



1. A szél fogalma, kialakulásának magyarázata, mérése
2. Történeti áttekintés
3. Mennyi van?
4. Mire használjuk?
5. Hogyan használjuk?

1. A szél fogalma, kialakulásának magyarázata, mérése



- **Műszer nélkül**
Szélirányt becsléssel. Szélesség esetén tapasztalati skála a Beaufort-féle eredetileg 12 fokozatú, majd 17 fokozatra bővített skála
- **Műszerrel**
Athén–Szelek tornya; Mexikó–maya széltorony
1500 *Leonardo da Vinci*; 1667 *Hooke* nyomólapos szélmérő
XVIII. sz.: *Leupold* szélességmérő, szélirány-regisztráló
1846: *Robinson* kanalas szélességmérő

Szélirány, szélesség

Wild-féle nyomólapos szélzázsló

- Szélfogó: két, egymáshoz hajló fémlemez
- nyomólap: 15×30 cm fémlemez
- a szélerősség Beaufort-fokban olvasható le.

Szélesség

Módszer: egységnyi felületre ható szélnyomás, egységnyi idő alatt megtett út mérése.

- Forgókerekes: Fordulatszámot mér.
- Forgókanalas szélességmérő
 - Kézi kanalas, lapátkerekes
- Aerodinamikus: Nyomásmérésre vezeti vissza a szélességmérést.
 - Fuess-féle univerzális széliró
- Elektomos: A szél hűtő hatását használja ki
 - Albrecht-féle hődrótos anemométer
- Szónikus: Hangimpulzusok alapján.

Forgókanalas szélmérők

Kézi kanalas szélmérő

- Érzékelője: 3 domború félgömb
- A körülfordulások időegységre vonatkoztatott számából megadható a szélesség
- Írókészülékhez kapcsolható

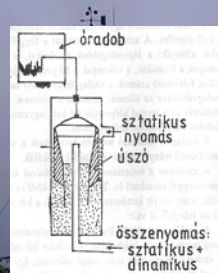


Lapátkerekes szélességmérő

Aerodinamikus szélességmérők

Fuess-féle univerzális szélmérő (KÉP!)

- statikus és dinamikus nyomás közötti különbségre épít
- Érzékelője: bűvárharang
- Széllökések sebességét, szélirányt, átlagsebességet regisztrál



Elektromos:

A szél hűtő hatását használja ki, pl. Albrecht-féle hődrótos anemométer

Szónikus:

Akusztikus szélességmérő. Hangimpulzusokat bocsát ki. Széliránytól és szélességtől függően időbeli eltérések tapasztalhatók az érzékelőben.

Automata meteorológiai mérőállomások



Az automatizálás okai

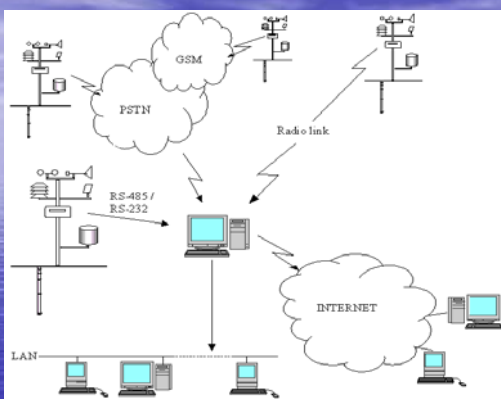
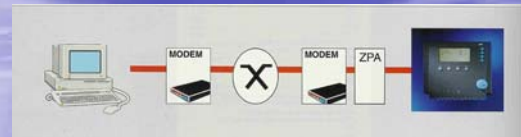
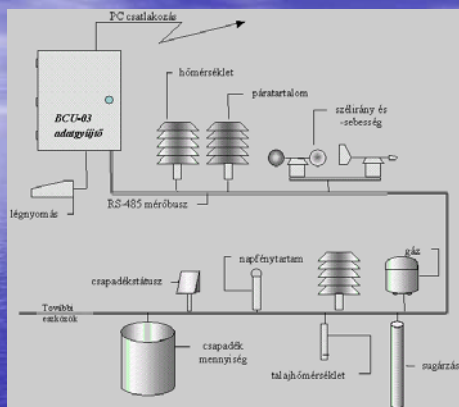
Törekvés a:

- Minőségre (hosszú távon megbízható műszerek)
- Pontosságra (minél kisebb hibaszázalék),
- Nagyobb sűrűségű mérésekre,
- Gazdaságosságra.

Folyamatos technológiai fejlődés – rendelkezésre állás

Felépítésük

- Oszlopra szerelt érzékelőkből és adatgyűjtőből állnak,
- Ez számítógéppel áll kapcsolatban (az állomástól távol is elhelyezkedhet),
- Az egyes állomások szintén összeköttetésben állnak egymással,
- Az adatok azonnal http-szerverre is kerülhetnek.



Szélmérés:

- Az anemométer házában infravörös opto-szaggató (chopper) a szélsébséggel arányos frekvenciájú jelet ad le,
- míg a szélzászló házában elhelyezett infravörös optikai érzékelő Gray-kódolású tárcsával határozza meg az aktuális irányt.



Ami nem tudunk mérni: a szél energiája, azaz az áramló levegő kinetikus energiája!



$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2; m = \rho Avt \Rightarrow$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \rho Av^3 t$$

fajlagos_szeleteljesitmeny [W/m²):

$$P_f = \frac{1}{2} \rho v^3$$

2. Történeti áttekintés: Magyarországon van kihasználható szélenergia

Magyarországon a török hódoltság után jelentek meg nagyobb számban a szélmalmok, bár helyenként már a 15. században is előfordultak.

Elterjedésük azonban csak a 17. században vált általánossá, a legtöbb szélmalmot viszont hazánkban 1866. és 1885. között építették

Számuk így alakult:

- 1863-ban 475,
- 1873-ban 854,
- 1885-ben 650,
- 1894-ben 712
- 1906-ban 691

(Bárány, Vörös és Wagner, 1970).

A 19. sz. végén, a 20. sz. elején az ország szélmalmainak több mint 95 %-a az Alföldön helyezkedett el (ábra, Keveiné Bárány I., 1991), ami önmagában is elegendő bizonyíték arra, hogy hazánkban ezen a táján is van elegendő hasznosítható szélenergia.

- A térkép egyértelműen mutatja azt is, hogy a szélmalmok többsége a Dél-Alföldön található, ami arra utal, hogy a szélviszonyok ezen a tájon leginkább itt feleltek meg a nem túl magasán elhelyezett, kb. 20 kW teljesítményű szélmalmok működési feltételeinek. Az egykori szélmalmok helyei tehát a vízszelvények szerint (Keveiné Bárány I., 2000) pontosan kitélelik azokat a térségeket, ahol minden valószerűség szerint gazdaságos szélenergia kitermelés lehetséges.



