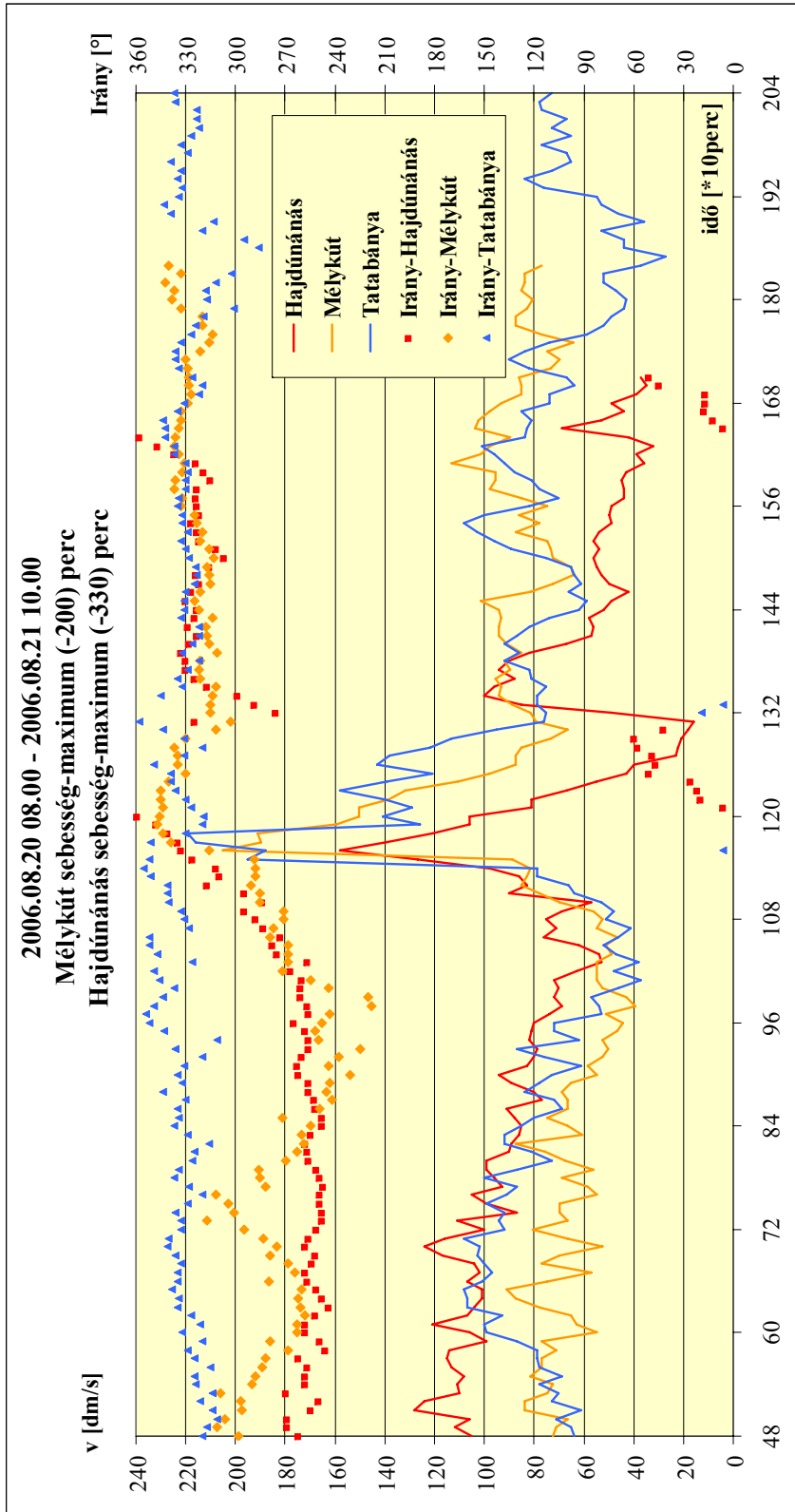


**I. ábra** 2006. 08. 20.-21.-én Tatabánya, Mélykút és Hajdúnánás térségében rögzített, 10perces átlagos szélsébség és szélirány  
(forrás: saját adatbázis)



**2. ábra** 2006. 08. 20. 8:00 – 2006. 08. 21. 10:00 között Tatabánya, Mélykút és Hajdúnánás térségében rögzített, 10perces átlagos szélsősebesség és szélirány Mélykút (-200) perc, Hajdúnánás (-330) perc időeltolással  
 (forrás: saját adatbázis)





**3. ábra** 2006. 08. 20. 8:00 – 2006. 08. 21. 10:00 között Tatabánya, Mélykút és Hajdúnánás térségében rögzített, 10perces maximális szélesebség Mélykút (-200) perc, Hajdúnánás (-330) perc időeltolással  
 (forrás: saját adatbázis)

