

***Megújuló energiaforrások I.***

***A szélenergia  
hasznosítása***

**Dr. Ivelics Ramón PhD.  
egyetemi adjunktus**

**PTE MIK Mérnöki és Smart Technológiák Intézet  
Környezetmérnöki Tanszék**



# Primer energiahordozók csoportosítása kimerülésük alapján

## Kimerülő energiahordozók

- kémiai tüzelőanyagok:
  - szén, kőolaj, földgáz, egyéb,
- nukleáris tüzelőanyagok:
  - fissziós, fúziós,
- *geotermikus energia*
- exoterm reakciók

## Megújuló energiahordozók

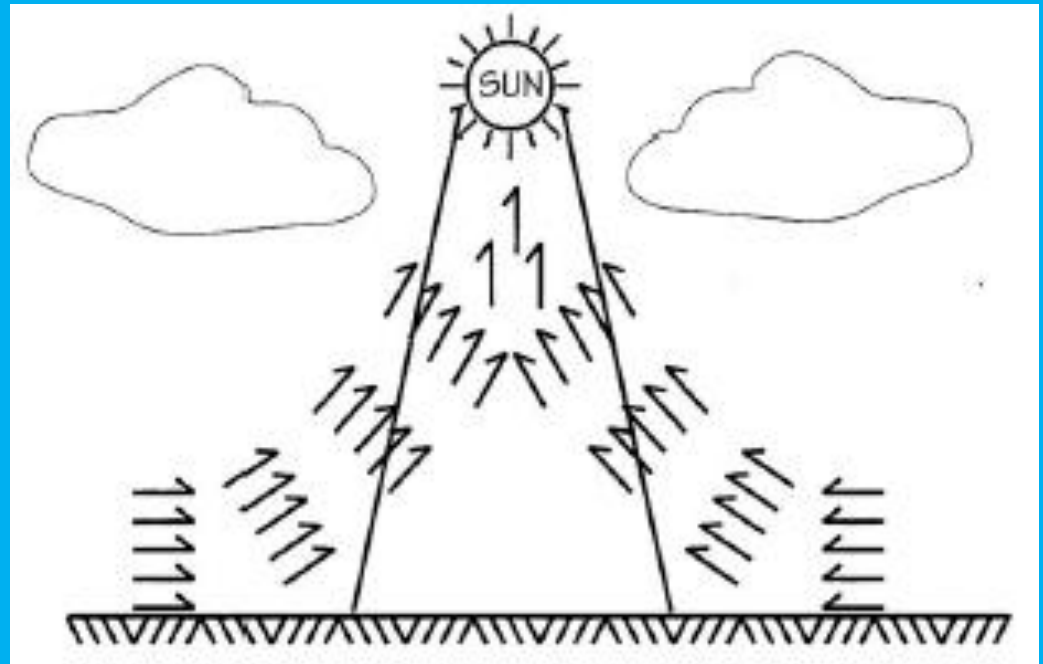
- napenergia: napsugárzás, fotoszintézis, **szél**, hőfokkülönbségek, stb.
- **szél**,
- *bioenergia: izomerő, biomassa, mikrobiológiai reakciók,*
- gravitáció: árapály.

# *Szél mint energiaforrás*

## **Mi a szél?**

A levegő megközelítőleg horizontális mozgása a szél, amit a föld felszínén létrejövő hőmérsékletkülönbségek okoznak.

A szél mindig a magasabb hőmérsékleti pontokból fúj a hidegebb felé.

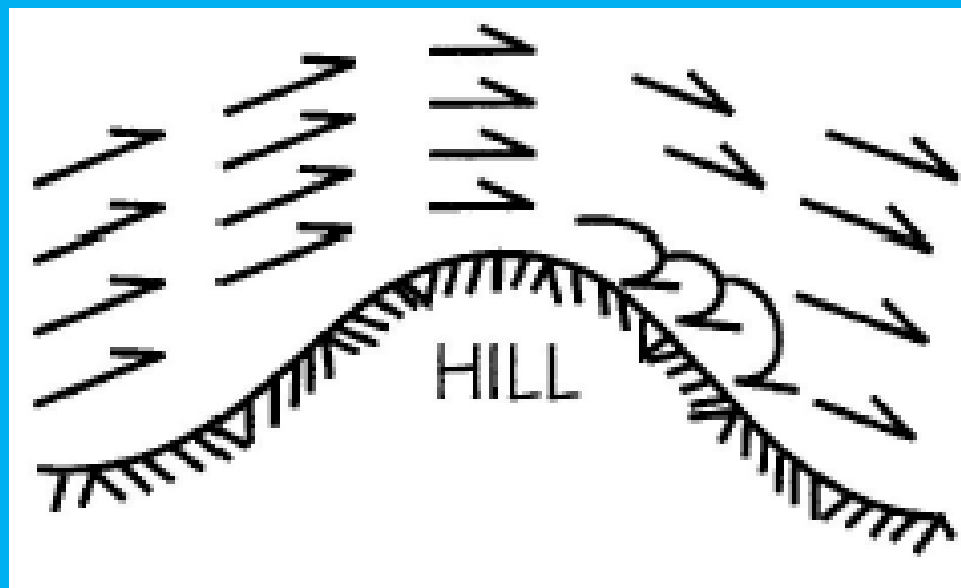


# *Szél mint energiaforrás*

**A szél tulajdonságait (sebesség nagysága, iránya; áramlás jellege) befolyásoló tényezők:**

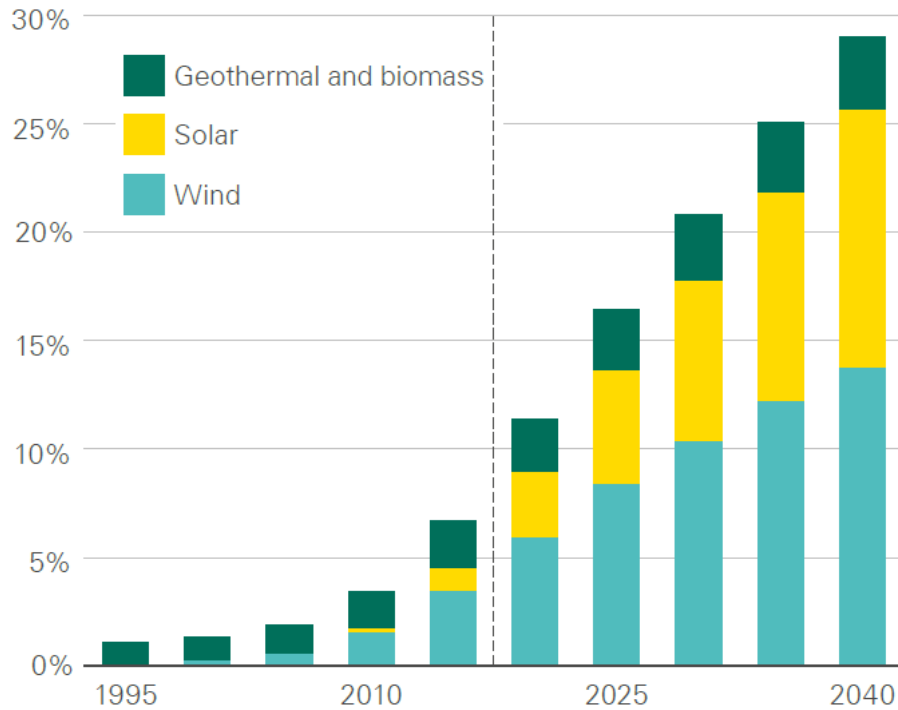
Természetes akadályok (domborzati viszonyok)

Mesterséges akadályok (építmények)

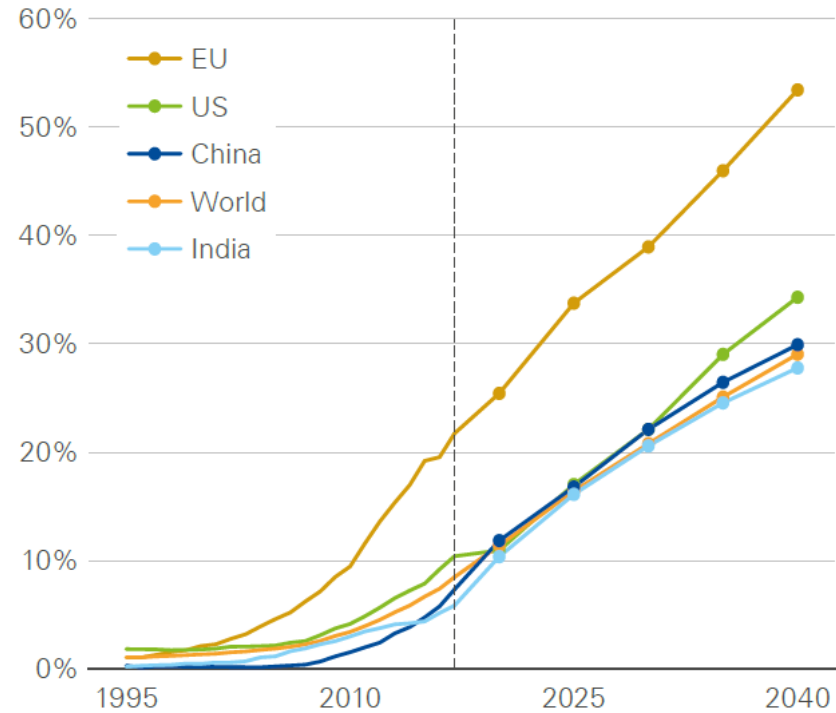


# Megújuló alapú villamosenergia termelés

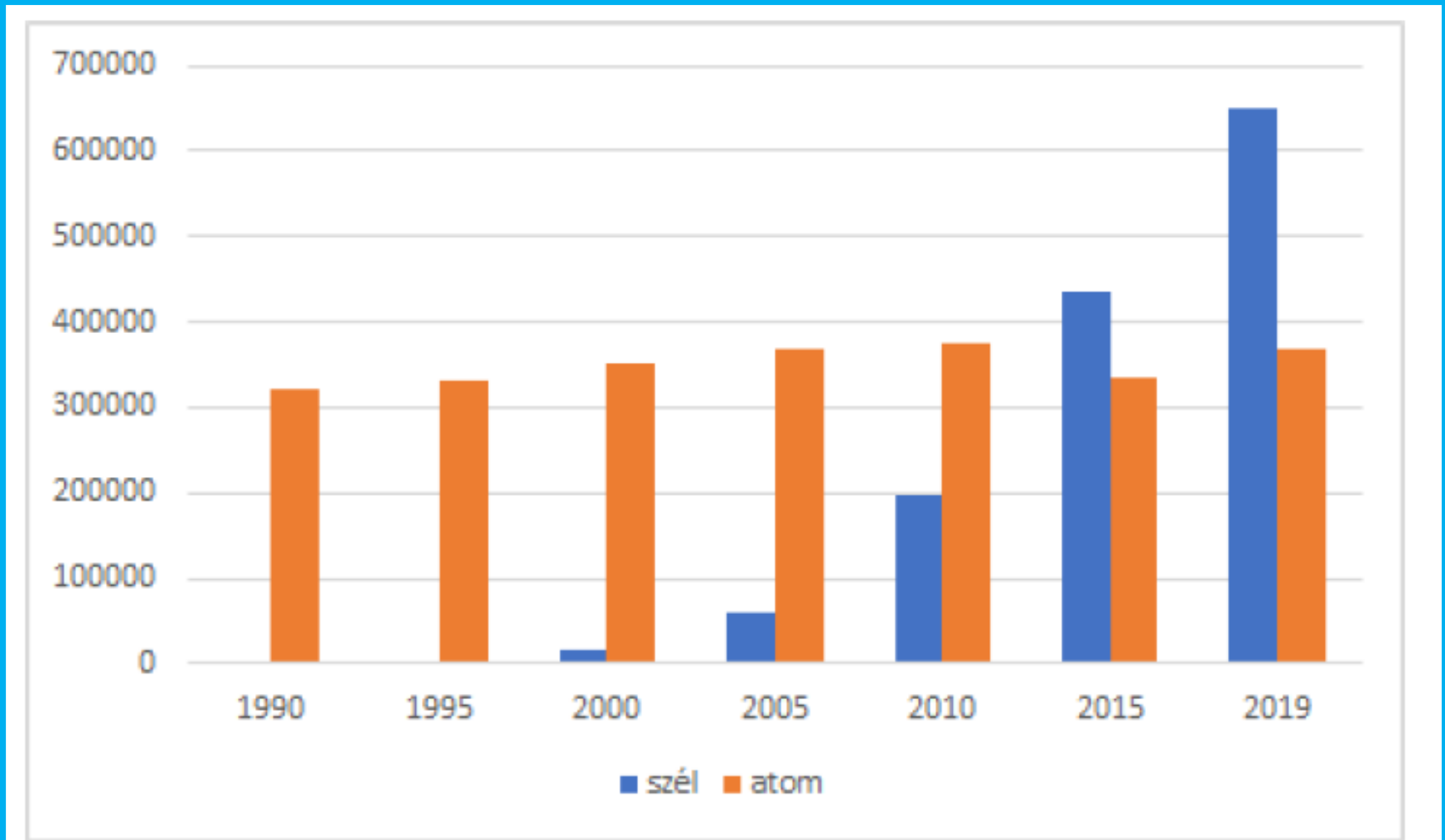
Renewables share of power generation by source