3. Mennyi van?

3.1. Spekulatív becslések

3.2. Statisztikai becslések a meteorológiai állomások széladataiból

3.2.1. Éghajlati célú feldolgozások alapján

3.2.2. Energetikai célú feldolgozások alapján

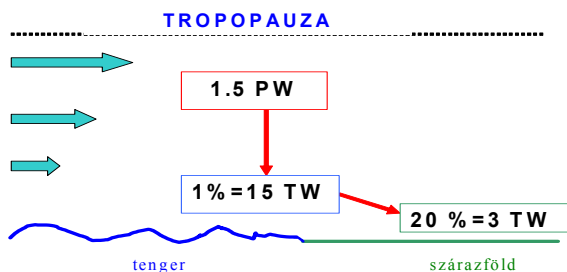
- Relatív mennyiségek
- A szélesség magasságtól való függésének becslése
- Numerikus becslések (A napi átlagos fajlagos szélteljesítmény becslése közelítő függvényvel)

3.3. Modell-becslések

3.4. Energetikai szélmérések

3.1. Spekulatív becslések

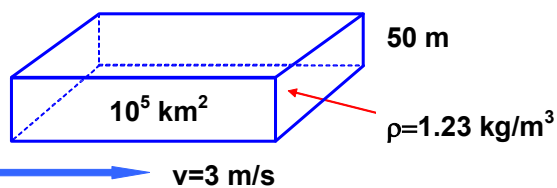
Vajda (1999):



A légmozgásokban megtestesülő mozgási energia a légkör (~troposzféra) teljes energiájának csupán kis része, hatalmas teljesítményt, **1.5 PW**-ot képvisel. Gyakorlati kiaknázásra azonban természetesen csak az alsó 100-200 m-es réteg jöhet számításba, vagyis mindössze 1 % azaz **15 TW**. Ennek 20 %-a, **3 TW** jut a szárazföldre. A gondolatot tovább folytatva ebből az következik, hogy hazánk területére – ami az összes szárazföld (149 millió km²) területének kb. 0.6 százaléka - **1.8 GW** szélteljesítmény esik.

Tegyük fel, hogy hazánk alapterülete egy 10⁵ km² területű téglalap, amely fölött 50 m-es magasságig a levegő 3 m/s átlagsébséggel áramlik (a levegő sűrűsége 1.23 kg/m³)

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2, m = \rho V, E_{kin} \approx 277 * 10^{11} J$$



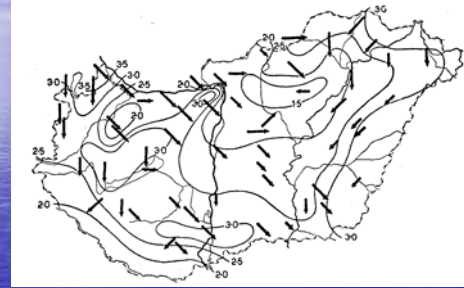
Koppány (1989):

A budapesti magas légköri megfigyelések alapján (1929-1953) meghatározott átlagos szélesség és a normál légkör sűrűségének magasság szerinti változásaiból arra következtetett, hogy egy 500 m magas dombtetőn mintegy 11-szer nagyobb fajlagos széltejesítmény nyerhető, mint a síkságon, még akkor is, ha a domborzatnak a szélességre gyakorolt hatásától (a levegőtrajektóriák összetartása) eltekintünk.

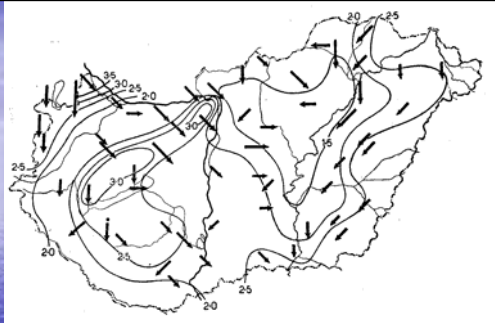
Feltevése és számítása szerint Magyarország 500 m-t elérő vagy meghaladó olyan területe, amely alkalmas szélgépek telepítésére kb. 10 km², ahová 4000 szélerőművet állíthatnánk fel, amelyek együttes energiatermelése 3220 MWh/nap (100 m² rotor-felülettel és 30 %-os hatásfokkal számolva). Ez összesen 1.18·10⁶ MWh/év, ami az ország villamos energia fogyasztásának kb. 3 %-a az 1986-os adatok alapján. Valószínű, hogy ez az arány most is kb. ennyi, mert az energiafogyasztással együtt nőtt a szélerőművek teljesítménye is.

3.2. Statisztikai becslések a meteorológiai állomások széladataiból

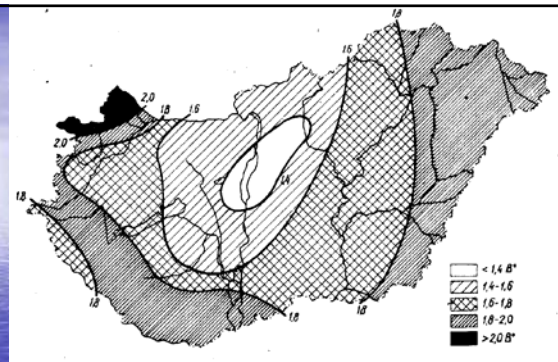
3.2.1. Éghajlati célú feldolgozások alapján



Az uralkodó szélirányok és az átlagos szélesség területi eloszlása Magyarországon a téli félévben (Kakas nyomán Dobosi és Felméry, 1971)



Az uralkodó szélirányok és az átlagos szélesség területi eloszlása Magyarországon a nyári félévben (Kakas nyomán Dobosi és Felméry, 1971)



A szél erősség évi középértékeinek területi eloszlása (B⁰, 30 évi átlag, Bacsó nyomán Dobosi és Felméry, 1971)

Bartholy – Radics – Bohoczky (2003):

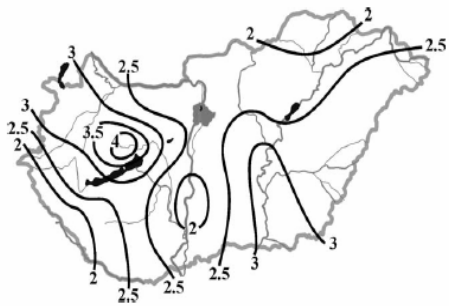


Fig. 1. Spatial distribution of mean wind speed (m s⁻¹) over Hungary.

