



**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

**ENERGETIKAI CÉLÚ  
SZÉLMÉRŐRENDSZER KIALAKÍTÁSA**

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

**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 .....	3
1.3. A megoldandó feladatok ismertetése .....	3
2. ANYAG ÉS MÓDSZER .....	4
2.1. A kutatás során kialakított kalibráló rendszer .....	4
2.1.1. A szélcsatorna szerkezeti felépítése .....	4
2.1.2. A szélcsatorna kalibrálása .....	5
2.1.3. Az anemométerek kalibrálása .....	5
2.2. Energetikai célú szélmérések a gyakorlatban .....	6
2.2.1. A toronymérések fajtái .....	6
2.2.2. Mérési adatok a SODAR rendszerrel .....	7
2.3. Az energetikai szélmérések adatbázisának feldolgozása .....	8
2.3.1. A WindPRO 2.5 program .....	8
3. EREDMÉNYEK .....	9
3.1. A szélcsatorna, mérési eredményeinek értékelése .....	9
3.2. Az anemométerek kalibrálási eredményeinek értékelése .....	9
3.3. Mérőrendszerek összehasonlítása .....	10
3.3.1. A Weibull-függvény $k$ paraméterének alakulása Magyarországon .....	10
3.3.2. A magassági hatványkitevő alakulása Magyarországon .....	12
3.3.3. Eltérő mérési elv alapján működő mérőrendszerek .....	13
3.4. A mérési eredmények próbája .....	15
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	16
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK .....	18
6. ÖSSZEFOGLALÁS .....	19
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK .....	20

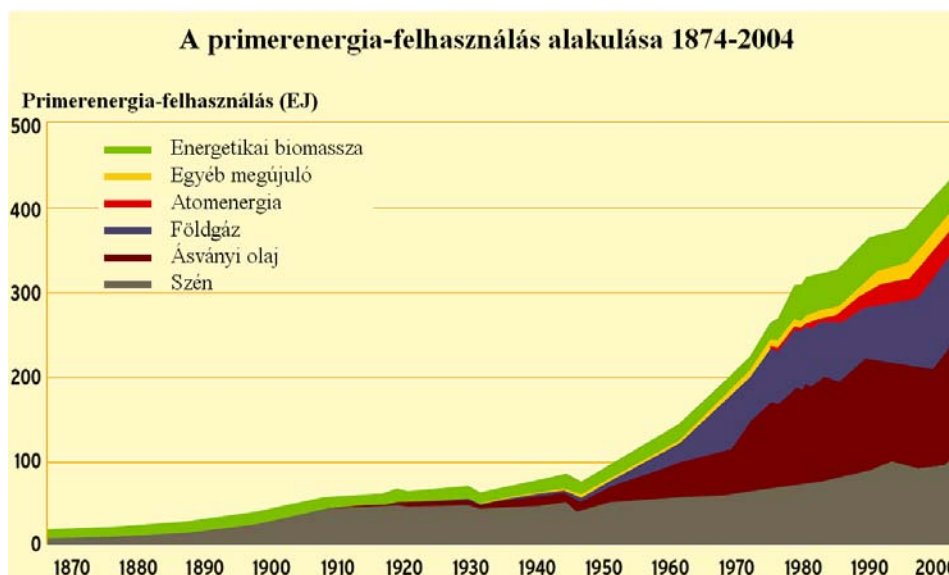
# 1. Bevezetés

## 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)*

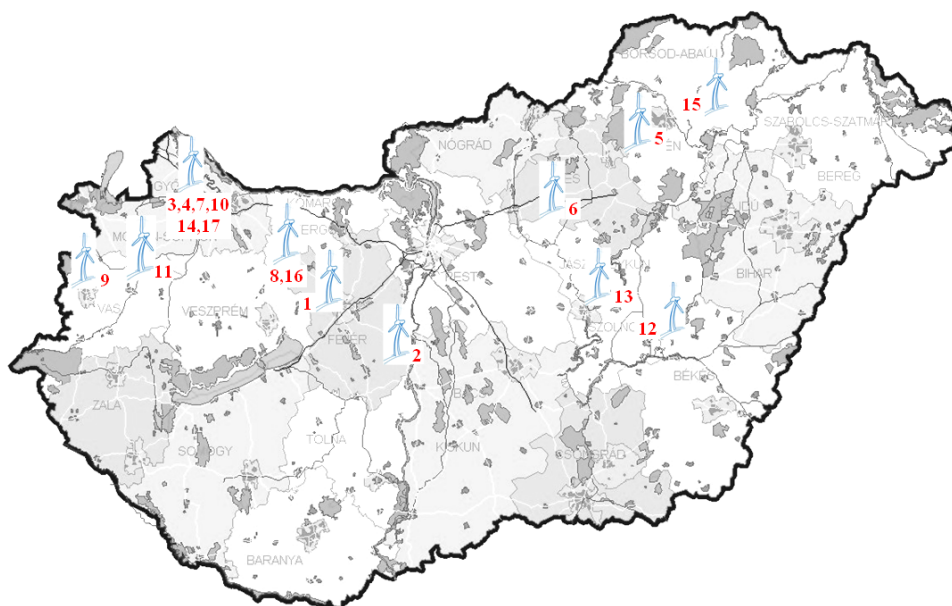
Az iparosítás óta az emberiség energiafelhasználása sokkal gyorsabban nő, mint a népesség létszáma. Miközben a világ lakosságának létszáma négyszeresére, 6,3 milliárdra nőtt, addig az energiafelhasználás és ezzel együtt a fosszilis energiahordozók, a szén, az ásványi olaj és a földgáz felhasználás a 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 Magyarországon telepített szélenergia-termelő berendezések és szélenergia-parkok elhelyezkedése 2006 végén (forrás: saját szerkesztés)

