

**PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM**  
**TTK FIZIKA INTÉZET**  
**KÖRNYEZETFIZIKA ÉS LÉZERSPEKTROSKÓPIA**  
**TANSZÉK**

**SZAKDOLGOZAT**

**A SZÉLENERGIA FELHASZNÁLÁSA A BAKONYBAN**  
**(SZÁPÁR)**

**TÉMAVEZETŐ:**  
**DR. NÉMETH BÉLA**  
**EGYETEMI DOCENS**

**ÍRTA:**  
**GARAS MARIANN**

**PÉCS**  
**2009.**

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>TÁBLÁZATJEGYZÉK .....</b>	<b>4</b>
<b>ÁBRAJEGYZÉK.....</b>	<b>5</b>
<b>1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS .....</b>	<b>5</b>
<b>2. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK.....</b>	<b>8</b>
<b>3. FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS.....</b>	<b>11</b>
3.1. KÖRNYEZETVÉDELMI VILÁGKONFERENCIÁK FONTOSABB ÁLLOMÁSAI.....	11
3.1.1. <i>Stockholm</i> .....	11
3.1.2. <i>A Bizottság</i> .....	11
3.1.3. <i>Rio de Janeiro</i> .....	11
3.1.4. <i>Johannesburg</i> .....	11
3.1.5. <i>Kiotói Egyezmény</i> .....	12
<b>4. A SZÉLRŐL RÖVIDEN .....</b>	<b>13</b>
4.1. A SZÉLBEN REJLŐ ENERGIA ÁTALAKÍTÁSA .....	14
<b>5. A SZÉLENERGIA HASZNOSÍTÁSÁNAK TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE .....</b>	<b>16</b>
5.1. A SZÉLENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK TÖRTÉNETE A BAKONYBAN.....	18
<b>6. SZÉLENERGIA FELHASZNÁLÁSA A VILÁGON ÉS EURÓPÁBAN .....</b>	<b>20</b>
<b>7. NAPJAINK SZÉLERŐMŰVEINEK SZERKEZETI FELÉPÍTÉSE .....</b>	<b>22</b>
7.1. SZÉLGENERÁTOROK .....	23
7.1.1. <i>Szélgenerátor szerkezeti felépítése</i> .....	23
1.1.1.1. Generátorház:.....	23
1.1.1.2. Tartószerkezetek .....	24
1.1.1.3. Főtengely .....	24
1.1.1.4. Nyomatékváltó.....	24
1.1.1.5. Tengelykapcsoló .....	24
1.1.1.6. Generátor .....	24
1.1.1.7. Vezérlés .....	25
1.1.1.8. Szárnylapát.....	26
1.1.1.9. Széliránykövető.....	29
1.1.1.10. Üzemi és biztonsági rendszer.....	29
7.1.2. <i>A szélgenerátorok teljesítmény szerint csoportosítás</i> .....	30
<b>8. A SZÉLENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI MAGYARORSZÁGON, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A BAKONYBAN .....</b>	<b>31</b>
8.1. SZÉLERŐMŰVEK TELEPÍTÉSE .....	34
8.1.1. <i>A szélsébségre és szélirányra vonatkozó kritérium</i> .....	34
8.1.2. <i>A területre vonatkozó kritérium</i> .....	35
8.1.3. <i>A megtermelt energia elszállítására illetve raktározására vonatkozó kritérium</i> .....	35
8.1.4. <i>A beruházó feladatai és annak ellátására vonatkozó kritérium</i> .....	37
8.2. A BAKONYI SZÉLERŐMŰVEK .....	37
8.3. A BAKONYI VESTAS V90-1,8/2,0 MW TÍPUSÚ SZÉLERŐMŰVEK FELÉPÍTÉSE ÉS FŐBB PARAMÉTEREI .....	40
8.3.1. <i>A telepített erőművek műszaki adatai</i> .....	43
8.3.2. <i>A szél erőmű park építése</i> .....	47
8.3.3. <i>A szápári szél erőmű park környezeti hatásai</i> .....	48
1.1.1.11. Levegőszennyezés.....	48
1.1.1.12. Hulladék keletkezése, kezelése .....	48
1.1.1.13. Zajvédelem.....	48
1.1.1.14. Elektromágneses zavarás .....	50
1.1.1.15. Ökológiai viszonyok, táj .....	50
8.3.4. <i>A beruházás főbb adatai</i> .....	50
<b>9. A SZÉLENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK EGYÉB LEHETŐSÉGEI A BAKONY TÉRSÉGÉBEN .....</b>	<b>52</b>
<b>10. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>56</b>

10.1.	A SZÉLERŐMŰVEK POZITÍV ÉS NEGATÍV TULAJDONSÁGAI RÓL CÍMSZAVAKBAN.....	56
10.1.1.	<i>Előnyök</i> .....	56
10.1.2.	<i>Hátrányok</i> .....	56
10.2.	ÖSSZEGZŐ GONDOLATOK .....	57
<b>11.</b>	<b>FELADATOK A SZAKDOLGOZAT TÉMAKÖRÉBŐL .....</b>	<b>59</b>
	<b>IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>71</b>

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

<b>6.1. táblázat: Föld első 10 szélenergia termelő állama 2008. december 31-ei adatok szerint</b>	<b>20</b>
<b>8.1. táblázat: Magyarországi szélenergia termelői listája 2008 végéig</b>	<b>32</b>
<b>8.2. táblázat: A két különböző szélenergia termelő teljesítményének értékei a rotoragy magasságban mért szélesség függvényében 1,225 kg/m<sup>3</sup>-es légsűrűségi adat mellett</b>	<b>41</b>
<b>8.3. táblázat: A kötelező átvételű villamos energia átvételi árai (ÁFA nélkül)</b>	<b>46</b>
<b>8.4. táblázat: Napszakok hétköznapon és hétvégén</b>	<b>46</b>
<b>8.5. táblázat: A szélenergia termelő park okozta hangintenzitási adatok Csetényben</b>	<b>49</b>
<b>8.6. táblázat:</b>	<b>49</b>
<b>8.7. táblázat:</b>	<b>49</b>
<b>9.1. táblázat:</b>	<b>55</b>

## ÁBRAJEGYZÉK

2.1. ábra .....	8
2.2. ábra .....	9
5.1. ábra .....	18
5.2. ábra .....	19
6.1. ábra .....	21
7.1. ábra .....	23
7.2. ábra .....	25
7.3. ábra .....	26
7.4. ábra .....	26
7.5. ábra .....	28
7.6. ábra .....	28
7.7. ábra .....	29
8.1. ábra .....	31
8.2. ábra .....	33
8.3. ábra .....	33
8.4. ábra .....	34
8.5. ábra .....	36
8.6. ábra .....	38
8.7. ábra .....	39
8.8. ábra .....	39
8.9. ábra .....	41
8.10. ábra .....	42
8.11. ábra .....	43
8.12. ábra .....	47
8.13. ábra .....	51
9.1. ábra .....	53

# 1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

*„A természet hatalmas, az ember parányi. Ezért aztán az ember léte attól függ, milyen kapcsolatot tud teremteni a természettel, mennyire érti meg, és hogyan használja fel erőit saját hasznára.”*

*Szent-Györgyi Albert*

A világ népességének növekedése, valamint a napjainkban zajló technikai fejlesztések és informatikai forradalom rohamosan növekvő energiafelhasználáshoz és energiatermeléshez vezetett. Az egyre növekvő igények kielégítése azonban a nem megújuló energiaforrások használatával már csak nagyon rövid ideig tarthatóak fent, ráadásul drasztikus méretű környezetrombolással jár együtt. Az egészséges környezet megóvása és egy tiszta jövő biztosítása gyermekeink számára nem könnyű feladat. Ennek előfeltétele a fenntartható energiagazdálkodás megvalósítása. A megvalósulás egyik építőköve a jelenleg használt energiaforrások hatékony és gazdaságos használata, a másik pedig a megújuló energiaforrások használata, fokozatos áttérés a „tiszta”, környezetünket nem szennyező energiaforrások felhasználásra.

Környezetünk megóvása a mostani és a jövő nemzedékek számára is fontos feladat kell, hogy legyen. Az energiatermelés és energiafelhasználás problémakörét a társadalmak minden egyes tagjának valamilyen szinten el kell sajátítani, hogy felelős, környezettudatos állampolgárai lehessenek a nemzeteknek. A 2009-es „orosz-ukrán gázvita” következtében napokig elzárt gázvezeték is intő jelként figyelmeztetett arra, hogy az egyoldalú energiafelhasználásra épült gazdaságok pillanatok alatt összeomolhatnak. A fosszilis energiahordozókra épült világunkban felnövekvő gyermekeket már az iskolapadban nyitottá kell tenni az alternatívákra, a megújuló energiatermelésben rejlő lehetőségekre. Ennek egyik megvalósulási színtere a fizika óra is lehet. Mivel térségünkben gomba módra jelennek meg a modern szélérőművek, ezért dolgozatomban ezzel a témával, ennek tanításával, a hozzá kapcsolódó fizikai ismeretekkel is foglalkozom. Megpróbálok egy kerek képet adni szélenergiáról, mint megújuló energiaforrásról, annak jelentőségéről, történetéről, magyarországi felhasználásán belül a Bakony térségének lehetőségeiről.

A téma kifejtését három irányból közelítem meg:

**1. irány:** A megújuló energiaforrások jelentősége a világon azon belül hazánkban. A fenntartható fejlődés fontossága, a környezetvédelmi világkonferenciák főbb állomásai és Magyarországra is vonatkozó határozatai,

egyezményei.

**2. irány:** A szélenergia felhasználásának általános története, majd leszűkítve az általam vizsgált területre.

**3. irány:** A szél, mint energiahordozó. A szél energiájának kinyerési lehetőségei, szerkezetei, célirányosan ráközelítve a Bakonyban használatos szélérőgépek felépítésére.

A fent felsorolt három irány kifejtéséhez a szükséges adatokat az irodalom jegyzékben megadott forrásokból és az internetről gyűjtöttem.

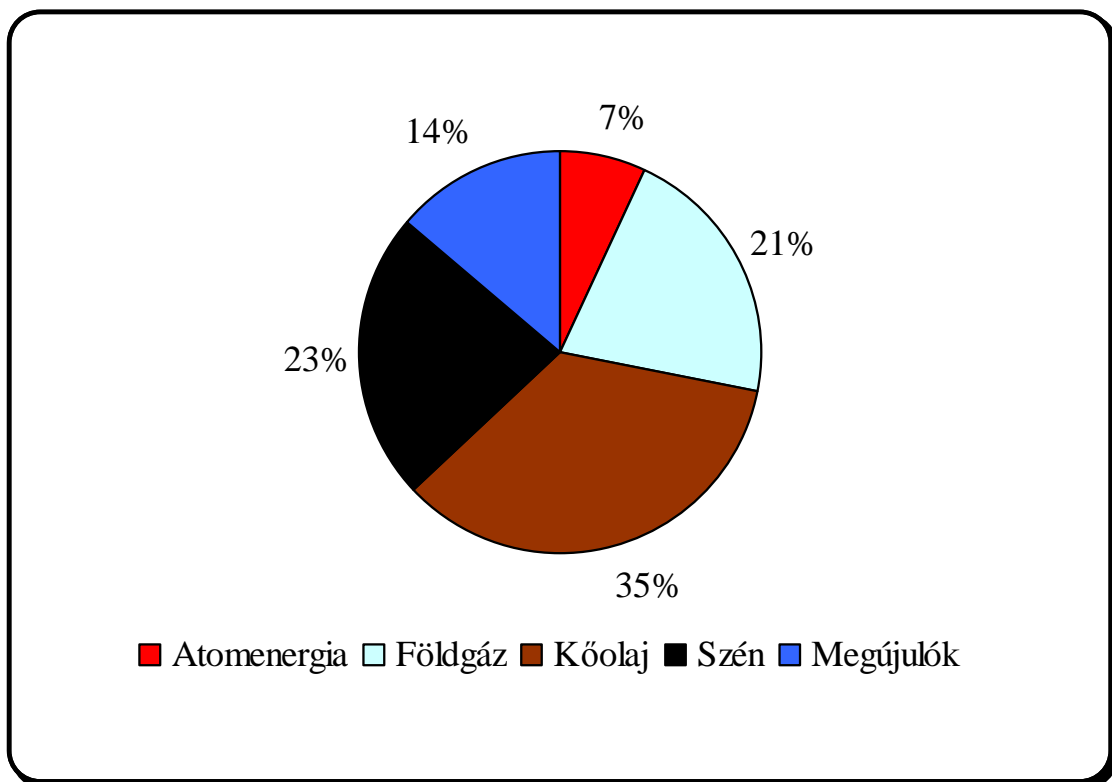
Ezt a tágabb „bevezetést” követi a dolgozatom konkrét témája, a Bakonyban található szélérőművek telepítésének előzményei, a szélérőgépek paraméterei. Ezekről már csak minimális adat található a világhálón, ezért ezt a részt az érintett településeken (Szápár, Csetény, Jásd és Bakonycsernye) található jegyzőkönyvekből, építési tervekből, szakhatósági leírásokból, a kivitelező és üzemeltető által rendelkezésemre bocsátott dokumentumokból tudtam összeállítani. Ezek összességében több száz oldalt felölelő iratok, amelyeknek nagy részéről csak utólagosan derült ki (miután elolvastam), hogy a témámmal nem harmonizáló fejezeteket tartalmaznak. Sok száz kutakodási, utánjárás órát igénylő munkámnak produktumáról számolok be ebben a fejezetben. Többször jártam az érintett településeken, a vizsgált objektumoknál, ezeket fényképeken is megörökítettem. A dolgozatnak ezen részében egy olyan összegzést adok a Bakonynak eme „kiemelkedő” építményeiről, amely nem található meg egyetlen bakonyi település önkormányzatánál sem, de még a kivitelezők és üzemeltetők sem birtokolnak ilyen jellegű áttekintést.

Elsősorban azonban tanár vagyok, és ennek hangot adva konstruáltam illetve találtam ki a témához kapcsolódó néhány feladatot, amelyekhez mellékeltem a megoldási javaslatot is. A feladatok némelyike fiktív, de vannak közte a dolgozatban szereplő valós adatokkal számoló példák is.

Ez a mű elsősorban szakdolgozatnak készült, de tervezem egy formai kötöttségektől mentesebb változat megírását is, prezentációs melléklettel, a szélérőműveknek „otthont adó” települések iskoláinak számára, a szélenergiát hasznosító berendezések népszerűsítése céljából.

## 2. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK

Jelenleg az energiatermelés- és felhasználás a leginkább környezetszennyező emberi tevékenység. A növekvő energiaigényekkel Földünk kőolaj-, földgáz-, és szénkészlete egyre csökken, kimerülését az évszázad közepe utáni időszakra prognosztizálják. Az atomenergia előállítása pedig olyan környezetre káros végtermékeket eredményez, amelyek tárolása hosszú távon nagyon nehéz feladat. Napjaink energiafogyasztását az energiahordozók tükrében az **2.1. ábra** szemlélteti.



**2.1. ábra**

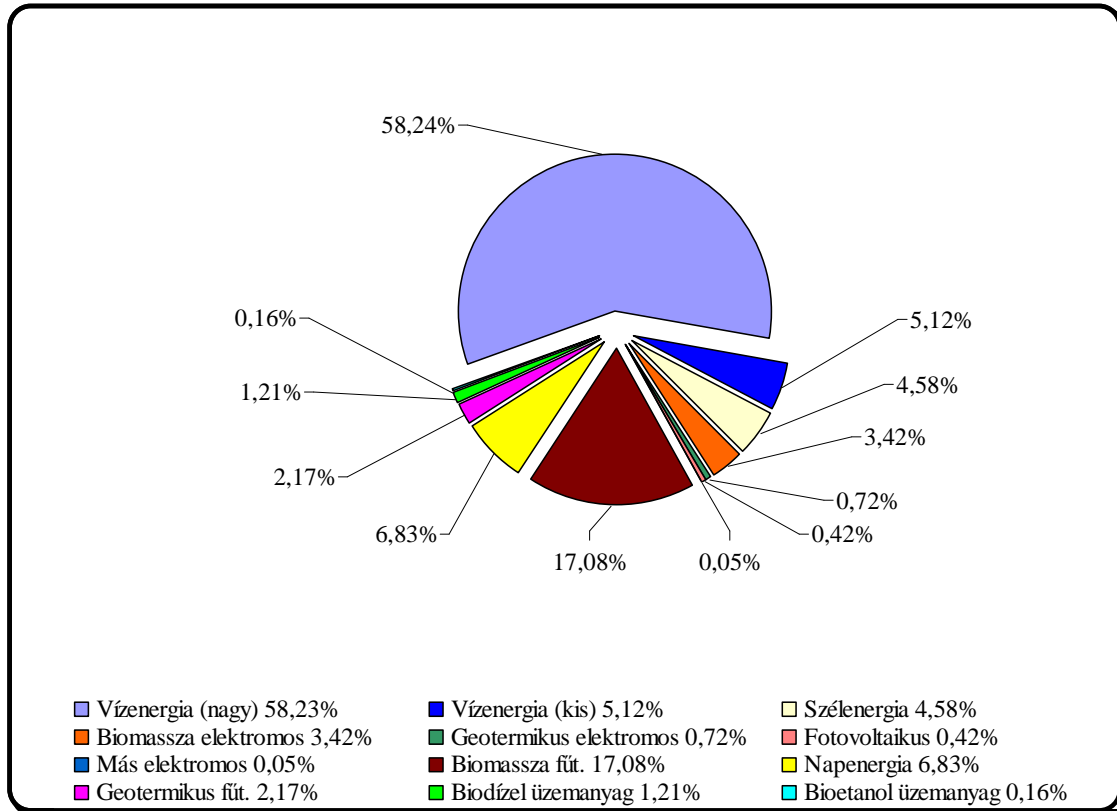
*A világ elsődleges energiafogyasztása napjainkban [1.]*

A fosszilis tüzelőanyagok használata korlátozott mennyiségük miatt nem alkalmas arra, hogy egy fenntartható energiagazdaság épüljön rájuk. A megoldás a megújuló energiaforrások hasznosítására történő áttérés. De mit takar vajon a megújuló energiaforrás, és mennyire gazdaságos? A megújuló energiaforrás olyan energiaforrás, amely természeti folyamatok során folyamatosan rendelkezésünkre áll, vagy újratermelődik (nap-, szél-, vízenergia, biomassza, geotermikus energia, tengerek ár-árpály energiája stb., melyeknek egymáshoz viszonyított arányát a **2.2. ábra** mutatja be), természetesen az újratermelődés nem évmilliókban értendő. Ezzel szemben a fosszilis tüzelőanyagok (kőszén, kőolaj, földgáz) nem megújuló energiaforrások. [2.]

A világon és az Európai Unióban a megújuló energiaforrások felé forduló figyelem a



technikai fejlődésnek, a fosszilis energiahordozók készletének csökkenésének valamint a környezetvédelmi előírások szigorodásának köszönhető. Az EU energiapolitikáját összefoglaló Fehér Könyv<sup>1</sup> 1997-ben a megújuló energiaforrásokból származó energiatermelést 2010-re 12 százalékban határozta meg.



**2.2. ábra**

Megújuló energiaforrások a világon (2005-ös adat) [5.]

A 2000-ben napvilágot látott Zöld Könyv<sup>2</sup> rámutat, hogy a Közösség energiafüggősége 20 év alatt a jelenlegi 50%-os importfüggőség helyett elérheti a 70%-ot is. A könyv az energiaellátás fenntarthatóságát, versenyképességét és biztonságát célozza meg. Támogatja az alacsony széntartalmú energiaforrásokból származó villamosenergia-termelést és a megújulók alkalmazásának növelését.

A megújuló energiaforrások alkalmazása indokolt, mert kimeríthetetlenek, környezetkímélők, alkalmazásuk új munkahelyet teremt és hozzájárul az energiainport csökkenéséhez.

A megoldás a víz, a szél a Nap, stb. energiájának kihasználása. Vízierőművek telepítésénél figyelembe kell venni a természeti adottságokat, vízgazdálkodási és természetvédelmi szempontokat. Napenergia felhasználása pedig nem biztosít nagy

<sup>1</sup> COM(97) 599 final, White Paper for a Community Strategy an Action Plan- Energy for the Future: Renewable Sources of Energy

<sup>2</sup> COM(2000) 769 final, Green Paper towards a European Strategy for the Security of Supply

mennyiségű azonnal felhasználható energiát.

A szélenergia hasznosítása is egy megfelelő alternatíva, ráadásul környezeti szempontból is kiemelkedő, mert a szélerőművek működésük közben gyakorlatilag nem bocsátanak ki káros anyagokat. Továbbá alacsonyak az externális és a szociális költségek, valamint nem jelent problémát az elhasznált erőművek elszállítása sem.

### **3. FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS**

A XX. század hetvenes éveinek első felétől kezdve több nemzetközi konferencia foglalkozott környezetünk és a természeti erőforrások megóvásával, védelmével és mutatták irányt a jövőre nézve. Megfogalmazásra került a fenntartható fejlődés fogalma, ami olyan fejlődési folyamat, amely a jelen igényeinek kielégítése mellett nem fosztja meg a jövő generációit saját szükségleteik kielégítésének lehetőségéről. (ENSZ-közös jövőnk jelentés 1987)

#### **3.1. Környezetvédelmi világkonferenciák fontosabb állomásai**

##### **3.1.1. Stockholm**

1972-ben Stockholmban, az ENSZ környezeti világkonferenciáján kidolgozásra került egy világméretű program ami az emberi környezet jobbá tételével foglalkozott.. A konferencián a résztvevők nyilatkozatot fogadtak el a környezetvédelem alapelveiről és nemzetközi feladatairól.

##### **3.1.2. A Bizottság**

Az ENSZ Közgyűlés felkérésére 1984-1987 között működött a Környezet és Fejlődés Világbizottsága, és publikálta a Közös Jövők jelentést. Ennek a dokumentumnak köszönhetően erősödött meg, kapott különös jelentőséget a fenntartható fejlődés koncepciója. A jelentés főbb megállapításai egy olyan fejlődési modellt vázoltak fel, mely a mennyiségi növekedést és a minőségi fejlődést egyaránt tartalmazza, s kimondja, hogy a gazdaság csak a környezet megőrzésével növekedhet. A fenntartható fejlődés három pillére, a környezet - gazdaság - társadalom egymással összefügg, a döntéseknél mindhármát figyelembe kell venni.

##### **3.1.3. Rio de Janeiro**

Az ENSZ 1992 júniusában szervezte meg a következő világkonferenciát Rio de Janeiróban. 178 ország küldöttei fogadták el a Nyilatkozat a Környezetről és a Fejlődésről c. dokumentumot, a Keretegyezményt a Biológiai Sokféleségről és az Éghajlatváltozásról. Az Agenda-21 dokumentum igen hasznos ajánlásokat fogalmazott meg a nemzetközi szervezetek és a nemzeti kormányok számára.