3.2.2. Energetikai célú feldolgozások alapján

2003-ban működő automata állomások



Térkép: a 16 állomás és ebből a 10 kiemelve



A Péczy-féle makroszinoptikus helyzetek kódjai, betűkódjai és rövid jellemzésük

Meridionális irányítású helyzetek északi áramlással (MN helyzetscsoport)	
1	mCc ciklon hátoldali áramlásrendszere
2	AB anticiklon a Brit-szigetek térségében
3	CMe mediterrán ciklon hátoldali áramlásrendszere
Meridionális irányítású helyzetek délies áramlással (MS helyzetscsoport)	
4	mCw ciklon előoldali áramlásrendszere
5	Ae anticiklon Magyarországtól keletre
6	CMw mediterrán ciklon előoldali áramlásrendszere
Zonális irányítású helyzetek nyugati áramlással (ZW helyzetscsoport)	
7	zC zonális ciklonális helyzet
8	Aw nyugatról benyúló anticiklon
9	As anticiklon Magyarországtól délre
Zonális irányítású helyzetek keleties áramlással (ZE helyzetscsoport)	
10	An anticiklon Magyarországtól északra
11	AF anticiklon Fennoskandinávia térségében
Centrumhelyzetek	
12	A anticiklon a Kárpát-medence fölött
13	C cikloncentrum a Kárpát-medence fölött
ciklonális helyzetek	1, 3, 4, 6, 7, 13
anticiklonális helyzetek	2, 5, 8, 9, 10, 11, 12

Relatív mennyiségek:

- **kitüntetett (energiában gazdag) szélirányok**

- A szélirányok energetikai paraméterei:
 - a szélirányok relatív gyakorisága: f_D
 - a szélirányok relatív energiatartalma: $p(D)$

$$P_{ri}(D) = \frac{\rho}{2} \sum_{j=1}^k \frac{f_{Dj}}{N} v_j^3 \quad p(D) = \frac{P_{ri}(D)}{P_{ri}}$$

- a szélirányok átlagsebessége
- a szélirányok átlagos időtartama

• **Jellemző és nem jellemző szélirányok**

$$h_1 = p_{0,n} - u_c \sqrt{np_0(1-p_0)}$$

$$h_2 = p_{0,n} + u_c \sqrt{np_0(1-p_0)}$$

$$p_0 = 0,0625,$$

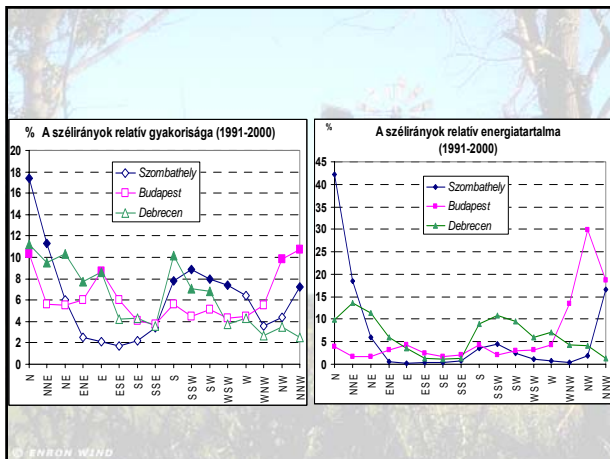
$$2\Phi(u_c) - 1 = 1 - \varepsilon$$

$$\varepsilon = 0,027 \Rightarrow u_c = 2,98$$

Ha egy D szélirány f_D gyakoriságára teljesül, hogy

$$f_D > h_2,$$

akkor azt jellemző széliránynak nevezzük.



Egy jellemző és egy nem jellemző szélirány energiatalmának aránya (CD_j/ND_j)

Megt. állomás	CD_j/ND_j				
	Tél	Tavasz	Nyár	Ősz	Év
Szombathely	3.2	12.3	12.2	10.7	9.8
Budapest	3.3	3.9	6.0	2.7	3.9
Debrecen	5.3	1.7	1.9	2.8	2.8
átlag	3.9	5.9	6.7	5.4	5.5

Egy jellemző és egy nem jellemző szélirány energiátartalma arányának átlagos értékei (CWD_{E1}/NWD_{E1})
The ratio of the energy content of one characteristic and one non-characteristic wind direction (CWD_{E1}/NWD_{E1})

	síkvidéki		nem síkvidéki		"országos"		síkvidék	nem síkv.	országos
	1968-72	1991-95	1968-72	1991-95	1968-72	1991-95			
Tél	3,8	4,2	3,8	4,7	3,8	4,4	4,0	4,2	4,1
tavaszi	2,6	2,6	3,7	4,5	3,1	3,4	2,6	4,1	3,2
Nyár	3,4	3,4	6,3	5,8	4,7	4,4	3,4	6,1	4,5
Ősz	3,2	2,9	4,8	5,0	3,9	3,7	3,0	4,9	3,8
Év	2,8	2,9	4,5	4,2	3,6	3,5	2,9	4,4	3,5
MN	9,3	4,9	10,9	6,5	10,1	5,6	6,6	8,3	7,4
MS	2,9	2,4	4,4	5,1	3,5	3,5	2,6	4,7	3,5
ZW	5,5	5,4	6,5	6,2	5,9	5,8	5,5	6,3	5,9
ZE	6,2	8,5	12,3	10,0	8,7	9,2	7,3	11,2	8,9
A	2,2	2,0	3,3	2,7	2,7	2,3	2,1	3,0	2,5
C	7,4	5,1	7,0	8,6	7,2	6,6	6,1	7,7	6,9

Az energetikai uralkodó szélirányok (PD) és relatív energiátartalmuk (PD_r).

Időszak	Szombathely		Budapest		Debrecen	
	PD	PD _r	PD	PD _r	PD	PD _r
Tél	N	42.9	NW	29.2	SSW	15.5
Tavaszi	N	42.3	NW	29.6	NNE	13.0
Nyár	N	42.0	NW	31.1	NNE	14.2
Ősz	N	40.8	NW	29.5	SSW	13.3
Év	N	42.2	NW	29.8	NNE	13.6

Az energetikai uralkodó szélirányok (és relatív energiátartalmuk):