1.1. táblázat: Magyarország szélenergia-termelő 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]	
<b>Összesen:</b>		<b>60875</b>		<b>39</b>	

(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:

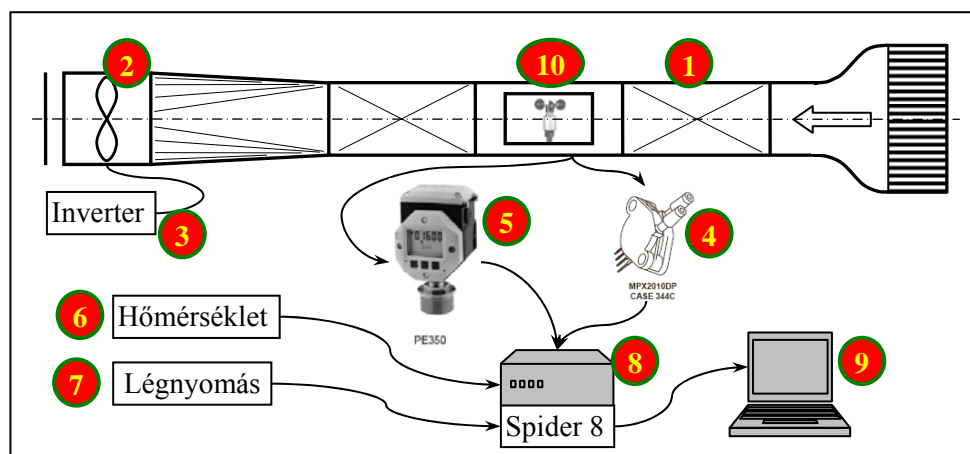
- Konzorciumi munka keretében, több mint 30 bázisponton végzett energetikai célú szél mérés eredményei és az Országos Meteorológiai Szolgálat hosszú távú adatbázisa alapján, Magyarország első energetikai célú szél térképének elkészítése.
- A várható telepítési helyek magyarországi vonatkozású speciális 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. Anyag és módszer

### 2.1. A kutatás során kialakított kalibráló rendszer



3.1. 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)

#### 2.1.1 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. 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.

A mérőtérbe került elhelyezésre egy differenciál-manométer, melynek feladata a hozzá kapcsolt differenciál-nyomásmérő révén a csatornában lévő nyomásértékek arányos feszültségérték szolgáltatása. Az arányos feszültségérték alkalmas arra, hogy számítógépen tároljuk, és nyomásértékre visszaszámítva referenciaértékként felhasználjuk az anemométerek vizsgálatokor. A mérőtér oldalán elhelyezett

szerezőnyílás teszi lehetővé a vizsgálni kívánt tárgyak behelyezését, és az adatgyűjtő egységhez futó vezetékek kivezetését.

A differenciál-manométer Pradtl csöve a szélesség-mérő műszer előtt 350 mm-re helyezkedik el, így a csatornák által keltett örvények nem befolyásolják a mért értékeket.

### **2.1.2 A szélcsatorna kalibrálása**

A szélcsatornával hitelesítés nem végezhető, mivel ehhez az OMH engedélyre van szükség. 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 egyenes szélesség profil a megfelelő, melynek a mérőműszer környezetében állandónak kell lennie.

#### **A kalibrálás módszere**

A légcatorna szélességének kalibrálásához részletes és több szélesség-osztályra 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 62,5 mm távolságra nyolc furatot készítettem. A furaton keresztül függőlegesen lefelé, félgömbfejű Prandtl-csővet juttattam a csatorna belsejébe, melyet a mérés folyamán nyolc mélységi pozícióban rögzítettem, szintén 62,5 mm-es méréslépcső alkalmazásával.