##### **3.1.4. Johannesburg**

2002-ben megtartották a Világcsúcs Konferencia a Fenntartható Fejlődésről nevű

rendezvényt. Fő feladatuk volt az 1992-2002 közötti időszak értékelése, az elfogadott kötelezettségek végrehajtásának ellenőrzése, valamint új irányok kijelölése.

Összefoglalva a Stockholmi, a Riói és a Johannesburgi konferencián történeteket a kulcsszavak kiemelésével: Emberi Környezet (1972), Környezet és Fejlődés (1992), Fenntartható Fejlődés (2002). Vagyis az elmúlt 30-40 év eredményeként kialakulóban van a környezetvédelem, a gazdasági és a szociális szféra összefonódása. Ez alapvetően új felfogást és probléma-megközelítést jelent. [4.]

### **3.1.5. Kiotói Egyezmény**

Ez a direktíva egy 1997-ben aláírt, a fejlett országokat tömörítő, nemzetközi egyezmény, amelyben a résztvevő, iparosodott államok kötelezik magukat arra, hogy széndioxid-kibocsátásukat az aláírást követő évtizedben 5,2 százalékkal az 1990-es szint alá szorítják vissza.

Az egyezmény 1997-es kidolgozása az ENSZ Klímaváltozási Konvenciójának (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)) keretében történt, célja pedig a légkör üvegházhatású gázkoncentrációjának stabilizálása volt, hogy a klímaváltozás és a globális felmelegedés előrelátható hatásait enyhíteni tudják. Az egyezmény 2005. február 16-án lépett életbe.

Magyarország 2002-ben csatlakozott e nemzetközi egyezményhez, ahol 6%-os csökkenést vállalt 2008-2012-ig az üvegházhatás kialakulásában szerepet játszó gázok kibocsátásában az 1990-es bázisévhez képest. A jegyzőkönyvet hazánkban a 2007. évi IV: törvénykönyv hirdette ki.

2006. Decemberéig 169 állam csatlakozott az egyezményhez, amelyek összességében a világ széndioxid-kibocsátásának 61,6 százalékáért felelősek. Az alacsony érték oka, hogy a világ legnagyobb légszennyező állama, az Egyesült Államok nem, valamint a szintén nagy szennyező, Ausztrália csak később 2007. december 3-án ratifikálta a jegyzőkönyvet. [5.]

Az Európai Tanács 2007 tavaszi ülészakán határozatot hozott arról, hogy az Unió 2020-ra legalább 20%-kal csökkentse az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását az 1990-es állapothoz képest.

## 4. A SZÉLRŐL RÖVIDEN

A szélenergia eredetét tekintve a Nap energiájából származó megújuló energiaforrás, mondhatnánk azt is, hogy szélenergia előállításakor lényegében a Föld légkörében „elraktározott” napenergia egy részét nyerjük vissza. A Földet érő napsugárzás a különböző szélességi köröknél eltérő, és a felmelegedés mértéke, annak gyorsasága, hőmegtartó-képessége a felszín anyagától nagyban függ. Az előzőekből következnek, hogy a Föld különböző területei fölött, ugyanabban az időpillanatban eltérő hőmérsékletű nagy légtömegek helyezkednek el az atmoszféra legalsó rétegében. Ez a hőmérséklet-különbég azt vonja maga után, hogy más-más területek fölött a levegő sűrűsége és a nyomása is eltérő. A nyomáskülönbségek hatására a troposzférában (atmoszféra legalsó rétege) áramlás indul meg, s ez mindaddig fennmarad, amíg a nyomáskülönbségek ki nem egyenlítődnek, amely maga után vonja a hőmérséklet- és sűrűségkülönbség kiegyenlítődéését is. Így alakulnak ki a Földünkön a szelek, de áramlásukat még egyéb tényezők, például: domborzati viszonyok, tereptárgyak is nagyban befolyásolják.

A szélre hatással van a Föld forgásából eredő Coriolis-erő, amely a forgó viszonyítási rendszerben a vízszintesen mozgó légtömegekre hat, ennek eredménye, hogy a kialakuló légáramlás nyugati vagy keleti irányban elfordul. [6.] [8.]

A szélesebbesség nagyságát elsősorban az határozza meg, hogy mekkora légtömegek között jön létre a hőmérséklet-különbség, és az milyen mértékű. A szél annál hevesebb, minél nagyobb ez a különbség, és minél nagyobb légtömegek hőmérséklete tér el egymástól.

A szelek sebessége természetesen sokféle lehet. Az enyhe légmozgástól az óránként több 100 kilométeres sebességet is meghaladó, száguldó viharokig, gyakorlatilag minden szélesebbesség előfordul. A Földön mért legnagyobb szélesebbesség: 416 km/h volt Mount Washingtonban (USA). [7.] Ez különlegesen megnehezíti a szélenergiái berendezések tervezését és gyártását, hiszen a viharos sebességű szelek a hasznosító berendezéseket is tönkretesznek. Ezért a modern szélenergia-berendezéseket úgy kell megtervezni és megépíteni, hogy a szerkezet önműködően védelmet nyújtson a viharok ellen.

## 4.1. A szélben rejlő energia átalakítása

A különféle sebességekkel áramló légtömegek mozgási energiájuknál fogva mechanikai munkavégzésre képesek. Ez a munkavégző képesség a gázok áramlási törvényei alapján nem közvetlenül a kinetikus energiával, vagyis az áramló légtömegek sebességének négyzetével, hanem a sebesség harmadik hatványával arányos, mert az  $A$  keresztmetszeten,  $v$  sebességgel átáramló légtömeg tömegárama:

$$m^* = \rho A v \quad [kg / s]$$

Így az egy másodpercre vonatkozó mozgási energiája (a nyerhető teljesítmény optimuma):

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

Ahol:

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

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

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

Az erőművek teljesítménye kis szélesebesség különbség esetén is, a sebesség harmadik hatványa miatt nagymértékben eltérő lesz, vagyis az optimum teljesítmény „köbösen” érzékeny a szélesebesség változására. A szélenergia felhasználásával kapcsolatban további jelentősen befolyásoló tényező az is, hogy nagyon kevés olyan széljárta terület van, ahol a szélirány közel állandó értéket mutat, így figyelembe kell venni azt is, hogy a szeleknek nemcsak a sebessége, hanem az iránya is változik. [8.]

A szél teljes mozgási energiáját 100 TW teljesítményűre becsülik. Azonban ennek csak bizonyos hányadát lehet hasznosítani. A gazdasági megfontolások azt mutatják, hogy a szelet elsősorban azokon a vidékeken érdemes kiaknázni, ahol a szélesebesség évi átlaga meghaladja a 4-5 m/s értéket. Ez többnyire csak tengerparti helyeken van így, a szárazföld belseje felé haladva a belső súrlódás erősen csökkenti a szél sebességét. Magyarország világviszonylatban a szélcsendesebb országok közé tartozik, nincsenek egyenletesen nagy szélesebességgel átjárt területei, bár néha előfordulnak nagy erejű, tomboló helyi viharok is. (Egyik legemlékezetesebb ilyen orkán erejű vihar a 2006. augusztus 20-ájának estéjén volt a fővárosban.) Budapesten az átlagos szélesebesség 1,8 m/s. Az ország legszelesebb vidéke az észak-nyugati országrész, de még

Mosonmagyaróváron, sem haladja meg az 5 m/s értéket. Nyíregyházán előfordul 4-5 m/s, és ennél nagyobb szélesség is, de nem tart annyi ideig, hogy ezt tartósan ki lehessen használni. Mind emellett a szél energiasűrűsége viszonylag kicsi, 40-60 W/m<sup>2</sup>.

## **5. A SZÉLENERGIA HASZNOSÍTÁSÁNAK TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE**

A széleenergia-hasznosítás –a Környezetvédelmi Lexikon alapján definíciója alapján– olyan energiahasznosítási módszer, amely folyamatosan erős széljárású területeken, közvetlen munkavégzésre vagy elektromos energia előállítására kialakított szélerőgéppel történik. [9.]

Az emberiség évszázadok óta használja a szél energiáját, és bár retteg a szél okozta viharok, természeti csapások hatalmas erejétől, mégis igyekszik e hatalmas energiát saját szolgálatába állítani. [2.]

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

Az ókori Egyiptomban, már a több ezer évvel a szélerőművek megjelenése előtt is hasznosították a szelet. A szélben rejlő energiát a kezdetekben a vízen használták, majd később a szárazföldön is. Ügyes mesterek hamar rájöttek hogyan lehet „befogni a szelet” a fuvallatokból, így az addig használt evezős hajókat felváltották a vitorlás hajók. Az új technika hátránya volt, hogy a hajózás függött a széliránytól, mivel az árbocra keresztben felhelyezett rúdon feszülő vászon kezdetben csak hátszélben volt alkalmazható. A föníciaiak, görögök és rómaiak közreműködésével később a hajózást függetlenítették a széliránytól.

A vitorlás hajók mellett a másik korai alkalmazás a szélmalomokban történő felhasználás volt. Az első szélmalmot a perzsák építették, amelyben a szelet befogó szélkerekek tengelye merőleges volt a szél irányára. Az első megbízható emlék a VII. századból maradt ránk, ami egy víz emelésre, gabona őrlésre használt szerkezet volt. Napjainkig a szélmalomoknak sok területen volt nagy szerepük, akár az ipari, akár a mezőgazdasági felhasználást illetően.

Később a XIII. századtól kezdve terjedt el Norvégiában a vízszintes tengelyű szélkerék. Ez fontos előrelépés volt, mert ha a szélirány megváltozott képesek voltak átállítani a gépezetet. A szélmalom XVI- XVII században élte fénykorát a tengerpartokon, ahol a szélre biztosan lehetett számítani. Hollandiában már 1700-as években 8000 szélmalom működött, melyek 5-10 kW teljesítményt is elértek. Ennek segítségével már fűrésztelepek, fémmegmunkáló üzemek is dolgoztak. Hollandián kívül még nagyon sok helyen használtak szélmalomokat, szélerőgépeket, többek között Angliában, Franciaországban és a Németalföldön.



Az 1890-es évekig sok ezer szélmalom épült és működött Európában, ez idő tájt Magyarországon is 712 működéséről tudunk. A XIX. század második felében háttérbe szorultak - bár rövid időre - a gőzmalmok megjelenése miatt, amelyek már olcsóbban, nagyobb kapacitással és főleg kiszámíthatóan dolgoztak. [8.]

Az 1914-18-as világháború alatt a repülőgépek fejlesztése révén számos áramlástanai probléma ismertté vált, ami fejlődést eredményezett a szélenergia hasznosításának kérdésében. Az egyik fontos területen az örvényelméletben a magyar származású Kármán Tódor jelentős sikereket ért el. Megindult az ideális légcsavarak, szárnyprofilok, szárnycsavarok fejlesztése. Az első világháború utáni időkben az olcsó vízi energia és a fosszilis üzemanyagok versenyképtelenné tették a szélenergiát. Az 1970-es évek első nagy, világméretű olajválsága, majd a globális felmelegedés problémája azonban újra a tudósok figyelmének középpontjába állította a szél energiájának lehetséges felhasználását.

Az 1980-as évektől a szélenergia az egyik legígéretesebb megújuló energiaforrásnak számít. Önálló iparággá nőtte ki magát a különböző szélérőgépek tervezése, gyártása és karbantartása. A technikai fejlesztéseknek köszönhetően a mai nagy teljesítményű szélgenerátorok a kevésbé alkalmas szelet, az úgynevezett másodosztályú szelet is sokkal hatékonyabban használják fel a szárazföldek belsejében. Míg 1998-ban a tengerpart közeli egységek részaránya 65 % fölötti volt, addig mára ez az arány megfordulni látszik.

## 5.1. A szélenergia felhasználásának története a Bakonyban.

A Bakonyban megforgatják a szelet. Krúdy Gyula „Téli szél a Bakonyban” című művében már megírta, hogy ez a térség az ország egyik legszelesebb helye.

A Bakony legmagasabban fekvő faluja Tés, a tenger szintje felett 461 méter magasan lévő fennsíkra települt. A szeles nehezen megközelíthető fennsíkon egykor négy szélmalom állt, mára azonban ezekből csak kettő maradt meg kitűnő állapotban. A Held-féle szélmalmot Pircher János ácsmester építette 1840-ben, az Ozi-féle malmot pedig 1924-ben Ozi János asztalos. (5.1. ábra)



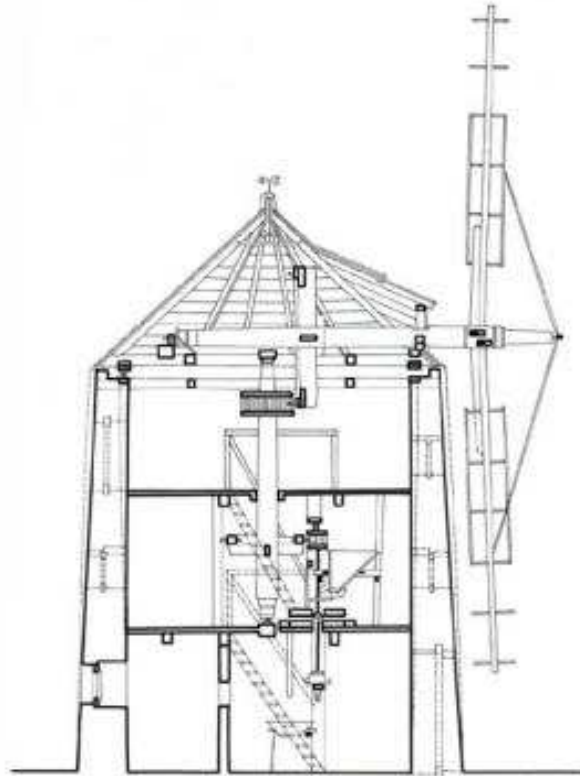
5.1. ábra

*Az öregebbik - Ozi-féle - megmaradt tési szélmalom [10.]*

A máig működőképes szélmalomok belső szerkezete: a legfelső szint (a forgatható tetőzet alatt) a fából készült fogaskerekes áttétekkel a második szinten lévő őrlőkövek tengelyét forgatja, a garatba öntött gabona aztán a kövek közül az alsó (földszinti) kis helyiségben elhelyezett zsákokba hullott. (5.2. ábra)

A malomok holland mintára, elforgatható tetőzettel épültek, az épület belsejében az egykori fogaskerekes áttéteket, az őrlőkövet mozgató hatalmas tengelyt, a köveket és minden berendezést ma is szemügyre vehetünk, ha ellátogatunk a térségbe. A tetőzet alján halad végig a körbefutó sín, amelyen a malom vitorláit tartó tetőszerkezet a széliránynak megfelelően elforgatható. A malomok működésük fénykorában 2 illetve 4

mázsás napi termelésre voltak képesek, ha fújt a szél. Ez gyakran megesett, ugyanis a környék hazánk egyik legszelesebb vidéke.



**5.2. ábra**

*A szélmalmok belső szerkezete [11.]*

A szélmalmok fénykorának leáldozása után évtizedekig kihasználatlanul maradt az itt keresztüláramló ingyenes energiaforrás adta lehetőségek kiaknázása. A XXI. század hozta meg a fordulópontot, mikor a Bakony hegyein is megjelentek ezek az energiatermelő építményóriások.

## 6. SZÉLENERGIA FELHASZNÁLÁSA A VILÁGON ÉS EURÓPÁBAN

A Globális Szélerenergia Tanács (GWEC) által nyilvánosságra hozott adatok alapján a szélerőművek telepítése rendkívül népszerű volt a világon 2008-ban. A **6.1. táblázat** adatai azt mutatják, hogy az Amerikai Egyesült Államok megelőzte az eddig listavezető Németországot szélerőmű kapacitás terén. Kína pedig megduplázta összes szélerőmű kapacitását, amivel a negyedik helyre került a világon. A földön 2008 évvégére összesen 120,8 GW szélerőmű működik, ami 28,8%-os növekedést jelent az előző évhez képest. [12.]

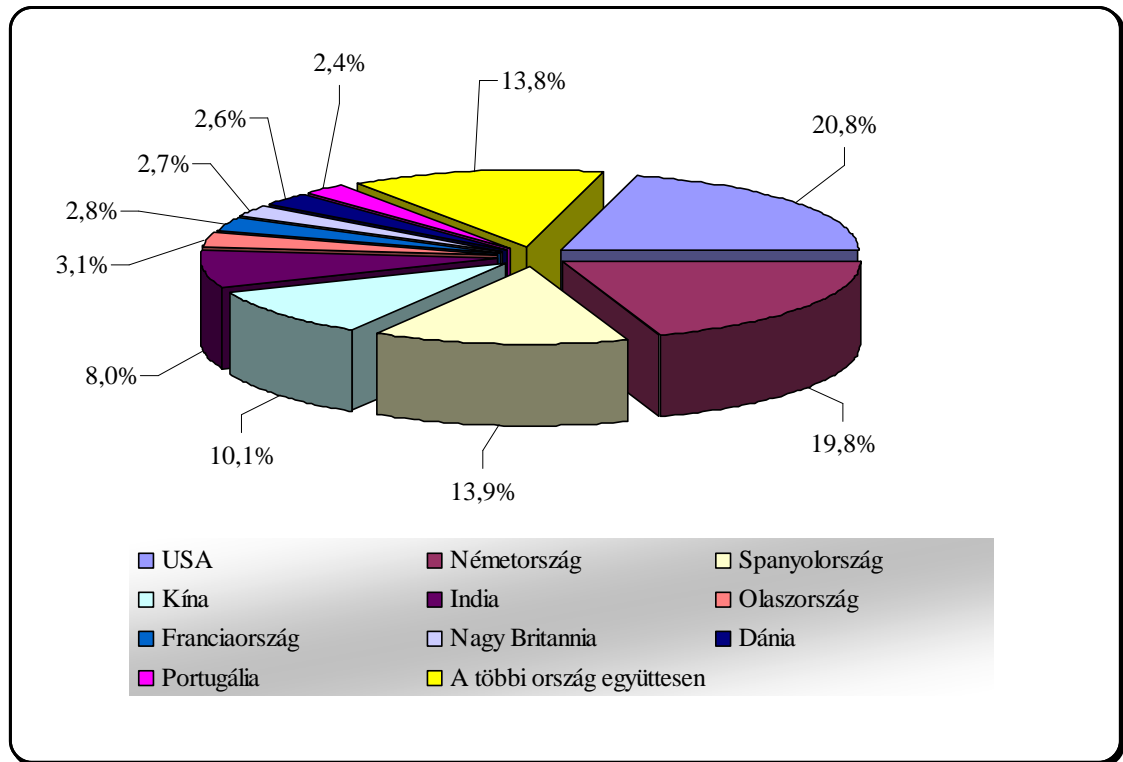
### 6.1. táblázat

A Föld első 10 szélerenergia termelő állama 2008. december 31-ei adatok szerint [12.]

Szélerenergia termelő országok	Teljesítmény [MW]	A világ össztermelésének hányad része
USA	25170	20,84%
Németország	23903	19,79%
Spanyolország	16754	13,87%
Kína	12210	10,11%
India	9645	7,98%
Olaszország	3736	3,09%
Franciaország	3404	2,82%
Nagy Britannia	3241	2,68%
Dánia	3180	2,63%
Portugália	2862	2,37%
A többi ország együttesen	16686	13,81%
<b>Első 10</b>	<b>104104</b>	<b>86,19%</b>
<b>Világ összes termelése</b>	<b>120791</b>	<b>100,00%</b>

A szélerenergia vitathatatlanul fontos szereplőjévé vált a világ energiapiacának. A Föld első 10 legnagyobb szélerenergiát hasznosító országát mutatja a **6.1 ábrán** található diagram. A klímaváltozás elleni küzdelem miatt egyre nagyobb az igény a CO<sub>2</sub> emisszó-mentes energiatermelési formák iránt. Az Európai Szélerenergia Szövetség (EWEA) adatai szerint 2008 végére 64949 MW szélerőmű termel áramot Európában, amely 15%-os növekedés 2007-hez képest. A szélerőművek Európa villamos energiaigényének 4,2%-át képesek fedezni. Az így termelt energiával 108 millió tonna CO<sub>2</sub> kibocsátását kerülhetjük el, amely 50 millió autó üvegházhatású gázkibocsátásának felel meg. A 2007-es évben az új termelőkapacitások 43 százaléka (8,484 MW) szélerőművi kapacitás volt, ami meghaladja az új kapacitásokat a gáz, az olaj, a szén és

a vízenergia területén. [13.]Az adatok azt mutatják, hogy Európában a szélenergia az első számú választás a megújuló erőforrások alkalmazása területén.



**6.1. ábra**

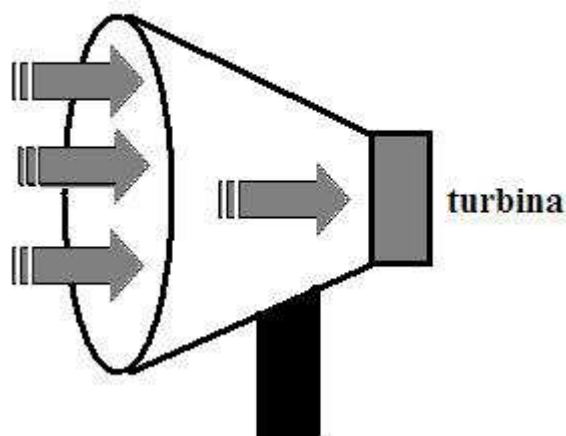
*A világ energia termelésének megoszlása 2008-ban [12.]*

## 7. NAPJAINK SZÉLERŐMŰVEINEK SZERKEZETI FELÉPÍTÉSE

A szél kinetikus energiája mechanikai energiává alakítható át szélmotorokban illetve szélerőgépekben, vagy villamos energiává szélerőművek segítségével. Az emberiség kezdetben a szélből nyert mechanikai energiát közvetlenül hasznosította malmok és egyéb gépek, berendezések meghajtására. Az utóbbi évtizedekben a szél energiáját főleg szivattyúk hajtására használták, amelyekkel víztárolókat lehet feltölteni, vagy légtartályokat feltöltő légsűrítő berendezések működtetésére. Az így tárolt energiát a későbbiekben fel lehet használni pl. olajmotorok, vízturbinák vagy különféle légmotorok hajtására.