Időszak	Békéscsaba				Szeged				Budaörs				Ózdi						
	1968-72	1991-95	1968-72	1991-95	1968-72	1991-95	1968-72	1991-95	1968-72	1991-95	1968-72	1991-95	1968-72	1991-95	1968-72	1991-95			
évi	23,6	NE	14,3	S	17,4	S	18,3	NW	13,6	NW	17,8	NNW	19,2	NNW	24,9	NW	14,8	NNW	27,2
széles	23,1	NE	14,2	S	16,7	SSE	16,2	NW	17,8	NW	30,7	NW	20,1	NNW	17,8	NNW	17,8	NNW	25,3
nyári	18,0	NE	15,3	S	16,4	N	17,8	SSE	12,8	NW	17,8	NW	23,1	NW	22,3	S	14,1	NNW	27,7
őszi	33,6	NE	17,3	N	12,0	WNW	16,4	NW	23,2	NW	20,8	NNW	33,1	NNW	33,8	NW	23,2	NNW	39,4
évi	18,1	SW	11,9	S	24,3	S	22,4	SSE	17,4	SE	18,7	NW	28,8	NW	25,3	NW	16,7	NNW	22,3
MN	39,8	NE	15,7	N	21,1	S	17,4	NW	28,8	NW	28,4	NW	40,4	NNW	31,4	NNW	29,8	NNW	35,2
MS	27,4	NE	11,4	S	30,1	S	31,0	SSE	29,1	SE	26,8	ESE	9,8	NNW	16,2	SE	18,7	NNW	15,4
ZW	19,8	SW	16,8	S	16,8	WNW	21,7	NW	21,7	NW	31,2	NW	31,6	NW	28,4	NW	16,4	NNW	33,0
ZE	30,4	NE	28,8	NNE	29,8	N	36,3	NNE	28,8	NNE	33,0	E	24,8	ESE	24,2	SE	14,2	N	28,8
A	20,4	NE	13,1	S	17,7	S	20,4	S	14,4	N	16,3	ESE	9,8	SE	11,2	S	15,7	WSW	16,3
C	17,1	SSW	12,4	SSW	18,0	S	19,1	WNW	37,1	NW	16,4	NW	45,4	NNW	31,1	NNW	41,2	NNW	52,3

A következtetéseket tömörebben

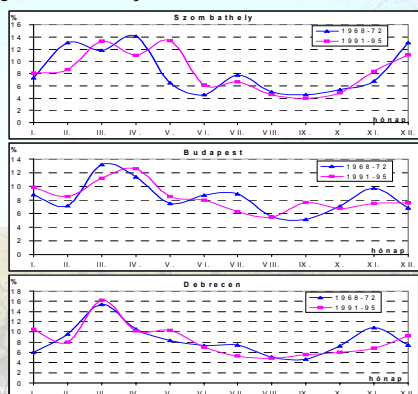
Következtetések

- A síkvidéki állomásokon legtöbb esetben a széliránycsoportok átlagos (egy irányra eső) energiája növekedett, csak az A helyzetben nőtt viszont ezek es a rész-időszak átlagsebessége, ebben a helyzetben egyébként csak a jellemző irányok összes és átlagos energiátartalma csökkent.
- A nem síkvidéki állomásokon az esetek több mint felében növekedett a jellemző szélirányok száma, ezek összes gyakorisága és energiája, egyharmadában egy jellemző irány energiája, csak 1-2 esetben az összes többi paraméter értéke Egy jellemző szélirány által szállított energia mindkét területen növekszik télen, nyáron viszont a nem síkvidéki állomásokon csökken.
- Az összes állomást együtt kezelve („országosan”) a paraméterek növekedését mindössze 18 %-ban figyelhetjük meg, elsősorban a centrum-helyzetekben és télen.
- A nem síkvidéki állomásokon a paraméterek értékei az összes eset 67 %-ában nagyobbak, mint a síkvidéki állomásokon, egyik esetben sem kevesebb a jellemző szélirányok összes és átlagos energiája és átlagsebessége, soha nem több egy nem jellemző irány energiája, mindig nagyobb viszont a rész-időszakok átlagos sebessége, a többit télen, nyáron, az MS és ZW helyzetcsoportban, valamint a C helyzetben a paraméterek kevesebb, mint felénél áll csak be.

Következtetések

- Egy jellemző irány átlagosan minimum 2-szer (síkvidéken az A helyzetben), maximum 12,5-ször (nem síkvidéken a ZE helyzetcsoportban) több energiát szállít, mint egy nem jellemző. Arányuk hely- és idő- és erősen időjárási helyzeti függő: a síkvidéki állomásokon, a második időszakban, a meridionális helyzetcsoportban és az anticyklon-centrum helyzetben kevesebb, mint a nem síkvidéki állomásokon, az első időszakban, a zonális helyzetcsoportban és a ciklon-centrum helyzetben.
- Az (energetikailag) uralkodó irány relatív energiája a síkvidéki állomásokon az első időszakban kb. 10 és 45 % közé esik, átlagosan kb. 23 %. A második időszakban a minimum 11 %, a maximum 52 %, az átlag ugyanígy kb. 23 %, jelentősen tehát csak a legnagyobb érték növekedett. A nem síkvidéki állomásokon mindkét időszakban nagyobbak a felvehető értékek intervallumai: az első időszakban ezek 10 és 70 %, a másodikban pedig 10 és 72 % között lehetnek, az átlagok pedig 30 és 32 %. Lényeges időbeli változásról tehát itt nem beszélhetünk.
- Az uralkodó szélirányok által szállított relatív energia gyakoriság eloszlása a következőképpen alakul: a síkvidéki állomásokon az első időszakban ezek kb. 87 %-a a 15-35 % intervallumba esik, a második időszakban ugyanez az intervallum az esetek 91 %-át tartalmazza, azaz koncentráltabb lett az eloszlás. A nem síkvidéki állomásokon ugyanezek az összevont gyakoriságok a 15-50 %, ill. a 15-55 % intervallumokba „érnek” csak be, vagyis itt laposabb az eloszlás mindkét időszakban és a második időszak sem mutat az előzőhöz képest rendezettebb eloszlást (mivel nőtt az intervallum hossza).

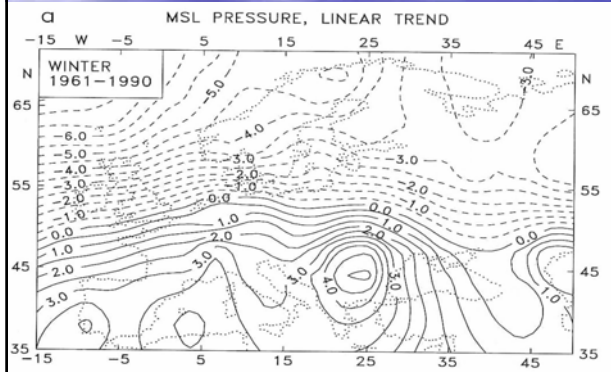
- A relatív szélteljesítmény éves menete (éghajlatváltozás?)