## Többlet energiatermelés az oszlopmagasság növelésének hatására

Height	Mean wind speed [m/s]	Wind energy [kWh/m <sup>2</sup> ]	Yield [MWh]	Yield change [MWh]	Wind energy [kWh/m <sup>2</sup> ]	Yield [MWh]	Yield change [MWh]	Height	Mean wind speed [m/s]	Wind energy [kWh/m <sup>2</sup> ]	Yield [MWh]	Yield change [MWh]
5	2,52	156	309	-6 954	156	309	-10 042	5	2,52	156	309	-10 042
10	3,14	292	741	-6 522	292	741	-9 610	10	3,14	292	741	-9 610
15	3,58	419	1 184	-6 079	419	1 184	-9 167	15	3,58	419	1 184	-9 167
20	3,93	541	1 620	-5 643	541	1 620	-8 731	20	3,93	541	1 620	-8 731
25	4,22	660	2 045	-5 218	660	2 045	-8 306	25	4,22	660	2 045	-8 306
30	4,47	776	2 458	-4 805	776	2 458	-7 893	30	4,47	776	2 458	-7 893
35	4,70	889	2 860	-4 403	889	2 860	-7 492	35	4,70	889	2 860	-7 492
40	4,91	999	3 250	-4 013	999	3 250	-7 101	40	4,91	999	3 250	-7 101
45	5,10	1 108	3 630	-3 633	1 108	3 630	-6 721	45	5,10	1 108	3 630	-6 721
50	5,28	1 215	4 000	-3 263	1 215	4 000	-6 351	50	5,28	1 215	4 000	-6 351
55	5,45	1 321	4 361	-2 902	1 321	4 361	-5 990	55	5,45	1 321	4 361	-5 990
60	5,61	1 426	4 712	-2 551	1 426	4 712	-5 640	60	5,61	1 426	4 712	-5 640
65	5,76	1 529	5 058	-2 205	1 529	5 058	-5 294	65	5,76	1 529	5 058	-5 294
70	5,90	1 631	5 396	-1 867	1 631	5 396	-4 955	70	5,90	1 631	5 396	-4 955
75	6,04	1 732	5 727	-1 536	1 732	5 727	-4 624	75	6,04	1 732	5 727	-4 624
80	6,17	1 833	6 045	-1 218	1 833	6 045	-4 306	80	6,17	1 833	6 045	-4 306
85	6,29	1 932	6 359	-904	1 932	6 359	-3 992	85	6,29	1 932	6 359	-3 992
90	6,41	2 031	6 667	-596	2 031	6 667	-3 684	90	6,41	2 031	6 667	-3 684
95	6,53	2 130	6 968	-295	2 130	6 968	-3 383	95	6,53	2 130	6 968	-3 383
100	6,64	2 227	7 263	0	2 227	7 263	-3 088	100	6,64	2 227	7 263	-3 088
105	6,75	2 325	7 552	289	2 325	7 552	-2 800	105	6,75	2 325	7 552	-2 800
110	6,86	2 421	7 834	571	2 421	7 834	-2 517	110	6,86	2 421	7 834	-2 517
115	6,96	2 517	8 111	847	2 517	8 111	-2 241	115	6,96	2 517	8 111	-2 241
120	7,06	2 613	8 381	1 118	2 613	8 381	-1 970	120	7,06	2 613	8 381	-1 970
125	7,16	2 709	8 646	1 383	2 709	8 646	-1 705	125	7,16	2 709	8 646	-1 705
130	7,26	2 804	8 906	1 643	2 804	8 906	-1 446	130	7,26	2 804	8 906	-1 446
135	7,35	2 899	9 160	1 897	2 899	9 160	-1 192	135	7,35	2 899	9 160	-1 192
140	7,44	2 993	9 408	2 145	2 993	9 408	-943	140	7,44	2 993	9 408	-943
145	7,53	3 087	9 652	2 389	3 087	9 652	-700	145	7,53	3 087	9 652	-700
150	7,62	3 181	9 890	2 627	3 181	9 890	-461	150	7,62	3 181	9 890	-461
155	7,70	3 275	10 123	2 860	3 275	10 123	-228	155	7,70	3 275	10 123	-228
160	7,79	3 369	10 351	3 088	3 369	10 351	0	160	7,79	3 369	10 351	0
165	7,87	3 462	10 575	3 312	3 462	10 575	223	165	7,87	3 462	10 575	223
170	7,95	3 555	10 793	3 530	3 555	10 793	442	170	7,95	3 555	10 793	442
175	8,03	3 648	11 007	3 744	3 648	11 007	656	175	8,03	3 648	11 007	656
180	8,11	3 741	11 217	3 954	3 741	11 217	866	180	8,11	3 741	11 217	866
185	8,19	3 834	11 422	4 159	3 834	11 422	1 070	185	8,19	3 834	11 422	1 070
190	8,26	3 926	11 622	4 359	3 926	11 622	1 271	190	8,26	3 926	11 622	1 271
195	8,34	4 019	11 819	4 556	4 019	11 819	1 467	195	8,34	4 019	11 819	1 467
200	8,41	4 111	12 011	4 748	4 111	12 011	1 659	200	8,41	4 111	12 011	1 659
205	8,48	4 203	12 199	4 936	4 203	12 199	1 847	205	8,48	4 203	12 199	1 847
210	8,55	4 295	12 382	5 119	4 295	12 382	2 031	210	8,55	4 295	12 382	2 031

a)

b)

### 1. ábra Várható energiatermelés az összes szélirány átlagában

Az ábrán Mélykút térségében 100 méter (1. a ábra) és 160 méter (1. b ábra) oszlopmagasságú Fuhrlander 2500 kW névleges teljesítményű szélérőmű várható energiatermelése látható, 2006 szeptemberében mért adatok alapján.