Napjainkban a szél mozgási energiáját a szélerőművekben villamos energiává alakítják át, amelyet közvetlen a kiépített hálózatra kapcsolnak, vagy az előállított villamos energiát tárolják. Ennek egyik lehetősége, a jól ismert akkumulátoros villamosenergia-raktározás. A másik lehetőség az elektrokémiai út, amikor hidrogént állítanak elő hidrolízissel, majd ezt cseppfolyósítva tárolják, ezután fűtésre, belsőégésű motorok hajtására használják, vagy visszaalakítják elektromos energiává a nemrégiben kifejlesztett üzemanyagcellák felhasználásával.

Az utóbbi évtizedekben készítettek olyan rendszereket is, amelyek a ritka szélenergia besűrítése révén fejtik ki energia átalakító tevékenységüket. Ilyen pl. a deflektoros vagy a hozzá hasonló konfúzoros változat (**7.1. ábra**), amely nagy keresztmetszettől indulva fokozatosan leszűkítve gyorsítja fel a szél sebességét és a maximum sebesség elérésénél helyezik el a turbinát. Újszerű megoldás a napenergiás változat, amelynek kifejezett nagy erőműi kivitelezésével napjainkban is foglalkoznak. Ezt gyakorlatilag igen nagy felületen elhelyezkedő napkollektor, amely a nap sugárzásából fakadó hőt hasznosítja úgy, hogy a nagy transzparens felület alatt felmelegedő levegő - a felmelegedés hatására csökkenő sűrűsége révén - a toronyban végződő napkollektorban erős, felfelé irányuló áramlásba kezd. Ez az áramlatot fokozatosan szűkítik, s ennek következtében a levegő igen nagy sebességet ér el. A legnagyobb szélesebességű ponton helyezik el a turbinát, amely villamos generátorokat hajt.



**7.1. ábra**

*A deflektoros illetve konfúzoros szélérőmű sematikus ábrája [8.]*

## **7.1. Szélgenerátorok**

A szélérőműveket szokás a benne lévő generátor miatt szélgenerátoroknak is nevezni, de használatos a szélturbina kifejezés is.

### **7.1.1. Szélgenerátor szerkezeti felépítése**

#### **1.1.1.1. Generátorház:**

A generátorházak vagy gondolák 30-120 m magas tornyokon helyezkednek el. Az egyik legfontosabb elem, a lapátkereket szélirányba beállító mechanizmus. Feladata, hogy elfordítsa a tornyon levő házat a függőleges tengely körül. Ennek köszönhetően a lapátkerék mindig szélirányra merőlegesen áll. A **lapátkerék-agy** általában a főtengelyen található, ugyan itt helyezkedik el a tárcsafék, amelyet a tengelykapcsoló követ. Így jut el a lapátkerék forgatónyomatéka a generátor előtti hajtóműn keresztül a generátorhoz (4. ábra).

A szabályozó rendszer feladatai:

- egyeztesse , kihasználhatóvá tegye az aktuális szélenergiát a generátorba beépített teljesítménnyel, vagyis szélirányba szabályozza a lapátkereket
- a tengelye körül forgatható lapátokat a szélsébségnek, ill. a villamos terhelésnek; megfelelő szöghelyzetbe hozza,
- működteti a védelmi rendszert (lapátfék, tengelyfék),
- optimalizálja a kimenő teljesítményt

Igen fontos szerepe van generátorházra szerelt *anemométernek*. Segítségével lehet mérni, ellenőrizni a szélérőművek hatásfokát. A szabályozásban és viharvédelemben is szerepet kap, mivel ezek is a szélsébségtől függően vezéreltek. Az anemométer

közvetlen kapcsolatban áll a vezérlő számítógéppel.

#### **1.1.1.2. Tartószerkezetek**

A szélmotorok állványzatához, a tartóoszlopához használt anyag lehet fa, acél, beton stb. Szélerőművekhez napjainkban leggyakrabban egyenszilárdságú horganyzott acél rács- és csőszerkezeteket használnak. Az állványzat kialakításánál fontos szempont, hogy önfrekvenciájuk eltérő legyen a forgó lapátkerék okozta vibrációk frekvenciájától.

#### **1.1.1.3. Főtengely**

A főtengely jó minőségű edzett, ötvöztött acél. A főcsapágyak többnyire többsoros golyós, vagy görgős csapágyak. A csapágy veszi fel a szellőkésekből és a lengő tömegerekből fakadó terheléseket, s így mérséklék a hajtómű igénybevételét.

#### **1.1.1.4. Nyomatékváltó**

A szélerőművek fontos eleme a nyomatékváltó. A szápári szélerőműveknél bolygóműves változatot alkalmaznak. A rotor többnyire 20-30 fordulatot tesz meg percenként. A nyomatékváltó ezt felgyorsítja 1000-3000 fordulatra percenként. Ilyen nagy igénybevétel mellett a nyomatékváltó olajkenést kap, ami olajhűtővel is rendelkezik. Rendkívüli esetben a turbinát üzemén kívül helyezi.

#### **1.1.1.5. Tengelykapcsoló**

A rugalmas tengelykapcsoló csillapítja az esetleges remegést, ami a szél által meglökött lapátkerék és a generátor váltakozó terhelése (generátoros-, motoros-, ismét generátoros-üzem, stb.) által létrejövő csavaró lengésekből adódik. Így védi a hajtóművet, és a tengelyt az esetleges túlterhelésektől.

#### **1.1.1.6. Generátor**

A szélerőműveknél alkalmazott villamos generátor lehet:

- szinkron
- aszinkron generátor.

Hagyományos 4-6 pólusú aszinkron generátornál 1000-1500 percenkénti fordulatszámra van szükség. A 30-40 fordulatos lapátkerékmozgást nyomatékváltóval gyorsítják a kívánt mértékre. Az aszinkrongenerátorok hátránya, hogy a hálózatra kapcsolás jelentős áram- és nyomatéklökésekkel jár.

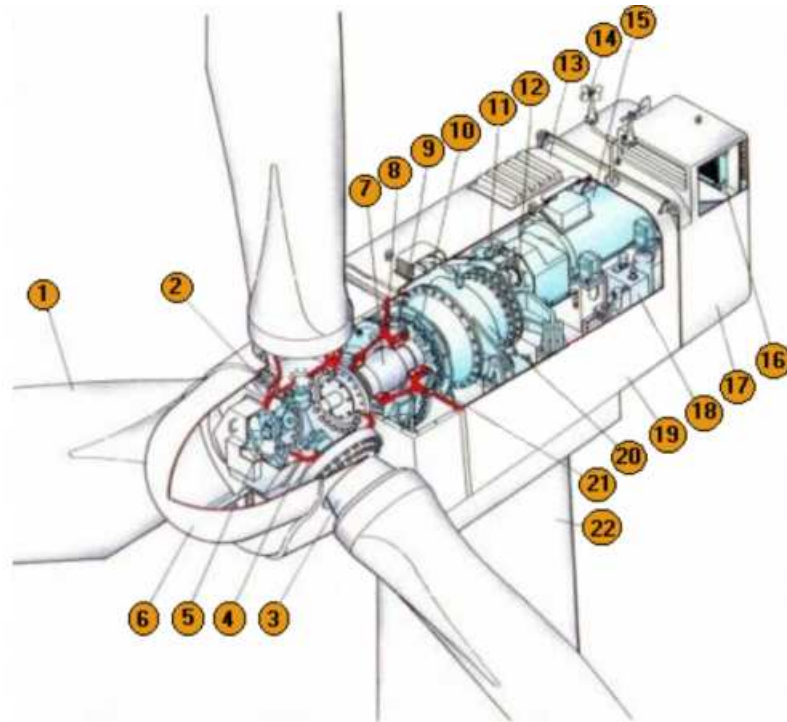
Az aszinkron generátorok egyszerű szerkezetűek, tartósak, nem igényelnek sok karbantartást, valamint vonzó a teljesítmény/ár viszonyuk is.

Sokpólusú gyűrűs szinkrongenerátorral felszerelt berendezés esetén nincs szükség nyomatékváltóra. Ez abból adódik, hogy a generátor a lapátkerék közvetlen hajtásával is el tudja érni a maximális teljesítményt.



A szélrómú megkezdí működését, ha a szélesség eléri a 2 m/s sebességet. A szél megforgatja a lapátkereket az óramutató járásával ellentétesen. A fordulatszám, valamint a lapátok állásszögének vezérlése számítógép segítségével történik.

Egy aszinkron generátoros szélturbina generátor házában (gondolájában) található fő szerkezeti egységeket a 7.2. ábra szemlélteti.



- |                                          |                                                   |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1. Lapát                                 | 12. Hajtómű (kimeneti tengely)                    |
| 2. A lapát elforgató (pitch) mechanizmus | 13. Burkolat                                      |
| 3. A lapát csatlakozó része              | 14. Anemométer (szélesség mérő)                   |
| 4. Lapátkerek agy                        | 15. Generátor                                     |
| 5. Hidraulikus munkahenger               | 16. Olajhűtő                                      |
| 6. Elülső borítólemez                    | 17. Hátsó borítólemez                             |
| 7. Főtengely                             | 18. Hidraulikus egység (szivattyú, tartály, stb.) |
| 8. Főcsapágó ház                         | 19. Borítólemez                                   |
| 9. Főcsapágó                             | 20. Hajtóműház                                    |
| 10. Tengelykapcsoló (a hajtómű előtt)    | 21. Mechanikus fék (hajtómű előtt)                |
| 11. Mechanikus fék (a hajtómű után)      | 22. Torony                                        |

### 7.2. ábra

*Szélturbina szerkezeti egységei [8.] [14.]*

#### 1.1.1.7. Vezérlés

Minden generátor saját vezérlő programmal rendelkezik. A toronyban lévő vezérlőszekrényben elhelyezkedő terminál teszi lehetővé az ellenőrzést, adatok lehívását és parancsok, információk beírását. Saját kijelzővel és billentyűzettel rendelkezik. A vezérlést „on-line”, de rádiófrekvenciás üzemmódra is kiterjeszthetik, s így létesíthető kommunikációs kapcsolat a központi vezérlővel, vagy egyéb terminállal.

Ha bármely paraméter a megengedett értékhatáron kívülre esik, s a processzor a korrekciót nem képes megoldani, a vezérlés a generátort lekapcsolja a hálózatról. A rendszer biztosítja önmagát, rögzíti a hibát.

Minden szélérőművet ellátnak villám- és rövidzárlati védelemmel. A lapátok anyaga üvegszál betétes kompozit műgyanta, a homlokrészbe alumínium lemezcsíkokat építenek be a villámcsapás levezetése céljából. A ház burkolatához a villamos csatlakozást csúszó kefépár biztosítja.

#### 1.1.1.8. Szárnylapát

A szélmotorok legfontosabb része a szárnylapát, amelyen a szélnyomás hatására aerodinamikai erő képződik, s az így kialakuló nyomaték hozza forgásba az energiaátvitelt.

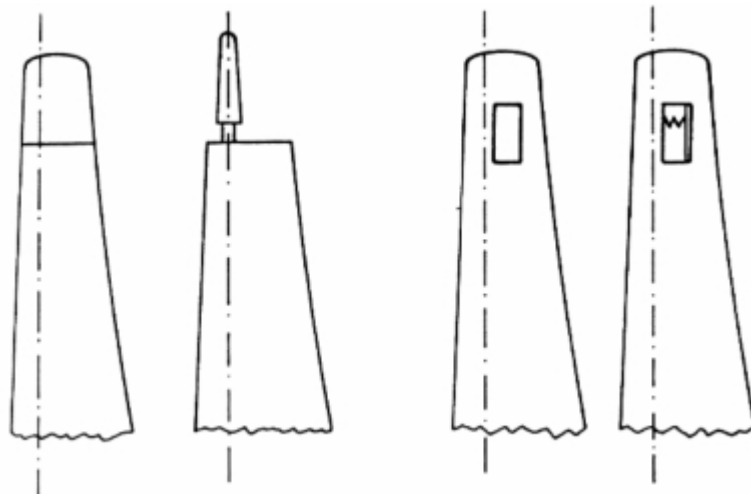
A 2-4 lapátos gyors járású szélmotorok jó aerodinamikai hatásfokkal működnek. A szárnylapátok kialakítása lehet konvex (B), és bikonvex (A) jellegű. (7.3. ábra)



7.3. ábra

*A gyorsjárású szélmotorok szárnylapátai [8.] [14.]*

A lapát biztonsági rendszerrel van felszerelve. Minden modellhez aerodinamikus fék tartozik, amely a szárnylapátok végén, vagy oldalán helyezkedik el. A főtengelyen lévő hidraulikus féknek is védelmi szerepe van. (7.4. ábra)



7.4. ábra

*Aerodinamikus fék a lapátvégeken és a lapátok oldalán [8.] [14.]*

A szélérőművek nagy igénybevételnek vannak kitéve az időjárás szeszélyeit illetőleg, ezért a lapátkereket, a főtengelyt, a nyomatékváltót és az oszlopot szilárdsági szempontokból a nagy szellőkésekre méretezik. A főtengely közel merőleges az oszlop

szimmetriatengelyéhez képest, ezáltal a szélirány követésekor a tornyon hajlító és csavaró igénybevételek jelentkeznek.

A fékrendszer több szintű, általában két-, vagy háromlépcsős:

**1. szint:** A lapátkerék végzi a fordulatszám beállító, ill. túlpörgés elleni fékezéseket normál üzemben

**2. szint:** Generátor terhelésével végrehajthatók szabályozó fékezések.

**3. szint:** Teljes erejű fékezés, illetve megállítás főleg vész helyzetben történik, ami előidézhető a lapátvég befördítésével, vagy a tengelyre szerelt tárcsafékkal való fékezésével.

Mivel a szél nem állandó sebességgel fúj, ezért előfordul, hogy a szélökések 5 – 10-szer nagyobbak, mint az átlagos szélsébség. Ez azt eredményezi, hogy az állványban és a rögzítő-szerkezetben ébredő feszültségek értéke 25-szörösére növekedhet a statikus állapottal szemben. Dinamikai szempontból a háromlapátos konstrukció a leginkább kiegyensúlyozott.

A tartószerkezetre a lapátkerék terheléséből fakadóan hajlító, csavaró és vibrációs terhelés hat.

A lapátok készülnek üvegszálal poliszterből de egyre jobban teret hódítanak a nagyon jó tulajdonságokkal rendelkező a szénszál erősítésű műanyagok.

A lapátok tervezésnél fokozottan kerülni kell a nagyarányú keresztmetszeti átmeneteket (kisebb rádiuszokat).

A szélmotorok lapátszerkezetei igen szélsőséges időjárási viszonyok között működnek. Legjellemzőbb környezeti hatások:

- erős szélviharok,
- a fagy ridegséget okozása,
- a jég, mint tömegnövelő és szárnyprofil formáló
- savas esők korrodáló hatása
- por koptató ereje.

Az utóbbi leginkább a hosszú szárnylapátoknál a lapátvégeken a legvalószínűbb, ahol a sebessége elérheti a 100 m/s-ot is.

A lapátkerekek felépítése tengelyelhelyezés szerint lehet:

**A.)** Függőleges tengelyelrendezésű, a szélirányra merőleges változat, melynek típusait a **7.5. ábra** szemlélteti.

- Előnye: Bármilyen irányból kaphatják a szelet, a szélirány változása nem befolyásolja a kinyert energiát.

- Hátránya: A lapátok által súrolt felület közel van a földhöz, ezért a magasabban lévő nagyobb sebességű szeleket nem tudja hasznosítani.

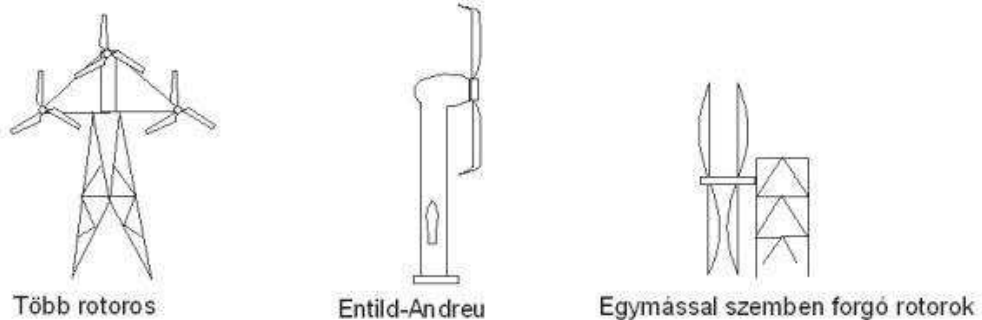
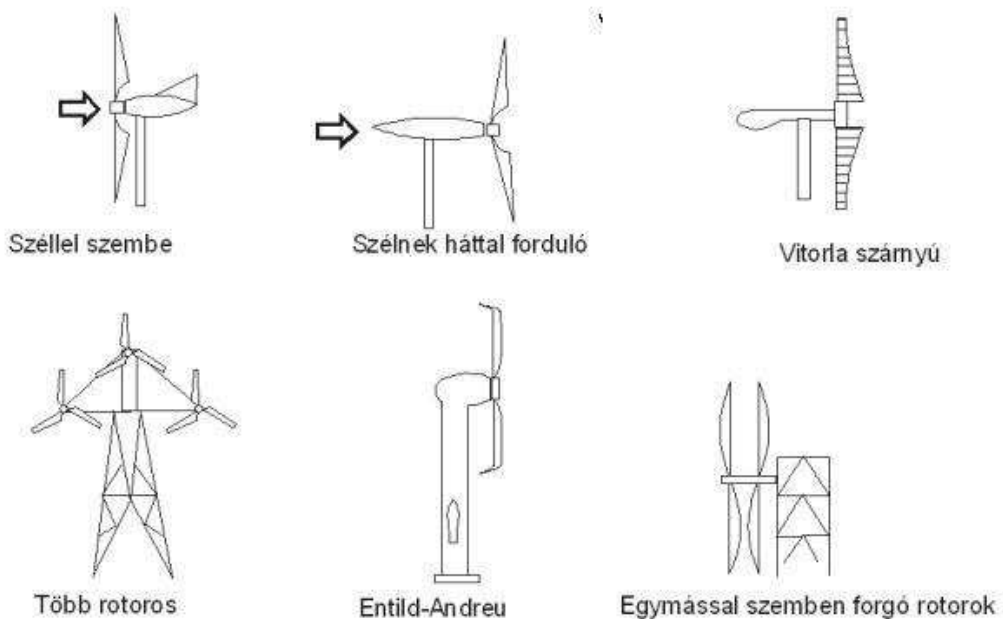
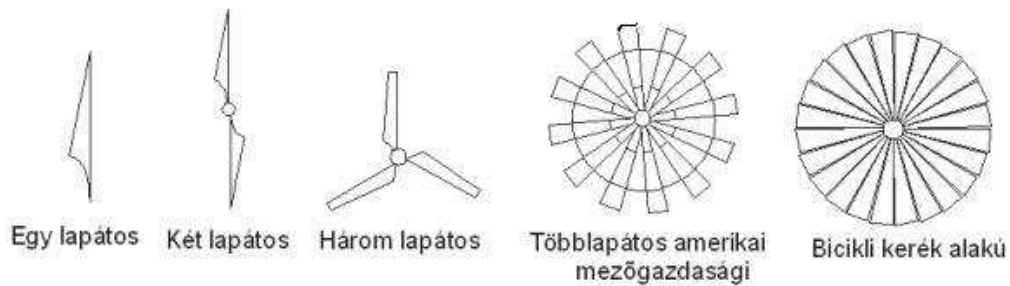


### 7.5. ábra

*A függőleges tengelyű konstrukciók a geometriai formák szerint [8.] [14.]*

B.) Vízszintes tengelyelrendezésű lapátkerekek sokszínűségét a 7.6. ábra mutatja, amelyek két nagy csoportba sorolhatóak:

- a széliránnyal párhuzamos tengelyű kivitel és
- a szélirányra merőleges tengelyű kivitel



### 7.6. ábra

*A vízszintes tengelyű lapátkerekek elhelyezkedése [8.] [14.]*

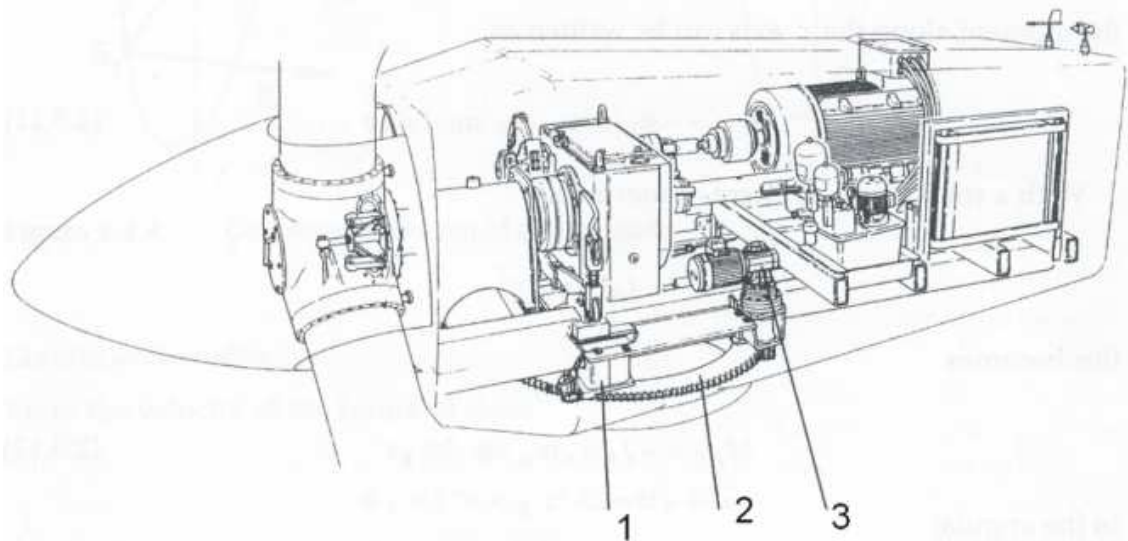
A mai korszerű berendezések vízszintes tengelyűek, s a tengelyezésük megegyezik a szél irányával.

Ezek közül legegyszerűbb az egylapátos kivitel, amelyek egyszerű szerkezetűek, de nagyobb teljesítményű berendezéseknél akadályt jelent a lapát kiegyensúlyozása. Napjainkban leggyakoribb a 3 lapátos változat. Ez a típus képezi a világ szélgenerátor állományának legnagyobb hányadát.

A 3-nál több lapátos változatok általában mechanikai energia elállítására szolgálnak. A tíznél több, soklapátos változatokat amerikai rendszerű berendezéseknek nevezik. Ezeket főleg a mezőgazdaságban használják elsősorban vízszivattyúzásra.

#### 1.1.1.9. Széliránykövető

Feladata a rotort szélirányba fordítani (7.7. ábra). A gépház általában 3 teljes körbefordulásra képes. Az esetleges túlfordulástól passzív fékberendezés védi a rendszert. Amikor fék üzembe lép, leáll a turbina, és automatikusan visszafordítódik a gondola a motor által.