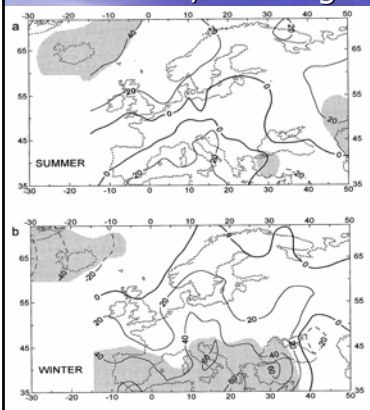
Általános következtetések

Mindezekből nagy biztonsággal állíthatjuk: a jellemző szélirányok *eloszlásában*, a jellemző és nem jellemző szélirány-csoportok energetikai paramétereinek *értékében*, valamint ebből következően az (energetikai) *uralkodó szélirányok tulajdonságaiban* a két öt éves, egymástól kb. 20 évnire lévő időszakban mutatkozó *különbségek valóságosak*. Megkockáztatható az a feltevés is, hogy a szélebség és vele együtt a szélenergia *csökkenő tendenciájáról* van szó. Ezek okaként elsősorban az európai tengerszinti légnyomás szignifikáns megváltozását jelölhetjük meg, ami markáns és statisztikailag bizonyított megnyilvánulása a jelenkori klímaingadozásnak.

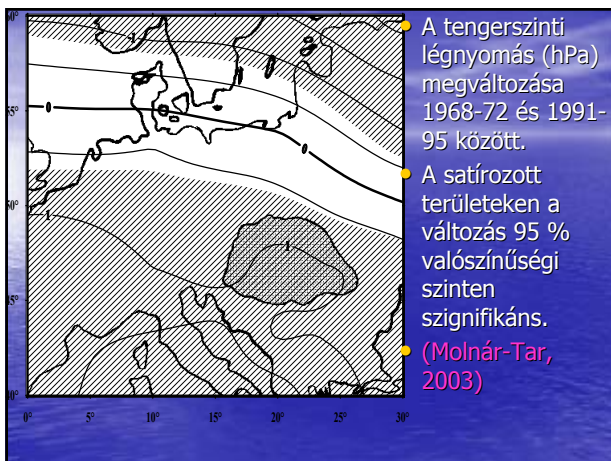
A felszínközeli légnyomási mező megváltozása
A lín. trend meredekségei (Schönvieste et al., 1994)



Az RT 300/850 megváltozása



- A lineáris trend (1961-91) meredekségei
- Szátozott: >90 % szignifikancia szinten (Meyhöfer et al., 1996)



- A tengerszinti légnyomás (hPa) megváltozása 1968-72 és 1991-95 között.
- A szátozott területeken a változás 95 % valószínűségi szinten szignifikáns.
- (Molnár-Tar, 2003)

A szélebség magasságtól való függésének becslése

A leggyakrabban használt empirikus szélprofil törvények:

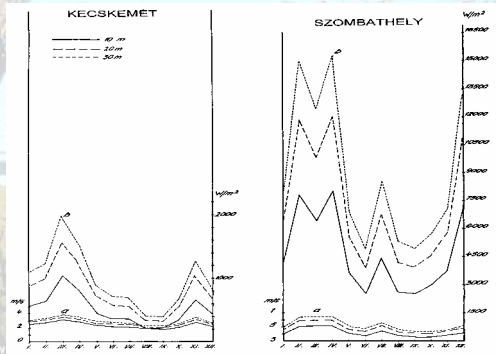
$$\text{WMO: } v_h = v_{10} [0.233 + 0.656 \lg(h + 4.75)] \quad (\text{nincs paramétere!})$$

$$\text{Hellmann: } v_2 = v_1 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha$$

(a meteorológiai állomásokon $h_1 = 10$ m)

α : a felszín tagoltságának és a légkör egyensúlyi helyzetének függvénye ► napi és évi menete van!

A havi átlagos szélesség és a hónap egy napjára átlagosan eső fajlagos szélteljesítmény évi menete hazánk szélenergiában legszegényebb és leggazdagabb pontján különböző magasságokban a WMO által ajánlott összefüggés szerint



Mérőtornyok

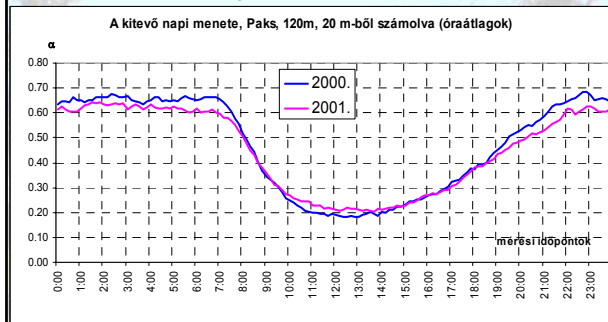
- Mo-n: Paks
- 2, 10, 50 és 120 m méreőrkélyeken mérhető különböző paramétereket,
- nehézkes a megközelítés,
- max. 600 m-ig lehet mérni.



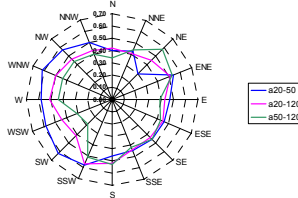
Az α kitevő évi átlagai és szórásai a különböző szintek között különböző módszerekkel meghatározva a paksi toronymérések alapján.

		1. a napi átlagsebességek-ből		2. az óránkénti kitevők napi átlagából		3. irányok szerint	
2000.	átlag	20→50	0.43	0.50	0.50		
		20→120	0.44	0.47	0.46		
	szórás	20→50	0.10	0.15	0.43		
		50→120	0.09	0.11	0.43		
2001.	átlag	20→50	0.41	0.45	0.45		
		20→120	0.43	0.45	0.44		
	szórás	20→50	0.10	0.12	0.45		
		50→120	0.09	0.10	0.45		

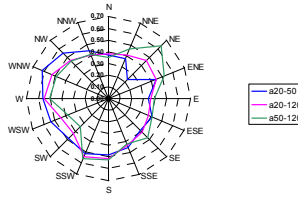
Az α kitevő napi menete



A kitevő irány szerinti változása (Paks, 2000)



A kitevő irány szerinti változása (Paks, 2001)



Az α kitevő egyes szélirányokhoz tartozó átlagos értékei.

Numerikus becslések:

A napi átlagos fajlagos szélteljesítmény becslése közelítő függvénnyel a diszkrét mérési adatok folytonossá tételéhez

A fajlagos szélteljesítmény az egységnyi függőleges felületen egységnyi idő alatt átáramló levegő tömegének mozgási energiája. Kiszámítása egy adott időpontban a

$$P_f = \frac{\rho}{2} v^3$$

összefüggés alapján történik, ahol v a szélesség, ρ a levegő sűrűsége, mértékegysége pedig Wm^{-2} .