A méréseket 500 1/min, 1000 1/min és 1500 1/min-es fordulatszámokon végeztem, melyeket a ventilátor szabályzásához használt frekvencia szabályzóval állítottam be

### **2.1.3 Az anemométerek kalibrálása**

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 differenciálynomás-mérőt is a mérőkörbe iktattam. Az így kialakult mérőrendszer segítségével az anemométerek három nagyságrenddel pontosabban ellenőrizhetők.



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

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

## 2.2 Energetikai célú szélmérések a gyakorlatban

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

### 2.2.1 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 érdességi 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 helyszínrre, 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 szél mérés kivitelezése javasolt.

### **2.2.2. Mérési adatok a SODAR rendszerénél**

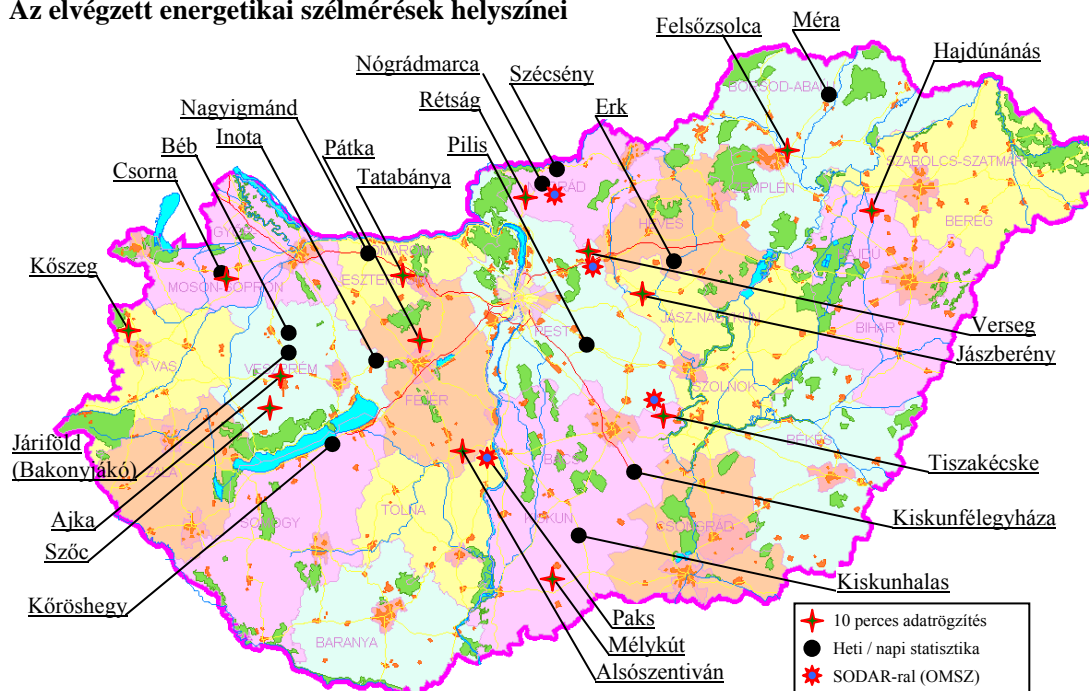
A SODAR-ból származó sebesség adatokat előre beállított mértékegységben kapjuk meg (mph/h; km/h, vagy m/s). Az irány értékét fokokban szolgáltatja. A mintavételezés 3 másodpercenként történik, melyekből 10 perces normál átlagot képez. Az ábrázolás során a szoftver az egyes mérési magassági szintekhez 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 WindPRO szoftverrel.

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.

### 2.3. Az energetikai szélmérések adatbázisának feldolgozása

A kutatási időszakban (2002-2007) 26 helyszínen végeztem, valamint irányítottam energetikai célú szélmerést (3.3. 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



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

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

A WindPro 2.5 szoftver egy fejlett mérő rendszerre épül. Itt már közvetlenül a mérési adatok kiértékelésére is lehetőség van. A felhasznált adatbázis általában a mért értékek 10 percenkénti átlagolásával lesz előállítva. Minimálisan tartalmazza a szélsébség 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 tervezésénél.

### 3. 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

#### 3.1 A szélcsatorna mérési eredményeinek értékelése

A mért értékek kiértékelésénél a szélcsatornában uralkodó áramlási sebességnek 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 szélesség 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 mérési adatok elemzése után megállapítható, hogy az oldalfalaktól számítva 50 mm-es sávban, a keresztmetszet megbízható mérésre nem alkalmas. A légesatorna belső zónájában viszont a vizsgált sebességek nem lépik túl a  $\pm 4\%$ -os határt.

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 szélességet 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 áramlástan vizsgálatára akkor alkalmas, ha az anemométer működése, a háromdimenziós térben, minden áramlástan feltételnek maradéktalanul eleget téve ellenőrizhető.