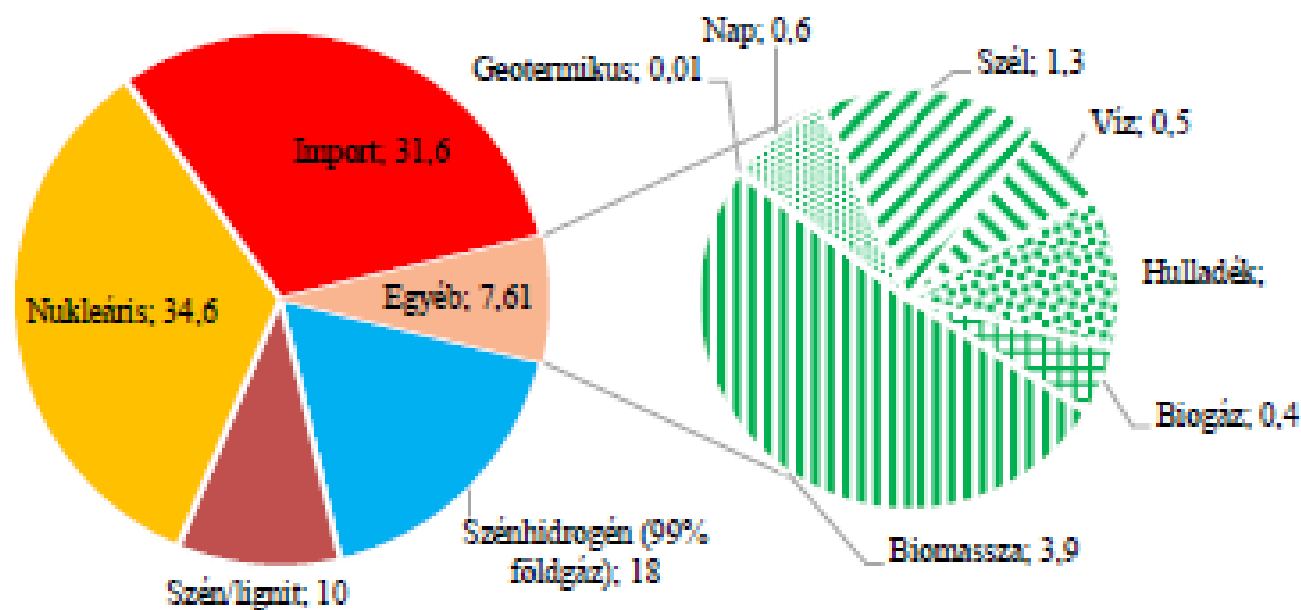
Renewables share of power generation by region



# Szélerőművek és atomerőművek globális léptékben a világon (MW)



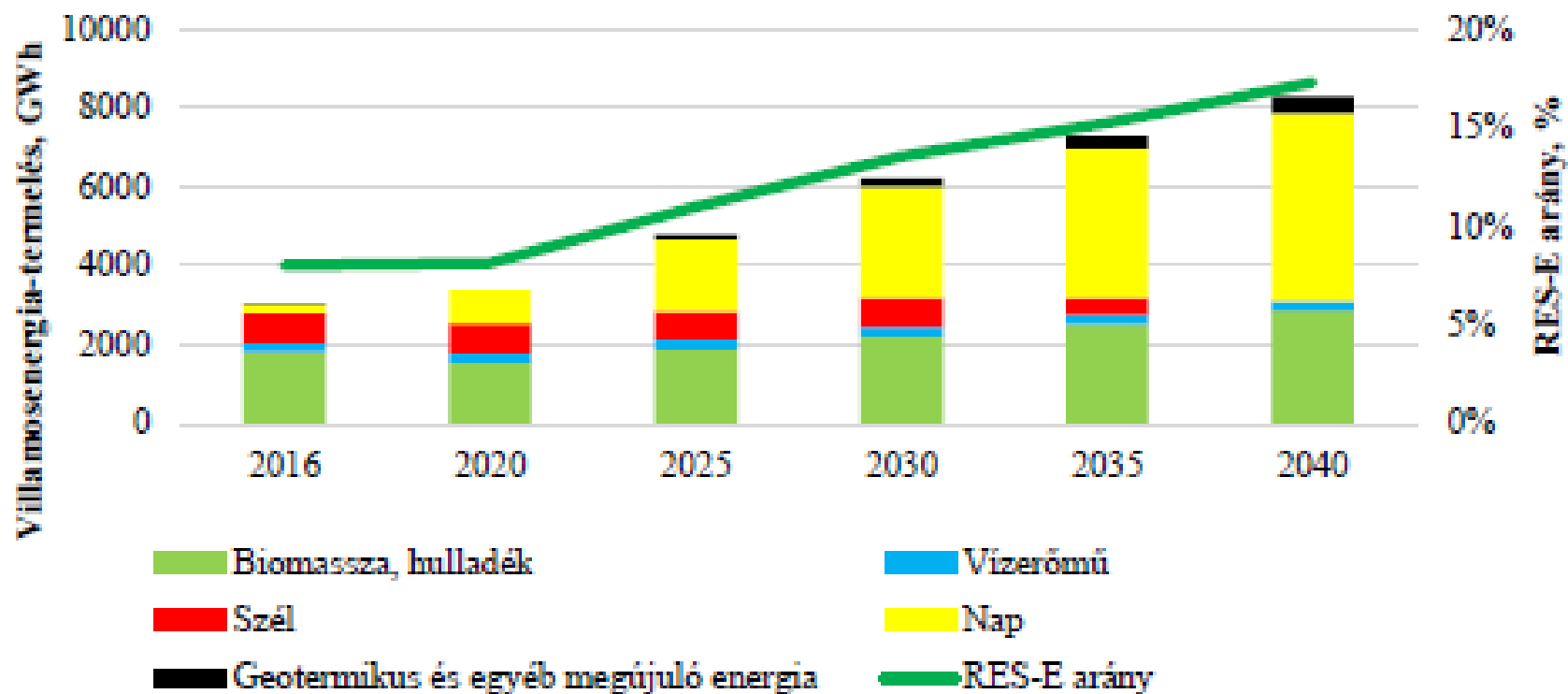
# Teljes bruttó villamosenergia felhasználás 2018-ban Magyarországon (%)



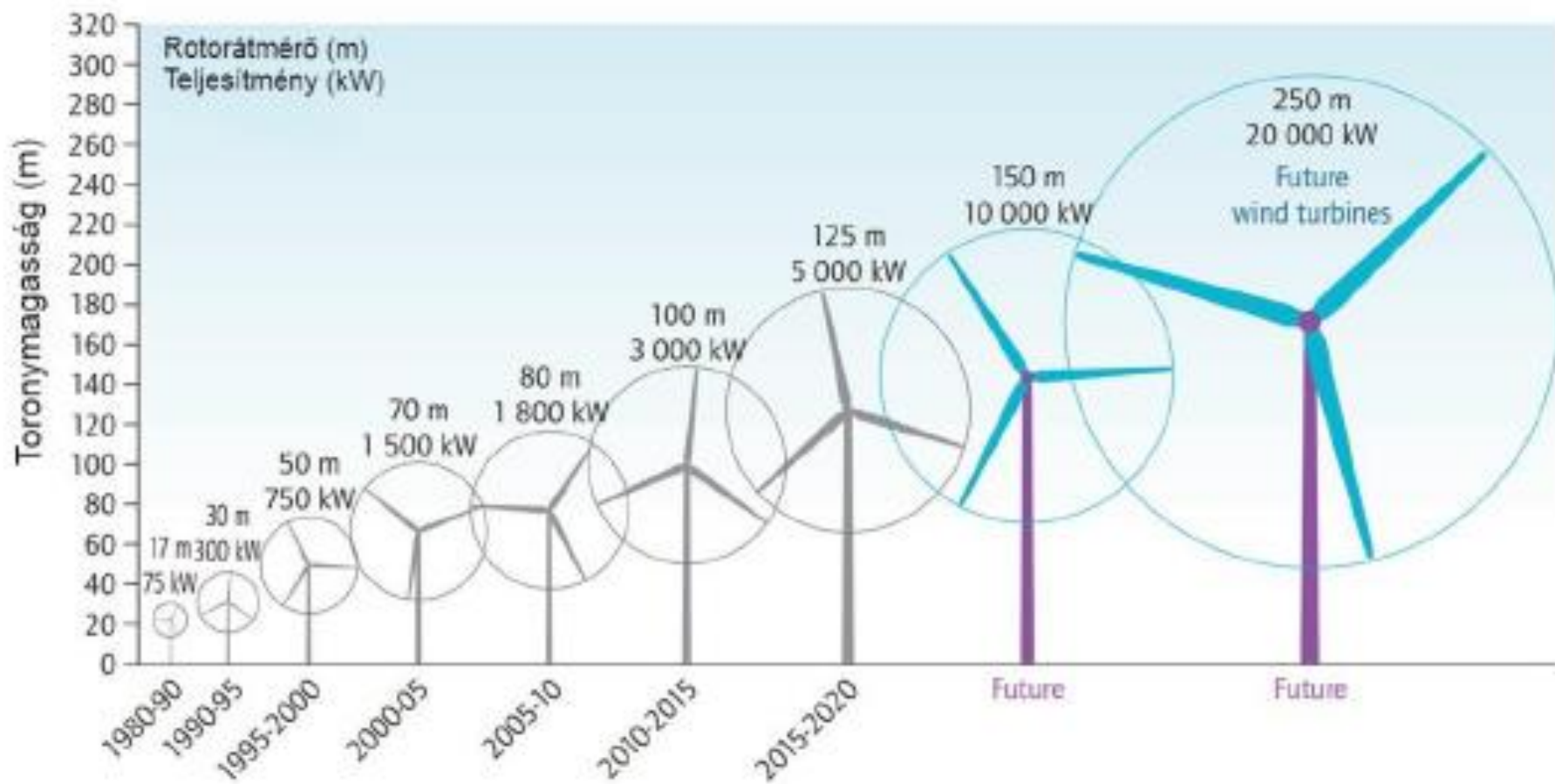
Teljes bruttó villamos energia felhasználás: 45,1 TWh



# Megújuló energiafelhasználás a villamosenergia termelésben (ktoe), megújuló energia részarány (%)



# A szárazföldi szélerőművek fő paramétereinek változása



# Szélenergia létesítés Magyarországon védőzónák

## 277/2016. (IX. 15.) Kormányrendelet:

a szélerőművekre vonatkozó szabályok módosításáról  
12 km-es védőtávolságot határoz meg a nem háztartási méretű szélerőművek számára a beépített és beépítésre szánt területektől (melyek alatt jellemzően a lakott területeket értjük!)

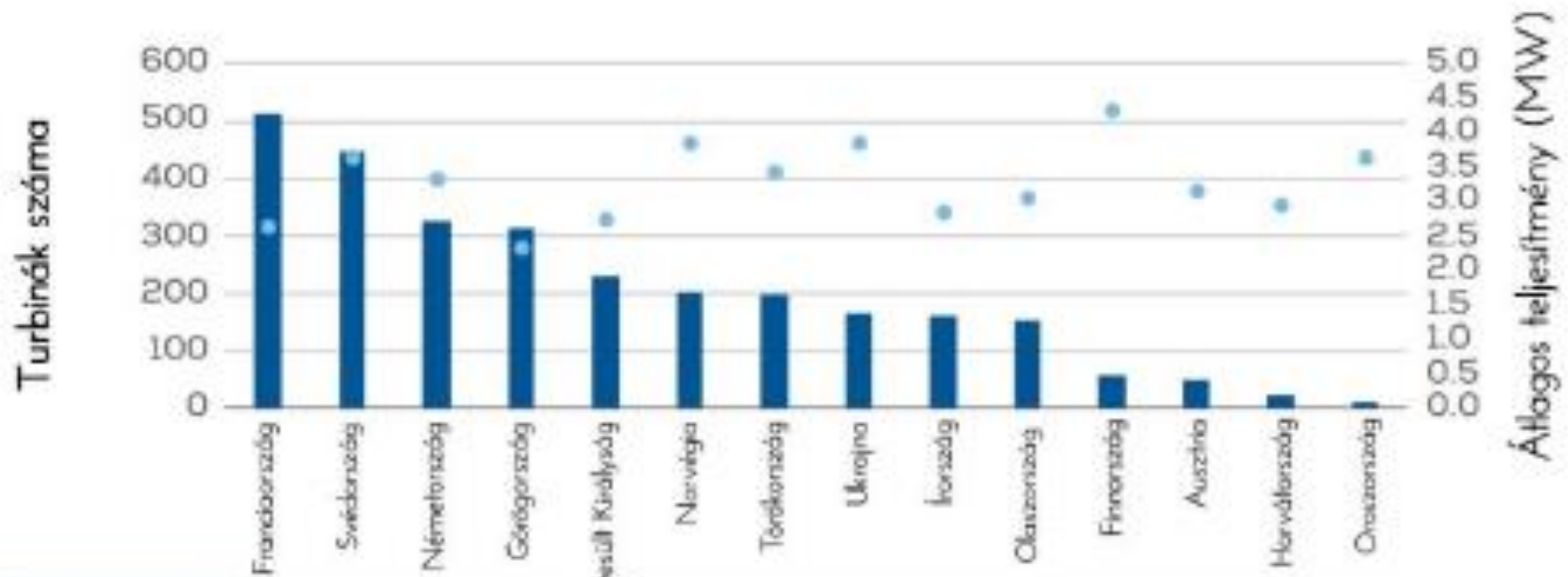
Ország	Minimum távolság lakott területektől		Megengedett legmagasabb zajszint (dB)	
	(m)	(magasság függvényében <sup>16</sup> )	nappal	éjjel
Egyesült Királyság	nincs		43	35-40
Olaszország	200	6H	40	40
Csehország	120-500		50	40
Horvátország	350		45	45
Németország	400	10H	50	35
Hollandia	400-600		47	47
Spanyolország	500		55	45
Románia	500			
Franciaország	500		35	35
Ausztria	800-1200			
Belgium		3H-4H	környezeti zajszint	39
Dánia		4H	39	39
Lengyelország		10H		
Magyarország	12000			


# Szélenergia létesítés Magyarországon szigorítások

**34/2016. (IX. 14.) NGM rendelet** értelmében a turbina magassága 100 m, míg teljesítménye maximálisan 2 MW lehet!

az 50 kW-nál nagyobb teljesítményű turbinákra vonatkozó 50 méteres lapáthossz korlátozás – nagyon meglepő, különösen annak fényében, hogy a piacon jelenleg elérhető gépek lapátjainak hossza ma már jellemzően 75-100 m között alakul!

# A 2019-ben Európában telepített szélenergia- művek száma és átlagos teljesítménye



	Turbinák száma	511	447	325	314	230	204	200	166	163	154	56	49	24	14
	Átlagos teljesítmény	2.6	3.6	3.3	2.3	2.7	3.8	3.4	3.8	2.8	3	4.3	3.1	2.9	3.6

# Az európai és a hazai szélenergia-rendszer alapadatai

	Európai Unió	Magyarország
Szélerőművek kapacitása 2019-ben (GW)	192 <sup>14</sup>	0,32
Szélerőművek termelése 2019-ben (TWh)	417 <sup>15</sup>	0,76
Szélenergia részaránya a villamosenergia-ellátásban 2019-ben (%)	15	~2

A meteorológia szerepe a szélenergia termelésben három fő területre terjed ki

- a) a szélerőművek telepítésének optimalizálása a szélklíma szempontjából;
- b) közreműködés a szélerőművek energiarendszerben való alkalmazásának elvi megalapozásában;
- c) a szélerőművek várható termelésének előrejelzése a villamosenergia-rendszer irányításának megkönnyítése érdekében.