## A szélenergia hasznosításhoz kapcsolódó szakkifejezések és meghatározásuk *(forrás: MSZ EN 61400-1:2004)*

### **évi középérték** (annual average)

Megfelelő méretű és időtartamú mért adatkészlet középértéke a várt mennyiségi érték megbecslésére. A meghatározási időtartam az évek egészszámú többszöröse legyen, hogy az évszakváltás nem stacionárius hatásai a középértéket ne befolyásolják.

### **a szélesebb évi középértéke** (annual average wind speed)

Az a szélesebb, amit az évi középérték alapján határoztak meg.

### **önműködő visszakapcsolási ciklus** (auto-reclosing cycle)

0,01 másodperctől néhány másodpercig tartó esemény, amíg a kioldott megszakító a hálózati hiba után önállóan visszakapcsol és újra a hálózathoz csatlakozik.

### **reteszelés (szélerőmű)** [blocking (wind turbines)]

Mechanikus csap, vagy más eszköz (de nem szokványos mechanikus fék) használata a forgórész-tengely, vagy az elforgató szerkezet mozgásának megakadályozására.

### **fék (szélerőmű)** [brake (wind turbines)]

A forgórész fordulatszámának csökkentésére vagy a forgás megállítására szolgáló eszköz.

### **katasztrófális meghibásodás (szélerőmű)** [catastrophic failure (wind turbines)]

A szerkezet, vagy egy részegység megsérülése vagy tönkremenetele, amely olyan létfontosságú funkció kieséséhez vezet, amely a biztonságot csökkenti.

### **jellemző érték (anyagjellemző)** [characteristic value (of a material property)]

Megadott valószínűségi érték, amelyet feltételezett végtelen számú vizsgálat sorozatnál sem érnek el.

### **erősen tagolt táj** (complex terrain)

Jelentős topográfiai változásokat és tájakadályokat adó környezet, amely a légáramlás zavarát okozhatja.

### **szabályozórendszer (szélerőmű)** [control system (wind turbines)]

Olyan részegység, amely a szélerőmű állapotáról és/vagy annak környezetéről információkat (adatokat) vesz, és a szélerőművet úgy szabályozza, hogy az a működési határain belül legyen.

### **bekapcsolási szélesebbesség** ( $v_{in}$ ) [cut-in wind speed ( $v_{in}$ )]

Az a legkisebb közepes szélesebbesség a szélerőmű oszlopmagasságában, amelynél a szélerőmű hasznos teljesítményt kezd leadni (lásd: oszlopmagasság).

### **lekapcsolási szélesebbesség** ( $v_{out}$ ) [cut-out wind speed ( $v_{out}$ )]

Az a legnagyobb közepes szélesebbesség a szélerőmű oszlopmagasságában, amelyre a szélerőművet hasznos teljesítmény leadására méretezték (lásd: oszlopmagasság).

### **méretezési határértékek** {design limits}

A méretezés legnagyobb és legkisebb értékei.

### **rejtett hiba** (látens hibaként is ismert) [dormant failure (also known as latent fault)]

Egy részegység vagy rendszer olyan hibája, amelyet normál üzemnél nem észlelnek.

**szélalatti (downwind)**

A fő szélvektorral azonos irányú szél.

**erősáramú hálózat (electrical power network)**

Egyedi berendezések, alállomások, kábelek, illetve vezetékek a villamos energia átvitelére, illetve elosztására.

MEGJEGYZÉS: A hálózat különböző részeinek határait megfelelő feltételek, mint pl. földrajzi hely, tulajdonjog, feszültség stb. alapján kell meghatározni.

**vészlekapcsolás (szélerőmű) [emergency shutdown (wind turbines)]**

A szélerőmű gyors lekapcsolása, amelyet a biztonsági rendszer, vagy a kézi beavatkozás kezdeményez.

**környezeti feltételek (environmental conditions)**

Olyan környezeti jellemzők (tengerszint feletti magasság, hőmérséklet, légnedvesség stb.) amelyek hatással lehetnek a szélerőmű viselkedésére.

**külső feltételek (szélerőmű) [external conditions (wind turbines)]**

A szélerőmű üzemelését befolyásoló tényezők, mint a szélviszonyok, a villamoshálózati feltételek, és egyéb éghajlati tényezők (hőmérséklet, hó, jég stb.).

**szélsőséges szélsébség (extreme wind speed)**

A  $t$  másodpercre átlagolt legnagyobb szélsébség, amely valószínűleg  $N$  évre előírt időtartam alatt egyszer fordul elő („visszatérési időtartam”:  $N$  év).

MEGJEGYZÉS: Ez a szabvány  $N = 50$  és  $N = 1$  év visszatérési időtartamokat, illetve  $t = 1s$  és  $t = 10perc$  átlagolási időket használ. Köznapi nyelvben gyakran a kevésbé pontos „túlélési szélsébséget” használják. Ez a szabvány azonban a szélerőművet szélsőséges szélsébség tervezési terhelési esetekre méretezi.