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

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

Az energetikai szélméréseknél a sebesség meghatározásához kanalas szélességmérőt 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 SZIE-GÉK Áramlástan Tanszék műhelyében végeztem.

A mérések időtartama alatt folyamatosan rögzítettem a környezeti feltételeket.

Az anemométerrel mért, és az ellenőrző műszernek választott differenciálnyomás-mérővel mért adatokból számított, szélesebbesség értékek összevetéséből 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 megállapítható, 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.

Ez jól szemléltethető az abszolút és a relatív hiba kiszámításával. A pontosabb összefüggés meghatározásához a két érték közti kapcsolatot magasabb rendű függvénnyel közelítettem. Ennek során megállapítottam, hogy alkalmazva a

$$v_{\text{korrigált}} = v_{\text{mért}} + \left| 0,001v_{\text{mért}}^2 - 0,0593v_{\text{mért}} - 0,1985 \right| \quad (3.1)$$

összefüggést, a 4.1. 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.

### 3.3 Mérőrendszerek összehasonlítása

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

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

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

$$f(v) = \frac{k}{v_{\text{átlag}}} \cdot \left( \frac{v}{v_{\text{átlag}}} \right)^{k-1} \cdot e^{-\left( \frac{v}{v_{\text{átlag}}} \right)^k} \quad [\%] \quad (3.2)$$

ahol:  $v$  = szélsősebesség [m/s]

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

$k$  = alak tényező.

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

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

A 3.1 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.

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

3.1. 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 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.

### 3.3.2 A magassági hatványkitevő alakulása Magyarországon

Az energetikai szélmérés gyakorlatára jelenleg túlnyomórészt a mérőtornyon elhelyezett kanalas szélesebbégmérőkkel 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 szélérőmű 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 széleghasznosítás gyakorlatában az úgynevezett Hellmann-kitevős hatványfüggvény terjedt el:

$$\frac{v}{v_{ref}} = \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha \quad (3.3)$$

ahol,

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

$v_{ref}$  = az ismert szélesebbég 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 helyszíni alfa értékeit határozta meg égtájak szerint.

E munkákhoz képest alapvető eltérés, hogy számomra nem csupán egyetlen helyszíni 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.

A 3.2. táblázatban felsoroltam a magassági korrekciós tényező átlagos értékét az általam végzett sűrű mintavételezésű helyszínekre.

Zöld színnel a hazánk sík vidékeiről származó adatokat jelöltem, a barna szín pedig a helyszíni dombvidéki jellegére utal hasonlóan a 3.1. táblázathoz.

A mérési helyszíni 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 adatok 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.

3.2. táblázat: A Hellmann-tényező alakulása Magyarországon

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

### 3.3.3 Eltérő mérési elv alapján működő mérőrendszerek

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

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

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.

Az előrejelzés igényeit is figyelembe véve, az adatokat legjobban a napi átlagértékek segítségével tudtam összehasonlítani.

A számított abszolút és relatív hiba alapján 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-, légnyomás-, páratartalom-, levegősűrűség-, stb. változása
- nem ismert továbbá a természetes környezet hatása, például hangvisszaverődés egy repülő objektumról (bár meg kell jegyezni az 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 szélsébségmérők 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.

### 3.4. 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 (3.1. ábra); valamint Felsőzsolca településen egy Vestas V90 típusú, 1,8 MW névleges teljesítményű, 105 m toronymagasságú szélerőmű.



*3.1. 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.

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.

## 4. 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 szélterképének 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.

## 5. 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 szél erőművek üzemeltetése által okozott hálózati terhelésingadozás jelentősen mérsékelhető lenne. Erre jó példát szolgáltatnak az Európai Unió azon országai is, ahol jelentős mértékű a szél erőművek 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 szél erőmű parkok elhelyezkedését is annak érdekében, hogy közvetlenül az energiatermelő helyre vonatkozzanak az információk.

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

Az energetikai szél méréseknél 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 szél méréseknél alkalmazott anemométerek segítségével.

A szél erőművek 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.

## 6. 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 gyűjtsék 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.

---

**7. 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 különdíj, 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 szélmerések 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. Fiala Műszakiak Tudományos Ülésszaka 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, Szélenergia 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. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka Kolozsvár, 189-192p.
6. TÓTH L. – **SCHREMPF N.** – TÓTH G. (2006): Magyarország energetikai célú szélpotenciálja, MTA AMB, K+F Tanácskozás N°30 Gödöllő, (1.kötet 161-168p.)
7. **SCHREMPF N.** – TÓTH L. (2006): Energetikai célú szélmerések tervezésének elvi kérdései, XI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka Kolozsvár, 327-330 p.
8. TÓTH L. – **SCHREMPF N.** – TÓTH G. (2006): A szélergia felhasználás lehetőségei és korlátai Magyarországon II., Alternatív Energiaforrások 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 szélcsatorna 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