# SZÉLMÉRÉSEK

A gyakorlatban nagyon fontos, hogy pontos, archivált meteorológiai adatokkal rendelkezünk, lehetőleg a későbbi rotormagassághoz minél közelebről!

A szélesebbség mérését általában ún. kanalas anemométerrel végezzük. (Indokolt esetben elektromosan fűtött kivitelűek!)

Mérjük továbbá a szél irányát és a levegő hőmérsékletét (nyomását, páratartalmát) is.

Az adatokat mikrochip-re írja az adatgyűjtő rendszer, melyekből 10 perces átlagértékeket számolunk, ami szokványos és kezelhető a szakmában elterjedten használatos szélenergetikai szoftverek számára.





# ADATGYŰJTÉS

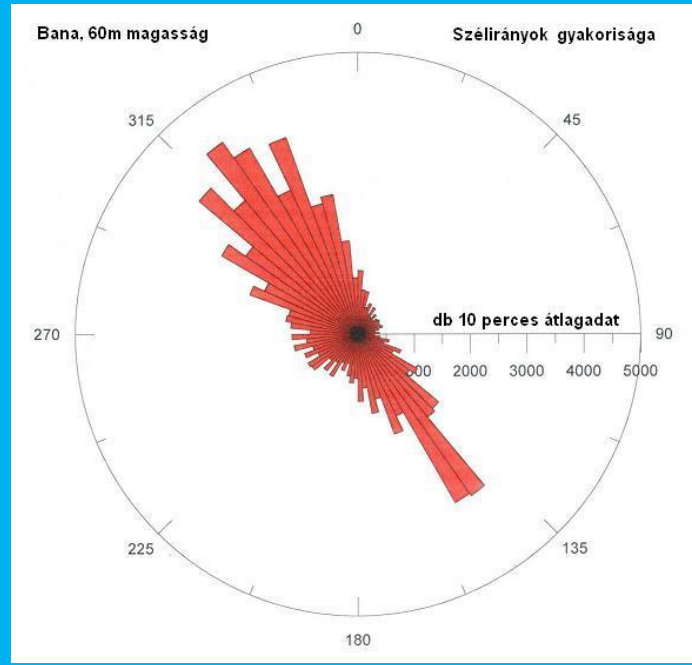
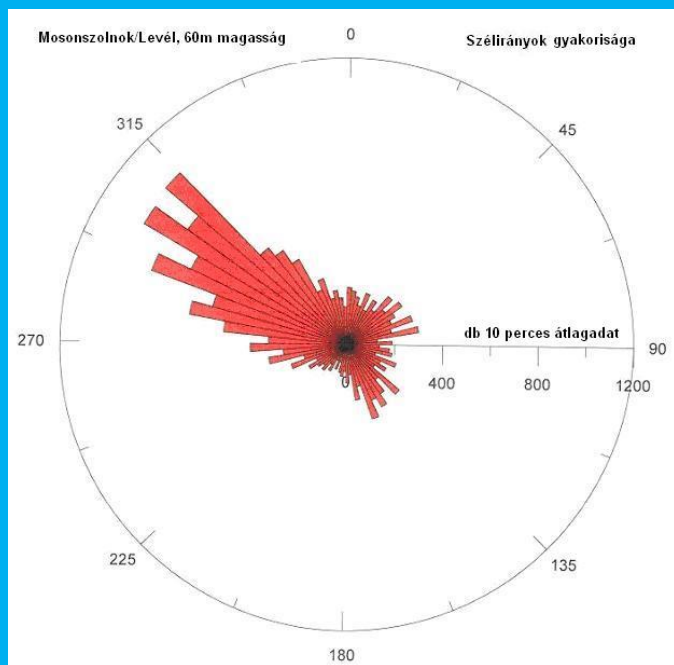
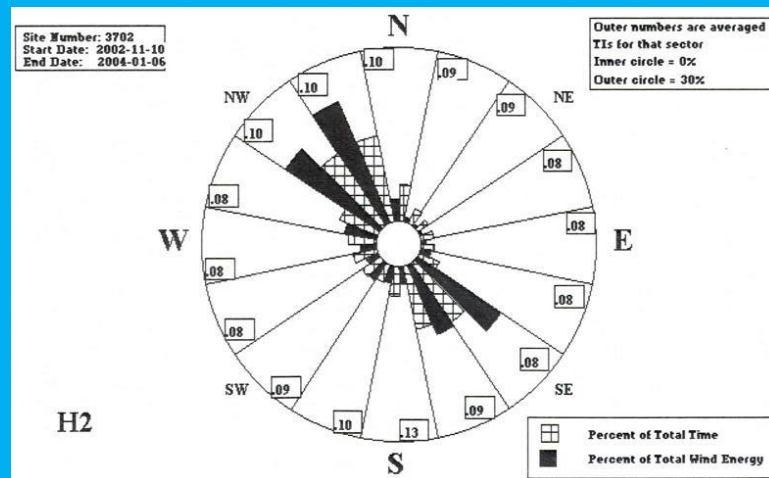
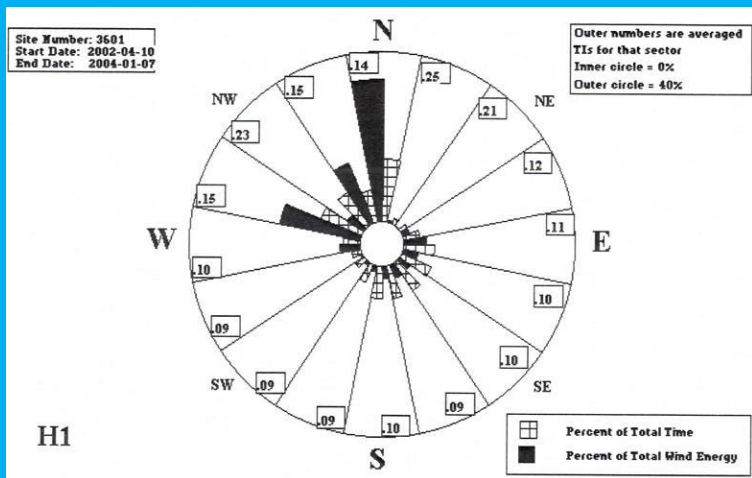


# ADATGYŰJTÉS



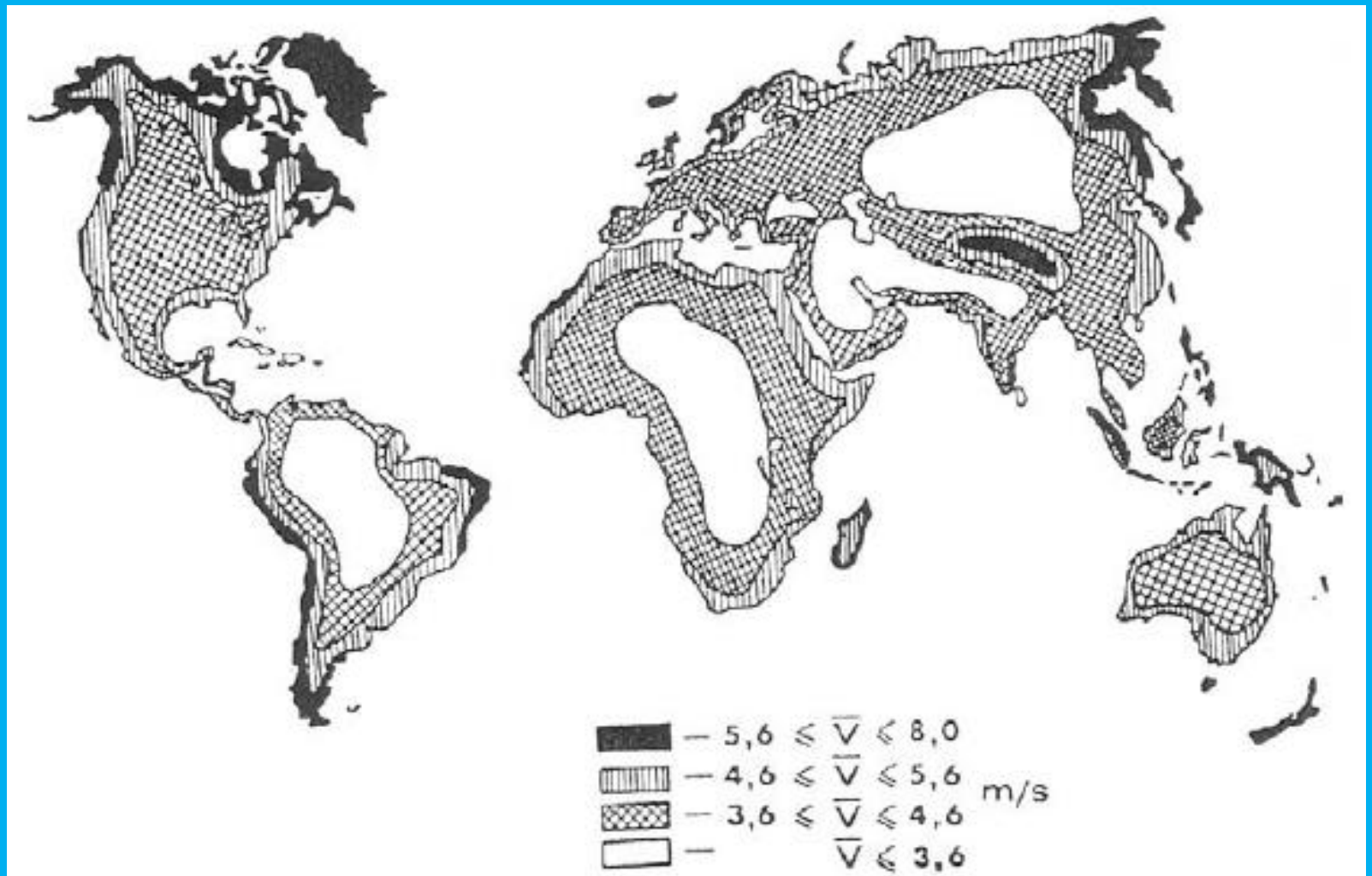
# SZÉLRŐZSÁK

A felvett adatokat szemléletesen ábrázolják a különféle ún. szélrózsák.