**meghibásodásbiztos (fail-safe)**

Egy részegység olyan szerkezeti tulajdonsága, amely megakadályozza, hogy kritikus hibák következtében meghibásodjon.

**széllökés (gust)**

A szélsébség időszakos változása.

MEGJEGYZÉS. A széllökés felfutási idejével, amplitúdójával (nagyságával) és időtartamával jellemezhető.

**vízszintes tengelyű szélerőmű (horizontal axis wind turbine)**

Olyan szélerőmű, amelynél a forgórész tengelye a széláramlással lényegében párhuzamos.

**agy (szélerőmű) [hub (wind turbines)]**

A forgórészlapátokat vagy forgórészlapát-csoportokat a forgórész tengelyére rögzítő szerelvény.

**oszlopmagasság (szélerőmű) [hub-height (wind turbines)]**

A szélerőmű forgórészének középpontjának magassága a talajszint felett (lásd: súrolt felület).

**üresjárás (szélerőmű) [idling (wind turbines)]**

A szélerőmű olyan üzemi feltétele, amelynél az lassan forog és nem ad le teljesítményt.

**tehetetlenségi (leválási) tartomány** (inertial subrange)

A szélörvénylés spektrumának frekvenciatartománya, ahol az örvények - az izotropia elérése után - elhanyagolható energiavesztéssel egymás után leszakadnak.

MEGJEGYZÉS. 10 m/s jellemző szélességnél a tehetetlenségi (leválási) tartomány 0,002Hz - 2kHz közé esik.

**független üzem** (isolated operation)

A hálózat leválása után az erősáramú rendszer egy különálló részének stabil és átmeneti üzeme.

**határállapot** (limit state)

A szerkezet és a ráható terhelések olyan állapota, amelynek túllépése esetén a szerkezet a méretezési feltételeknek nem felel meg (ISO 2394).

MEGJEGYZÉS: A szerkezeti számítások (azaz a határállapotra vonatkozó méretezési feltételek) célja az, hogy a határállapot elérésének valószínűsége, a szerkezet típusára előírt érték alatt maradjon (ISO 2394).

**Logaritmikus szélprofil** (logarithmic wind shear law)

Lásd a szélprofil.

**legnagyobb teljesítmény** [maximum power (wind turbines)]

Az a legnagyobb hasznos villamos teljesítmény, amelyet a szélerőmű normál üzemben lead.

**közepes szélesség** (mean wind speed)

A szélesség pillanatnyi értékének statisztikai közepe egy adott időszak alatt, amely néhány másodperc és több év között változhat.

**gépház (gondola)** (nacelle)

Egy vízszintes tengelyű szélerőmű tornyának felső részén lévő burkolat, amelyben a hajtótengelyt és további részegységeket helyeztek el.

**hálózati csatlakozópont (szélerőmű)** [network connection point (wind turbines)]

Az egyedülálló szélturbina csatlakozókapcsa, vagy szélerőmű park esetén a telepítés helyén az energiagyűjtő rendszer gyűjtősinjéhez csatlakozó pont.

**normállekapcsolás (szélerőmű)** [normal shutdown (wind turbines)]

Olyan lekapcsolás, amelynek minden állapotát a szabályozórendszer vezérli.

**üzemeltetési határok** (operating limits)

A szabályozó- és a védelmi rendszert működésbe hozó feltételek sorozata, amelyet a szélerőmű gyártója határoz meg.

**leállított szélerőmű** (parked wind turbine)

A szélerőmű szerkezetétől függően bekapcsolásra várakozó, nyugalmi állapotban lévő, vagy üresen járó berendezés.

**energiagyűjtő rendszer (szélerőmű)** [power collection systems (wind turbines)]

Villamos csatlakozórendszer, amely az energiát egy vagy több szélerőműtől fogadja. A teljes villamos berendezés a szélerőmű csatlakozókapcsától a hálózati csatlakozópontig tart.

**exponenciális szélprofil** (power law for wind shear)

Lásd a szélprofil.

**kimeneti teljesítmény** (power output)

Egy eszköz meghatározott módon és meghatározott célra leadott teljesítménye.

MEGJEGYZÉS (szélerőmű): A szélerőmű által leadott villamos teljesítmény.

**védelmi rendszer (szélerőmű)** (protection system (wind turbines)]

Olyan rendszer, amely a szélerőmű méretezési határértékein belüli üzemet biztosítja.

**névleges teljesítmény** (rated power)

Egy alkatrész (részegység), eszköz vagy berendezés meghatározott üzemeltetési feltételekhez rendelt, általában a gyártó által megadott teljesítménye.

MEGJEGYZÉS (szélerőmű): A szélerőmű normál üzemi feltételekhez méretezett legnagyobb állandó kimeneti teljesítménye.

**névleges szélesebbesség** ( $v_r$ ) (rated wind speed ( $v_r$ )]

Előírt szélesebbesség, amelynél a szélerőmű a névleges teljesítményét eléri.

**Rayleigh-eloszlás** (Rayleigh distribution)

Valószínűségi eloszlási függvény, lásd a 3.66. szakaszt (szélesebbesség-eloszlás).