7.7. ábra

*Szélirányba forgatás [8.] [14.]*

*1-vezérlés, 2- fogaskoszorú, 3- meghajtó motor*

#### 1.1.1.10. Üzemi és biztonsági rendszer

A szélérőmű automatikusan üzemel mindenfajta szélviszony mellett. Ha a szélsébség eléri a 2,5-3 m/s értéket a generátor automatikusan bekapcsol. A kis teljesítményű generátor fokozat 5-7 m/s -os szélsébségig működik. A nagy teljesítményű generátorok általában 15-25 m/s-os szélsébségig működnek. Ekkor működésbe lép a teljesítmény leszabályozás. Túlpörgés elleni fékezéseket normál üzemmódban a lapátkerék végzi. Ez történhet a lapátvégekkel, ill. a lapátok

aerodinamikai fékhatásával (Stall-rendszer), vagy a lapát teljes elfordításával (Pitch-rendszer). A tengelyfékkel rögzítik a már leállt szélturbinát. Amennyiben a szélsébség a megengedett határ alá kerül, úgy a turbina automatikusan újra bekapcsol.

### **7.1.2. A szélgenerátorok teljesítmény szerint csoportosítás**

A szélgenerátorokat teljesítmény szerint három csoportba szokás besorolni.

#### **1. csoport:** Kicsi különálló turbinák (0,5-10 kW)

Ebbe a csoportba tartozó szélgenerátorokat akkumulátortöltésre, fűtésre használják. Ezek a villamos hálózatoktól távol eső helyeken a leggazdaságosabbak és legsikeresebbek. Jelenleg több mint 200000 akkumulátortöltő szélturbina üzemel a világon.

#### **2. csoport:** Hibrid rendszerek közepes méretű szélturbinái (10-150 kW)

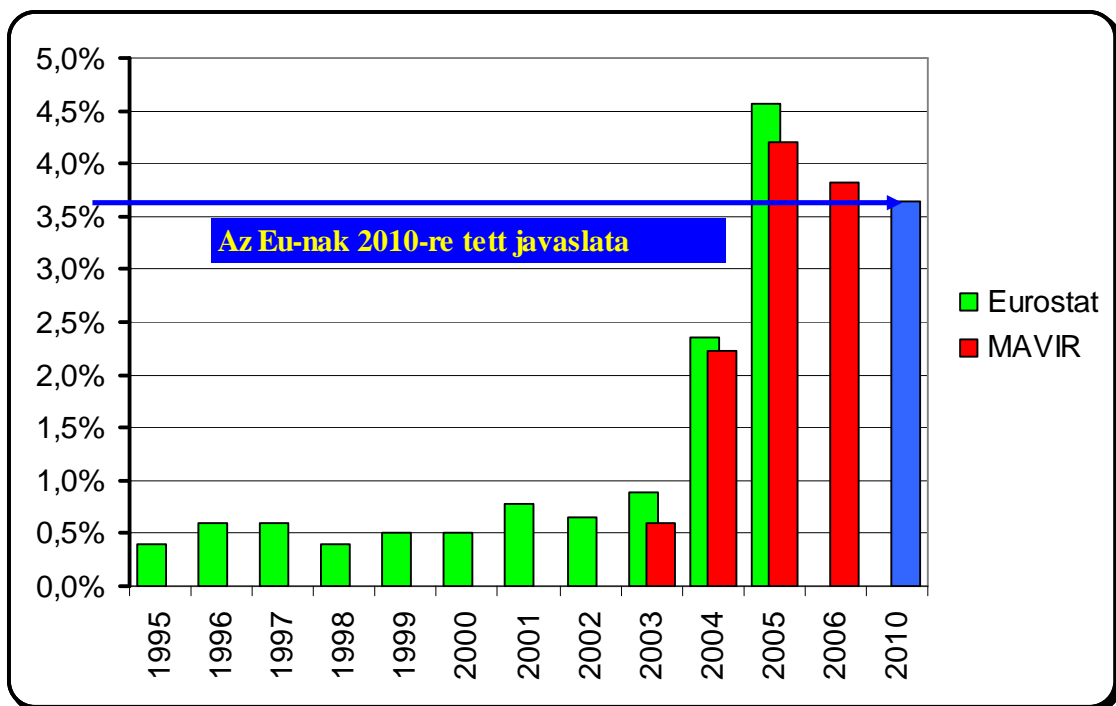
Más energiaforrásokkal is kombinálhatók. Ilyenek pl. a fotoelektromos cellák, és dízelgenerátorok. Felhasználhatók vízhálózat vagy akkumulátor töltésére.

#### **3. csoport:** Nagyméretű szélturbinák (1500-4000 kW)

A hálózatba kapcsolt szélgenerátorok gyakran szélfarmokon üzemelnek.

## 8. A SZÉLENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI MAGYARORSZÁGON, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A BAKONYBAN

Az Európai Unióhoz való csatlakozás után Magyarország is egyre többet foglalkozik a megújuló energiaforrások használatának lehetőségeivel, mert az Unió energiapolitikai alapelvei között kiemelkedő szerepet kapott ezek felhasználásának bővítése. Az elvárás Magyarországgal szemben az, hogy az összes energiafelhasználáson belül a megújuló energiaforrások 0,5-0,7%-os részarányát 2010-ig 3,6%-ra kell növelni. (8.1. ábra) Ennek egyik lehetősége a szélenergia előállításával előállított villamos áram.



8.1. ábra

*A megújuló energia aránya a teljes villamosenergia-fogyasztáson belül  
Magyarországon az Eurostat és a MAVIR adatai alapján [15.]*

A csatlakozás óta a szélenergia ipar fellendülőben van. Ám a szélenergia termelésének ellenzői azzal érvelnek, hogy hazánk széljárása nem megfelelő erre a célra és a szélességek túl alacsonyak.

Ez valóban sok helyen igaz, de nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy az 1900-as években több mint 600 szélmalom működött Magyarországon. Az 1930-as években ez a szám meghaladta a 250-et, Karcagon pedig még 1952-ben is működött szélmalom. Ezek alkalmazását a növekvő villamos-energia szolgáltatás tette feleslegessé, nem pedig a kedvezőtlen széljárás. Magyarországon a vízvezető és a villamosenergia termelő szélenergia termelői egyaránt alkalmazhatók. Kisebb

berendezésekkel vízszivattyúkat, generátorokat lehet működtetni. A nagyobb szélérőművek villamosenergia előállítására alkalmasak, valamint a megtermelt villamosenergiának a hálózatra táplálásra.

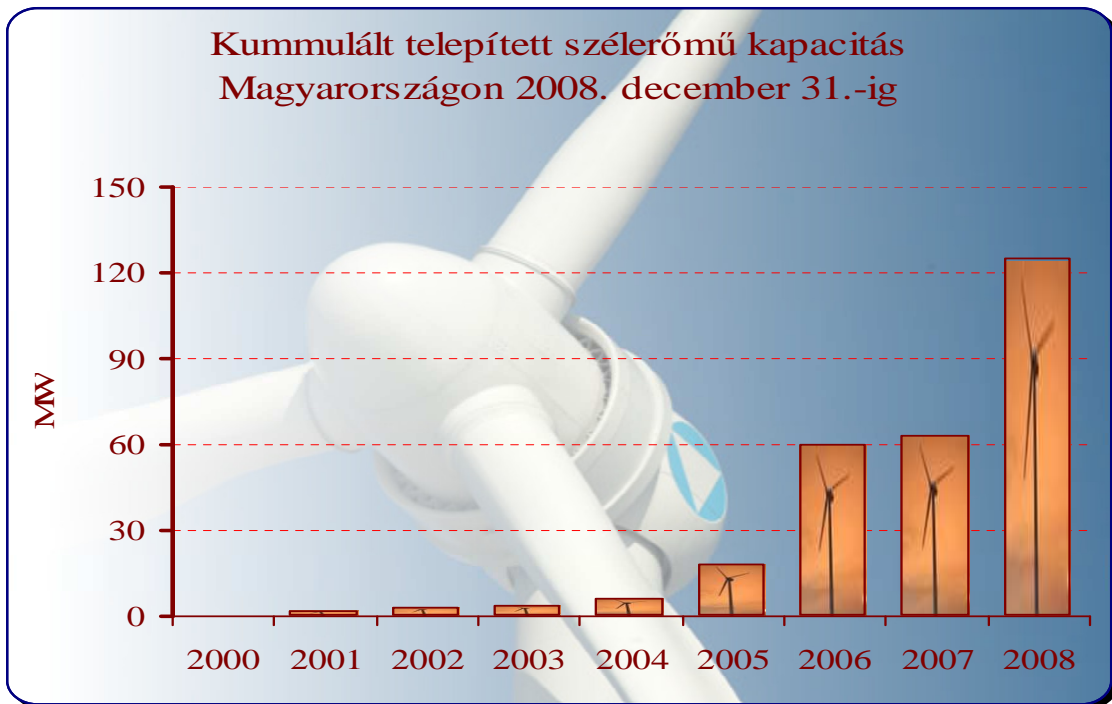
Szélenergia felhasználás szempontjából a legjobb terület hazánkban az észak-nyugati országrész, tehát a Kisalföld, valamint a Bakony és térsége. A dél-keleti országrész is hasonló tulajdonságokkal bír. A 2008 végéig elkészült 71 darab szélérőmű adatait a **8.1. táblázatban** olvashatjuk, az ezt követő három diagrammon (**8.2. ábra, 8.3. ábra és 8.4. ábra**) ezen erőművek együttes paramétereiről kaphatunk tájékoztatást 2000-es évig visszamenőleg.

### 8.1. táblázat

Magyarországi szélérőművek listája 2008 végéig [16.]

Helyszín	Toronyszám [db]	Gyártó cég	Típus	Egység- teljesítmény [kW]	Összes teljesítmény [kW]	Üzembe helyezés időpontja
Inota / Várpalota	1	NORDEX	N-250	250	250	2000
Kulcs	1	ENERCON	E-40	600	600	2001/ 5/ 23.
Mosonszolnok	2	ENERCON	E-40	600	1200	2002/12/19
Mosonmagyaróvár	1	ENERCON	E-40	600	600	2003
Mosonmagyaróvár	1	ENERCON	E-40	600	600	2003
Bükkaranyos	1	VESTAS	V27	225	225	2004
Erk	1	ENERCON	E-48	800	800	2005
Újrónafő	1	ENERCON	E-48	800	800	2005
<b>Szápár</b>	<b>1</b>	<b>VESTAS</b>	<b>V90 NH80</b>	<b>1800</b>	<b>1800</b>	<b>2005</b>
Vép	1	ENERCON	E-40	600	600	2005
Mosonmagyaróvár	5	ENERCON	E-70	2000	10000	2005
Mezőtúr	1	Fuhrlander	MV77	1500	1500	2006
Törökszentmiklós	1	Fuhrlander	MV77	1500	1500	2006
Mosonmagyaróvár	5	VESTAS	V90	2000	10000	2006
Felsőzsolca	1	VESTAS	V90	1800	1800	2006
<b>Csetény</b>	<b>2</b>	<b>VESTAS</b>	<b>V90</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	<b>2006</b>
Ostffyasszonyfa	1	ENERCON	E-40	600	600	2006
Levél	12	GAMESA	G90	2000	24000	2006
Mosonszolnok	1	ENERCON	E-48	800	800	2007
Csorna	1	ENERCON	E-48	800	800	2007
Mecsér	1	ENERCON	E-48	800	800	2007
<b>Bakonycsernye</b>	<b>1</b>	<b>VESTAS</b>	<b>V90</b>	<b>2000</b>	<b>2000</b>	<b>2007</b>
Sopronkövesd	4	VESTAS	V90	3000	12000	2008
Nagylózs	3	VESTAS	V90	3000	9000	2008
Nagylózs	1	VESTAS	V90	2000	2000	2008
Levél	12	REPOWER	MM82	2000	24000	2008
Jánossomorja	4	VESTAS	V90	2000	8000	2008
Jánossomorja	1	VESTAS	V90	2000	2000	2008
Ács	1	VESTAS	V90	2000	2000	2008
Pápakovácsi	1	VESTAS	V90	2000	2000	2008
Vönöck	1	VESTAS	V52	850	850	2008





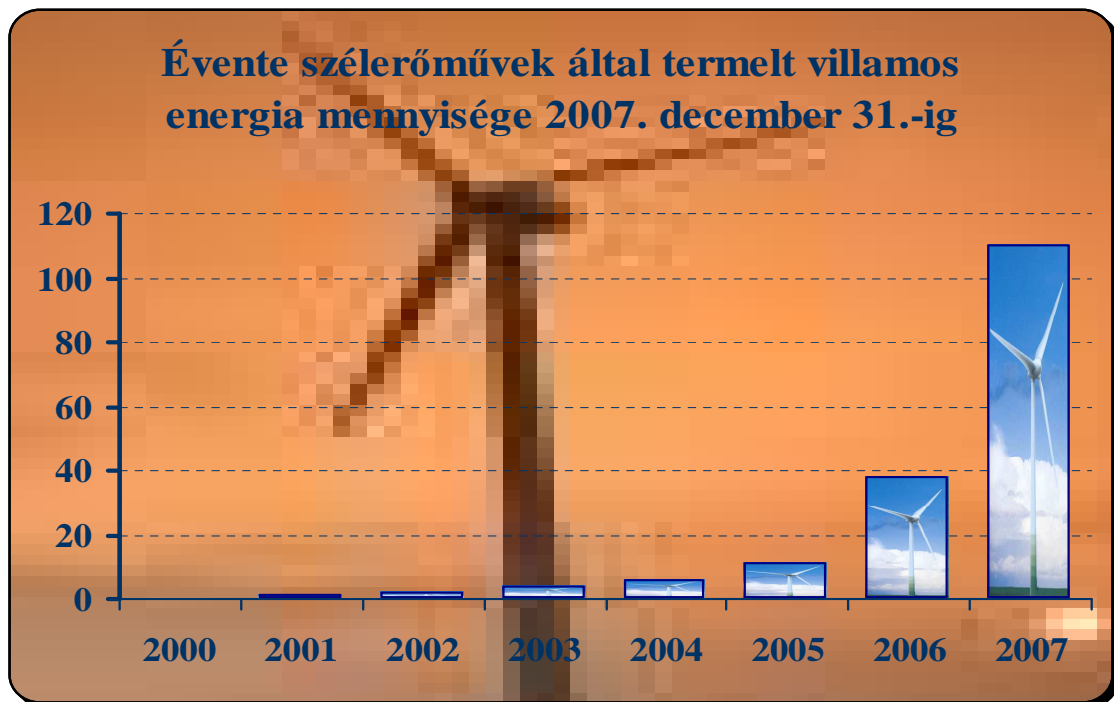
**8.2. ábra**

*Kummulált telepített szélenergia kapacitás Magyarországon 2008. december 31.-ig [MW] [16.]*



**8.3. ábra**

*Évente installált szélenergia kapacitása [kW] [16.]*



**8.4. ábra**

*Évente szélérőművek által termelt villamos energia mennyisége GWh-ban 2007. december 31.-ig [16.] [20.]*

## **8.1. Szélérőművek telepítése**

A szélérőművek helyének és típusának kiválasztásakor gondosan és körültekintően kell eljárni. Szélérőművet csak olyan helyre érdemes telepíteni, ahol a környezeti viszonyok és a domborzat megfelelő a szélenergia kinyerésére. Telepítésnél tulajdonképpen négy kritériumot kell figyelembe venni:

### **8.1.1. A szélesebbeségre és szélirányra vonatkozó kritérium**

A megvalósítás érdekében az adott helyszínen minimum egy évig szélesebbesség és széliránymérést kell végezni 40-60 méter magasságban. De mi is a szélesebbesség és szélirány?

A szélesebbesség az a pillanatnyi sebesség, amellyel a levegő adott földrajzi helyen, a terepszinttől meghatározott magasságban mozog. Jelölése:  $v$ , mértékegysége: m/s.

A szélirány a szél mozgási irányának vízszintes vetülete, amelyet az égtájakhoz viszonyítva adunk meg.

A szélesebbességméréshez többpólusú szélirány érzékelővel ellátott kanalas mérőberendezést, anemométert alkalmaznak. A kapott mérési eredményeket számítógép segítségével dolgozzák fel. Az anemométerek használatánál nem elhanyagolható szempont, hogy megbízhatóak. Gyakran jobb a karakterisztikájuk, mint a meteorológiai

központ által használtaknak és viszonylag alacsony a költségük.

Energiatermelés szempontjából a 30-40 méter fölötti, de legfeljebb 100-200 méteres magasságok jöhetnek számításba. A mérőberendezések azonban csak 10-20 méteres talajszint feletti magasságokban helyezhetők el, ezért a szélességet át kell számítani a megfelelő magasságra a következő formula alapján:

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt[5]{\frac{h_2}{h_1}}$$

Ahol:

$v_1$  – a talajközeli  $h_1$  magasságban,  $v_2$  a  $h_2$  magassághoz tartozó szélesség.

A mért szélességi értékeket a sebességi görbéken ( $v=f(t)$  görbe) rögzítik az idő függvényében. Ezek segítségével szerkeszthetők a szél gyakorisági görbék, amelyekről leolvasható a vizsgált szélesség éves előfordulása.

Az átlagos szélesség ( $v_a$ ) ismeretében a Rayleigh-féle eloszlásfüggvény ismeretében jó közelítéssel megadható az adott helyre vonatkozó szélesség gyakorisága:

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

ahol  $f(v)$  a  $v$  sebességű szél relatív gyakorisága.

Az adott helyre telepített szélgenerátor karakterisztikája tehát meghatározható a mérés során kapott adatok megfelelő magasságra történő átszámításával, valamint a mértékadó szélesség, a napi minimumok és maximumok ismeretével.

A szélirányok mérésére szélirányjelzőket alkalmaznak, amelyekre azért van szükség, mert a túl gyakori szélirányváltozásokat a nagyméretű gépekkel nehéz követni.

A megfelelő karakterisztika alapján a szélgenerátorokat gyártó cégek ajánlataiból kiválasztható az adott területre legmegfelelőbb gép. [8.]

### **8.1.2. A területre vonatkozó kritérium**

Itt a helyi környezeti domborzati viszonyok mellett meg kell állapodni a földterület tulajdonosával a terület rendelkezésre állásáról.

### **8.1.3. A megtermelt energia elszállítására illetve raktározására vonatkozó kritérium**

A szélerőmű park létesítésére kijelölt hely közelében olyan villamoshálózat

szükséges, amely képes fogadni a szélérőművek által termelt energiát.

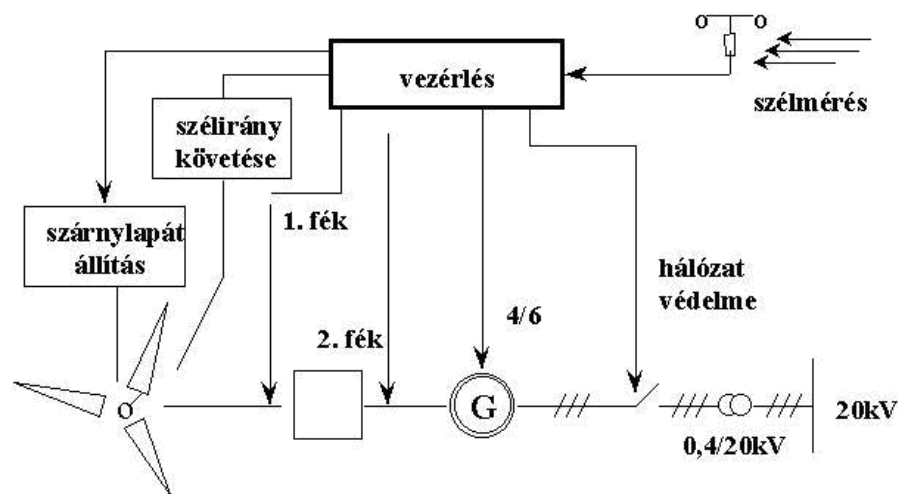
A szélérőműveket kétféleképpen kapcsolják rá a villamos hálózatra:

- Szigetüzemben:

Amikor a megtermelt villamos energiát saját célra, a közcélú elosztóhálózattól függetlenül hasznosítják. A szigetüzem a kisfogyasztók, háztartások, kisüzemek lehetősége.

- Villamos áram hálózatra kapcsolással:

Vagyis a villamos áramot közcélú elosztóhálózatra táplálják.(8.5. ábra) Ez a leggyakrabban alkalmazott felhasználás.



8.5. ábra

*Termelt áram villamos hálózatra táplálásának elvi vázlatja.[8.]*

A szélerőenergia segítségével előállított ipari méretű villamosenergia-termelés azt jelenti, hogy a megtermelt energiát rátápláljuk a közcélú elosztóhálózatra, ami által a szélérőmű szerves része lesz a hálózatot tápláló erőműrendszernek.

A hálózati üzem előírt feltételeinek és gazdaságos működésének csak nagyteljesítményű szélérőművekkel lehet eleget tenni. A fajlagos beruházási költségek kb. 100 kW feletti névleges teljesítménynél teszik lehetővé a gazdaságos hálózati üzemet.

A villamos hálózatra kapcsolást úgy is ki lehet alakítani, hogy mindkét üzemmódot meg lehessen valósítani a szélgenerátorral.

Hálózatra kapcsolásnál a következő együttműködési szempontok kell figyelembe venni:

- Műszaki szempont: ide tartozik a generátor típusa, csatlakozási pont, védelmi funkciók stb.

- Jogi szempont: Villamos Energia Törvény, IKIM rendelete, az áramszolgáltató üzleti szabályzata
- Gazdaságossági szempont

A fentiek teljesülése esetén is folyamatos ellenőrzésre szorul a hálózati csatlakozásnál:

- Feszültség
- Áram
- Frekvencia

Ha ezek közül a paraméterek közül bármelyik a megengedett értéken kívül esik, a vezérlés lekapcsolja a gépet a hálózatról.