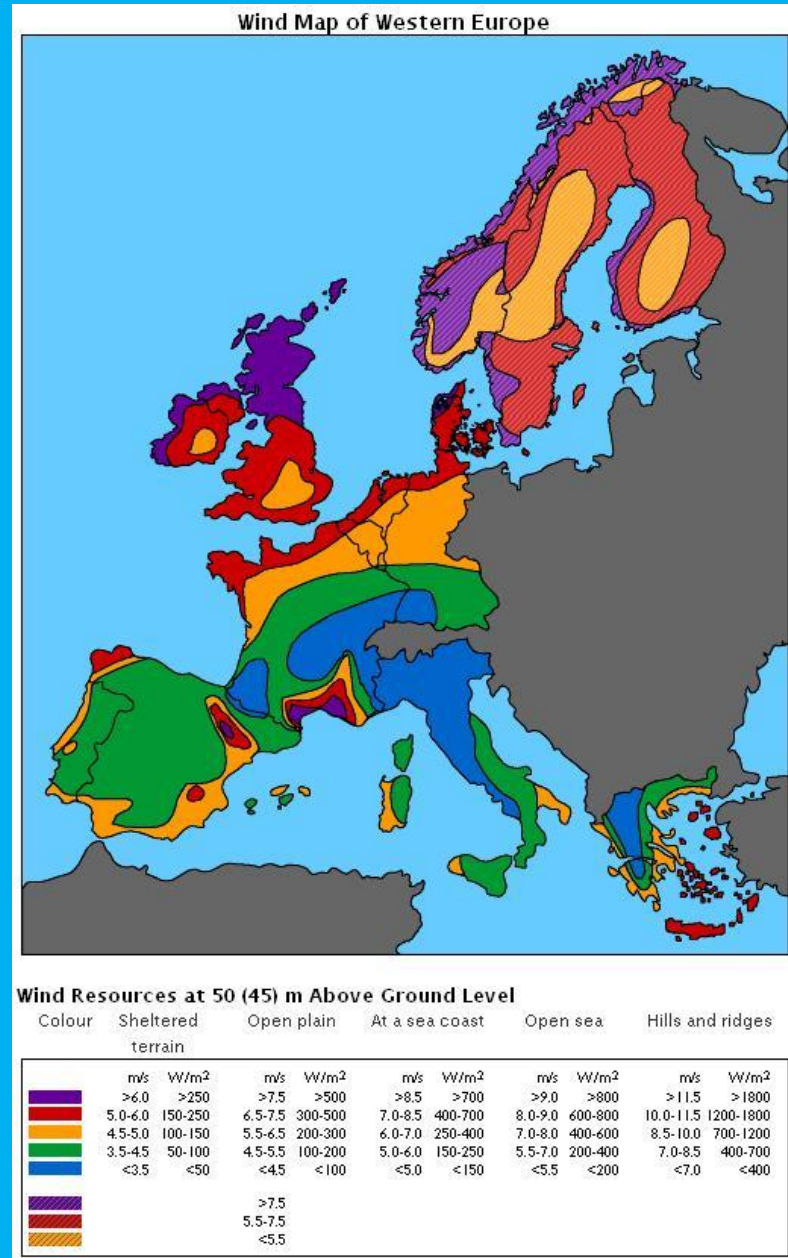
# Szélerenergia hasznosítás

## Szélesebesség eloszlása a világon



# SZÉLTÉRKÉPEK

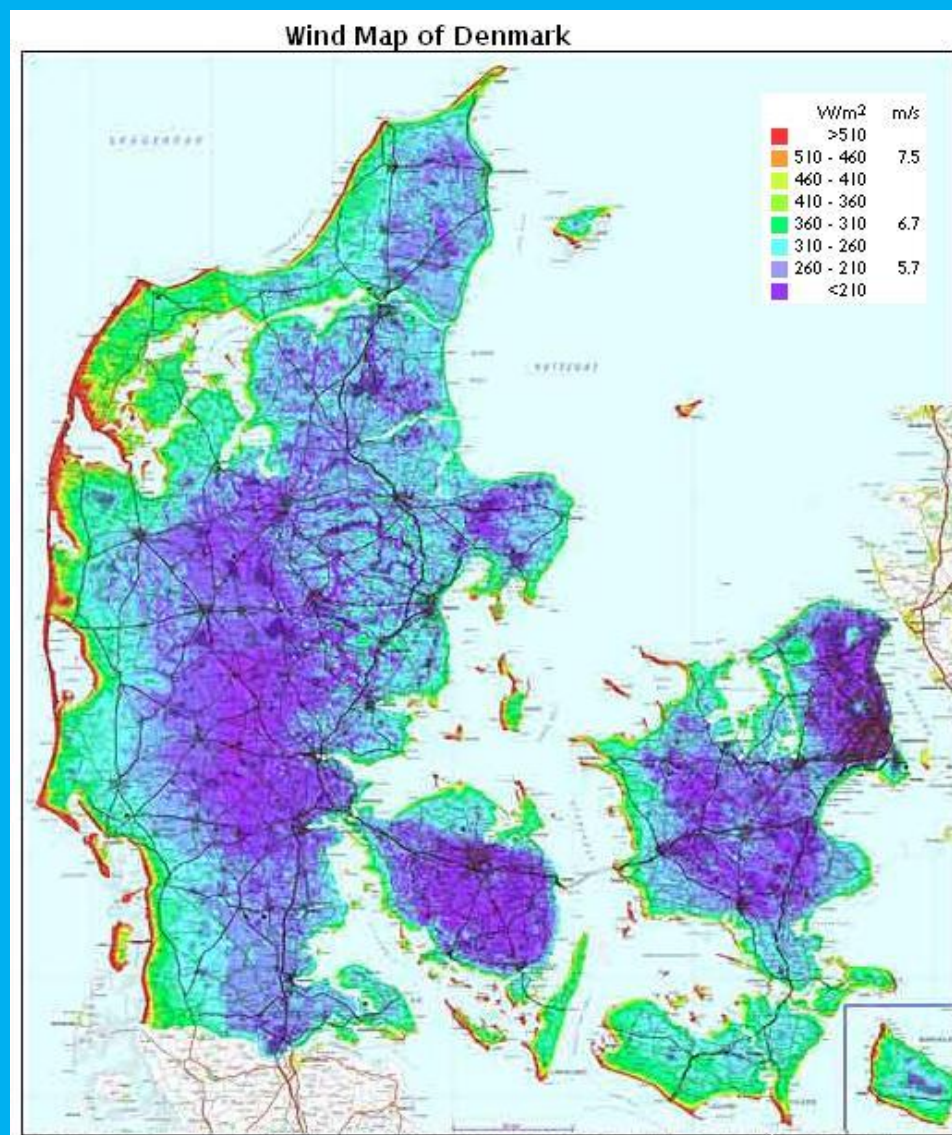
Minőségi kép, érdemi eligazítást nem ad, de jól orientálja az egyes nyugat-európai országokat potenciáljuk értékelése, viszonyítása során.



# SZÉLTÉRKÉPEK – AZ ÚTTÖRŐ DÁNIA

A telephelyek kiválasztására már közel alkalmas, kellően részletes kép, érdemi eligazítást ad.

Évtizedek munkája, támaszkodva a százéves meteorológiai adatsorokra!

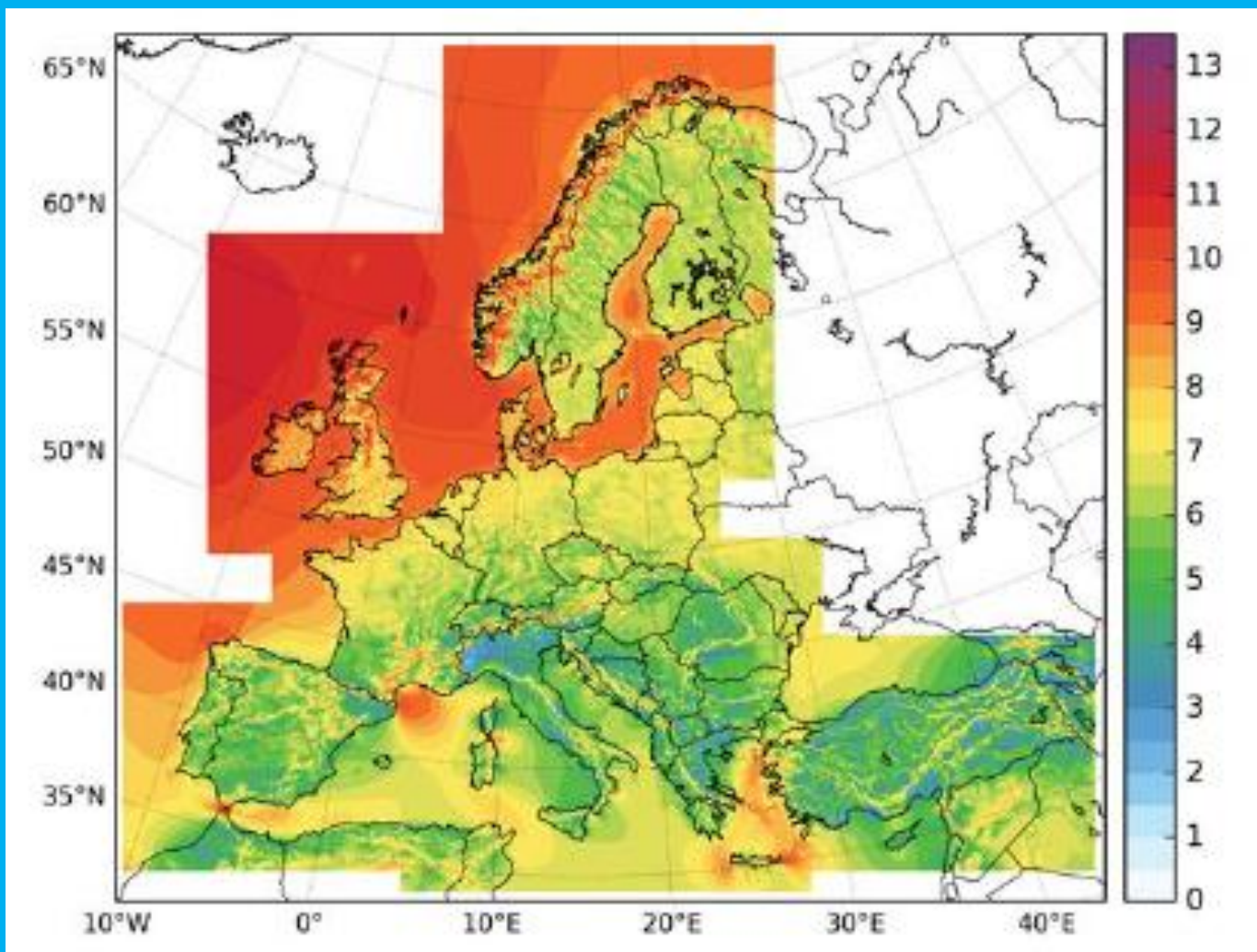


# A meteorológia szerepe a szélenergia termelésben

Aszélesebbesség a felszíntől számított magassággal nő, mert egyre kevésbé érvényesül a domborzat és a tereptárgyak áramlására gyakorolt fékező hatása. Ennek energetikai szempontból azért van jelentősége, mert a nagy szélturbinák esetében, a korábbi 60-100 m-es helyett napjainkban egyre inkább 120-150 méter a jellemző toronymagasság.

Ebben a magasságban a szélesebbesség mérésére több lehetőség kínálkozik. Az egyik a felszínről történő mérés SODAR (SOund Detection And Ranging) vagy LIDAR (LIght Detection And Ranging) eszközökkel. Viszonylag megbízható becslést lehet adni két-három alacsonyabb magasságban (az alsó 50–80 m-es rétegben) mért adatsorok birtokában is, hatványkitevős szélprofilok alkalmazásával. Ilyen számítások alapjául szolgálhatnak az egyik legfontosabb hazai állomás, a Hegyhátsági mérőtorony (10, 48, 82, 115 méteren mért) adatsorai, vagy a SODAR mérésekre alapozott hatványkitevők alkalmazása a meteorológiai szélmérésekre. Ezek természetesen olyan valószínűségi becslések, amikor meg kell adni a számítások bizonytalanságát is.

# Átlagos szélesebesség 100 m-es magasságban az Új Európai Szélatlasz

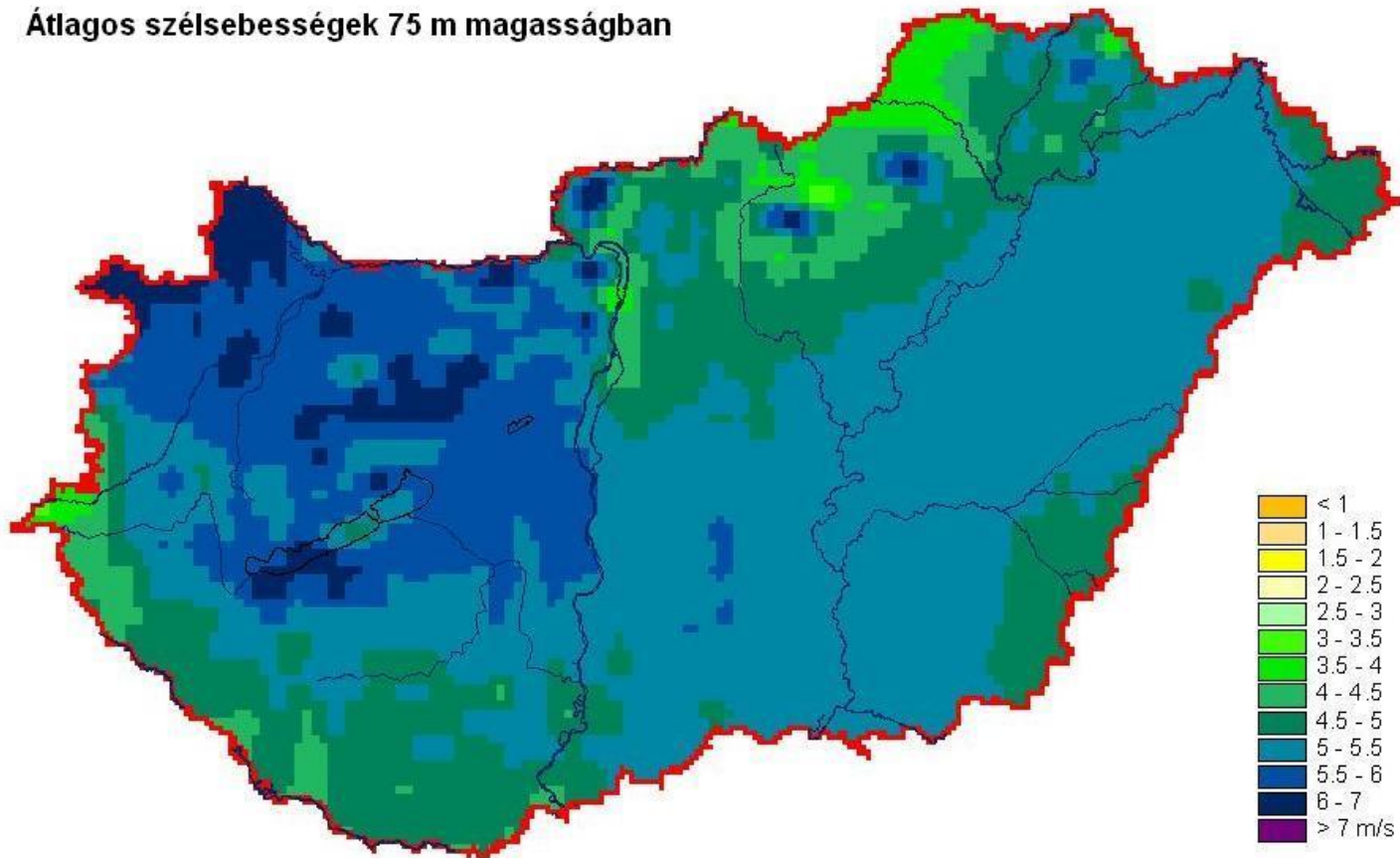




# SZÉLTÉRKÉPEK 3. – A HAZAI HELYZET

Több szervezet együttes kutatási munkájának eredménye.  
Érdemi beruházási döntéshez még tovább finomítandó!