**vonatkoztatási szélesebbesség** ( $v_{ref}$ ) (reference wind speed ( $v_{ref}$ )]

A szélerőmű osztályának meghatározásához tartozó szélesebbesség alapjellemezője. A többi, az éghajlati jellemzőkre vonatkozó méretezés a vonatkoztatási szélesebbeségből és más alapjellemezőkből vezethető le (lásd a 6. fejezetet).

MEGJEGYZÉS: A ( $v_{ref}$ ) vonatkoztatási szélesebbeséggel méretezett, a szélerőműosztálynak megfelelő szélerőmű olyan éghajlati viszonyokat bírjon ki, amelynél a szélsőséges szélesebbeségek 10 perces középértéke 50 év visszatérési idővel számolva azonos az oszlopmagasságban mért értékkel, vagy kisebb, mint a ( $v_{ref}$ ) szélesebbesség.

**rezonancia** (resonance)

A rezgő rendszerben fellépő jelenség, amelyben a kényszerrezgés periódusideje megközelíti a szabadrezgés periódusidejét.

**a forgórészre vonatkozó szélesebbességvektor** (rotationally sampled wind velocity)

A szélerőmű forgó rotorjának egy adott pontján fellépő szélesebbességvektor.

MEGJEGYZÉS: A forgórészre vonatkozó szélesebbességvektor örvénylési spektruma határozottan eltér a szabad örvénylési spektrumtól.

Forgás közben a rotor felületét térben változó áramlás éri. Az így keletkező turbulenciaspektrum a forgási frekvencia számos változatát és harmonikusát fogja tartalmazni.

**forgórész fordulatszáma (szélerőmű)** (rotor speed (wind turbines)]

A szélerőmű forgórészének tengelykörüli fordulatszáma.

**érdességi hossz** (roughness length)

Extrapolált magasság, amelynél a közepes szélesebbesség nullává válik azzal a feltételezéssel, hogy a függőleges szélprofil a magassággal logaritmikusan változik.

**biztonságos élettartam** (safe life)

Előírt üzemi élettartam a végzetes meghibásodás valószínűségének megadásával.

**tervezett karbantartás** (scheduled maintenance)

Rögzített időterv szerint végrehajtandó megelőző karbantartás.

**használhatósági határállapot** (serviceability limit state)

Határállapot, amely megfelel a normál üzemeltetés kritériumának (ISO 2394).

**nyugalmi állapot** (standstill)

A megállított szélerőmű állapota.

**tartószerkezet (szélerőmű)** [support structure (wind turbines)]

A szélerőmű tornyot és az alapot magában foglaló része.

**túlélési szélesség** (survival wind speed)

Annak a legnagyobb sebességnek népies kifejezése, amelyre a szerkezetet méretezték.

MEGJEGYZÉS: Ez a szabvány nem használja ezt a kifejezést. A méretezési követelmények ezért a szélsőséges szélességre vonatkoznak (lásd: szélsőséges szélesség).

**súrolt felület** (swept area)

Az a szél irányára merőleges felület, amelyet a forgórész egy teljes körbefordulás közben leír.

**örvényleési erősség** (turbulence intensity)

A szélesség szabványos eltéréseinek és a közepes szélességnek az aránya, amelyet ugyanarra a szélesség-mintavételi adathalmazra és előírt időtartamra határoztak meg.

**örvényleési hosszjellemző** (turbulence scale parameter)

Az a hullámhossz, amelynél a dimenziómentes hosszanti teljesítményspektrum-sűrűség 0,05.

MEGJEGYZÉS: A hullámhossz meghatározása  $\Lambda_1 = \frac{v_{hub}}{f_0}$ , ahol  $f_0 S_1(f_0) / \sigma_1^2 = 0,05$

**terhelhetőségi határállapot** (ultimate limit state)

A legnagyobb terhelhetőséggel általában megegyező határállapotok (ISO 2394).

**nem tervezett karbantartás** (unscheduled maintenance)

A tervezett karbantartási időrendtől eltérő időben elvégzett karbantartás egy részegység állapotára vonatkozó jelzés vétele után.

**ellenszél** (upwind)

A fő szélvektorral ellentétes irányú szél.

**függőleges tengelyű szélerőmű** (vertical axis wind turbine)

Szélerőmű, amelynek forgórész-tengelye függőleges.

**Weibull-eloszlás** (Weibull distribution)

Valószínűségi eloszlás függvény (lásd: szélesség-eloszlás).

**szélpark** (wind farm)

Lásd a szélerőmű állomás.

**szélerőmű állomás** (wind power station)

Szélerőművek csoportja vagy csoportjai, amelyeket általában szélparknak neveznek.

**szélprofil - szélgradiens** (wind profile - wind shear law)

A talaj feletti magassághoz tartozó feltételezett szélesség-változások matematikai kifejezése.

MEGJEGYZÉS. Általában a logaritmus (1) vagy exponenciális (2) profilt alkalmazzák.

$$v(z) = v(z_r) \cdot \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)} \quad (1)$$

$$v(z) = v(z_r) \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \quad (2)$$

ahol:

$v(z)$  a szélesség  $z$  magasságban;

$z$  a talaj feletti magasság;

$z_r$  a talaj feletti vonatkoztatási magasság a szélprofil meghatározására;

$z_0$  érdességi hossz;

$\alpha$  a szélgradiens kitevő (szélprofil kitevő).