#### **8.1.4. A beruházó feladatai és annak ellátására vonatkozó kritérium**

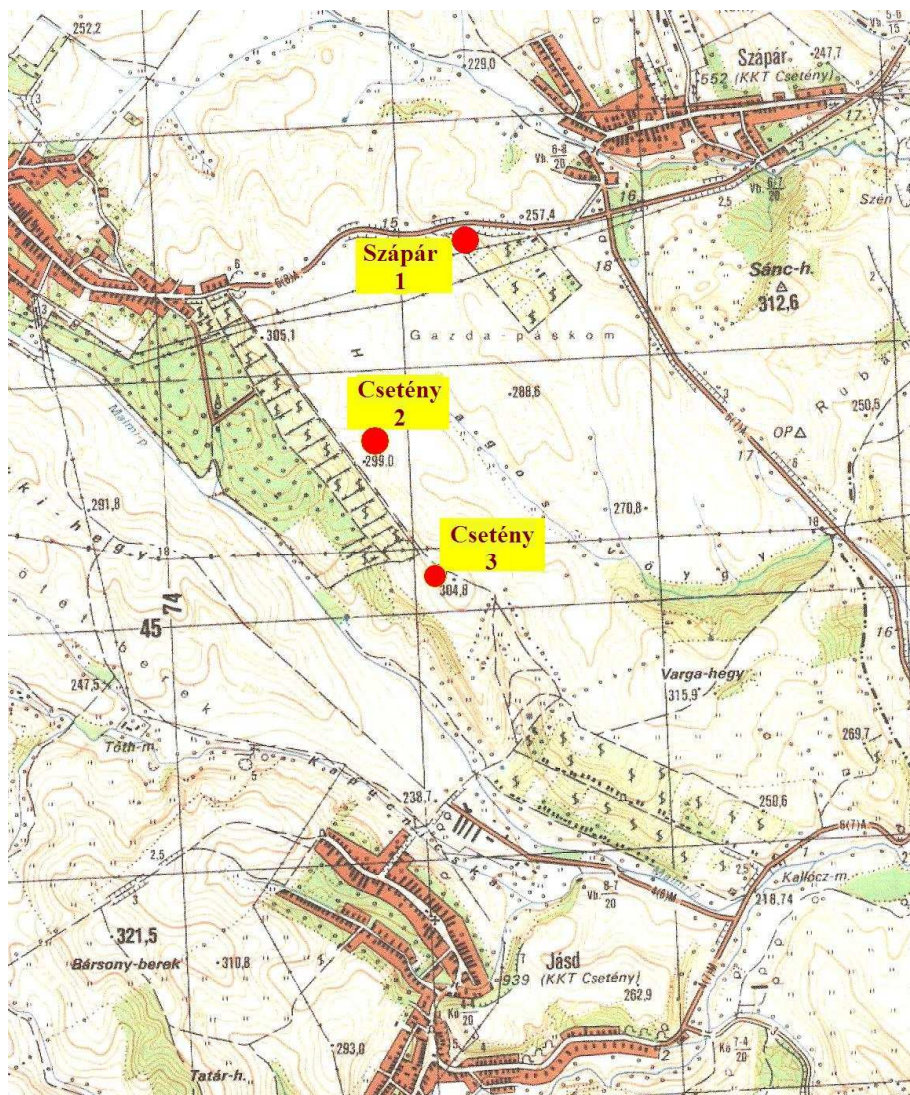
Feladatai közé tartozik a környezetvédelmi engedély, jogerős építési engedély, vezetékjogi engedély, áramátvételtől szóló hosszú távú szerződés beszerzése. Őt terhelik a berendezés költségei, a megvalósítás költségei, mint mérnöki munkák, engedélyezés, alapozás, útépítés, hálózatra csatlakozás stb.

## **8.2. A bakonyi szélerőművek**

Szápár és Csetény községek a Dunántúli-középhegység nagytáján, a Bakonyvidék régióán belül a Súri-Bakonyalja kistáj részeként, Veszprém megye keleti részén helyezkednek el. Közvetlen szomszédságukban található a már Fejér megyéhez tartozó település Bakonycsernye. A Bakony hegységben kedveznek a szélviszonyok szélerőművek telepítésére. Az itt végzett széleskörű környezetvizsgálatok kimutatták, hogy szélpotenciál szempontjából a Tési fennsík lenne a legmegfelelőbb, de az természetvédelmi terület része. A sokéves szélmerések azonban Szápár és környékén is jó eredményeket mutattak.

A térségben 2005 óta négy szélerőmű épült, egy Szápáron, kettő Csetényben (**8.6. ábra**) és egy Bakonycsernyén, melyek kivitelezését a szombathelyi Precíz KFT végezte.

A telepítési hely kiválasztásában fontos szempont volt a szélviszonyok figyelembevétele, a természetvédelem és környezetvédelem, valamint a lakosság véleménye is. A terület kiválasztása a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Természetvédelmi Hivatalának az előírása alapján történt.



**8.6. ábra**

*A vizsgált három szélérőmű elhelyezkedésének térképvázlata [21.]*

A lakosság részéről is pozitívak a visszajelzések a szélérőművekkel kapcsolatban.

A lehetséges szélérőművek közül a Vestas V90 típusú gépekre került a választás, mert ez a típus az egyik legkorszerűbb, leggazdaságosabb és a környezetvédelmi előírásoknak megfelelő.

Az OMSZ 1935 óta méri a szélsébséget és a szélsébség irányát az ország egész területén 10 m-es magasságban. A TÉS meteorológiai állomás nagyon kedvező értékeket mutat évek óta. A beépítési helytől 1,6 km-re Csetény-Szápár összekötő út északi oldalán Cseténytől 150 m-re, 10,5 m magasságban elhelyezett szélmérővel 2,5 éven keresztül mért mérési adatok alapján kedvező eredmények születtek.

A vizsgált területen az északnyugati szélirány (**8.8. ábra**) az uralkodó, az átlagos szélsébség pedig 3 m/s körüli értéket mutat.

A szélérőmű gazdaságos működéséhez legalább 6,6 m/s éves átlagos szélsébség



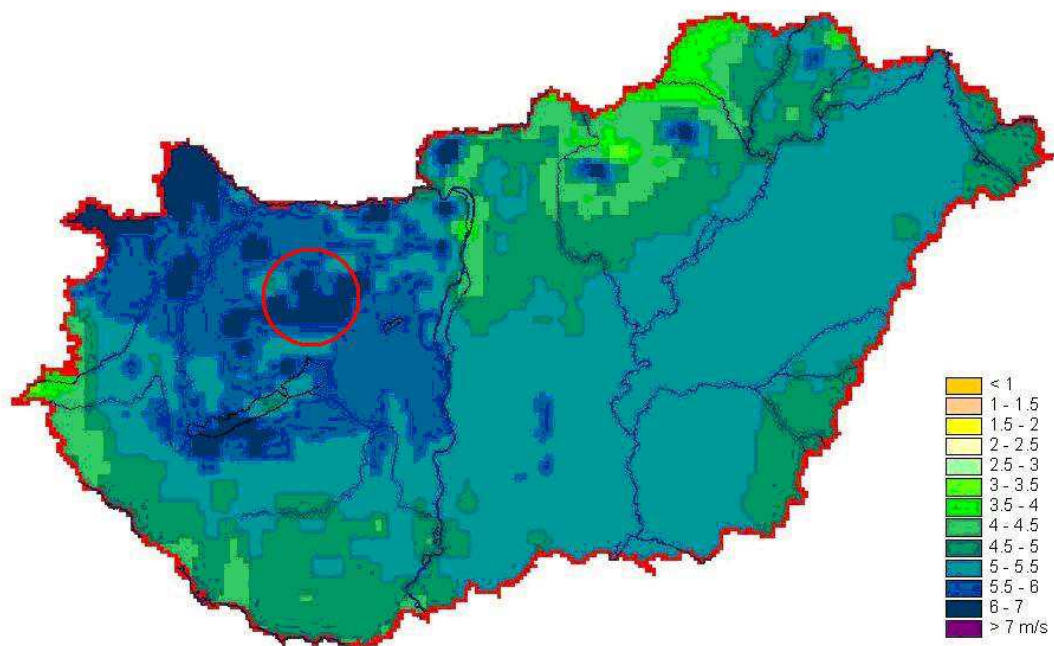
szükséges. A magyarországi szélviszonyokat figyelembe véve az ennek megfelelő, illetve ehhez közeli szélsébséget a 100 m körüli toronymagasság biztosítja.



**8.7. ábra**

*A leggyakoribb szélirányok és az átlagos légnomás Magyarországon [22.]*

A széltérképről leolvasható, hogy a térségben az átlagos szélsébség 75 méteres magasságban meghaladja az 5 m/s értéket, tehát érdemes a szélenergiát, mint megújuló energiaforrást hasznosítani. (8.9. ábra)



**8.8. ábra**

*Magyarországi átlagos szélsébség 75 méter magasságban [17.]*

### **8.3. A bakonyi Vestas V90-1,8/2,0 MW típusú szélérőművek felépítése és főbb paraméterei**

A VESTAS úgynevezett OptiSpeed technológiát alkalmaz gépeiben, ami lehetővé teszi, hogy a berendezés optimális fordulatszámmal működjön, és a teljesítmény leadás is optimális legyen. További előnyt jelent az is, hogy kisebb csúcsterhelés esetén kisebb lesz a kopás a hajtóműben, a lapátokon, valamint a tornyokon. Mivel a turbina által keltett zaj a szélesebbesség függvénye, így ezzel a megoldással elért kisebb forgási sebesség következtében csökken a zajszint is.

A rendszer szabályozza az áramot a generátor rotorjának körforgásában, ami lehetővé teszi a látszólagos teljesítmény pontos ellenőrzését

Az összes V90-1,8/2,0 MW modell a VESTAS által feltalált OptiTip hajlásszög-szabályozó rendszerrel van felszerelve. Az OptiTip a rotorlapátokat a mindenkori szélviszonyoknak megfelelően optimális szögbe állítja. Ez növeli az energiatermelést, és hozzájárul a zajkibocsátás csökkenéséhez. [21.] [18.]

A levegő hőmérsékletétől és sűrűségétől függetlenül minden szélesebbesgnél optimalizálja az OptiSpeed és OptiTip rendszer a teljesítmény leadást. Magas sebességnél gondoskodik arról, hogy az energiatermelés ne lépje túl a névleges teljesítményt. A két VESTAS modell teljesítményét a szélesebbesség függvényében, a **8.2. táblázat** és a **8.10.** illetve **8.11. ábra** szemlélteti.

A rotorlapátok üvegszállal megerősített epoxi-gyantából és szénszálakból állnak. Minden lapát két héjből áll össze, amelyek körbezárják a főtartót. A rotorlapátokat speciális acélszelvények kötik össze a lapát-csapággal.

A főtengely áttételen, bolygókerékes hajtómű és ferde fogazatú homlokfogaskeréken keresztül továbbítja az energiát a generátornak. A vizsgált szélérőművek generátora egy négy pólusú aszinkron-generátor csúszógyűrűs forgórészszel. A szélgenerátor felépítését a **8.12. ábra** mutatja be.

A középfeszültségű transzformátor egy szárazgyanta konstrukció, melyet szélérőműben történő alkalmazásra terveztek. Külön helyiségben kapott helyet a gépterem végében. [21.]

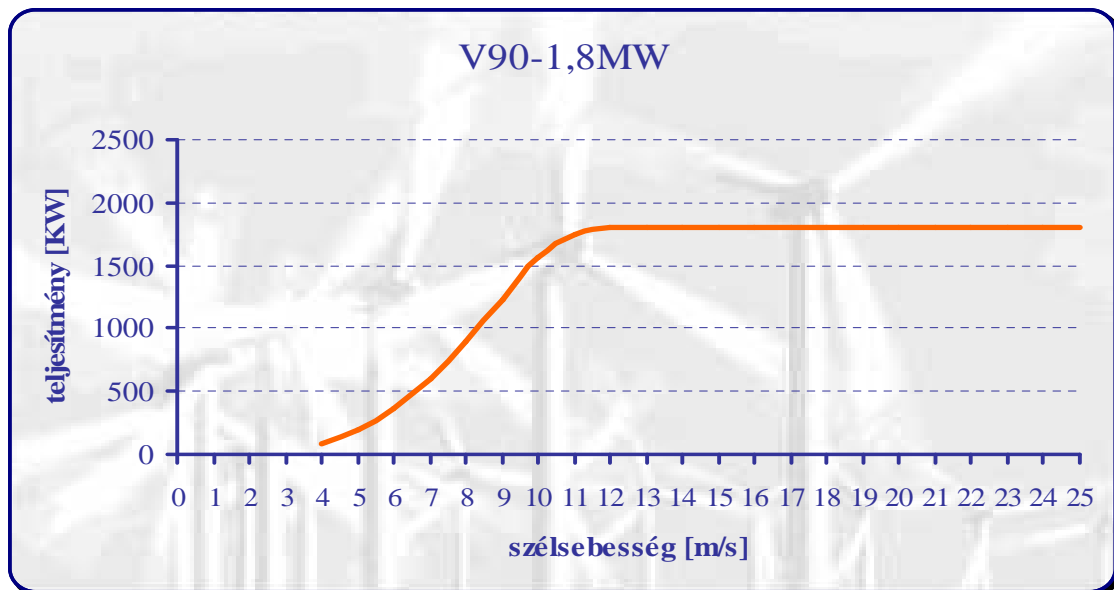
A szélérőmű fékrendszerrel van felszerelve, aminek segítségével a forgás leáll, ha a szükséges. A rendszer gondoskodik a rotorlapok teljes zászlóállásba állításáról, valamint a hidraulikus megállító fék aktiválásáról.



### 8.2. táblázat

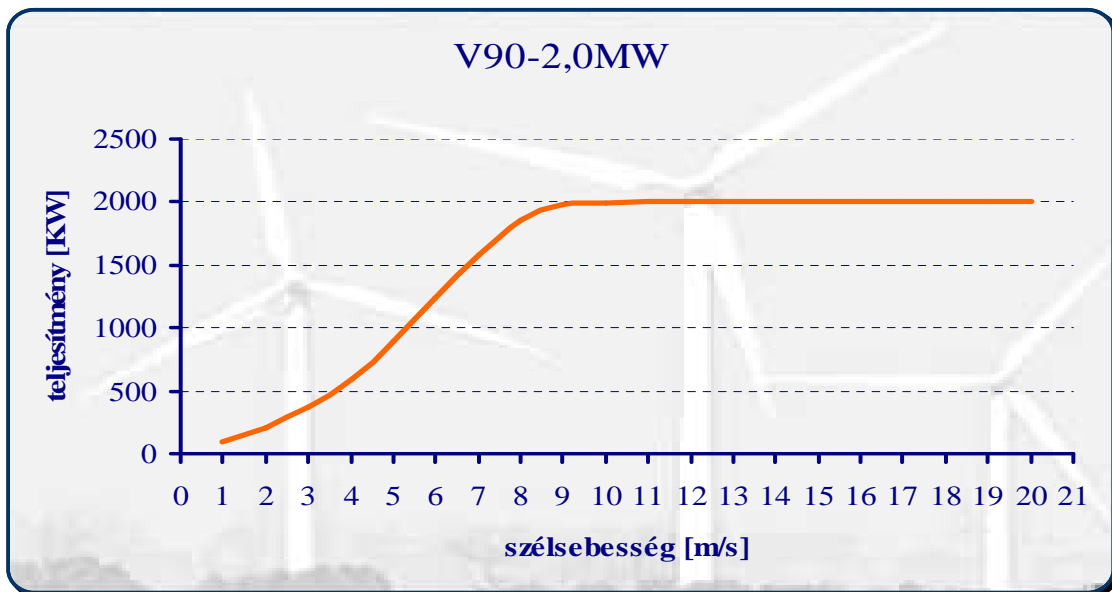
A két különböző szélérőmű teljesítményének értékei a rotoragy magasságban mért szélsébség függvényében  $1,225 \text{ kg/m}^3$ -es légsűrűségi adat mellett [21.]

Szélsébség [m/s]	V90-1,8 MW [kW]	V90-2,0 MW [kW]
4	90	90
5	201	201
6	366	366
7	595	595
8	891	891
9	1236	1236
10	1565	1584
11	1751	1859
12	1795	1975
13	1800	1998
14	1800	2000
15	1800	2000
16	1800	2000
17	1800	2000
18	1800	2000
19	1800	2000
20	1800	2000
21	1800	2000
22	1800	2000
23	1800	2000
24	1800	
25	1800	



8.9. ábra

A V90-1,8MW-os erőmű teljesítménye a szélsébség függvényében [21.]



**8.10. ábra**

*A V90-1,8MW-os erőmű teljesítménye a szélsebesség függvényében [21.]*

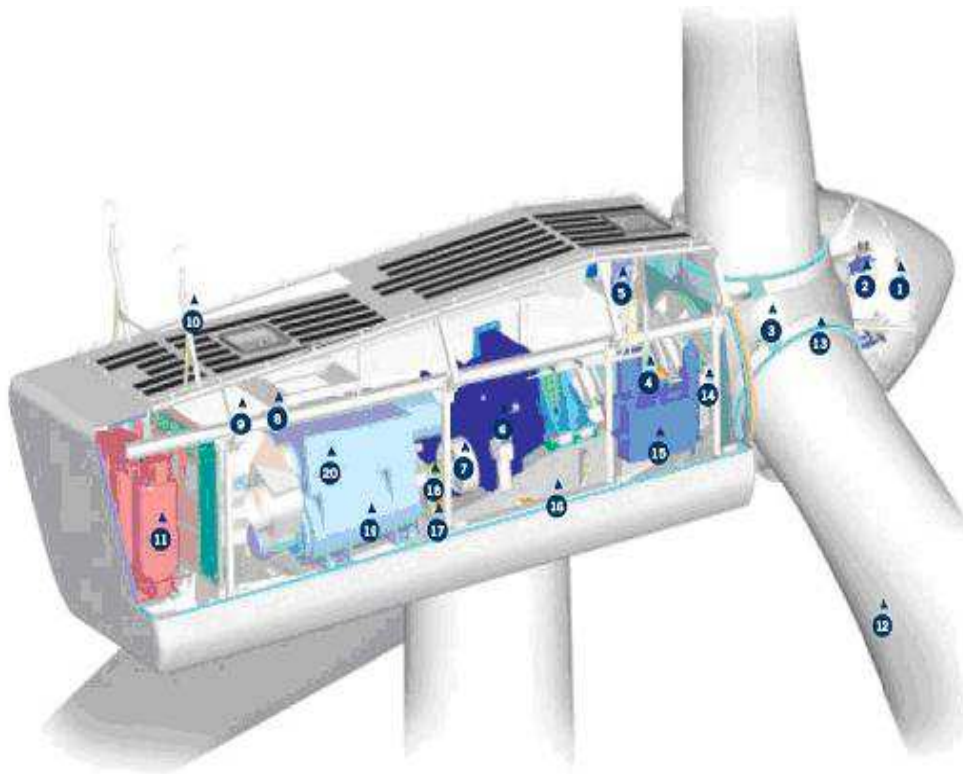
A szélerőmű működését egy mikroprocesszorral vezérelt irányítóberendezés ellenőrzi és szabályozza. Az irányítórendszer szenzorokkal van felszerelve, hogy biztosítva legyen a biztonság és a berendezés optimális üzeme.

A Pitch rendszert három hidraulikus henger működteti-rotorlapátonként egy. A gépházban elhelyezett hidraulikus egység szolgáltatja a hidraulikus nyomást a Pitch-rendszer és a fékrendszer számára. A rendszereket felszerelték hidraulikus akkumulátorokkal, amelyek lehetővé teszik a biztonságos leállást hálózat-kimaradás esetén.

A torony csúcsán négy elektromos forgató meghajtás állítja be megfelelő irányba a gépházat.

Az időjárás szeszélyeinek kitett gépházburkolat üvegszállal van megerősítve, így a gépház minden eleme védve van portól, naptól, hótól, esőtől, fagytól. A gépházat egy 800 kg-os szerviz daruval látták el.

A szélerőművek felállítása szélparkokban legalább 5 rotor átmérő távolságot követel meg, ami 90 m rotor átmérőnél 450 m-t jelent.



- |                                  |                                   |                                    |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Lapátszögvezérlés             | 6. Hajtómű                        | 11. Nagyfeszültségű transzformátor | 16. Gép alappokeret               |
| 2. Lapátszögállító munkahengerek | 7. Mechanikus tárcsafék           | 12. Lapát                          | 17. Azimut hajtás                 |
| 3. Lapátagy                      | 8. Szerelődaru                    | 13. Lapátcsapágyazás               | 18. Kompozitlemez tengelykapcsoló |
| 4. Főtengely                     | 9. VMP-felső vezérlő átalakítóval | 14. Forgórész reteszrendszere      | 19. OptiSpeed generátor           |
| 5. Olajhűtő                      | 10. Ultrahangos érzékelők         | 15. Hidraulikus egység             | 20. Léghűtő a generátorhoz        |

### 8.11. ábra

A Vestas szélgenerátorok felépítése [18.]

#### 8.3.1. A telepített erőművek műszaki adatai

A rotor jellemző mennyiségei:

- Átmérő: 90 m
- A lapátok által súrolt felület: 6362 m<sup>2</sup>
- Névleges fordulatszám: 13,3 1/min
- Fordulatszám működési tartományban: 8,8-14,9 1/min
- Forgás iránya: óra járásával megegyező
- Beállítás: szél felőli oldal
- Aerodinamikus fékek: teljes zászlóállítás
- Lapátok száma: 3

#### A főtengely paramétere:

- Típus: üreges tengely kovácsoltvasból
- Anyaga: 42 CrMo4 QT / EN 10083

#### A torony műszaki adatai:

- Típus: kónikus cső (kúpszerű)
  - Anyaga: S 355 J2G3 / NL
  - A csúcs átmérője: 2,3m
  - Közepes átmérő a lábánál: 4,15 m
  - Rotor-agy magassága: 80 m, 105 m
- |  |           |           |
|--|-----------|-----------|
|  | V90-1,8MW | V90-2,0MW |
|--|-----------|-----------|

A rotor-agy magasság a terepszinttől van mérve, és a toronycsúcs peremétől a rotor-agy középpontjáig terjedő távolságot is magába foglalja.

#### Üzemi adatok:

- |                           |           |                 |
|---------------------------|-----------|-----------------|
|                           | V90-1,8MW | V90-2,0MW       |
| • Bekapcsolási szélesség: | 3,5 m/s   | 3,5 m/s         |
| • Névleges szélesség:     | 12 m/s    | 13 m/s          |
| • Lekapcsolási szélesség: | 25 m/s    | 25 m/s / 23 m/s |

#### Generátor:

- Típus: aszinkron OptiSpeed generátor
- Névleges teljesítmény: 1800 MW, 2000 MW

#### Működési adatok:

- Frekvencia: 50 Hz/60 Hz
- Feszültség: 690 V

#### Transzformátor:

- Típus: Öntött gyanta
- Névleges teljesítmény: 2100kVA
- Magasfeszültség: 6-33 kV
- Frekvencia: 50 Hz
- Teljesítmény 690 V-on: 1902 kVA
- Teljesítmény 480 V-on: 205 kVA

#### Vezérlés:

A turbina minden funkciója mikroprocesszoros vezérlésű, távellenőrzési lehetőséggel. A teljesítmény-szabályozás és-optimalizálás OptiSpeed és OptiTip dőlésszög-szabályozás segítségével történik.