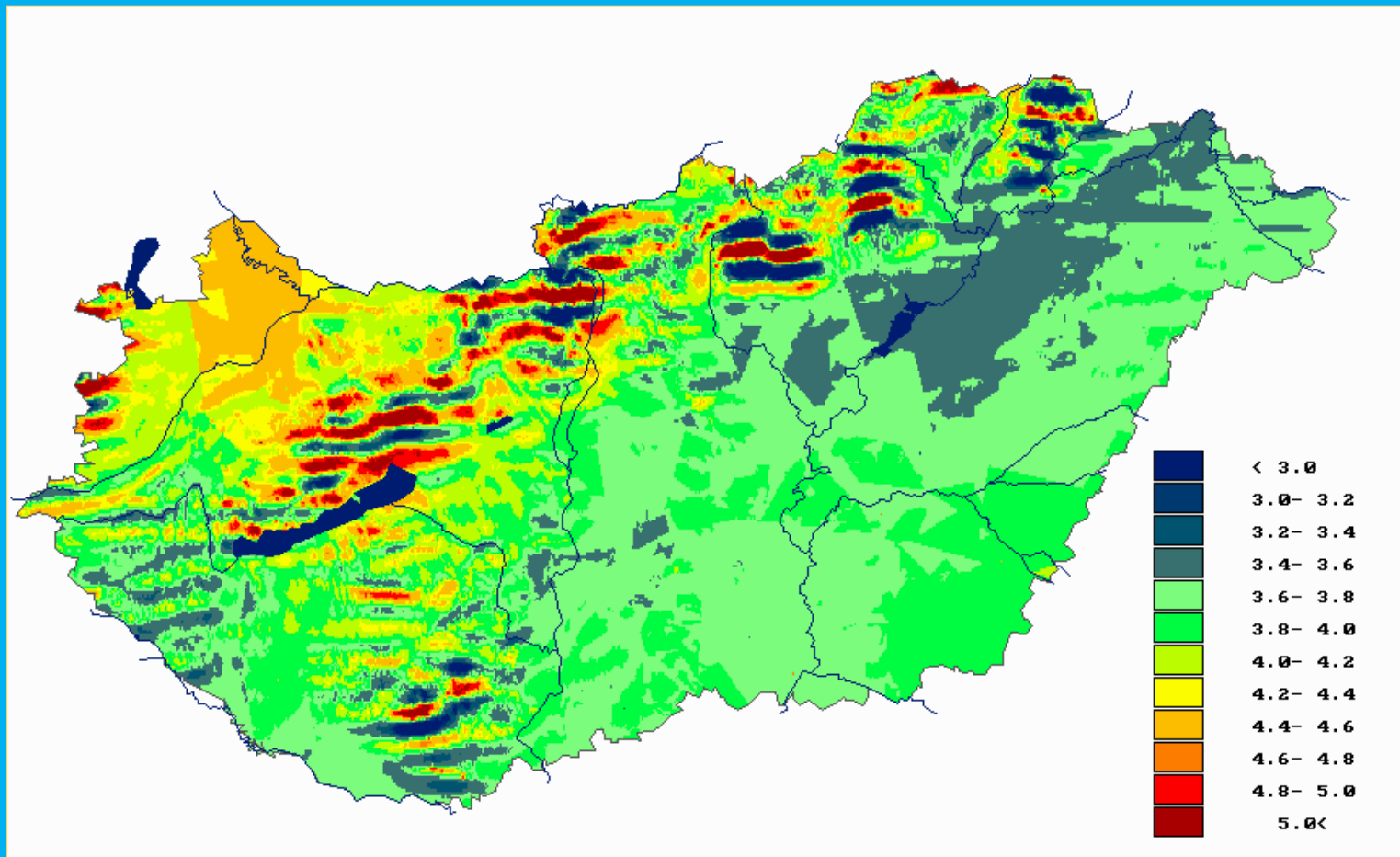
Átlagos szélsébségek 75 m magasságban



# Szélerenergia hasznosítás

## Magyarország helyzete

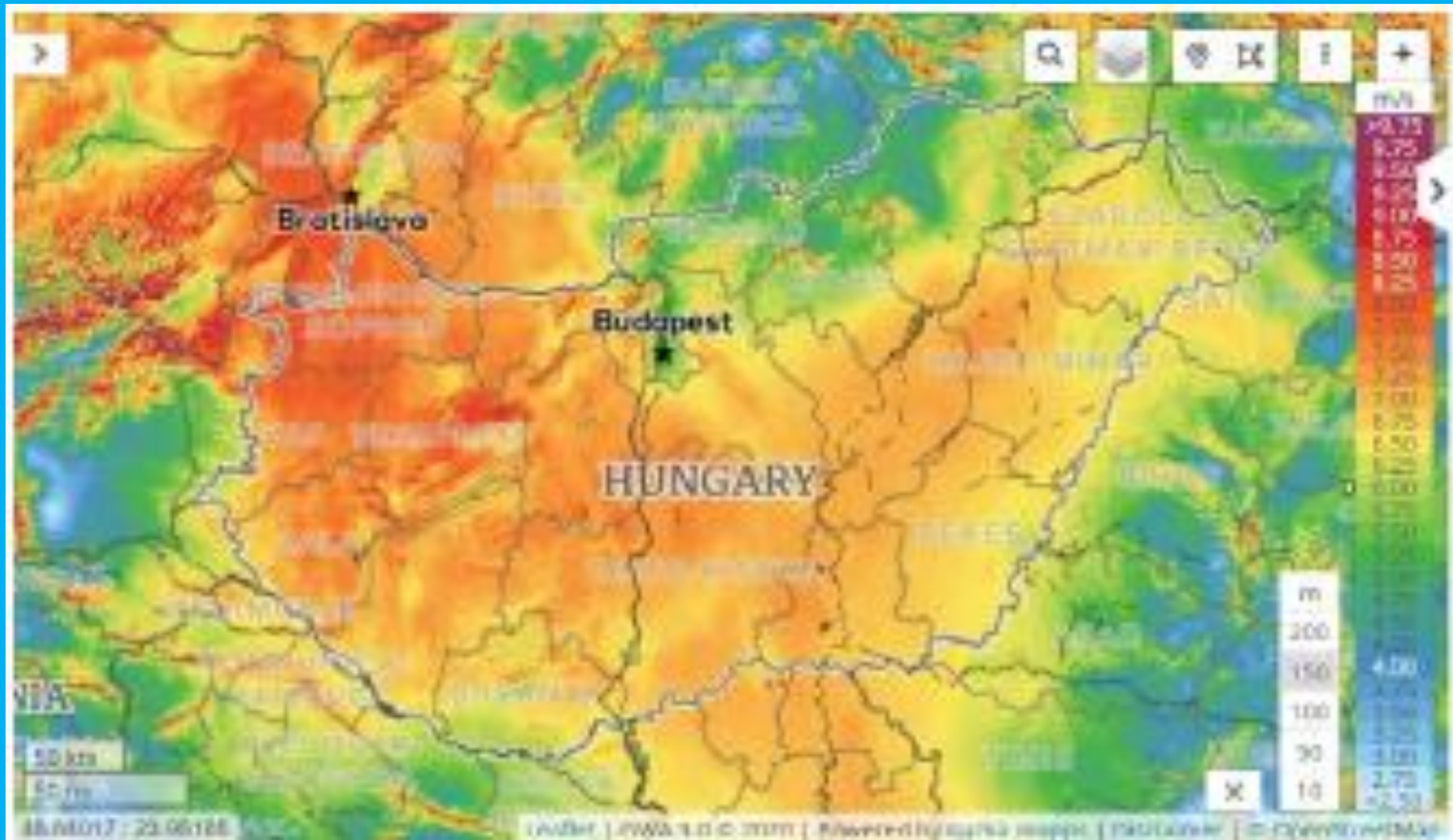
Szélerő térkép 70 m magasságban



# Új Globális Szélatlasz

Az átlagos szélesebbesség 150 méteres magasságban.

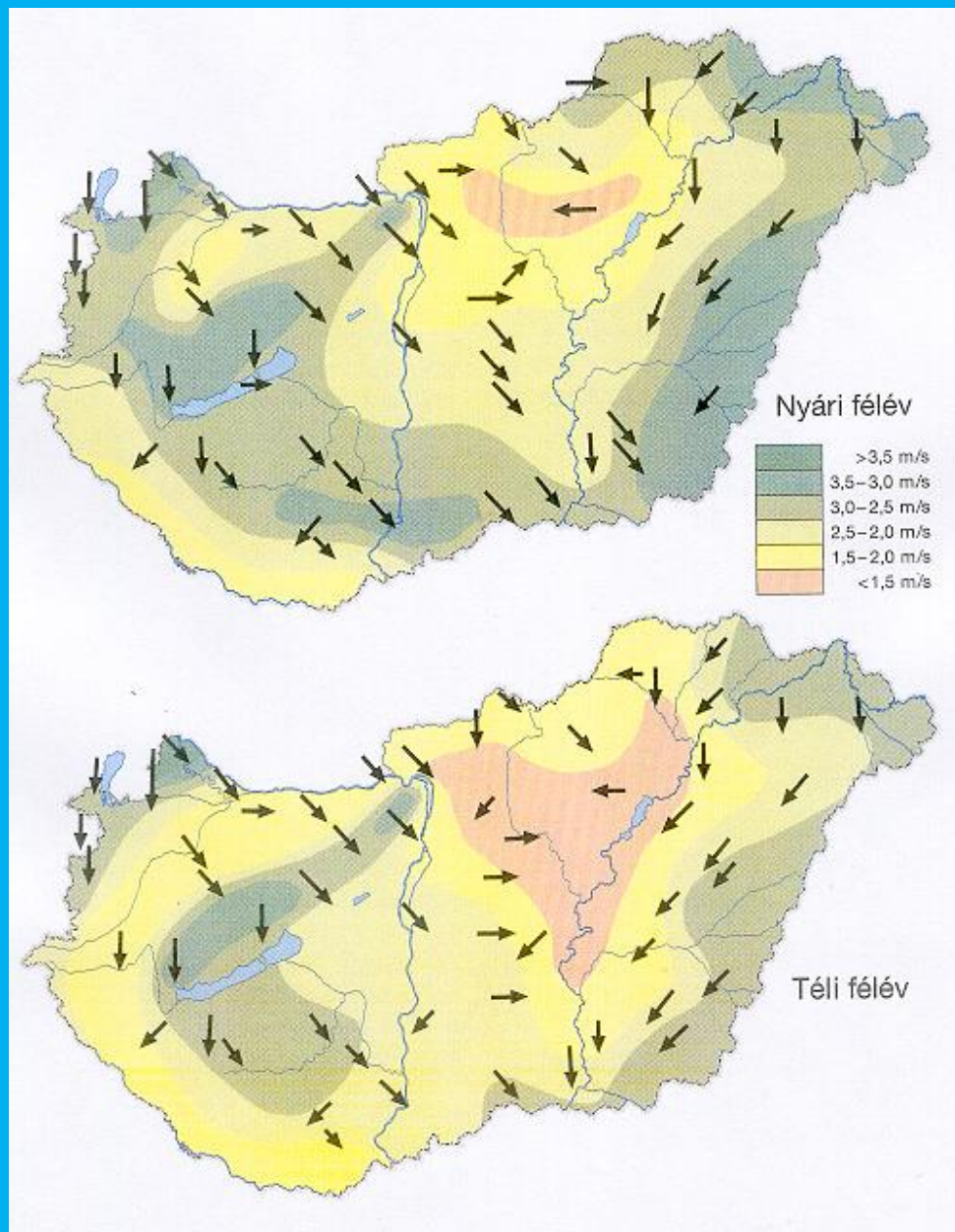
Hazánk legszeleesebb 10%-án az évi átlagos szélesebbesség itt már 7,76 m/s, míg az ország egészére 6,83 m/s. Napjaink technológiája szempontjából ez a kalkuláció a leginkább releváns.



# Szélenergia hasznosítás

## Magyarország helyzete

Nyári-téli uralkodó szélirányok és szélesebességek területi megoszlása



# *Szélerőgépek munkavégzése*

## **Áramlástani alapfogalmak:**

Szélerőgépek a rajtuk átáramló levegő mozgási energiáját alakítják át munkává.

A szél munkavégző képességének vizsgálata során elhanyagolandó:

- szélerőgép ellenállása;
- levegősugár kibővülése a szélerőgép mögött;
- szélerőgép hatásfoka;
- légáram mozgási energiájának csökkenése.

# Szélerőgépek munkavégzése

## Áramlástani alapfogalmak:

Szélerőgép felületén időegység alatt átáramló légtömeg:

$$\dot{m} = v_0 \cdot A \cdot \rho$$

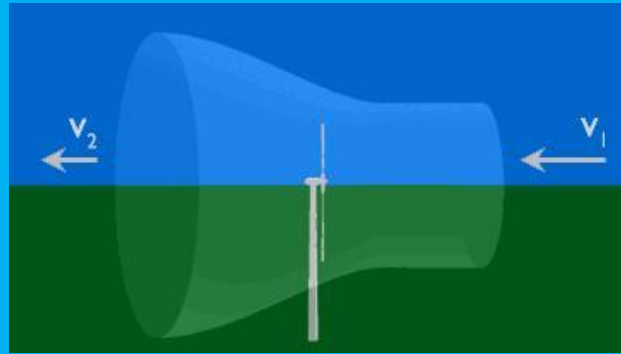
$A$  - szélerőgép aktív felülete,  $m^2$

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

$v_0$  - a szélkerék előtti zavartalan szélesebesség,  $m/s$

# Sebesség- és nyomásviszonyok

A szélérőgép akadályt képez a mozgó légtömeg útjában, ezért az „feltorlódik”, a rotor előtt a nyomás megnő, majd a gépen áthaladva hirtelen leesik.



A kontinuitás és az energia-megmaradás törvénye értelmében a mozgási energiáját részben elvesztő légtömeg sebessége a rotor után kisebb kell legyen, mint előtte, kialakul az ún. „stream tube”.

A rotor mögött „messze” azután ismét helyreáll a rendezett áramlás.

# Szélerőgépek munkavégzése

Áramlástan  
alapfogalmak:

$$P_{\text{elm}} = \frac{\dot{m} \cdot v_0^2}{2} = v_0^3 \cdot A \cdot \frac{\rho}{2}$$

Levegőáram mozgási energiája  
(elméleti teljesítmény):

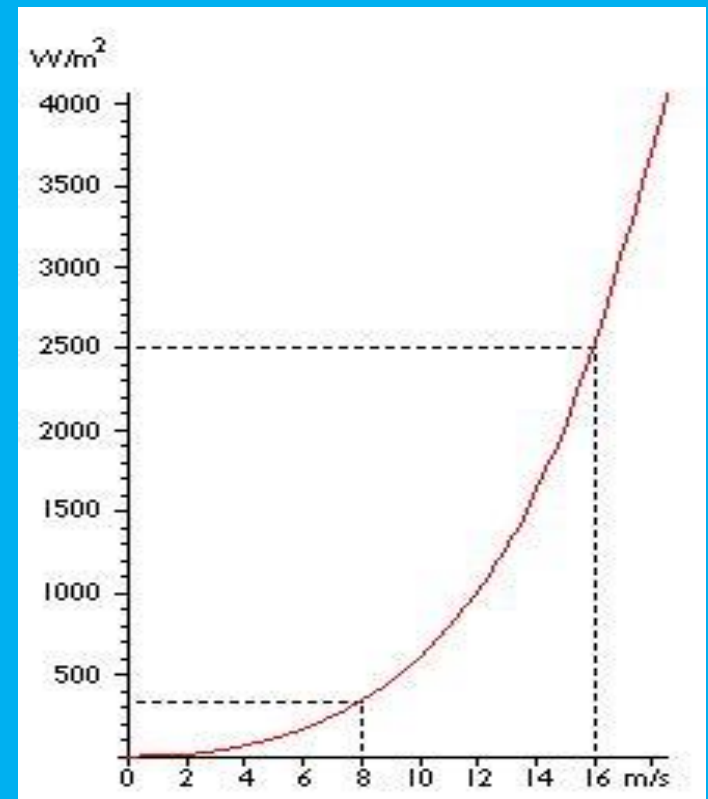
$A$  - a széllel szembeni felület,  $\text{m}^2$

$\rho$  - a levegő sűrűsége,  $\text{kg}/\text{m}^3$

$v_0$  - a szélkerék előtti zavartalan  
szélsébség,  $\text{m}/\text{s}$

A szél elméleti teljesítménye egyenesen  
arányos a mozgó légtömeg sűrűségével, a  
haladási irányára merőleges érintett  
keresztmetszettel és sebességének  
harmadik hatványával:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot r^2 \cdot \pi \cdot v^3 \text{ [W]}$$





# *Szélerőgépek munkavégzése*

## **Áramlástani alapfogalmak: :**

A szél munkavégző képességének vizsgálata során figyelembe véve:

- a szélerőgép ellenállása;
- és hogy a szélerőgépet elhagyó légtömeg mozgási energiája nem hasznosítható;

meghatározható a szélből kinyerhető effektív teljesítmény.