A meteorológiai állomásokon (általában 10 m-en) mért szélesség adatok alapján tehát megpróbálkozhatunk a fajlagos szélteljesítménynek **adott időszakra** vonatkozó becslésével is. Egy adott időszak, pl. egy nap összes potenciális szélenergiáját az időszak egyes időpontjaiban mért szélességekből lehet meghatározni. Két lehetőség adódik:

- az összefüggésben az időszak átlagsebességét írjuk a v helyébe,
- az időszak egyes (diszkrét) időpontjaiban meghatározott értékeket összegezzük.



Az eredmény mindenképpen függ a mérési időpontok számától!

- A függőség kiküszöbölésére létezik elvi megoldás, ha az időszak egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítményt a következőképpen definiáljuk: a szélesség köbök óránkénti átlagának napi menetét közelítő függvény görbe alatti területe (határozott integrálja) szorozva a levegő sűrűségének felével.

Legyen közelítő függvény a következő:

$$f_2(x) = a_0 + \sum_{m=1}^N \left(a_m \cos \frac{2\pi mx}{N} + b_m \sin \frac{2\pi mx}{N} \right)$$

vagyis egy trigonometrikus polinomokból álló Fourier-sor első két eleme, ahol tehát $N=24$, $x=1, 2, \dots, N$ (Dobosi-Felméry, 1971). A fenti függvény primitív függvénye a következő:

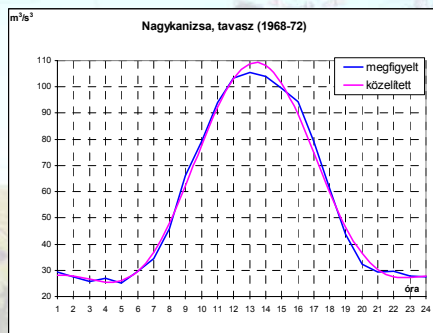
$$F_2(x) = a_0 x + \sum_{m=1}^N \left(\frac{a_m}{\alpha_m} \sin \alpha_m x - \frac{b_m}{\alpha_m} \cos \alpha_m x \right)$$

$$\alpha_m = \frac{2\pi m}{N}$$

Ha tehát az a_m és b_m együtthatók meghatározásához a szélesség köbök óránkénti átlagának idősorát (napi menetét) használjuk, akkor az időszak egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítmény:

$$F_{\text{átlag}} = \frac{1}{24} [F_2(24) - F_2(1)]$$

Példa a szélesség köbök óránkénti átlagának az $f_2(x)$ függvénnyel való közelítésére:



A napi átlagos fajlagos szélteljesítménynek a közelítő függvény görbe alatti területével becsült értékei (Wm^2 , vastag: a legnagyobb, *dólt*: a legkisebb évszakos érték).

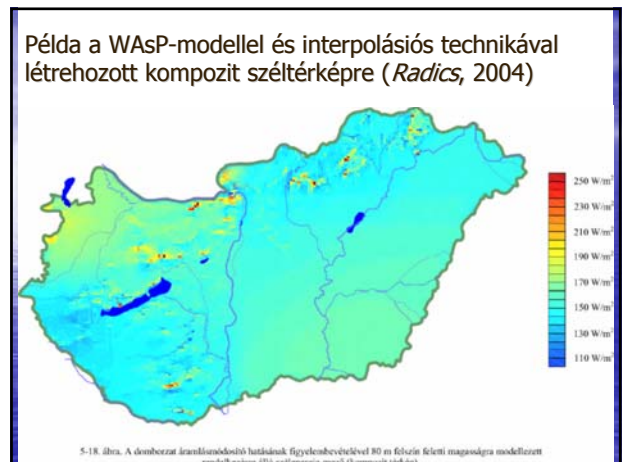
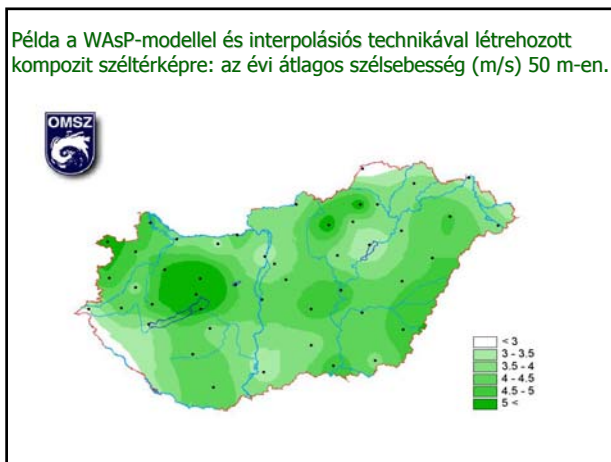
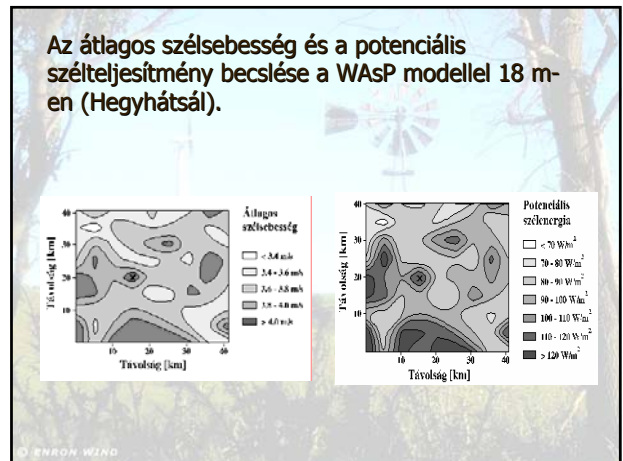
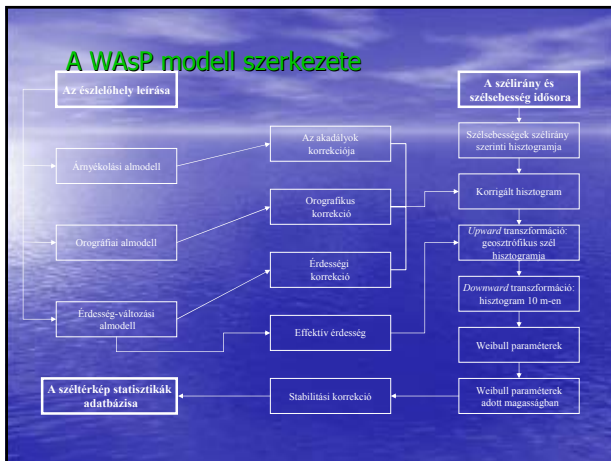
	1968-72					1991-95				
	év	tél	tavas	nyár	ősz	év	tél	tavas	nyár	ősz
Kisvárd	680	809	910	471	539					
Debrecen	1076	992	1475	857	978	793	883	1163	546	580
Békéscsaba	789	748	1131	591	682	931	993	1364	587	776
Szeged	1475	1829	2090	947	1035	1183	1203	1722	722	1085
Kecskemét	502	532	768	309	400					
Baja	454	538	609	353	315					
Budapest	1023	933	1309	947	900	517	538	670	407	454
Győr	977	1057	1264	784	800	520	664	677	290	449
Kékestető	2276	2539	2437	1392	2755	1494	2184	1410	791	1607
Miskolc	228	178	359	157	216	765	778	1087	657	537
Szombathely	4739	6328	6101	3338	3180	2254	2408	3243	1802	1481
Pápa	2218	2131	2589	2402	1747					
Keszthely	852	1143	984	678	603	285	323	423	209	178
Siófok	1898	1649	1940	2252	1743					
Nagykanizsa	598	705	790	467	432					
Pécs	1206	1428	1653	944	798	870	1169	1234	518	592