### Tömeg:

	V90-1,8MW	V90-2,0MW
• Torony:	231 t	156 t
• Gondola:	68 t	68 t
• Gépház:	36,3 t	36,3 t
• Összesen:	353,3 t	260,3 t

### A szélgenerátorok területigénye:

Egy szélgenerátor létesítéséhez átlagosan 5-7 ha terület szükséges. Ezek a területek általában mezőgazdasági művelés alatt állnak. Egy szélerőmű területigénye a következőkből áll össze:

- mezőgazdasági terület
- szervizterület (ami a transzformátor helye is)
- szerviz út
- generátor alap

A termőterület csökkenését csupán az a felület jelenti, amelyen a berendezés áll. Ez a terület generátoronként  $15,60 \text{ m} \times 15,6 \text{ m} = 243,36 \text{ m}^2$ , ekkora területet vesz igénybe az alapozás. A közvetlen hatásterületet a szerviz utak és a transzformátorház határozza meg.

- Szápári szélerőmű:  
Művelésből kivont terület út és rakodótér számára:  $945 \text{ m}^2$
- Csetény 1 szélerőmű:  
Művelésből kivont terület:  $1898 \text{ m}^2$
- Csetény 2 szélerőmű:  
Művelésből kivont terület:  $1524 \text{ m}^2$

A terület mezőgazdasági felhasználás szempontjából továbbra is 100%-os értékű marad. [21.] [24.]

### Villamos hálózatra csatlakozás

A szélerőművet egy 6-33 kV középfeszültségű hálózatra kell rácsatlakoztatni, ahol a gépezet feszültségének maximuma 36 kV lehet. A kábelcsatlakozás a torony alapjában történik.

A vizsgált szélerőművek az E.ON hálózatra termelnek villamos energiát. A villamos energia átvételi árát a **8.3.** és **8.4. táblázat** szemlélteti. A megtermelt áramot az áramszolgáltató állami garanciával átveszi, és a szápári szélerőműtől 160 m távolságra húzódó 22 kV feszültségű vezetéken keresztül a móri trafóállomásba küldi. A

csatlakozás földkábelrel történik. A célvezeték korábban a dudari és balinkai bányák használatában állt. Hosszú ideig működésen kívül volt, de a szeleróművek telepítési munkálatait megelőzően „újra élesztették”. [21.] [23.]

### 8.3. táblázat

*A kötelező átvételű villamos energia átvételi árai1 (ÁFA nélkül) [20.]*

	2008. november 30-tól Ft/kWh			2009. január 1-től Ft/kWh		
	Csúcsidőben	Völgyidőben	Mélyvölgy időben	Csúcsidőben	Völgyidőben	Mélyvölgy időben
Nap- és szeleróműben termelt a MEH 2008. 01.01. előtt (vagy addig benyújtott kérelemre) hozott határozata alapján termelt	26,46	26,46	26,46	28,13	28,13	28,13
20 MW vagy annál kisebb erőműben a MEH 2008. 01.01. után hozott határozata alapján termelt	29,56	26,46	10,80	31,13	27,86	11,37
20 MW-nál nagyobb, de legfeljebb 50 MW-os szeleróműben 2008. nov. 30-tól termelt	29,56	26,46	10,80	31,13	27,86	11,37

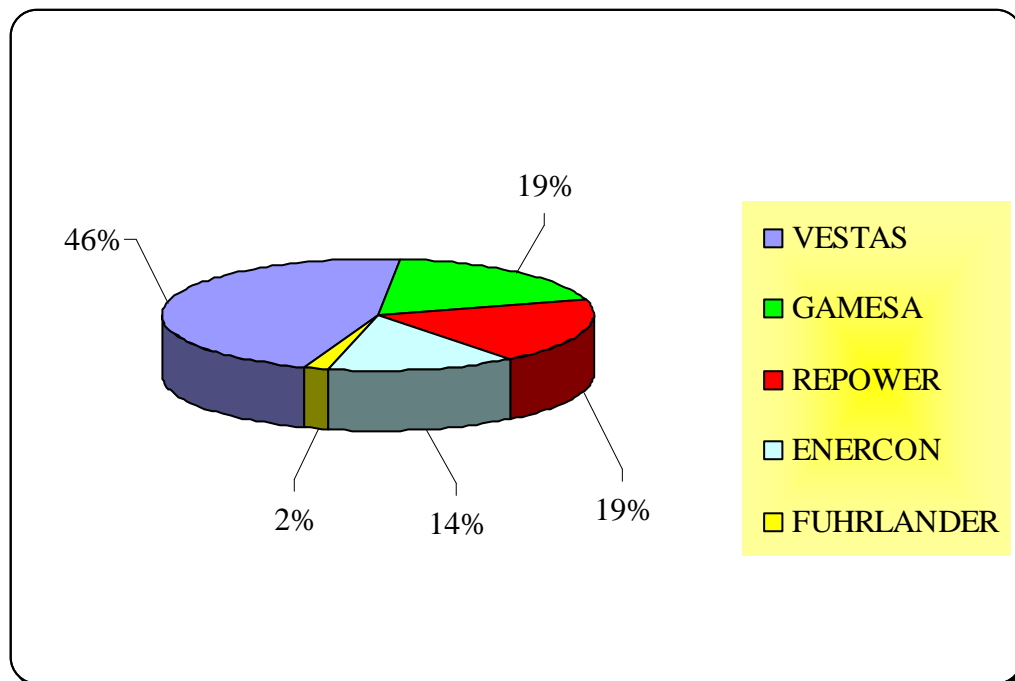
### 8.4. táblázat

*Napszakok hétköznapon és hétvégén [20.]*

MUNKANAPOKON		
Napszak	Téli időszámítás	Nyári időszámítás
<i>Csúcsidőszak</i>	<i>06:00 – 22:00</i>	<i>07:00 – 23:00</i>
<i>Völgyidőszak</i>	<i>22:00 – 01:30 és</i>	<i>23:00 – 02:30 és</i>
	<i>05:00 – 06:00</i>	<i>06:00 – 07:00</i>
<i>Mélyvölgy időszak</i>	<i>01:30 – 05:00</i>	<i>02:30 – 06:00</i>
NEM MUNKANAPOKON		
<i>Völgyidőszak</i>	<i>06:00 – 01:30</i>	<i>07:00 – 02:30</i>
<i>Mélyvölgy időszak</i>	<i>01:30 – 06:00</i>	<i>02:30 – 07:00</i>

### 8.3.2. A szélérőmű park építése

A szélérőmű park gyártási, kivitelezési és üzembe helyezési munkálatait a Precíz KFT megbízásából a Vestas végezte, aki a szélérőmű gyártók piaci részesedésében listavezető Magyarországon. (8.13. ábra)



8.12. ábra

*A magyarországi szélérőművek a gyártmányuk szerint [16.]*

A szükséges engedélyek beszerzése után megkezdődhetett a kivitelezés.

Az építés fő lépései:

- Útépités, alapozás, földutak megerősítése, ideiglenes útcsatlakozás kialakítása.
- Rakodótér kialakítása, melynek minimális mérete 25 x 40 m.
- Elektromos kábelfektetési munkák. A kábelfektetés a földutak szélében 1,0 m mélységű kábelárokba jelzőszalaggal és homokágyzatba fektetve került elhelyezésre.
- Az erőmű leszállítása, összeszerelése. A szerelés 2 munkanapot vesz igénybe. A szereléshez 600 tonnás autódaru és 12 tonnás kiségitódaru szükséges. A kisebb daru az elemeket ellentartja, hogy ne a földön húzva kelljen felállítani. A nagyobb daru az összeszereléshez szükséges. A rotor és rotorlapátok összeszerelése a földön történik. Ez a művelet igényli a legnagyobb területet.
- Üzembe helyezés
- Próbaüzem

Egy szélérőmű működését 20 évre tervezik. A szápári szélérőmű esetében a

megtérülést 10 évre tervezték. Ennek a kedvező értéknek az oka az alacsony fenntartási költségben keresendő. [21.] [24.]

### **8.3.3. A szápári szélerőmű park környezeti hatásai**

#### **1.1.1.11. Levegőszennyezés**

A szélerőmű park üzemelése légszennyező hatást nem gyakorol a környezetre. A berendezések üzemelése nem jár légszennyező anyagok kibocsátásával. A szélerőművek nem állítanak elő üvegház gázokat és más káros anyagokat. Helyettesíthetik a szilárd és cseppfolyós fűtőanyagok használatát.

#### **1.1.1.12. Hulladék keletkezése, kezelése**

A szélturbinák működése során nem keletkezik veszélyes hulladék, termelési hulladék és kommunális hulladék sem, mivel nincs kezelő személyzet. Az erőmű távvezérléssel és távfigyelő rendszerrel működik.

Karbantartó munkálatok végzése közben keletkezhets veszélyes hulladék, például olajsűrő, olajos textília, fáradt olaj stb. Ezeket a feladatokat a gyártó szakszervize végzi, akik gondoskodnak ezek megfelelő kezeléséről.

#### **1.1.1.13. Zajvédelem**

A modern szélerőművek csendesek. Üzemelés közben a zajhatást a 7 m/s sebességnél erősebb szél kelti. A szélkerekek folyamatosan üzemelnek. A rotornál mért mérési eredmények 95-105 dB(A) értéket mutatnak. Az üzemelésből származó zaj határértéke a szélerőműtől 40 m-re nappal 50-60 dB(A), éjszaka 40 dB(A).

A szélerőmű által kibocsátott infrahangok aerodinamikai illetve mechanikai eredetűek. A hang a rotor forgásából és az áramló levegővel való kölcsönhatásból adódik.

A hangintenzitással kapcsolatos adatokat a **8.5, 8.6 és 8.7. táblázat** foglalja össze.

A Vestas 1,8 MW V-90 típusú szélerőmű zajkibocsátása: 101,3 dB.

A Vestas 2,0 MW V-90 típusú szélerőmű zajkibocsátása: 104,8 dB

A szélkerekek együttes hangteljesítményszintje a következő képlet alapján számolható:

$$L_{We} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{wi}} \quad [19.]$$

A szápári szélerőmű park lakott területtől vett távolsága 1000 m. Ekkora védőtávolság mellett az infrahangterhelésre vonatkozó határértékek tarthatóak.



### 8.5. táblázat

A szélérőmű park okozta hangintenzitási adatok Csetényben [21.] [24.]

Csetényben mért és számított adatok				
Szélérőmű neve	Távolság a településtől [m]	Zajút a településig [m]	Hangnyomásszint erőművenként $L_{wi}$ [dB]	Hangnyomás együttesen $L_{we}$ [dB]
Szápár-1	1000	1005	31,81	35,43
Csetény-2	1000	1005	31,81	
Csetény-3	1600	1603	26,6	

### 8.6. táblázat

A szélérőmű park okozta hangintenzitási adatok Jásdon [21.] [24.]

Jásdon mért és számított adatok				
Szélérőmű neve	Távolság a településtől [m]	Zajút a településig [m]	Hangnyomásszint erőművenként $L_{wi}$ [dB]	Hangnyomás együttesen $L_{we}$ [dB]
Szápár-1	2400	2402	21,55	33,27
Csetény-2	1600	1603	26,6	
Csetény-3	1000	1005	31,81	

### 8.7. táblázat

A szélérőmű park okozta hangintenzitási adatok Szápáron [21.] [24.]

Szápáron mért és számított adatok				
Szélérőmű neve	Távolság a településtől [m]	Zajút a településig [m]	Hangnyomásszint erőművenként $L_{wi}$ [dB]	Hangnyomás együttesen $L_{we}$ [dB]
Szápár-1	600	609	37,07	37,97
Csetény-2	1300	1304	28,97	
Csetény-3	1700	1703	25,88	

A szélérőművek -biztonsági- és áramlástechnikai okokból- minden szélérőmű farmon egymástól legalább 5 rotor-átmérőnyi távolságban állíthatók fel. Ez a bakonyi gépek esetében 90 m-es rotor átmérőnél 450 m.

#### 1.1.1.14. Elektromágneses zavarás

A szélturbinák kelhetnek elektromágneses zavaró hatást, ha a rotor lapátjairól úgy verődnek vissza a jelek, hogy a közelben lévő vevő fogja a közvetlen és visszaverődött jeleket egyaránt. Az ilyen típusú zavarokat árnyékolással és földeléssel minimálisra csökkenthetők. A térségben felállított VESTAS típusú erőműveknél a rotorlapátok szénszál erősítésűek, aminek következtében részlegesen áteresztik az elektromágneses hullámokat. Ezzel a megoldással az elektromágneses zavarás skáláján közbelső helyet foglal el.

#### 1.1.1.15. Ökológiai viszonyok, táj

A szélerőmű park telepítése nem veszélyeztette az élővilág értékes fajait, nem vonta maga után az élőhelyek jelentősebb beszűkülését. A térség felszíne gyakorlatilag változatlan maradt.

Dániában végzett radarvizsgálatok kimutatták, hogy a madarak életterét nem veszélyeztetik a szélturbinák működése. Képesek útvonalukat az erőműtől 100-200 méterrel távolabbra helyezni mind éjszaka, mind napközben. [21.] [24.]

### 8.3.4. A beruházás főbb adatai

Várt éves termelt energia mennyisége:

Szápár: 4378000 kWh/év

Csetény: 2x5083800 kWh/év

Bakonycsérnye: 5083 800 kWh/év

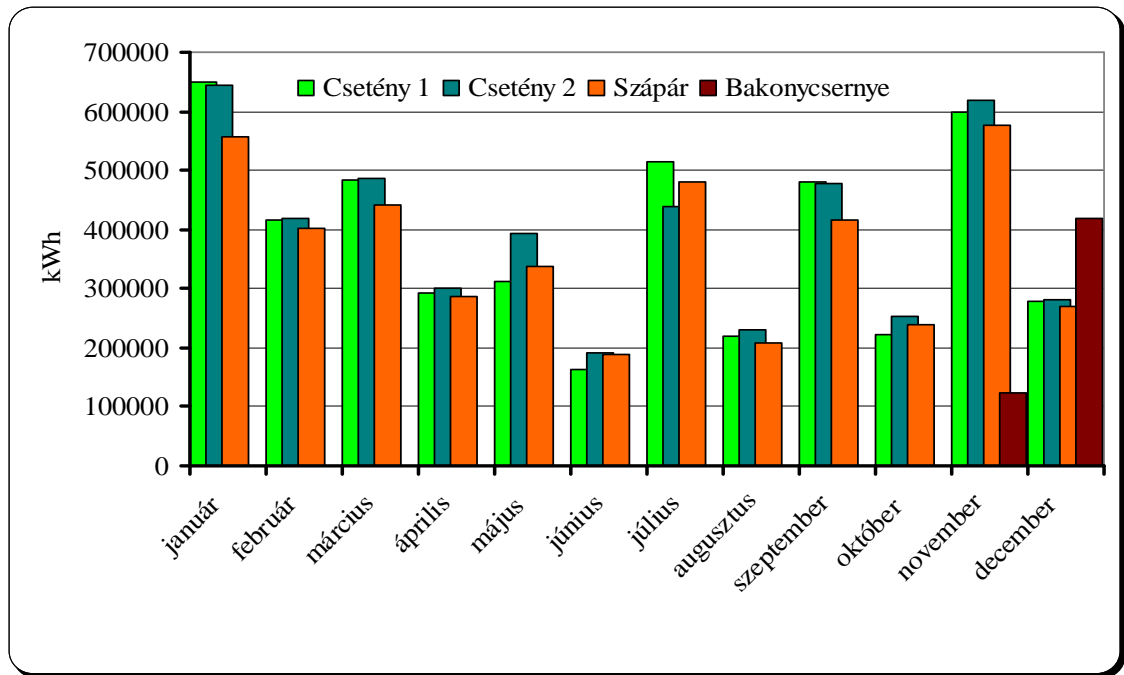
A megtermelt energia 2000-2200 család energiaszükségletét fedezné.

A szélerőműpark bekerülési összege megközelítőleg 2,7 milliárd Ft.

Károsanyag kibocsátás ugyanannyi villamos energia megtermelése esetén a szélerőművek nélkül:

CO <sub>2</sub> :	50g/kWh	203 352 000 kWh	193 184 t
SO <sub>2</sub> :	15g/kWh	203 352 000 kWh	3 050,3 t
NO <sub>2</sub> :	4g/kWh	203 352 000 kWh	81,34 t
Por és nehézfémek:	220g/kWh	203 352 000 kWh	44737 t

A szélerőmű park 25 éves várható élettartama alatt és 17,1 millió kWh/év energiatermelés mellett mintegy 406 ezer tonna CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkenést eredményez! A szélerőmű farm 2007. évi termelési adatait az **8.14. ábra** mutatja be.



**8.13. ábra**

*A szápári szélerőműpark termelési adatai (2007) [23.]*

## **9. A SZÉLENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK EGYÉB LEHETŐSÉGEI A BAKONY TÉRSÉGÉBEN**

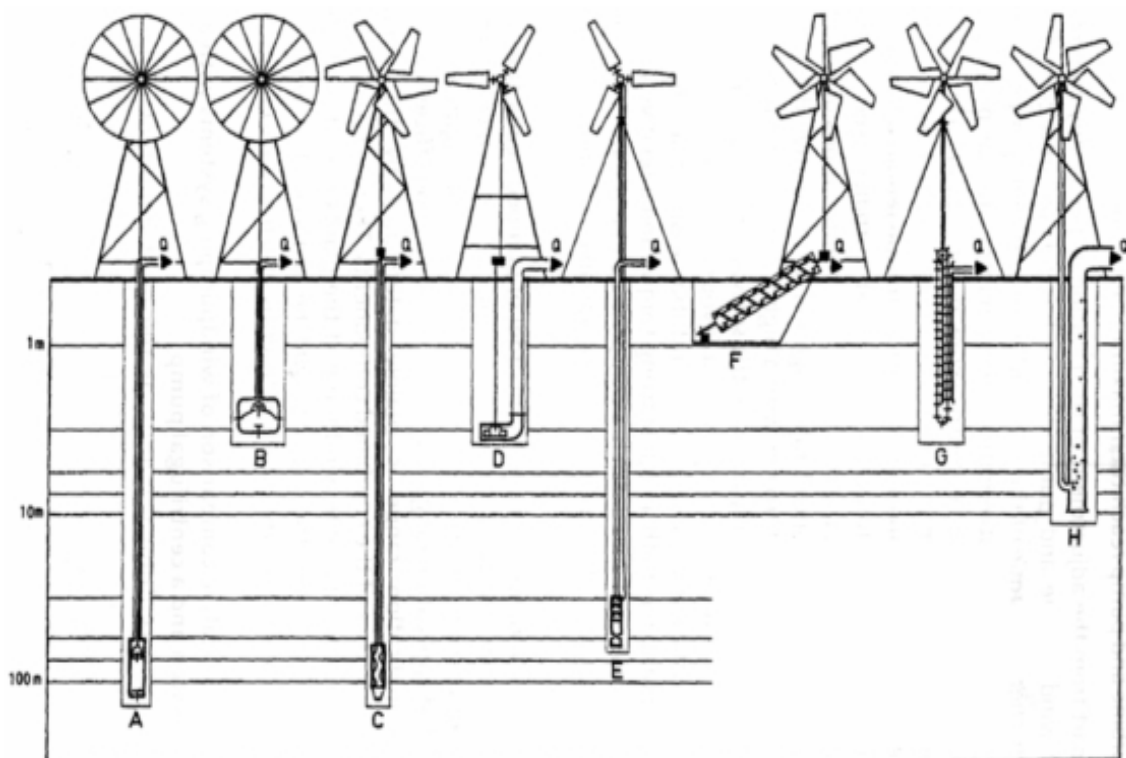
A műemlékként őrzött régi bakonyi szélmalomok és napjainkban kimagasló szélerőmű óriások (főleg ezek) a térség településeinek vezetőiben, lakosaiban jogosan felvethetik az a következő kérdéseket:

- Milyen egyéb hasznosítási lehetőségei lehetnek ennek az áramló energiaforrásnak?
- Csak elektromos energia előállításra alkalmazhatóak a szél energiáját befogó berendezések?
- Csak ilyen monumentális méretű építményekkel gazdaságos a természet fújdogáló energiájának a megcsapolása?
- Milyen egyéb környezetkímélő, megújuló energiaforrással ötvözhető ez a technológia?
- Képes-e energia önellátásra ez a térség, legalább a háztartások szintjén?

Ezeknek a felvetéseknek egy részére ebben a fejezetben megpróbálok felvázolni pár járható utat.

A szélenergia hasznosítási lehetőségeiről a 7. fejezetben már írtam néhány gondolatot, de itt most pár észrevétellel kiegészítem. A szélerőgépek egyik legelterjedtebb változata a víz kiemelésére használt szélmotorok, amelyek olyan területeken is használhatóak, ahol nincs hálózati villamos energia. Az ilyen vízkiemelők telepítése, megépítése költségesebb a belsőégésű motorral ellátott szivattyúk használatánál, de hosszú távon, a minimális költségű üzemeltetésből fakadóan, lényegesen olcsóbb ilyen módon kiemelni a vizet, ráadásul a környezetre sem fejt ki káros hatást. A szélgépes szivattyúk technikailag eltérnek az elektromos áram termelésére szolgáló szélerőművektől, hiszen ezekben a berendezésekben a mechanikai energiát nem kell átalakítani, csak megfelelően továbbítani. Az ilyen vízszivattyúk külsejükben is szembetűnő eltérést mutatnak az elektronokkal játszadozó testvéreiktől, mivel ezeknek általában sűrűn lapátozott szélkereük van, ezt a szakirodalom amerikai típusnak nevezi. A manapság használatos vízkiemelő típusok közvetlen meghajtásúak, vagyis a szélkerék áttétel nélkül hajtja meg a szivattyút, amely lehet dugattyús és membrános. A szivattyúk egy részében a víz kiemelését egyenes vonalú mozgással teszik, ezért a szélkerék forgó mozgását excentrikus hajtóművel alakítják át, de vannak olyan vízkiemelők, vízátemelők is, amelyek a folyadék szállítását forgó mozgással

oldják meg. A **9.1. ábra** szemlélteti a különböző vízkiemelő berendezéseket. Ezek a gépek akár 20-30 méter mélységből is képesek felszínre hozni a vizet, de szállítóteljesítményük a fordulatszámot meghatározó szélességétől nagymértékben függ. Ilyen berendezések különböző méretben készíthetők el és felhasználási területük elsősorban a mezőgazdaságra korlátozódik. Legeltetéses állattartás esetében az állatok itatását lehet ily módon megoldani, növénytermesztésben például a száraz időszakokban árasztásos öntözésre alkalmazható. Egy magaslati tartály kialakításával és a közlekedő edények tulajdonságának kihasználásával nyomás is gyakorolhatunk a vízre, és így akár üvegházak növényzetének időzített öntözésére is felhasználható a tárolt vízmennyiség.