# Szélerőgépek munkavégzése

## Áramlástan alapfogalmak: :

Szélerőgép síkjában kialakuló légsebesség:

$$v_1 = \frac{v_{be} + v_{ki}}{2} \text{ ,m/s}$$

Szélerőgép felületén időegység alatt átáramló légtömeg:

$$\dot{m} = \frac{v_{be} + v_{ki}}{2} \cdot A \cdot \rho \text{ ,kg/s}$$

Effektív teljesítmény:

$$P_{\text{eff}} = \frac{\dot{m} \cdot v_1^2}{2} = \frac{\dot{m} \cdot (v_{be}^2 - v_{ki}^2)}{2} = \frac{v_{be} + v_{ki}}{2} \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{v_{be} - v_{ki}}{2}\right)^2 \text{ ,W}$$

# Szélerőgépek munkavégzése

## Áramlástan alapfogalmak: :

Az effektív teljesítménynek adott  $v_0$  esetén akkor van maximuma, ha  $v_{ki} = v_{be}/3$ .

Maximális effektív hatások:

$$P_{\text{eff,max}} = \frac{16}{27} \cdot A \cdot v_{\text{be}}^3 \cdot \frac{\rho}{2}$$

Ahol  $16/27$  az elméleti maximális teljesítménytényező, vagy **Betz-féle** viszonyszám. Jelentősége: kimondja, hogy a levegő mozgási energiájának maximum 60%-a hasznosítható szélerőgépben még akkor is, ha a mechanikai veszteségtől eltekintünk.

# A SZÉLERŐMŰ KIHASZNÁLÁSA

Kihasználási időtartam (csúcskihasználási óraszám):

$$t_{sz} = E_{év} / P_{BT} \text{ [h/év]}$$

ahol:

- $E_{év}$  A szélerőmű éves villamosenergia-termelése
- $P_{BT}$  A szélerőmű névleges teljesítőképessége

Jellemző értéke 1500 ÷ 4000 h/év közötti.

Kihasználási tényező (kapacitás faktor):

$$n_{sz} = t_{sz} / 8760 \cdot 100 \text{ [%]}$$

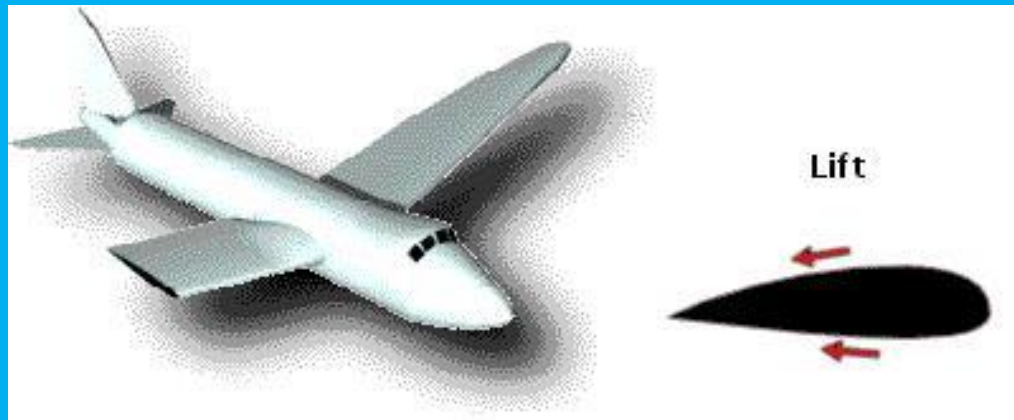
Jellemző értéke 17 ÷ 45 % közötti.

A magas kapacitás faktor nem biztosan előnyös → döntés gazdaságossági elemzés alapján történik!

# AERODINAMIKAI ALAPOK A FELHAJTÓERŐ

A korszerű szélturbinák a torony mögötti turbulencia miatt általában ún. „upwind” rendszerűek.

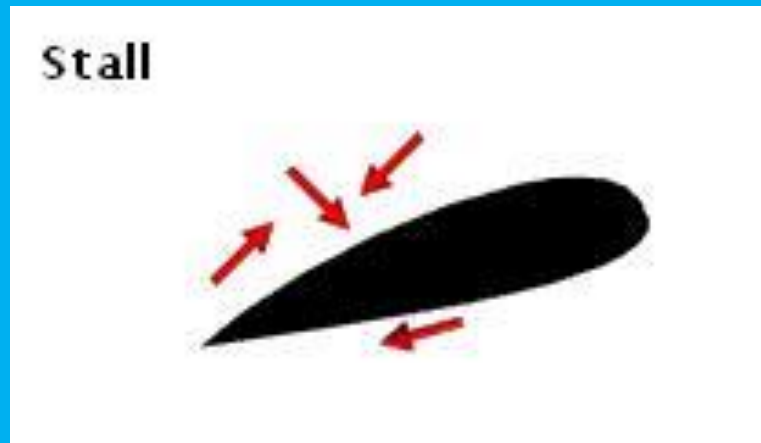
Mitől forog a rotor? → Repülőgép szárnyprofil (airfoil) példája:



Sebesség- és nyomáskülönbség a két oldal között → az áramlásra merőleges felhajtóerő keletkezik.

# AZ ÁRAMLÁS LEVÁLÁSA

A lapátszög bizonyos értékénél a felső (kisnyomású) oldalon a „lapátra simuló” áramlás hirtelen turbulenssé válik:

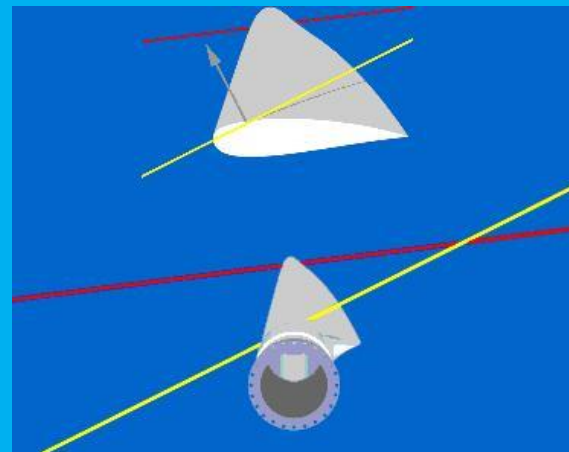
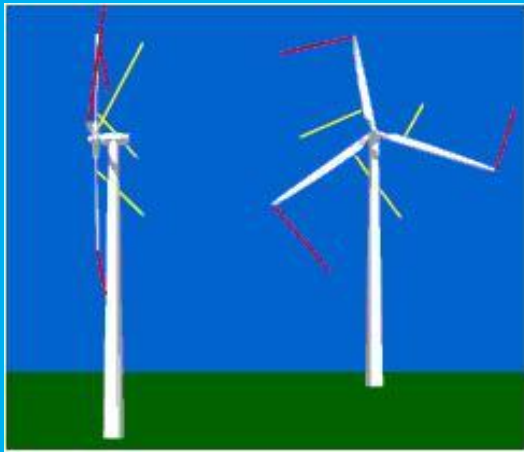


A felületi érdesség nagyon fontos → polírozás!

A „stall” fellépésekor megszűnik a felhajtóerő, ami a lapátra igen veszélyes, akár káros is lehet (intenzív dinamikus erőhatás)!

# ROTOR AERODINAMIKA

A lapát hossza menti különböző kerületi sebességek miatt a rotor forgásából és az azt támadó szél sebességéből összeadódó eredő sebességek is változnak.



Ebből az is következik, hogy a korszerű lapátok a hossz tengelyük mentén elcsavartak.

A leválás elkerülése érdekében törekedni kell az optimális „támadási szög” beállítására a lapát teljes hosszán.

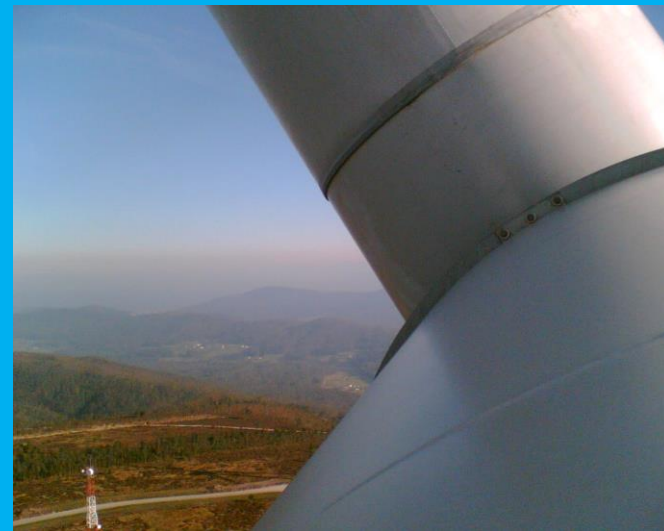
A leválás mindig a lapát tövénél kezdődik!

# AERODINAMIKAI SZABÁLYOZÁS

## Pitch control



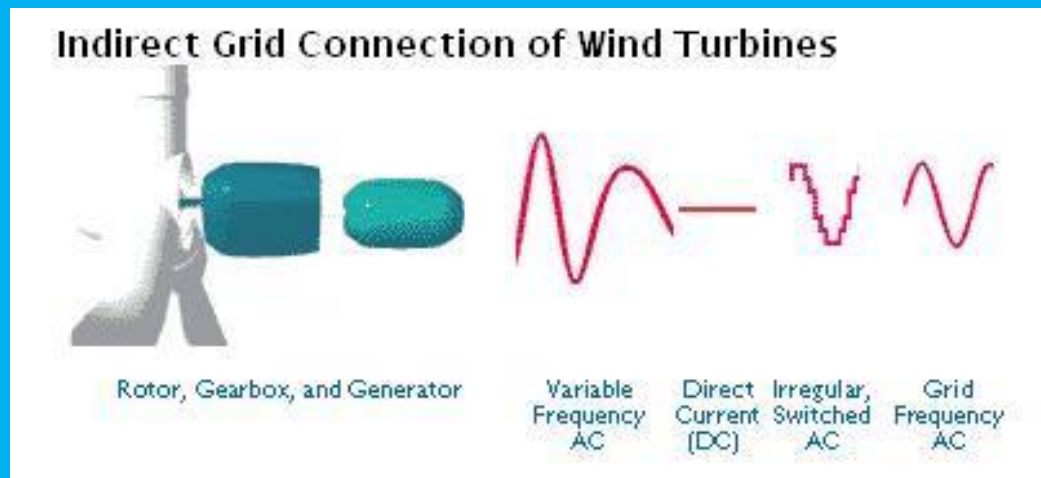
## Stall control (Active → pitch steps + Vortex generator)





# A VILLAMOS HÁLÓZATRA TÁPLÁLÁS 1.

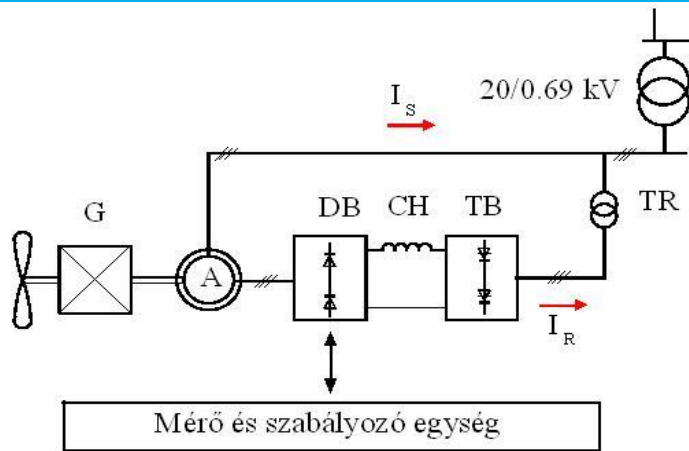
A modern szélturbinák általában ún. indirekt hálózati csatlakozásúak, függetlenül a generátor típusától:



Előnyei: optimálható változó fordulatszám, „nyomatéktárolás”, meddő energia szabályozhatóság.

Hátrányai: drága teljesítmény-elektronika, nagyobb villamos önfogyasztás, harmonikus torzítás (felharmonikus-szennyezés → „THD”, flicker).

# A VILLAMOS HÁLÓZATRA TÁPLÁLÁS 2.

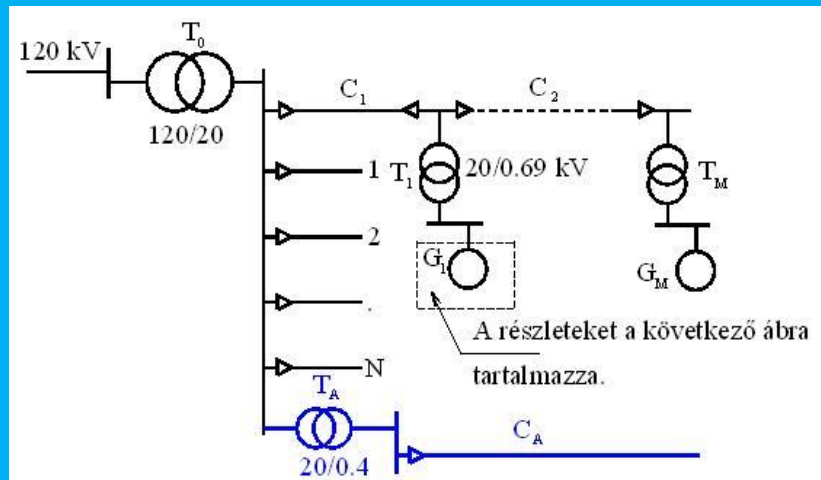


Szélgenerátor-egyfázisú-helyettesítő-kapcsolási-vázlata

[G: fogaskerék-áttétel; A: aszinkron-generátor; DB: motoroldali-áramirányító; CH: simító-fojtótekerccs; TB: hálózat-oldali-áramirányító (tirisztoros-híd); TR: transzformátor;  $I_s$ : sztátor-áramerősség;  $I_R$ : rotor-áramerősség]

**Az indirekt hálózati csatlakozás vázlata egy adott géptípusra (ún. kaszkád kapcsolás).**

**A fenti géptípusból készülő szélerőmű park egyvonalas elvi sémája:**



Szélpark-egyvonalas-elvi-kapcsolási-sémája

[ $T_0$ : fő-transzformátor (120/20-kV);  $T_1$ - $T_M$ : az egyes tornyok transzformátorai;  $G_1$ - $G_M$ : aszinkron-generátorok;  $C_1$ - $C_M$ ,  $C_A$ : kábelek;  $T_A$ : segéd-transzformátor]

# GYÁRTÁS, ANYAGTECHNOLÓGIA 1. LAPÁTOK

A lapátok anyaga szinte kizárólag valamilyen műanyag (poliészter vagy epoxi), jellemzően üvegszál erősítéssel. A karbon- vagy aramid (Kevlar) erősítésű műanyagok jóval drágábbak.