A második időszak (1991-95) napi átlagos fajlagos szélteljesítménye az első időszak (1968-72) napi átlagos fajlagos szélteljesítményének százalékában (*vastag dólt*: növekedés, *dólt*: a legkevesebb csökkenés, *vastag*: a legnagyobb csökkenés).

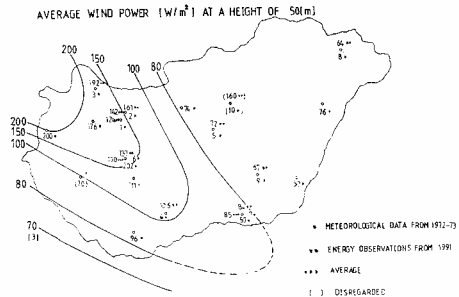
	év	tél	tavas	nyár	ősz
Debrecen	74	89	79	64	59
Békéscsaba	118	133	121	99	114
Szeged	80	66	82	76	105
Budapest	51	58	51	43	50
Győr	53	63	54	37	56
Kékestető	66	86	58	57	58
Szombathely	48	38	53	54	47
Keszthely	34	28	43	31	29
Pécs	72	82	75	55	74
átlag	66	71	68	57	66
Miskolc	336	437	303	419	248

3.3. Modell-becslések

- Hazánkban a szélmező dinamikusan modellezésére a **WASP** (Wind Atlas Analysis and Application Program) modellt használják a kutatók (Radics, 2001; Bartholy és Radics, 2000a, b; 2001; Radics és Bartholy, 2001, OMSZ). Ez a széladatok horizontális és vertikális extrapolációjára szolgáló lineáris, spektrális modell, amelyet Dániában fejlesztettek ki. A WASP alkalmas a domborzati és érdességi adatok alapján egy terület szélklímájának becslésére, az átlagos szél teljes energiájának számítására és a szélterelő közepes teljesítmény outputjának meghatározására.



E mérések és néhány más meteorológiai állomás szélesség adatainak felhasználásával készült Magyarország első energetikai szélterképe, (Blahó és Marshall, 1993). A térkép azt sugallja, hogy igazából csak a Dunántúl nyugati, észak-nyugati részén van kihasználható szélenergia.



A Mosonmagyaróvár környékén 45 m magasságban történt szélmérések legfontosabb eredményei

Mérési időszak:	1999. december	2000. február	2000. március	2000. április	2000. május
Közepes szélesség (m/s)	6,6	5,9	6,8	7,5	5,8
Teljesítménysűrűség (W/m²)	231,4	252,0	422,4	421,7	212,0
Mérés időtartama (min.)	22,280	41,760	44,640	43,200	44,640

Az energetikai szélmérés mai lehetőségei

1. Magyarország automata meteorológiai állomáshálózata
2. Meteorológiai mérőtornyok
3. Expedíciós mérések a kiválasztott területen
4. SODAR
5. Pilot és rádiószonda



Ballonszonda:

olyan meteorográf, amely szabad léggömbre kötve, a talajtól a léggömb pukknásáig megméri és regisztrálja a felsőbb légrétegek állapotjelzőit.

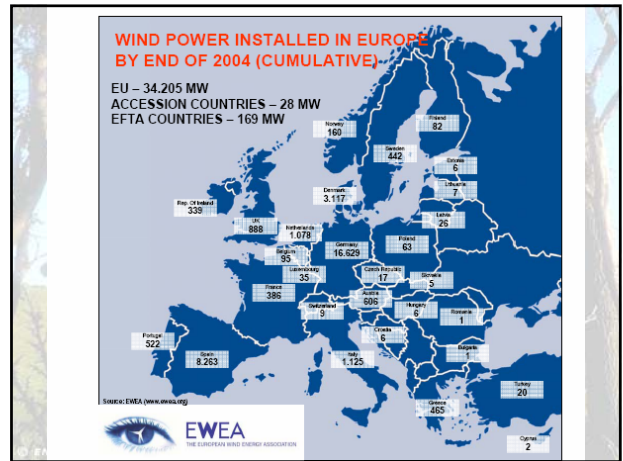
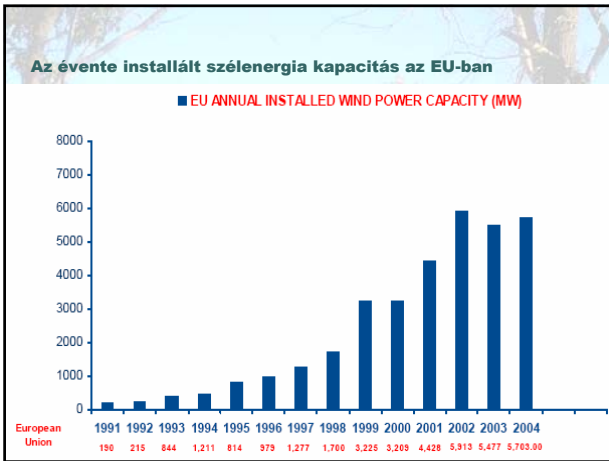
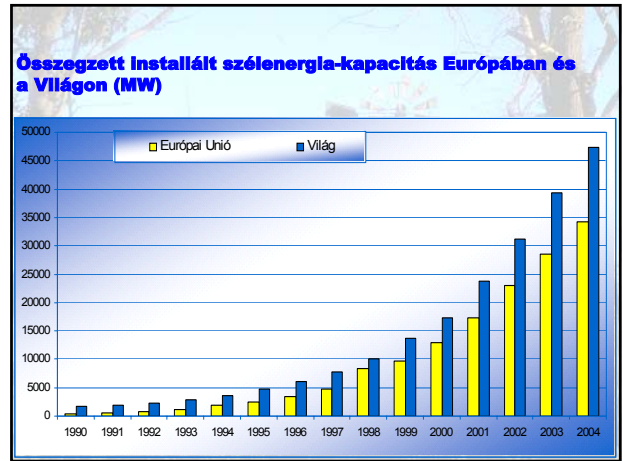
- Pilot-léggömbös mérések (műszer nélküli, szabad léggömb, amit az uralkodó szél vizuális megfigyelésére használtak) – nehézkessé vált, így áttértek a
- Rádió-szélmérésekre (lokátoros követés)