**9.1. ábra**

*Szivattyúkat hajtó szélmotorok*

*A- dugattyús szivattyú, B- membrán szivattyú, C- csavar szivattyú, D- centrifugál szivattyú, E- Többfokozatú centrifugál szivattyú, F- csiga szivattyú, G- kanalas láncos vízemelő, H-mamut szivattyú [8.]*

A szélerőgépek másik alkalmazási lehetősége, a Balmazújvárosban már működőképes szennyvíz-levegőztető. Az ilyen berendezésekben a szélmotor energiáját a szennyvíztároló medencék oxigénbevitelére használják. A szennyvíztóban biológiai lebontást alkalmaznak, amelynek levegősükségletét a tóban cölöpökre telepített szélmotor által meghajtott levegőztető berendezés látja el.

A szélenergia gépek nem csak ipari méretekben telepíthetők, hanem léteznek családi házak energiaellátására, a ház körüli növényzet öntözésére, vagy a kerti medencék vízellátására kifejlesztett változatok is. A telepítésnél megfontolandó, hogy az országnak ezen a területén igen sok a szeles órák száma, a szél ereje is legtöbbször elegendő, de sajnos előfordulnak szélcsendes napok is. A folyamatos energia biztosítás érdekében érdemes a szélgenerátorokat más energiaforrásokkal ötvözni, mint például napenergiát hasznosító berendezésekkel. Másik lehetőség a 7. fejezetben leírt energia raktározás 12-14 V-os akkumulátorok segítségével, vagy hidrogén előállítás hidrolízissel. Az előállított hidrogénnel különböző motorok hajthatók meg, így hamarosan eljön annak az ideje is, hogy a személygépkocsink hidrogénüzemű lesz. Nem kell üzemanyagot vásárolni, mert a saját kertünkben felállított szélkerék termeli vízből a gépjármű mozgását biztosító anyagot, ráadásul melléktermékként egy szintén hasznosítható anyagot, az oxigént kapjuk. A cseppfolyósított hidrogénből különböző módszerekkel (pl.:üzemanyagcellák) elektromos áramot is előállíthatunk. Megfelelő energiapolitikával elérhető lehet az is, hogy a családi szélgenerátorral megtermelt felesleges villamos áramot az országos hálózatra kapcsolva értékesíthessük. Erre jó példa a Dániában működő rendszer. A megtermelt, pillanatnyi fogyasztáson felüli villamos energia tárolására a Bakony dombos vidéke kínál egy nagyon egyszerű lehetőséget is. A telek legmagasabb és legalacsonyabb pontján építeni kell egy víztárolásra alkalmas medencét (ez akár fürdő medence is lehet megfelelő téliesítéssel), majd a szélenergiás szivattyú segítségével az alacsonyabbik helyről felemeljük a vizet a magasabbikra. Így a potenciális energia többlettel rendelkező fenti tartály mindig készen áll arra, hogy egy turbinán keresztül leáramoltatva energiát adjon akkor, amikor szükségünk van rá.

Csak szélenergia gépekkel nem oldható meg a lakosság energiaellátása a Bakony vidékén, ráadásul a természetes tájképet is nagyban átalakítaná az a nagy mennyiségű szélkerék, amely ennyi energia termelést tudna biztosítani. A környezetvédők szerint a túlzott mennyiségben telepített szélenergia gépek, hosszabb távon akár az éghajlatot is befolyásolhatja, mivel „beleszól” a légköri áramlatokba.

Egy családi szélenergia gépkészlet gazdaságosságát összehasonlítva a hálózatról vásárolt elektromos energia árával, illetve egy belsőégésű motor által termelt elektromos áram költségével szemlélteti az általam kalkulált **9.1. számú táblázat**. A táblázat 3 különböző kategóriájú szélenergia gépet tartalmaz, de ezek mind családi energiatermelésre méretezettek, igaz az FD-5000-es típus tömege 480 kg és a rotor átmérője 6,4 m, így

már nem biztos, hogy dísze lesz a kertnek. Az adatok nem tartalmaznak beszerelési költséget, mert ez különböző területeken nagymértékben eltérhet. Az aggregátor egy közepes kategóriájú készülék. Ezeknek az adatoknak az ismeretében mindenki eldöntheti, hogy megéri-e a beruházás vagy sem?

### 9.1. táblázat

*Összehasonlító táblázat a villamos energia előállítási költségek szerint (2009 év eleji adatok)*

Üzemeltetési adatok	Güde GSE 2501 Benzines aggregátor	FD 300 szélgenerátor	FD 1000 szélgenerátor	FD 5000 szélgenerátor	Vásárolt elektromos áram
Névleges teljesítmény [kW]	2	0,3	1	5	-
Éves üzemóra [h]	2000	2000	2000	2000	-
Termelt energia [kWh]	4000	600	2000	10000	-
Beruházás költsége [Ft]	113700	118800	432000	1920000	-
Amortizáció [Ft/év]	10 évre 11370	10 évre 11880	15 évre 28800	20 évre 96000	-
Éves üzemeltetési költség [Ft]	5000	2000	5000	20000	-
Üzemanyag költség [Ft]	1,8 l/h és 260 Ft/l esetén 936000	0	0	0	-
Összes költség egy évre [Ft]	952370	13880	33800	116000	-
Fajlagos költség [Ft/kWh]	238	23,1	16,9	11,6	43,2 vagy 24,9

## 10. ÖSSZEFOGLALÁS

### 10.1. A szélenergia pozitív és negatív tulajdonságairól címszavakban

#### 10.1.1. Előnyök

- A szélenergia az egyik leginkább költségtakarékos megújuló energiaforrás, ingyenes és nem fogy el.
- Az alternatív energiaszektor legígéretesebb ága.
- Környezetbarát, a működtetés nem jár együtt CO<sub>2</sub> kibocsátással.
- Saját áramtermelő rendszer, csökkenti az energia importfüggőségét.
- Előre gyártott elemekből épül fel, ezért gyors és egyszerű az üzembe helyezés.
- Viszonylag kis területet foglal el.
- Ipari vagy mezőgazdasági tevékenység működését nem befolyásolja a környéken.
- Minimális a karbantartási igény.
- Helyben van, nincs szükség bányászatra, szállításra és feldolgozásra.
- Megfelelő technológiát alkalmazva olcsón üzemelhető.
- Munkahelyet teremt.
- A megtérülési idő viszonylag alacsony (általában 10 év).
- A szélenergia által termelt többletenergiát fix díjjal átveszi a villamos művek.

#### 10.1.2. Hátrányok

- Magas beruházási költség.
- Adott területre jellemző szélsébség. Magyarországon ez 2-6 m/s.
- Zajhatás. A szél erősödésével növekszik a rotorlapátok forgása által kiváltott zaj.
- 400 méterről hallható.
- A nem megfelelő helyszín kiválasztása súlyos következménnyel járhat.
- Madárpusztító hatás a madárvonulási útvonalak mentén. (Tapasztalatok szerint a madarak elkerülik)
- Tájképrontó hatás.



## 10.2. Összegző gondolatok

A szélenergiát ellenzők között még mindig szép számmal vannak azok, akik nukleáris energia felhasználását látják leghatékonyabbnak a kiotói egyezményben leírt célok elérésére.

Az 1972-ben megrendezett stockholmi világkonferencia óta eltelt 37 év. A világ és az európai közösségek számára egyértelművé vált, hogy a környezet védelmének kérdésében nemzetközi együttműködésre van szükség. Megfogalmazódott a fenntartható fejlődés fogalma. Ez lehetővé teszi az egyre növekvő energia igények kielégítését úgy, hogy nem veszélyezteti az ökológiai eltartóképességet.

Fontos szerepet kaptak a megújuló természeti erőforrások. Melyek használatával csökken a környezet szennyezése, kevesebb káros anyag kerül a légterbe, minimalizálódik a hulladékképződés. Mindezeket figyelembe véve nem meglepő, hogy az Európai Unió energiapolitikájában központi szerephez jutott a „tiszta energia”, vagyis a megújuló energiaforrások gyakorlati alkalmazása. Az 1997-ben kiadott Fehér Könyv szerint az évtized végére a Közösség országai a megújuló energiaforrások használatát 12%-ra növelik. Ezek közül az energiaforrások közül egyik legkiemelkedőbb a szélenergia.

Magyarország számára is fontos az alternatív energiák használata, mivel például a szélerőművekkel előállított villamos energiával fosszilis energiát válthatunk ki, aminek azért van jelentősége, mert hazánk ásványi eredetű energiahordozókból behozatalra szorul.

Hazánk európai viszonylatban mérsékelten széljárta terület, de akár a szápári szélerőmű park, akár az ország más területén lévő szélerőművek működésének tapasztalatai azt mutatják, hogy érdemes a hazai szél adta lehetőségeket kihasználni.

A 2008 év adatai alapján Magyarország 65 MW-ról 127 MW-ra növelte telepítéseit. A fejlődés ilyen nagy aránya azonban jórészt a 2005-ös engedélyek eredménye. A villamos energiapiac liberalizálása, a villamos rendszerirányító ellenállása, valamint az ország pénzügyi helyzetének romlása nem kedvez a telepítéseknek. További nehézséget okoz, hogy a szélerőműveket működtető cégeknek majdnem lehetetlen feltételeket szabnak. Úgynevezett menetrendben kell lefektetni, hogy a következő napon az erőmű 15 percenként mennyi energiát szolgáltat. Aki a prognosztizált mennyiségtől 30%-kal eltér, büntetést kell fizetnie. Ennek a „kiegyenlítő energiapótléknak” a nagysága

kilowattóránként öt forint. Ezeknek a kiadásoknak a fő problémája, hogy a szél várható erősségét nem lehet előre megbecsülni. Nehézséget okoz még, hogy 2008. január 1.-től pedig csak pályázat útján lehet létesíteni szélenergia-termelőket Magyarországon.

Jelenleg a szélenergia piacon hazánkban a dán Vestas cég vezet. Ilyen típusú szélenergia-termelőket kerültek felállításra a Bakony térségében is korábban. A tavalyi évben főleg a Vestas által előállított 2MW névleges teljesítményű egységek kerültek telepítésre, melyek tengelymagassága meghaladja a 100 métert.

Az országban az elmúlt évben üzembe helyezett szélenergia-termelői kapacitás többsége főleg hazánk észak-nyugati részén található. A széljárta területeket vizsgálva azonban a Kisalföld mellett a Bakony valamint a Viharsarok régió is fontos szélenergia-termelői kapacitások telepítése szempontjából.

Nem véletlen tehát, hogy jelenleg is folyamatban van több nagyobb beruházás például Komárom-Esztergom megyében Nagyigmánd és Bábolna közelében, amelyek adatai várhatóan a 2009-es év statisztikájában fognak szerepelni.

További szélenergia-termelői kapacitások felállítását tervezik a szápári szélenergia-termelői park közelében lévő Fehérvárcsurgón is, ahol már építési engedéllyel rendelkezik a nyolc egységes 16 MW összteljesítménnyel rendelkező szélenergia-termelői park.

## 11. FELADATOK A SZAKDOLGOZAT TÉMAKÖRÉBŐL

### 1. feladat

A szápári szélérőmű parkban 10 m-es talaj közeli magasságban mért szélesebesség értéke 3 m/s, akkor a 80 m-nél a rotor-agy magasságában mekkora a szélesebesség?

Számolás menete:

$$v_1 = 3 \frac{m}{s}$$

$$h_1 = 10m$$

$$h_2 = 80m$$

$$v_2 = ?$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt[5]{\frac{h_2}{h_1}} \Rightarrow v_2 = v_1 \cdot \sqrt[5]{\frac{h_2}{h_1}}$$

$$v_2 = 3 \frac{m}{s} \cdot \sqrt[5]{\frac{80m}{10m}} = 3 \frac{m}{s} \cdot \sqrt[5]{8} = 4,54 \frac{m}{s}$$

### 2. feladat

Mennyi a csetényi 105 m magas szélérőműnél a szélesebesség, ha 75 m magasságban 5 m/s sebességet mértek?

Számolás menete:

$$v_1 = 5 \frac{m}{s}$$

$$h_1 = 75m$$

$$h_2 = 105m$$

$$v_2 = ?$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt[5]{\frac{h_2}{h_1}} \Rightarrow v_2 = v_1 \cdot \sqrt[5]{\frac{h_2}{h_1}}$$

$$v_2 = 5 \frac{m}{s} \cdot \sqrt[5]{\frac{105m}{75m}} = 5 \frac{m}{s} \cdot \sqrt[5]{1,4} = 5,35 \frac{m}{s}$$

### 3. feladat

Milyen magas a Csetény2 szélérőmű, ha talajközeli 10 m-es magasságban mért szélesebesség 3,5 m/s, a rotor-agy magasságban pedig a szélesebesség 5,6 m/s?

Számolás menete:

$$v_1 = 3,5 \frac{m}{s}$$

$$h_1 = 10m$$

$$v_2 = 5,6 \frac{m}{s}$$

$$h_2 = ?$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt[5]{\frac{h_2}{h_1}} \Rightarrow h_2 = h_1 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^5$$

$$h_2 = 10m \cdot \left(\frac{5,6 \frac{m}{s}}{3,5 \frac{m}{s}}\right)^5 = 10m \cdot 10,48576 = 104,8576m \approx 105m$$

#### 4. feladat

Számítsuk ki a bakonycsernyei szélkerék teljesítményét 3,5 m/s-os szélesség mellett, ha tudjuk, hogy a szélkerék 25%-os hatásfokkal működik, a levegő sűrűsége 1,29 kg/m<sup>3</sup>, a kerék átmérője 90 m.

Számolás menete:

$$\rho = 1,29 \frac{kg}{m^3}$$

$$v = 3,5 \frac{m}{s}$$

$$\eta = 25$$

$$d = 90m$$

$$P = ?$$

A lapátok által súrolt felület: A

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{(90m)^2 \cdot \pi}{4} = \frac{8100m^2 \cdot \pi}{4} = 6361,7251m^2$$

A teljesítmény a következő képlet alapján számolható:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta$$

$$P = 0,5 \cdot 1,29 \frac{kg}{m^3} \cdot 6361,7251m^2 \cdot 3,5^3 \frac{m^3}{s^3} \cdot 0,25$$

$$P = 43982,383W$$

Mértékegységek:

$$\frac{kg}{m^3} \cdot m^2 \cdot \frac{m^3}{s^3} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3} = 1 \frac{J}{s} = 1W$$

#### 5. feladat

4 m/s- szélesség mellett milyen hatásfokkal működik a szápári szélkerék, ha a kerék átmérője 90 m, a levegő sűrűsége 1,29 kg/m<sup>3</sup> és a teljesítménye 537, 511 kW?

Számítás menete:

$$v = 4 \frac{m}{s}$$

$$\rho = 1,29 \frac{kg}{m^3}$$

$$d = 90m$$

$$P = 537,511kW = 537511W$$

Lapátok által súrolt felület:

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{(90m)^2 \cdot \pi}{4} = \frac{8100m^2 \cdot \pi}{4} = 6361,7251m^2$$

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta \text{ képletből:}$$

$$\eta = \frac{P}{0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3}$$

$$\eta = \frac{537511W}{0,5 \cdot 1,29 \frac{kg}{m^3} \cdot 6361,7251m^2 \cdot 4^3 \frac{m^3}{s^3}} = 2,046$$

Mértékegységek:

$$\frac{\frac{W}{m^3} \cdot m^2 \frac{m^3}{s^3}}{\frac{kg \cdot m^2}{m^3} \cdot \frac{m^3}{s^3}} = \frac{W}{\frac{kg \cdot m^2}{s^3}} = \frac{W}{W}$$

### 6. feladat

Mekkora a szápári szélörömű lapátkerekének fordulatszáma, ha a szél sebessége 5,4 m/s, a lapátkerék átmérője 90m, a lapátkerék kerületi sebességével a szélességnek( $\lambda$ ) az aránya 5?

Számítás menete:

$$v = 5,4 \frac{m}{s}$$

$$d = 90m$$

$$\lambda = 9$$

$$n = ?$$

$$n = 60 \cdot v \cdot \frac{\lambda}{\pi \cdot d}$$

$$n = 60 \cdot 5,4 \frac{m}{s} \cdot \frac{9}{\pi \cdot 90m}$$

$$n = 10,3132$$

### 7. feladat

Az ábrán látható, nyújthatatlan fonálhoz erősített 2,465 g tömegű, 37,7 mm átmérőjű pingponglabdát szélesség mérésre használjuk. A gömb  $C$  alaki tényezője ismert. A fonál függőlegessel bezárt  $\alpha = 30^\circ$ -os szögét mérve, a mozgó levegő által a nyugvó labdára kifejtett  $F_{sz}$  közegellenállási erővel a szélesség számolható.

Adatok:

$$m = 2,465 \text{ g} = 2,465 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

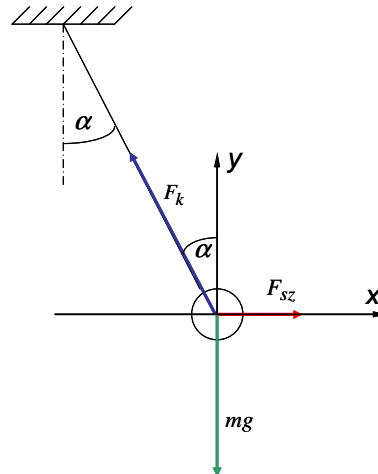
$$d = 37,7 \text{ mm} = 3,77 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$r = 18,85 \text{ mm} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$C = 0,45$$

$$\rho = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\alpha = 30^\circ$$



### A számolás menete:

A labda egyensúlyi egyenlete:

$$\mathbf{F}_k + \mathbf{mg} + \mathbf{F}_{sz} = 0$$

A mozgás leírásához az ábrán látható koordinátarendszert választjuk, majd az összes erőt  $x$  és  $y$  komponensekre bontjuk.

Az egyenlet  $x$  és  $y$  irányú komponensei:

$$-F_k \cdot \sin \alpha + F_{sz} = 0$$

$$F_k \cdot \cos \alpha - mg = 0 \Rightarrow F_k = \frac{mg}{\cos \alpha}$$

$$F_{sz} = \frac{mg}{\cos \alpha} \sin \alpha = \frac{2,465 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\cos 30^\circ} \cdot \sin 30^\circ = 2,465 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{tg} 30^\circ$$

$$F_{sz} = 0,01396 \text{ N} = 1,396 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

$$F_{sz} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C \cdot v^2$$

$$A = 4r^2 \pi = 4 \cdot 1,885^2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \pi$$

$$A = 0,00142 \text{ m}^2 = 1,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F_{sz} = \frac{1}{2} \rho A C v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2F_{sz}}{\rho A C v^2}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,396 \cdot 10^{-2} N}{1,29 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,42 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot 0,45}}$$

$$v = 5,819 \frac{m}{s}$$

### 8. feladat

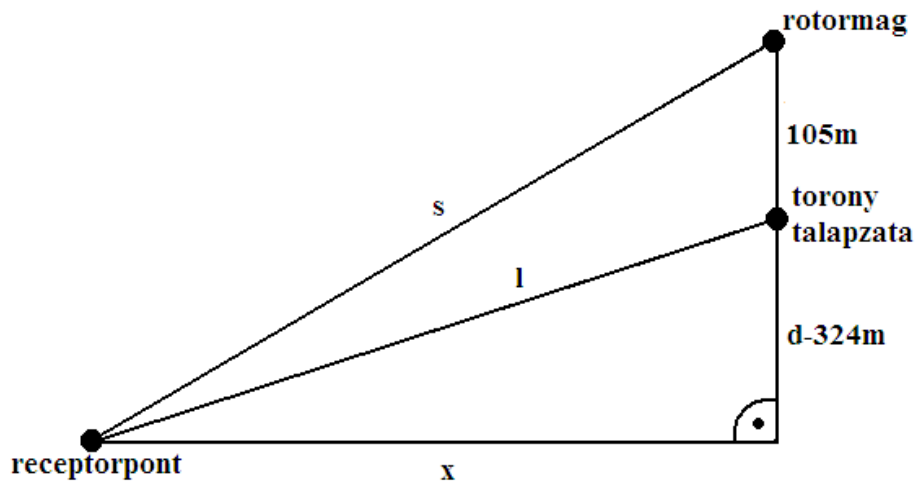
5 darab 105 m rotormag magasságú szélerőművet építenek a 324 m tengerszint feletti település határába. Az erőművek adatai a következők:

Erőmű neve	Az erőmű helyének tengerszint feletti magassága (d)	Az erőmű távolsága A-tól: (l)	Hang nyomás	Zajút (s)
E-1	384 m	1000 m	31,81 dB	?
E-2	375 m	1300 m	28,97 dB	?
E-3	422 m	1700 m	21,88 dB	?
E-4	512 m	2400 m	20,55 dB	?
E-5	378 m	1600 m	26,6 dB	?

a.) Számítsuk ki az egyes erőművekhez tartozó zajutakat! (Zajút:receptorpont és rotormag távolság)

b.) Meghaladja-e az együttes hangnyomásszint az éjszakai megengedett 40 dB határértéket?

Adatok az a.) feladathoz



A zajút számításának menete:

A zajút ( $s$ ) számításának levezetése, a megadott feladatra általánosítva:

$$x^2 = l^2 - (d - 324\text{m})^2$$

$$s = \sqrt{x^2 + (d - 324\text{m} + 105\text{m})^2} = \sqrt{l^2 - (d - 324\text{m})^2 + (d - 324\text{m} + 105\text{m})^2}$$

$$s = \sqrt{l^2 + 210d - 57015}$$

A zajút számítása tornyonként, az általánosan levezetett képlet felhasználásával:

E-1 esetén:

$$d = 384\text{m}$$

$$l = 1000\text{m}$$

$$s = ?$$

$$s = \sqrt{l^2 + 210d - 57015} = \sqrt{(1000\text{m})^2 + 210 \cdot 384 - 57015} = \underline{\underline{1011,74\text{m}}}$$

E-2 esetén:

$$d = 375\text{m}$$

$$l = 1300\text{m}$$

$$s = ?$$

$$s = \sqrt{l^2 + 210d - 57015} = \sqrt{(1300\text{m})^2 + 210 \cdot 375 - 57015} = \underline{\underline{1308,33\text{m}}}$$

E-3 esetén

$$d = 422\text{m}$$

$$l = 1700\text{m}$$

$$s = ?$$

$$s = \sqrt{l^2 + 210d - 57015} = \sqrt{(1700\text{m})^2 + 210 \cdot 422 - 57015} = \underline{\underline{1709,27\text{m}}}$$

E-4 esetén:



$$d = 512m$$

$$l = 2400m$$

$$s = ?$$

$$s = \sqrt{l^2 + 210d - 57015} = \sqrt{(2400m)^2 + 210 \cdot 512 - 57015} = \underline{\underline{2410,5m}}$$

E-5 esetén:

$$d = 378m$$

$$l = 1600m$$

$$s = ?$$

$$s = \sqrt{l^2 + 210d - 57015} = \sqrt{(1600m)^2 + 210 \cdot 378 - 57015} = \underline{\underline{1606,97m}}$$

Adatok a b.) feladathoz

$$L_{w1} = 31,81dB$$

$$L_{w2} = 28,97dB$$

$$L_{w3} = 25,88dB$$

$$L_{w4} = 21,55dB$$

$$L_{w5} = 26,6dB$$

$$L_{we} = ? \quad (\text{együttes hangnyomásszint})$$

A számítás menete:

$$L_{we} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^5 10^{0,1 \cdot L_{wi}} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot L_{w1}} + 10^{0,1 \cdot L_{w2}} + 10^{0,1 \cdot L_{w3}} + 10^{0,1 \cdot L_{w4}} + 10^{0,1 \cdot L_{w5}})$$

$$L_{we} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot 31,81dB} + 10^{0,1 \cdot 28,97dB} + 10^{0,1 \cdot 25,88dB} + 10^{0,1 \cdot 21,55dB} + 10^{0,1 \cdot 26,6dB})$$

$$L_{we} = 10 \cdot \lg(10^{3,481539dB}) = 10 \cdot 3,481539dB$$

$$\underline{\underline{L_{we} = 34,81539dB}}$$

Az öt tervezett szélrómú együttes zajterhelése 34,81539dB, ami nem haladja meg az éjszakai 40dB határértéket.