A lapátokat intenzív fárasztóvizsgálatokkal tesztelik mindkét igénybevételi főirányban.

Élettartamuk akár a 20-30 évet is elérheti. (Üzemelési környezetben gazdasági optimum determinálja!)

# *Szélenergia potenciál*

## **A szélenergia évi készlete:**

- elméleti:**

kb. 500.000 TWh/év villamos energia egyenérték

- műszakilag hasznosítható:**

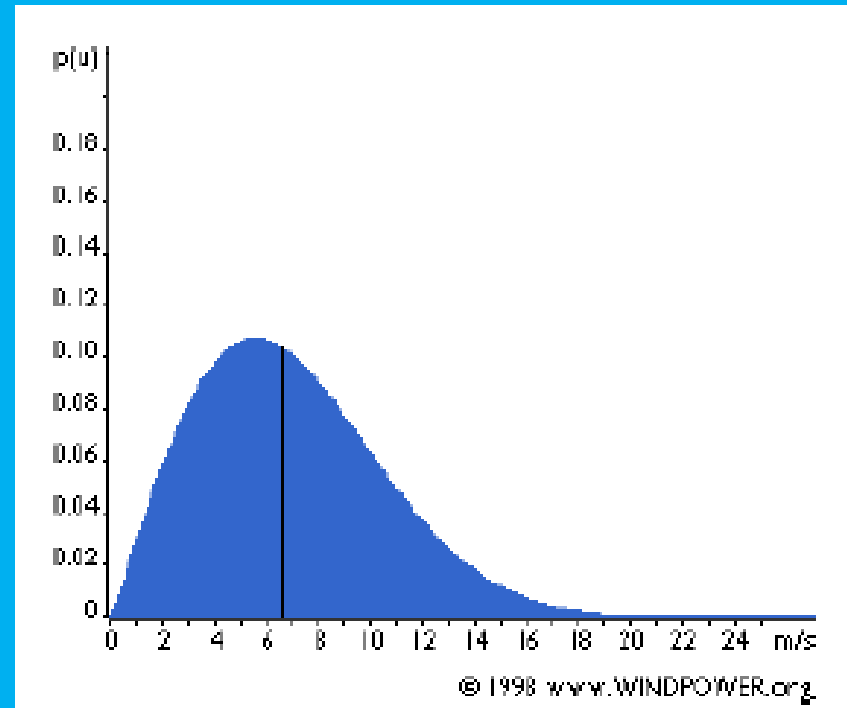
kb. 10 000 TWh/év villamos energia egyenérték  
(2%)

# Szélerenergia potenciál

## A szél energiaértéke

A szélesebesség gyakorisága és átlagértéke a helytől erősen függ.

A szélesebesség  
gyakorisági  
görbéje



# AZ ENERGIATERMELÉS ELMÉLETE A WEIBULL-ELOSZLÁS

A szélességek megoszlását az ún. Weibull-féle eloszlással lehet a legsikeresebben modellezni:

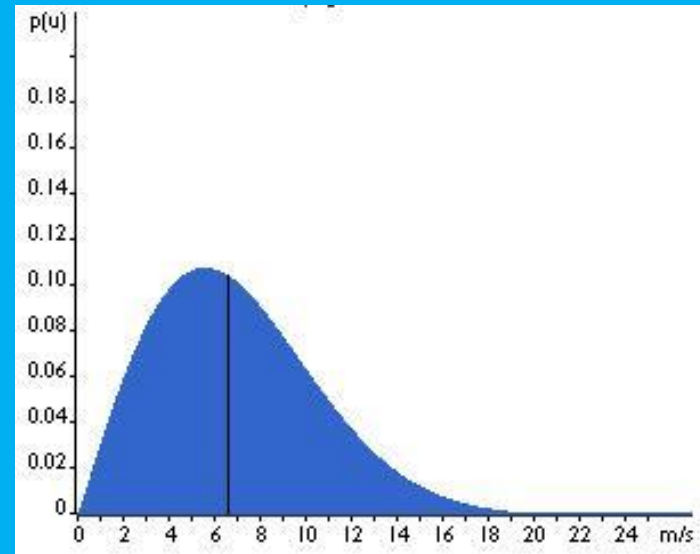
A görbe alatti terület (integrál) értéke 1, hiszen annak valószínűsége, hogy a szél valamekkora sebességgel (beleértve a zérust is) fúj, 100%.

E sűrűségfüggvény igen tipikusnak mondható, **7 m/s átlagos** sebességű és  $k=2$  alaktényezőjű (az ún. Rayleigh-féle speciális eloszlás esete).

Figyelem, az eloszlás nem szimmetrikus!

A **medián 6,6 m/s** (terület fele, tehát az időtartam fele)!

A **módusz 5,5 m/s** (a leggyakoribb sebesség érték)!

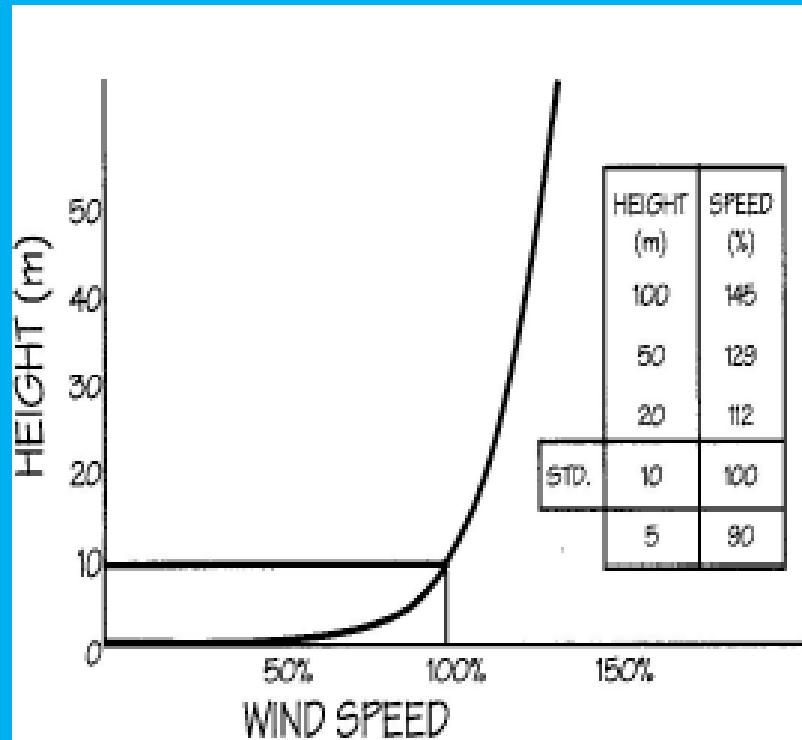


# Szélerenergia potenciál

## A szél energiaértéke

A szélesebesség ( $v_{sz}$ ) magasságtól való függése.

$$V_{sz} = V_{sz,0} \left( \frac{h}{h_0} \right)^\alpha$$



$h$  - magasság;

$v_{sz}$  - szélesebesség;

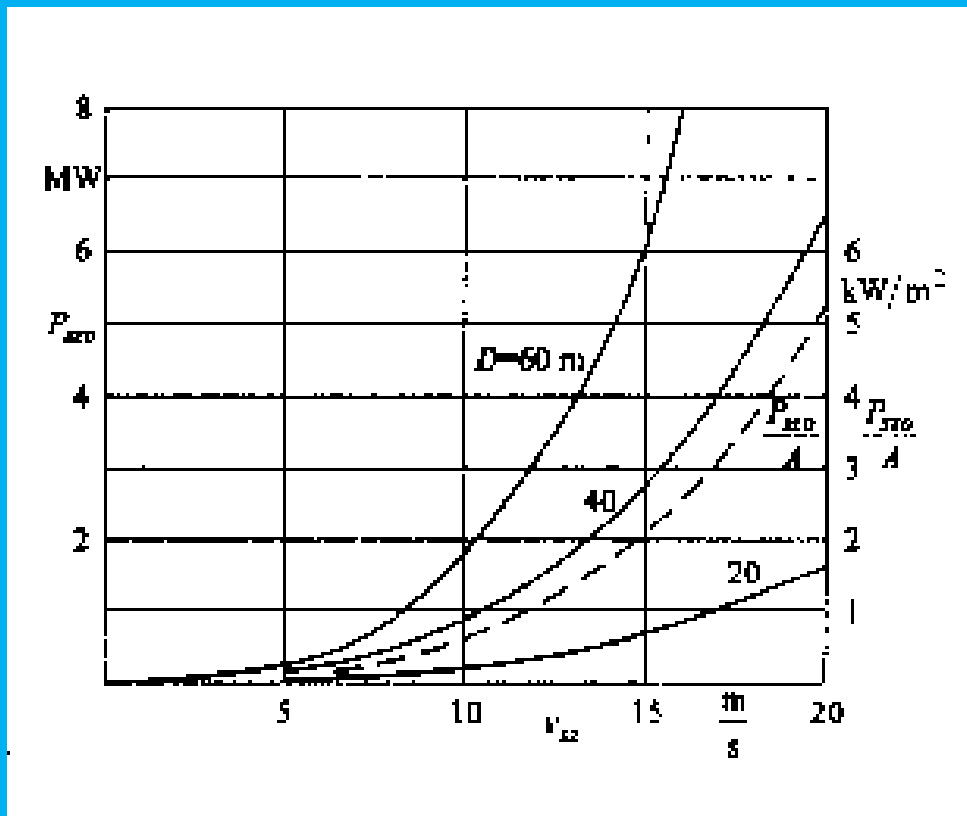
“0” index valamely ismert magasságban összetartozó értékekre utal;

$\alpha$  – szélprofil kitevő

# Szélenergia potenciál

## A szél energiaértéke

A szél elméleti teljesítménye különböző átmérőjű szélkerekekre és egységnyi keresztmetszetre eső teljesítménysűrűsége.





# *Szélerőenergia potenciál*

## **A szél energiaértéke**

A szél teljesítménysűrűsége:

elméleti:

5-15 m/s → 100-2000 [W/m<sup>2</sup>]

>25 m/s → hasznosításból ki kell zárni

gyakorlati:

5-15 m/s → 40-1000 [W/m<sup>2</sup>]

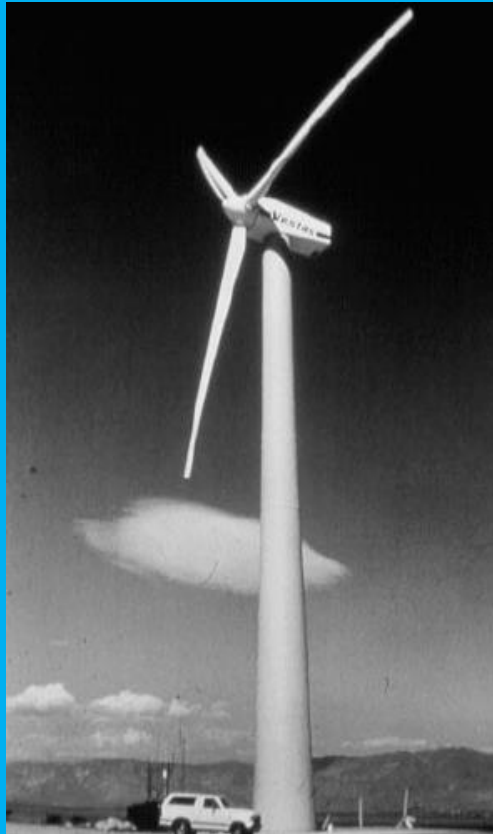
>25 m/s → hasznosításból ki kell zárni

Nagy szélerőművek fajlagos területigénye  
átlagosan 1 km<sup>2</sup>/MW.