**szélesség-eloszlás** (wind speed distribution)

Valószínűségi eloszlásfüggvény, amelyet a szélességek hosszabb időtartamon belüli eloszlásának leírására alkalmaznak.

MEGJEGYZÉS. Gyakran alkalmazott eloszlásfüggvény a Rayleigh-függvény,  $P_R(v_0)$  és a Weibull-függvény  $P_W(v_0)$ .

$$P_R(v_0) = 1 - \exp\left[-\pi\left(\frac{v_0}{2v_{ave}}\right)^2\right] \quad (3)$$

$$P_W(v_0) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v_0}{C}\right)^k\right] \quad (4)$$

$$v_{ave} = \begin{cases} C\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \\ C\frac{\sqrt{\pi}}{2}, \quad ha \quad k = 2 \end{cases} \quad (5)$$

ahol

$P(v_0)$  halmozott valószínűségi függvény, annak a valószínűség, hogy  $v < v_0$ ;

$v_0$  a szélesség (határérték);

$v_{ave}$  a  $v$  szélesség középértéke;

$C$  a Weibull-függvény hosszjellemzője;

$k$  a Weibull-függvény alakjellemzője;

$\Gamma$  a gammafüggvény.

Mind a  $C$ , mind a  $k$  valóságos adatokból levezethető. A Rayleigh- és a Weibull-függvény azonos, ha  $k = 2$  értéket választjuk, továbbá  $C$  és  $v_{ave}$  azokat a feltételeket kielégítik, amelyeket az (5) egyenlet  $k = 2$  értékre megad.

Az eloszlási függvények azt a halmozott valószínűséget adják meg, ahol a szélesség kisebb, mint  $v_0$ . Ebből



következik, hogy  $(P(v_1) - P(v_2))$  azt a részidőt adja meg, amelyben a szélesebbesség  $v_1$  és  $v_2$  határok között mozog. Az eloszlási függvények levezetéséből kapjuk a vonatkozó valószínűségi sűrűségfüggvényt.

**szélgradiens** (wind shear)

A szélesebbesség változása a szélirányra merőleges síkban.

**szélgradiens-kitevő** (Hellmann-kitevő) (wind shear exponent)

Általánosan exponenciális kitevőként is ismert, (lásd: szélprofil- szélgradiens).

**szélesebbesség** (wind speed)

A tér egy kijelölt pontját körülvevő, kis mennyiségű levegő sebessége.

MEGJEGYZÉS. A szélesebbesség a helyi szélesebbességvektor hossza is (lásd: szakaszt, szélesebbességvektor).

**szélerőmű** (WTGS) [wind turbine generator system (WTGS)]

Olyan berendezés, amely a szél kinetikus energiáját villamos energiává alakítja át.

**szélesebbességvektor** (wind velocity)

Egy rögzített pontot körülvevő kis mennyiségű levegő sebességvektora. A vektor hossza egyenlő a kis levegőmennyiség sebességével (azaz a helyi szélesebbességgel).

MEGJEGYZÉS: Ezért valamely pont vektora annak a kis levegőmennyiség helyi vektorának időbeli származtatása, amely a ponton áthalad.

**a szélerőmű villamos rendszere** (WTGS electrical system)

A szélerőmű összes villamos berendezése a csatlakozókapcsait is beleértve, köztük a földelési, az egyenpotenciálra hozó és az adatátviteli berendezéseket. A szélerőműn belüli olyan vezetéket is tartalmazza, amely a szélerőmű különleges földelését látja el.

**a szélerőmű csatlakozókapcsai** (WTGS terminals)

A szélerőmű szállítója által megadott pont vagy pontok, amelyeken át a szélerőmű az energiagyűjtő berendezéssel összeköthető. Tartalmazza az energia- és adatátviteli összekötéseket is.

**elforgató mozgás** (yawing)

A forgórész-tengely forgása a függőleges tengely körül (csak a vízszintes tengelyű szélerőműnél).

**elfordulási hiba** (yaw misalignment)

A szélerőmű forgórész-tengelyének vízszintes eltérése a széliránytól.

## A jelek és szakkifejezések rövidítései

### 1. Jelek és mértékegységek

$a$	az örvénylési-szórás modell magassági jellemzője	[-]
$C$	a Weibull-függvény hosszjellemzője	[m/s]
$Coh$	koherenciafüggvény	
$D$	forgórész átmérő	[m]
$f$	frekvencia	[s <sup>-1</sup> ]
$f_d$	anyagszilárdsági méretezési érték	[-]
$f_k$	anyagszilárdsági jellemző érték	[-]
$F_d$	terhelési méretezési érték	[-]
$F_k$	a jellemző terhelési érték	[-]