### 9. feladat

A Jásd határában lévő 3 szélrómúnél mért adatok a következők:

Az 1600 m-re lévő toronyból 26,6 dB a hangnyomás, az 1000 m-re lévő toronynál 31,81 dB.

- a.) Mekkora a 2400 m-re lévő toronyból mérhető hangnyomásszint, ha az együttes zajterhelés 33,27 dB?

- b.)** Ábrázolja a mért adatokat a távolság függvényében és határozzon meg a lineáris, exponenciális és logaritmikus trendvonalat és függvény hozzárendelési szabályt! Számítással ellenőrizze, hogy melyik függvény közelítette meg legjobban a számított  $L_{w3}$  értéket!
- c.)** Ábrázolja újabb diagrammon a 3db hangnyomási adatot ( $L_{w1}$ ;  $L_{w2}$ ;  $L_{w3}$ ), készítsen hozzá lineáris, exponenciális és logaritmikus trendvonalat függvény hozzárendelési szabállyal együtt, majd hasonlítsa össze az előző feladat trendvonalával!
- d.)** Számítsa ki, hogy mekkora lehet az a legnagyobb zajkibocsátás, amellyel még az előző 3 torony együtt működtethető, úgy, hogy az együttes zaj határérték még nem haladja meg a megengedett legnagyobb éjszakai határértéket, a 40dB-t! A c.) feladat függvényeit felhasználva adjon becslést a minimális távolságra!  
*A feladat b.)és c.) részének megoldásához használjon számítógépet!*

Adatok az a.) feladathoz:

$$L_{w1} = 26,6dB$$

$$L_{w2} = 31,81dB$$

$$L_{we} = 33,27dB$$

$$L_{w3} = ?$$

A számítás menete:

$$L_{we} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^3 10^{0,1 \cdot L_{wi}}$$

$$L_{we} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot L_{w1}} + 10^{0,1 \cdot L_{w2}} + 10^{0,1 \cdot L_{w3}})$$

$$0,1 \cdot L_{we} = \lg(10^{0,1 \cdot L_{w1}} + 10^{0,1 \cdot L_{w2}} + 10^{0,1 \cdot L_{w3}})$$

$$\lg 10^{0,1 \cdot L_{we}} = \lg(10^{0,1 \cdot L_{w1}} + 10^{0,1 \cdot L_{w2}} + 10^{0,1 \cdot L_{w3}})$$

$$10^{0,1 \cdot L_{we}} = 10^{0,1 \cdot L_{w1}} + 10^{0,1 \cdot L_{w2}} + 10^{0,1 \cdot L_{w3}}$$

$$10^{0,1 \cdot L_{w3}} = 10^{0,1 \cdot L_{we}} - 10^{0,1 \cdot L_{w1}} - 10^{0,1 \cdot L_{w2}}$$

$$10^{0,1 \cdot L_{w3}} = 10^{0,1 \cdot 33,27dB} - 10^{0,1 \cdot 26,6dB} - 10^{0,1 \cdot 31,81dB}$$

$$10^{0,1 \cdot L_{w3}} = 149,1059049dB$$

$$10^{0,1 \cdot L_{w3}} = 10^{\lg 149,1059049dB}$$

$$0,1 \cdot L_{w3} = \lg 149,1059049dB$$

$$L_{w3} = 10 \cdot \lg 149,1059049dB$$

$$\underline{\underline{L_{w3} = 21,73494843dB}}$$

Adatok a b.) feladathoz:

$$s_1 = 1600m$$

$$s_2 = 1000m$$

$$s_3 = 2400m$$

$$L_{w1} = 26,6dB$$

$$L_{w2} = 31,38dB$$

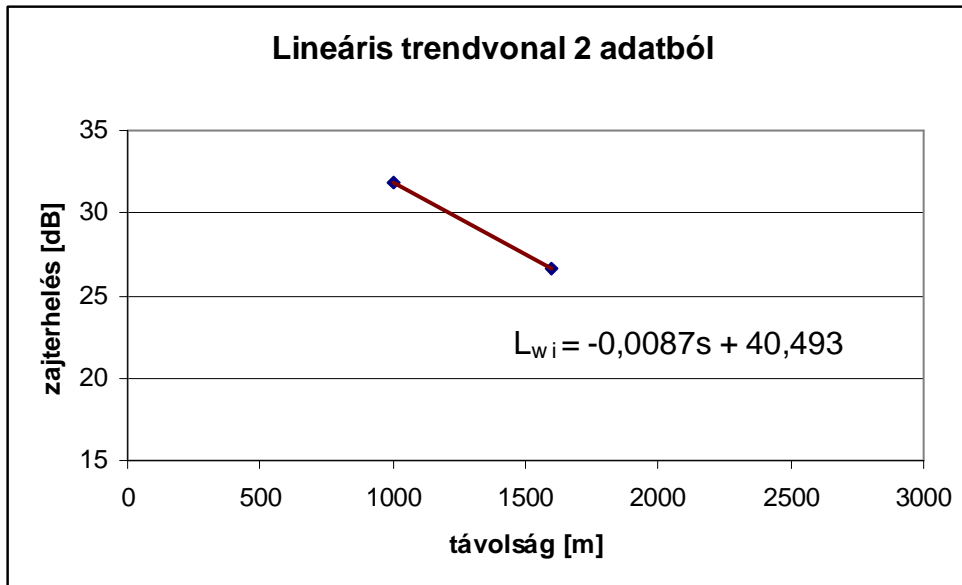
$$L_{w3} = 21,73dB$$

$$L_{we} = 33,27dB$$

$$L_{w3}(lin.) = ?$$

$$L_{w3}(exp.) = ?$$

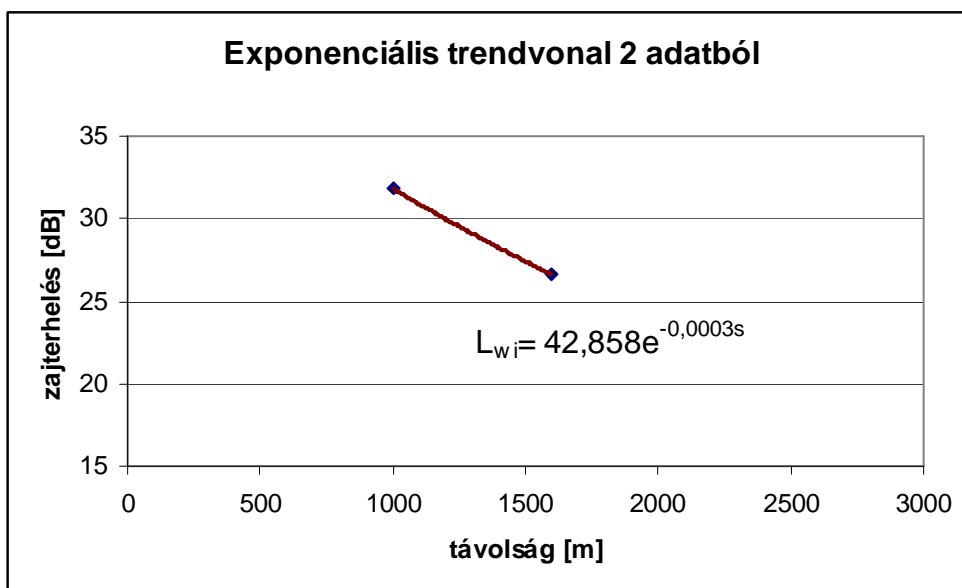
$$L_{w3}(log.) = ?$$



Lineáris összefüggés alapján:

$$L_{w3}(lin.) = -0,0087 \cdot 2400 + 40,493 = \underline{19,613dB}$$

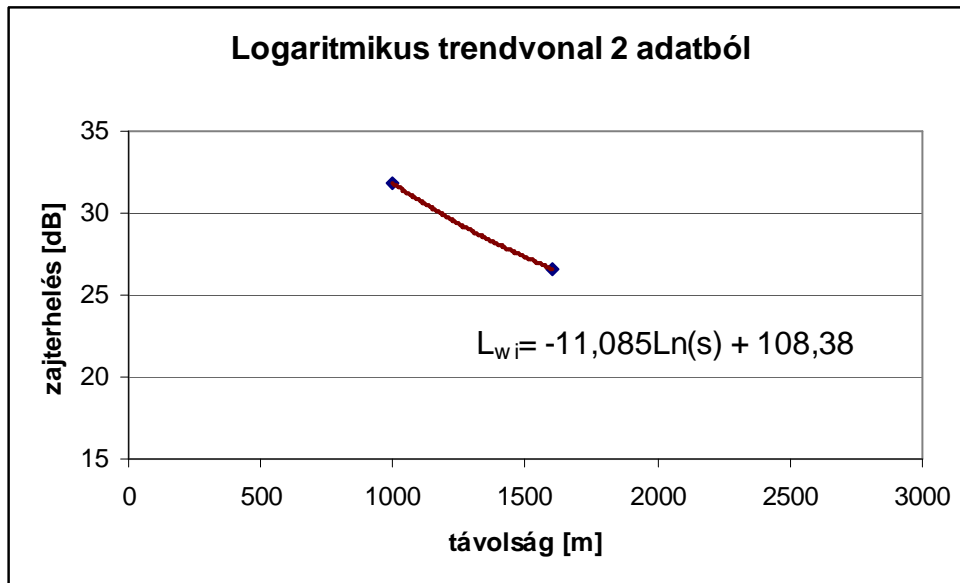
$$Eltérés : |L_{w3} - L_{w3}(lin.)| = |21,73dB - 19,613dB| = \underline{2,117dB}$$



Exponenciális összefüggés alapján:

$$L_{w3}(\text{exp.}) = 42,858 \cdot e^{-0,0003 \cdot 2400} = \underline{20,861\text{dB}}$$

$$\text{Eltérés} : |L_{w3} - L_{w3}(\text{exp.})| = |21,73\text{dB} - 20,861\text{dB}| = \underline{0,869\text{dB}}$$



Logaritmus összefüggés alapján:

$$L_{w3}(\text{log.}) = -11,085 \cdot \ln(2400) + 108,38 = \underline{22,103\text{dB}}$$

$$\text{Eltérés} : |L_{w3} - L_{w3}(\text{log.})| = |21,73\text{dB} - 22,103\text{dB}| = \underline{0,373\text{dB}}$$

Adatok a c.) feladathoz:

$$s_1 = 1600\text{m}$$

$$s_2 = 1000\text{m}$$

$$s_3 = 2400\text{m}$$

$$L_{w1} = 26,6\text{dB}$$

$$L_{w2} = 31,38\text{dB}$$

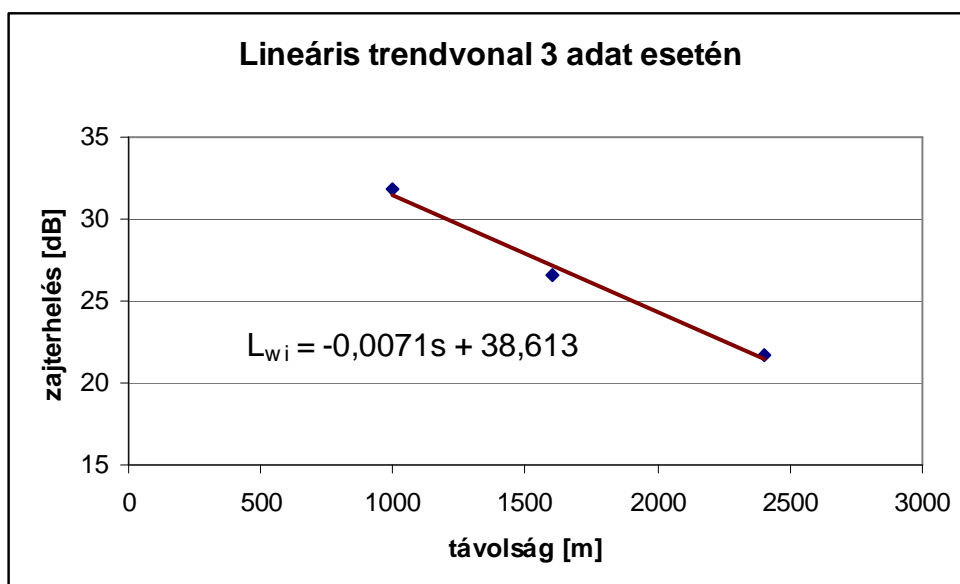
$$L_{w3} = 21,73\text{dB}$$

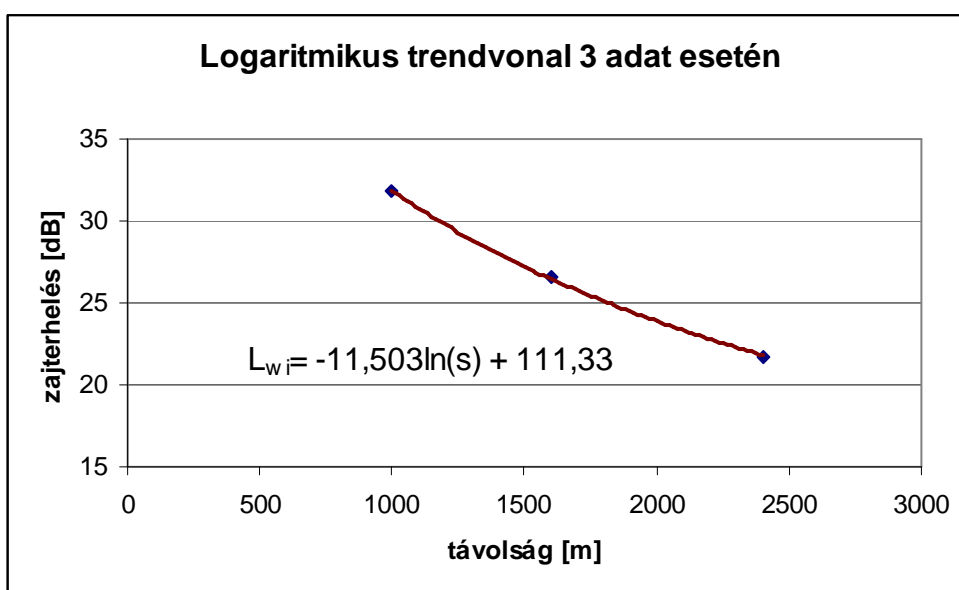
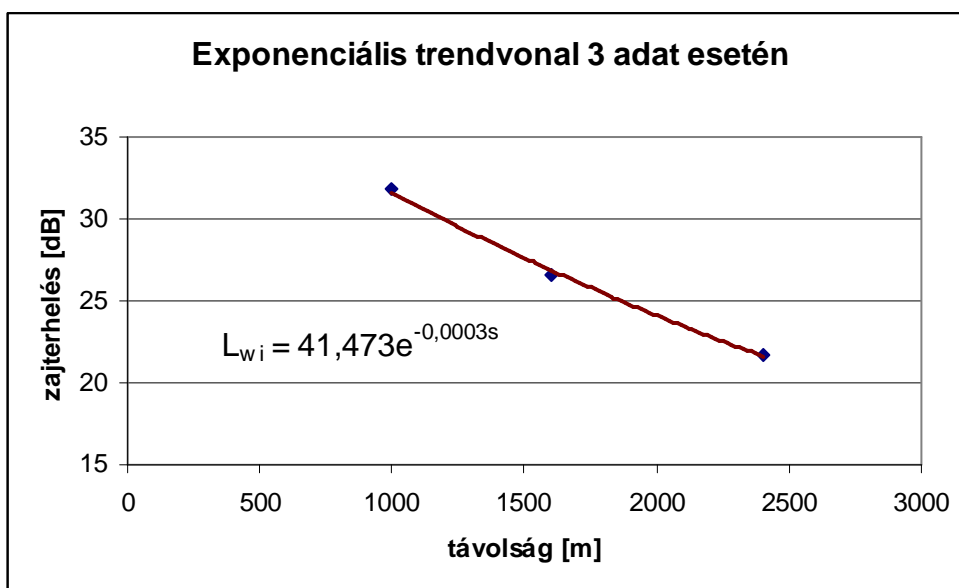
$$L_{we} = 33,27\text{dB}$$

$$L_{w3}(\text{lin.}) = ?$$

$$L_{w3}(\text{exp.}) = ?$$

$$L_{w3}(\text{log.}) = ?$$





Adatok a d.) feladathoz:

$$s_1 = 1600m \quad s_2 = 1000m \quad s_3 = 2400m$$

$$L_{w1} = 26,6dB \quad L_{w2} = 31,38dB \quad L_{w3} = 21,73dB$$

$$L_{we} = 40dB$$

$$L_{w4} = ?$$

$$s_4 = ? \quad \{s_4(\text{lin}) = ? \quad s_4(\text{exp}) = ? \quad s_4(\text{log}) = ?\}$$

A számolás menete:

$$L_{we} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^4 10^{0,1 \cdot L_{wi}}$$

$$\begin{aligned}
L_{we} &= 10 \cdot \lg(10^{0,1L_{w1}} + 10^{0,1L_{w2}} + 10^{0,1L_{w3}} + 10^{0,1L_{w4}}) \\
0,1 \cdot L_{we} &= \lg(10^{0,1L_{w1}} + 10^{0,1L_{w2}} + 10^{0,1L_{w3}} + 10^{0,1L_{w4}}) \\
\lg 10^{0,1L_{we}} &= \lg(10^{0,1L_{w1}} + 10^{0,1L_{w2}} + 10^{0,1L_{w3}} + 10^{0,1L_{w4}}) \\
10^{0,1L_{we}} &= 10^{0,1L_{w1}} + 10^{0,1L_{w2}} + 10^{0,1L_{w3}} + 10^{0,1L_{w4}} \\
10^{0,1L_{w4}} &= 10^{0,1L_{we}} - 10^{0,1L_{w1}} - 10^{0,1L_{w2}} - 10^{0,1L_{w3}} \\
10^{0,1L_{w4}} &= 10^{0,1 \cdot 40\text{dB}} - 10^{0,1 \cdot 26,6\text{dB}} - 10^{0,1 \cdot 31,81\text{dB}} - 10^{0,1 \cdot 21,73\text{dB}} \\
10^{0,1L_{w4}} &= 7876,925335\text{dB} \\
10^{0,1L_{w4}} &= 10^{\lg 7876,925335\text{dB}} \\
0,1 \cdot L_{w4} &= \lg 7876,925335\text{dB} \\
L_{w4} &= 10 \cdot \lg 7876,925335\text{dB} \\
\mathbf{L_{w4} = 38,96356729\text{dB}}
\end{aligned}$$

A távolság meghatározása lineáris összefüggésből:

$$s_4(\text{lin.}) = \frac{L_{w4} - 38,613}{-0,0071} = \frac{38,964 - 38,613}{-0,0071} = -49,44\text{m}$$

A távolság meghatározása exponenciális összefüggésből:

$$s_4(\text{exp.}) = \frac{\ln\left(\frac{L_{w4}}{41,473}\right)}{-0,0003} = \frac{\ln\left(\frac{38,964}{41,473}\right)}{-0,0003} = 208,015\text{m}$$

A távolság meghatározása logaritmikus összefüggésből:

$$s_4(\text{log.}) = e^{\frac{L_{w4} - 111,33}{-11,503}} = e^{\frac{38,964 - 111,33}{-11,503}} = 539,745\text{m}$$

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] <http://www.undp.hu> (Az Egyesült Nemzetek Szervezetének Fejlesztési Programja (UNDP) az ENSZ legfőbb fejlesztési tanácsadó, támogató és programokat lebonyolító szerve.)
- [2.] <http://www.muszakiak.com/energia/index>(letöltés dátuma: 2009. február 15.)
- [3.]
- [4.] <http://www.ff3.hu/>( letöltés dátuma:2009. február 1.)
- [5.] <http://www.hu.wikipedia.org>
- [6.] <http://idojaras.origo.hu>
- [7.] <http://www.fszek.hu>
- [8.] Dr. Tóth László-Dr. Horváth Gábor: ALTERNATÍV ENERGIA Szélmotorok, szélgenerátorok (Szaktudás Kiadó Ház, Bp. 2003)
- [9.] Környezetvédelmi lexikon (Akadémiai Kiadó, 2007.)
- [10.] <http://ismeret.virtus.hu>
- [11.] <http://www.museum.hu>
- [12.] <http://www.gwec.net> (Global Wind Energy Council)
- [13.] <http://www.ewea.org> (European Wind Energy Association)
- [14.] <http://szel-mszte.hu> (Magyar Szélenergia Tudományos Egyesület)
- [15.] <http://www.energiaklub.hu>
- [16.] <http://www.mszet.hu> (Magyar Szélenergia Társaság)
- [17.] <http://www.omsz.hu> (Országos Meteorológiai Szolgálat)
- [18.] <http://www.nrg-systems.hu>
- [19.] MSZ 15036: 2002 Hangterjedés a szabadban
- [20.] <http://www.eh.gov.hu> (Magyar Energia Hivatal)
- [21.] Szápár – Csetény szélérőmű park előzetes környezeti tanulmányának szápári jegyzőkönyve alapján (Szápári Önkormányzat)
- [22.] <http://reak.hu>
- [23.] Precíz kft adatai alapján
- [24.] Csetényi szélérőművek építési engedélye alapján (Csetényi Önkormányzat)