A SODAR



4. Mire használjuk?



EU CAPACITY (MW)

	Total at end 2003	Installed Jan-Dec 2004	Total at end 2004
Austria	415	192	606
Belgium	68	28	95
Cyprus	2	0	2
Czech Republic	9	9	17
Denmark	3,115	9	3,117
Estonia	2	3	6
Finland	52	30	82
France	252	138	386
Germany	14,609	2,037	16,629
Spain	8,263	0	8,263
Sweden	13	0	13
UK	888	0	888
EU15	28,460	5,678	34,073
EU10	108	24	133
EU25	28,568	5,703	34,205

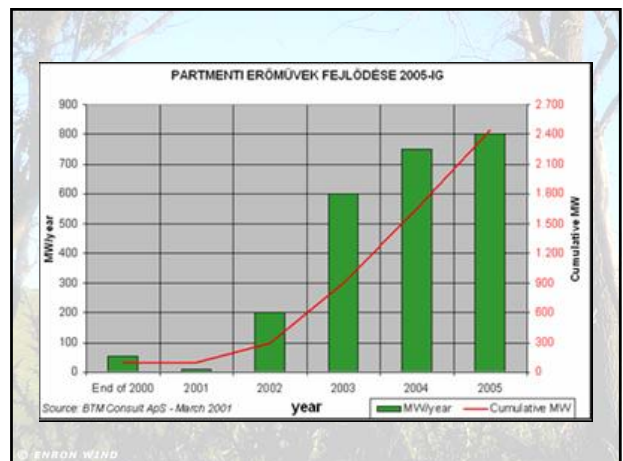
ACCESSION COUNTRIES (MW)

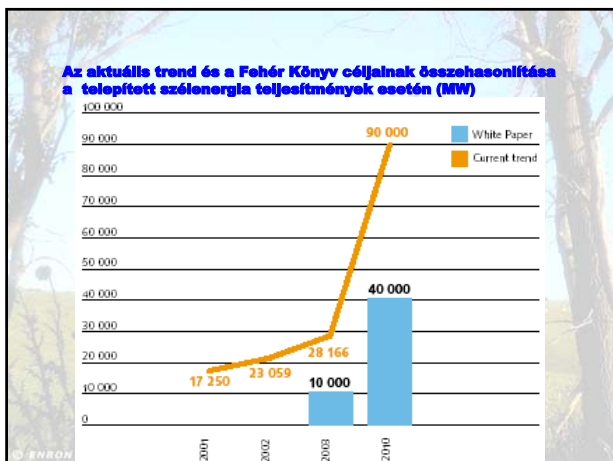
	Total at end 2003	Installed Jan-Dec 2004	Total at end 2004
Bulgaria	0	1	1
Croatia	0	6	6
Romania	1	0	1
Slovakia	19	1	20
Total	20	8	28

EFTA COUNTRIES (MW)

	Total at end 2003	Installed Jan-Dec 2004	Total at end 2004
Iceland	0	0	0
Liechtenstein	0	0	0
Norway	101	59	160
Switzerland	5	4	9
Total	106	63	169

Note: Due to previous-year adjustments, project decommissioning of 65MW, and rounding, the 2004 end-of-year cumulative capacity total does not exactly match the year-end 2003 total plus the 2004 additions.





- **Várpalota-Inota:**
NORDEX N29/250 (250 kW)
- **Kulcs:**
ENERCON E40 (600 kW)
- **Mosonszolnok:**
2 db ENERCON E40 (2x600 kW)
- **Mosonmagyaróvár:**
2 db ENERCON E40 (2x600 kW)

- **Erk:**
ENERCON E48 (800 kW)
- **Vép:**
ENERCON E40 (600 kW)
- **Újronafő:**
ENERCON E48 (800 kW)

Σ: 5.45 MW

SZÉLERGIA - A TERMÉSZET ÉS AZ ENERGIAFORRÁS HARMÓNIAJA

Inota: 2001. január 1.

Magyarország első szélenergiája
Várpalota - Inota

**Kulcs, 2001. május 23.
200 MFt, az első évi termelés 1250 MWh, 750 család szükségletét fedezi.**

Mosonszolnok, szélenergiapark: 2002. december 20.



Mosonmagyaróvár, szélérőműpark:
2003. július 1.



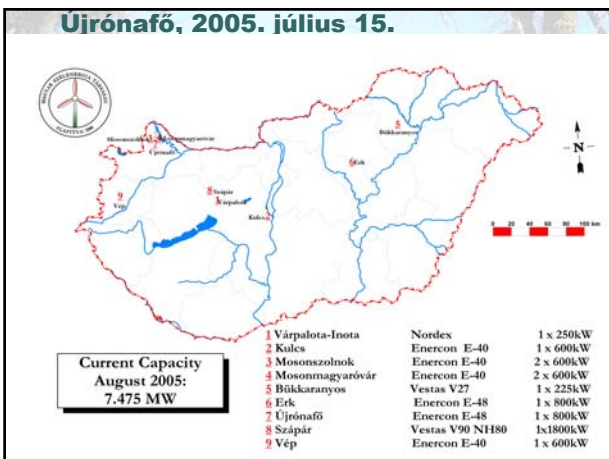
Erk, 2005. május 12.



Vép, 2005. július 15.



Vép, 2005. július 15.



Újrónafő, 2005. július 15.

Az öt magyarországi szélérő m által termelt villamos energia mennyisége:

Termelt energia	Kulcs, 1x600 kW 2001.06.01.-2003.12.31.	Mosonszolnok, 2x600 kW 2002.12.20.-2004.07.31.		Mosonmagyaróvár, 2x600 kW 2003.07.01.-2004.08.20.	
		1.	2.	1.	2.
Össz. kWh	2769937	1467842	1467306	1060575	1057960
kWh/hónap	83353	75936	75908	77641	77449
kWh/nap	3876	2626	2625	2549	2543

Átgondolt hely kiválasztás, energetikai szélmérések

Példák a kisüzemi hasznosításra.

Kisüzemi hasznosítás (1.5-5.0 kW):

- **Vízszivattyúzás (víz ki- és átemelés, csepegtető öntözés)**
- **Autonóm (szigetszerű) elektromos áramtermelés**
- **Levegősűrítés, levegőmozgatás (halastavak)**

© ENRON WIND