$I_{15}$	az örvénylés-erősség jellemző értéke oszlopmagasságban, 10 percre átlagolt 15 m/s közepes szélesebességre vonatkoztatva	[-]
$k$	a Weibull-függvény alakjellemzője	[-]
$K$	módosított Bessel-függvény	[-]
$L$	izotropikus örvénylési integrált hosszjellemző	[m]
$L_e$	koherencia-hosszjellemző	[m]
$L_k$	a sebességvektor összetevőjének integrált hosszjellemzője	[m]
$n_i$	a terhelésváltozás megszámlált száma bin i-ben	[-]
$N(\cdot)$	a terhelésváltozások száma a meghibásodásig az igénybevétel (vagy nyúlás) függvényében független változóval (azaz a jellemző S-N görbe)	[-]
$N$	visszatérési időtartam szélsőséges feltételeknél	[y]
$p$	túlélési valószínűség	[-]
$P_R(v_0)$	Rayleigh valószínűségi eloszlás, azaz annak valószínűsége, hogy $v < v_0$	[-]
$P_W(v_0)$	Weibull valószínűségi eloszlás	[-]
$r$	az elválasztó vektor vetületének nagysága	[m]
$s_i$	a megszámlált terhelésváltozás-szám igénybevételi (nyúlási) szintje bin i-ben	[-]
$S_I(f)$	a teljesítményspektrum sűrűségfüggvénye	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
$S_k$	egyoldali sebességvektor részegység-spektruma	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
$T$	a jellemző szellőkés időtartama	[s]
$t$	idő	[s]
$v$	szélesebesség	[m/s]
$v(z)$	szélesebesség $z$ magasságban	[m/s]
$v_{ave}$	éves közepes szélesebesség oszlopmagasságban	[m/s]
$v_{cg}$	a koherens szellőkések szélsőséges értéke az egész forgórész súrolt felületén	[m/s]
$v_{eN}$	a várható szélsőséges szélesebesség (3 $s$ -ra átlagolva) $N$ évi visszatérési időtartamra. $v_{e1}$ és $v_{e50}$ 1 évre, illetve 50 évre vonatkozik	[m/s]
$v_{gustN}$	legnagyobb szellőkés $N$ évi visszatérési időtartamra	[m/s]
$v_{hub}$	a szélesebesség 10 perces középértéke oszlopmagasságban	[m/s]
$v_{in}$	bekapcsolási szélesebesség	[m/s]
$v_0$	a szélesebesség határértéke a szélesebesség-eloszlási modellben	[m/s]
$v_{out}$	lekapcsolási szélesebesség	[m/s]
$v_r$	névleges szélesebesség	[m/s]
$v_{ref}$	10 percre átlagolt vonatkoztatási szélesebesség	[m/s]
$v(y,z,t)$	a szélesebességvektor hosszösszetevője a tranziens vízszintes szélgradiens leírására	[m/s]
$v(z,t)$	a szélesebességvektor hosszösszetevője a szélsőséges szellőkés és szélgradiens tranziens változásainak leírására	[m/s]
$x, y, z$	a szélmező koordinátarendszerének megadása, szélirányban (hosszirányban), a szélirányra merőlegesen (oldalirányban) és felfelé	[m]
$z_{hub}$	a szélerőmű oszlopmagassága	[m]
$z_r$	a talajfelület feletti vonatkozási magasság	[m]
$z_0$	a logaritmikus szélprofil érdességi hossza	[m]

$\alpha$	az exponenciális szélprofil kitevője (Hellmann-féle kitevő)	[-]
$\beta$	a szélsőséges szélirányváltzási modell jellemzője	[-]
$\delta$	változatok együtthatója	[-]
$\Gamma$	gammafüggvény	[-]
$\gamma_f$	a terhelések parciális biztonsági tényezője	[-]
$\gamma_m$	az anyag parciális biztonsági tényezője	[-]
$\gamma_n$	a meghibásodás következményének parciális biztonsági tényezője	[-]
$\Theta(t)$	a szélirányváltzás időbeni lefolyása	[°]
$\Theta_{cg}$	széllökés esetén a közepes szélsébség-iránytól való legnagyobb szögeltérés	[°]
$\Theta_{eN}$	a legnagyobb szélirányváltzás $N$ évi visszatérési időtartamra vonatkoztatva	[°]
$A_I$	örvénylési hosszjellemező hullámhosszként megadva egy dimenzió nélküli hosszanti teljesítményspektrum sűrűsége, $fS_I(f)/\sigma_I^2$ , egyenlő 0,05	[m]
$\sigma_I$	oszlopmagasságban a hosszanti szélsébségvektor szabványos eltérése	[m/s]
$\sigma_k$	oszlopmagasságban a $k$ -adik parciális szélsébségvektor szabványos eltérése ( $k = 1, 2$ vagy $3$ )	[m/s]

## 2. Rövidítések

A	Rendellenes (parciális biztonsági tényezőkhöz)
a.c.	Váltakozó áram
C	Használhatósági feltétel
d.c.	Egyenáram
DLC	Tervezési (méretezési) terhelés esete
ECD	Szélsőségesen koherens széllökés irányváltzással
ECG	Szélsőségesen koherens széllökés
EDC	Szélsőséges szélirányváltzás
EOG	Szélsőséges üzemi széllökés
EWM	Szélsőséges szélsébségmodell
EWS	Szélsőséges szélgradiens
F	Kifáradási igénybevétel
HAWT	Vízszintes tengelyű szélerőmű
N	Normál és szélsőséges (parciális biztonsági tényezőkhöz)
NWP	Normál szélprofilmodell
NTM	Normál szélörvénylési modell
S	Különleges (IEC szerinti) szélerőműosztály
T	Szállítás és felállítás (parciális biztonsági tényezőkhöz)
U	Terhelhetőség
VAWT	Függőleges tengelyű szélerőmű
WTGS	Szélerőmű

**A szélerőművek tervezésekor lényeges szabványok:***(forrás: MSZ EN 61400-1:2004)*

IEC 60034	Rotating electrical machines
IEC 60038:1983	IEC standard voltages
IEC 60146	Semiconductor converters
IEC 60173:1964	Colours of cores of flexible cables and cords
IEC 60227	Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450V
IEC 60245	Rubber insulated cables. Rated voltages up to and including 450V
IEC 60269	Low-voltage fuses
IEC 60287	Electric cables. Calculation of the continuous current rating (100% load factor)
IEC 60439	Low-voltage switchgear and control gear assemblies
IEC 60446: 1989	Identification of conductors by colours and numerals
IEC 60529: 1989	Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)
IEC 60617	Graphical symbols for diagrams
IEC 60755: 1983	General requirements for residual current-operated protective devices
IEC 60898:1995	Electrical accessories. Circuit-breakers for over current protection for household and similar installations
ISO 4357:1997	Wind actions on structures
ISO 8930: 1987	General principles on reliability for structures. List of equivalent terms
ISO 9001:1994	Quality systems. Model for quality assurance in design/development, production, installation and servicing
ISO 9002:1994	Quality systems. Model for quality assurance in production, installation and servicing
ISO 9003:1994	Quality systems. Model for quality assurance in final inspection and test

**Rendelkező hivatkozások nemzetközi kiadványokra és az azoknak megfelelő európai kiadványokkal** (forrás: MSZ EN 61400-1:2004)

Az évszámmal ellátott hivatkozások esetén csak az idézett kiadás alkalmazható. Évszám nélküli hivatkozások esetén a hivatkozott dokumentumok legutóbbi kiadását (a módosításokat is beleértve) kell alkalmazni.

MEGJEGYZÉS: Ha a nemzetközi kiadványt szövegét közös módosításokkal módosították, jelölése (mod), akkor az érvényes EN/HD szabvány alkalmazandó.

IEC 60204-1:1997 Safety of machinery. Electrical equipment of machines. Part 1: General requirements EN 60204-1:1997 + corr. September 1998

IEC 60364 (mod) Series Electrical installations of buildings HD 384 Series

IEC 60721-2-1:1982 Classification of environmental conditions. Part 2. Environmental conditions appearing in nature. Temperature and humidity HD 478.2.1 S1<sup>1)</sup> 1989

IEC 61000-3-2(mod):2000 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-2: Limits. Limits for harmonic current emissions (equipment input current up to and including 16 A per phase) EN 61000-3-2:2000

IEC 61000-3-3:1994 Part 3-3: Limits. Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current  $\leq 16$  A EN 61000-3-3:1995 + corr. July 1997

IEC 61000-4-2:1995 Part 4-2: Testing and measurement techniques. Electrostatic discharge immunity test EN 61000-4-2:1995

IEC 61000-4-3(mod):1995 Part 4-3: Testing and measurement techniques. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test EN 61000-4-3<sup>2)</sup> 1996

IEC 61000-4-4:1995 Part 4-4: Testing and measurement techniques. Electrical fast transient/burst immunity test EN 61000-4-4:1995

IEC 61000-4-5:1995 Part 4-5: Testing and measurement techniques. Surge immunity test EN 61000-4-5:1995

IEC 61024-1:1990 Protection of structures against lightning. Part 1: General principles

IEC 61312-1:1995 Protection against lightning electromagnetic impulse. Part 1: General principles

ISO 2394 1986 General principles on reliability for structures

<sup>1)</sup> HD 478.2.1 S1 includes A1:1987 to IEC 60721-2-1.

A HD 478.2.1 tartalmazza az IEC 60721-2-1 szabvány A1:1987 módosítását.

<sup>2)</sup> EN 61000-4-3:1996 is superseded by EN 61000-4-3:2002, which is based on IEC 61000-4-3:2002.

Az EN 61000-4-3:1996 szabványt felváltotta az EN 61000-4-3:2002, amelynek az IEC 61000-4-3:2002 az alapja



## **10. Köszönetnyilvánítás**

Munkám végén megköszönöm mindazoknak a segítségét, akik hozzájárultak e tudományos dolgozat megszületéséhez.

Közülük is külön köszönöm témavezetőmnek Dr. Tóth László Tanár Úrnak a fáradozását, aki már kezdetektől fogva a cél, a tudományos fokozat elérésére ösztönzött.

Köszönöm Grébel László segítségét, aki minden mérésnél, legyen az műhely munka, vagy külső helyszínen elvégzett mérés, tevőlegesen és aktívan kivette részét a munkából.

Végül és nem utolsó sorban pedig köszönöm szüleim és családtagjaim türelmét és biztatását, mely munkám során végig elkísért.