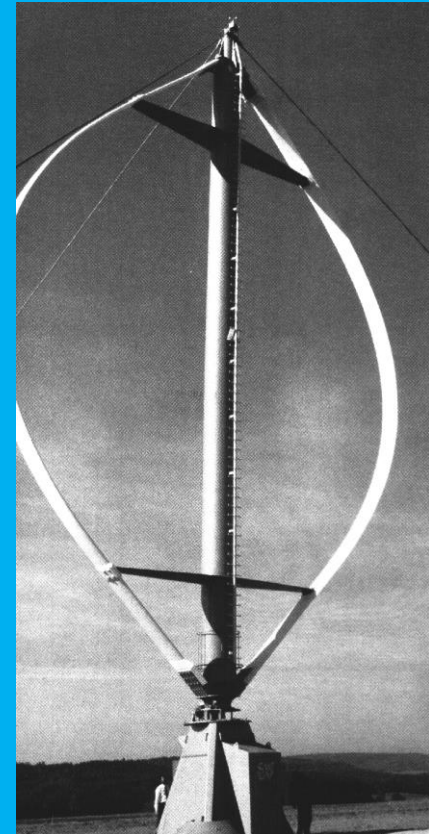
# *Szélerenergia-átalakítók*

**Csoportosítás a tengely és a felállítás síkja közötti viszony alapján :**

vízszintes tengelyű gépek

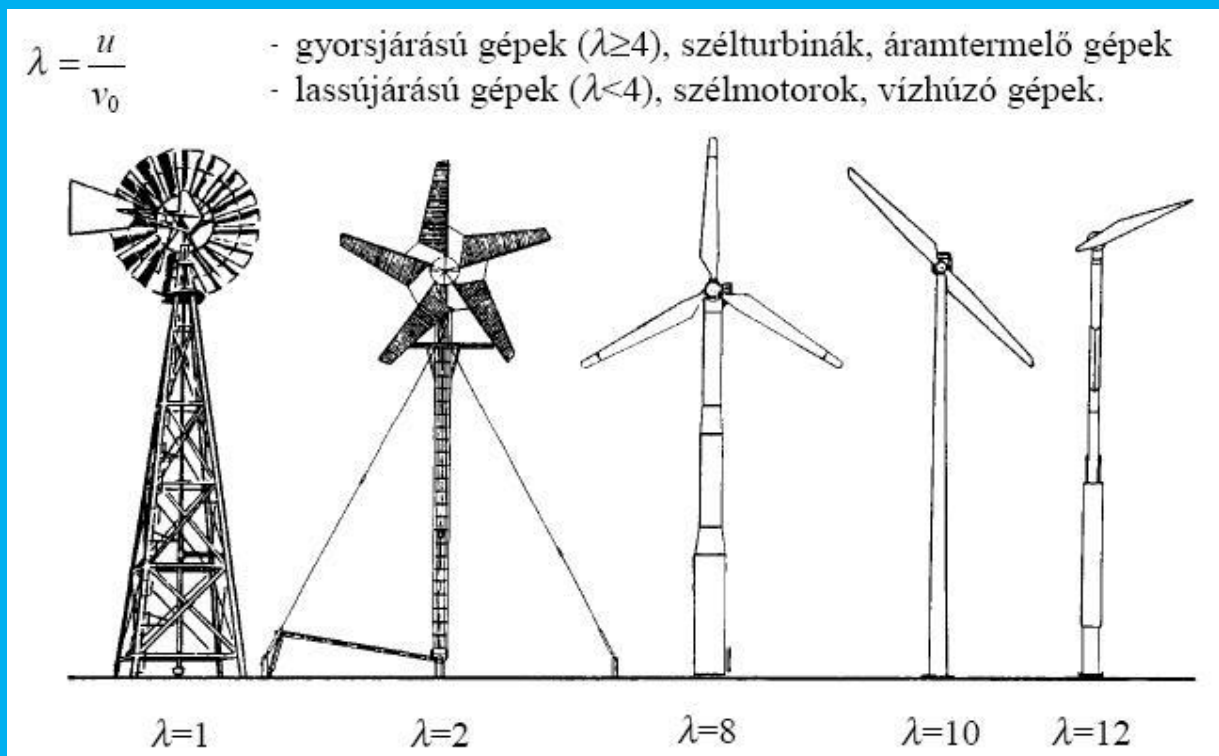


függőleges tengelyű gépek



# SZÉLTURBINA KONSTRUKCIÓK

A modern szélturbinák kizárólag vízszintes tengelyűek.  
Jellemzőjük az ún. gyorsjárási tényező:



A függőleges tengelyű (pl. a Georges Darrieus nevével fémjelzett egyetlen piacképes) szélturbina napjainkban már csak mint technikai érdekesség él.

# LAPÁTSZÁM MEGFONTOLÁSOK

(Nagy teljesítmény, energiatermelési cél)

Háromféle elterjedt megoldás:



## Választási szempontok:

- látvány,
- zajhatás,
- hatásfok,
- költségek,
- stb.



# Szélerenergia-átalakítók

## Szélkerekek vizsgálata

Gyorsjárási tényező ( $\lambda$ ):

$u$  - kerületi sebesség,

$v$  - szélesebesség.

$$\lambda = \frac{u}{v} = \frac{R_{\text{rotor}} \omega}{v}$$

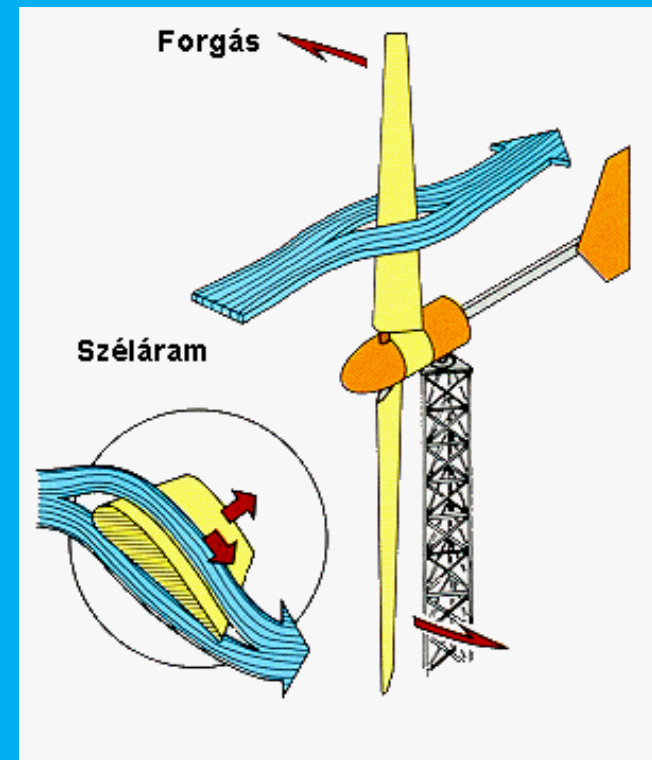
Teljeségi fok ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{N \cdot C}{R}$$

$N$  - lapátok száma

$C$  - lapáthúr,

$R$  - sugár.



# Szélenergia-átalakítók

## Szélkerekek vizsgálata

Az egyes szélérőgépekre vonatkozó tulajdonságok:

Teljesítmény:  $P = C_p \cdot A \cdot v_0^3 \cdot \frac{\rho}{2}$

Nyomaték:  $M = C_M \cdot R \cdot A \cdot v_0^2 \cdot \frac{\rho}{2}$

Axiális tolóerő:  $F_{ax} = C_w \cdot A \cdot v_0^2 \cdot \frac{\rho}{2}$

Fordulatszám:  $n = 30 \cdot \lambda \cdot R \cdot \frac{v_0}{\pi}$

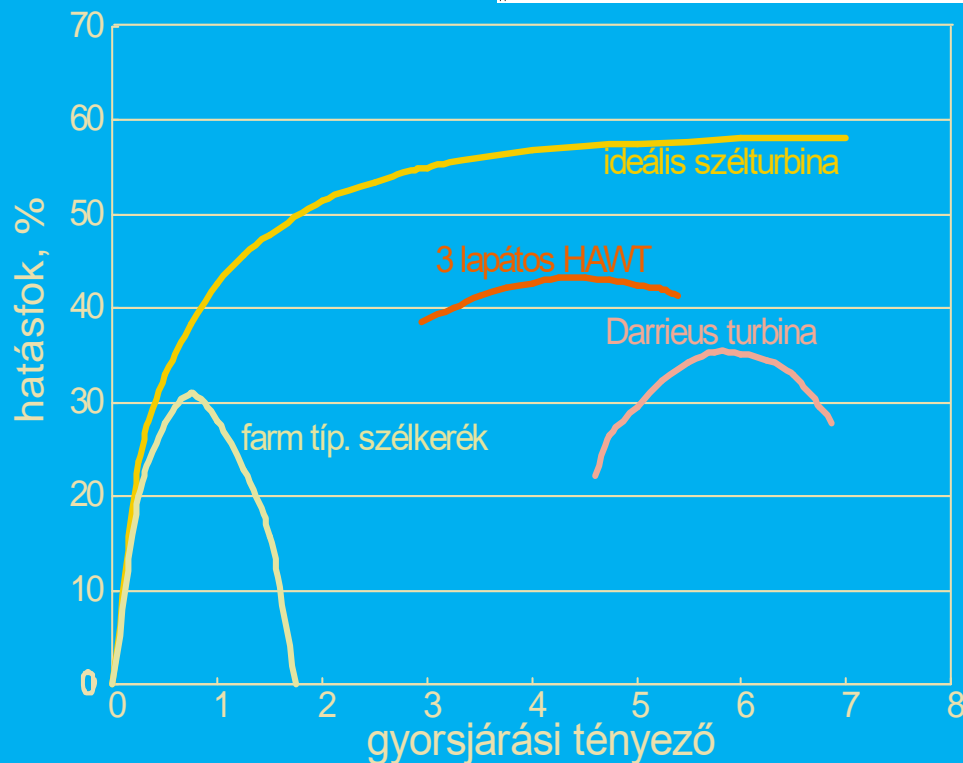
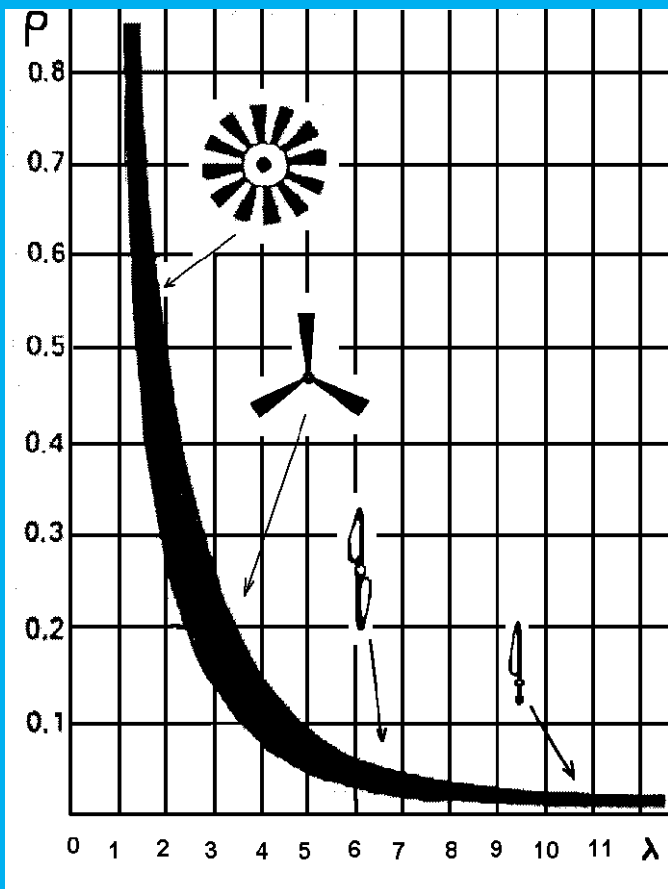
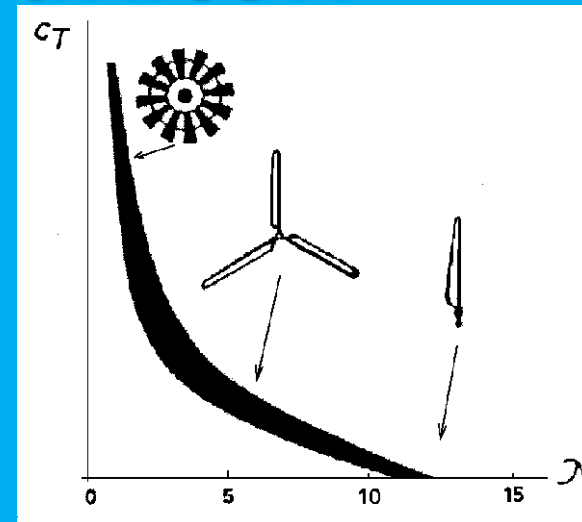
Összhatásfok:  $\eta_{\text{ö}} = \frac{P_{\text{eff}}}{P_{\text{max}}}$

$C_p$  - teljesítménytényező;  $C_m$  - nyomatéktényező;

$C_w$  - toló, ill. ellenállástényező;  $R$  - lapátcsúcs sugara

# Szélerenergia-átalakítók

Gyorsjárási tényező és teljességi fok közötti kapcsolat:



# Vízszintes tengelyű gépek

## Csoportosítás

Egy- és kétlapátos típus:

indítónyomatéka kicsi ezért indításához lapátszög-változtatás szükséges;

nagy a gyorsjárési tényezője( $\lambda$ )  $\rightarrow$  jó hatásfok.

Farm típusú szélkerekek:

magas teljesítmény-tényező; nagy felület miatt 8-10 m/s-nál le kell állítani.

Általános probléma:

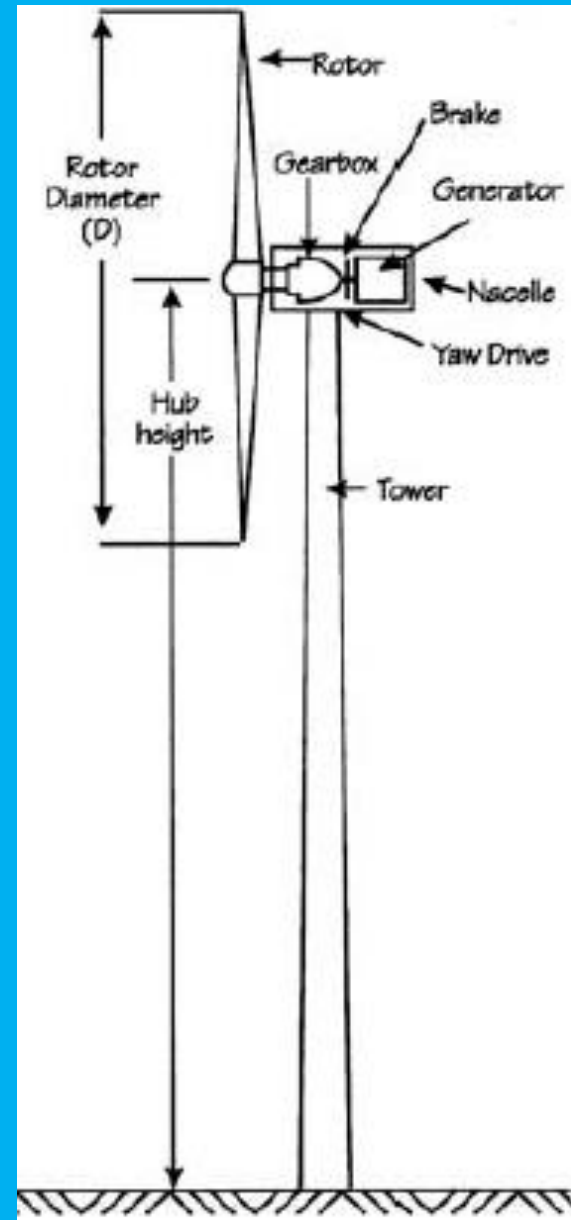
A rotor szélirányra merőleges beállítása magas  $v_{sz}$  esetén.



# Vízszintes tengelyű gépek

## Felépítés (HAWT)

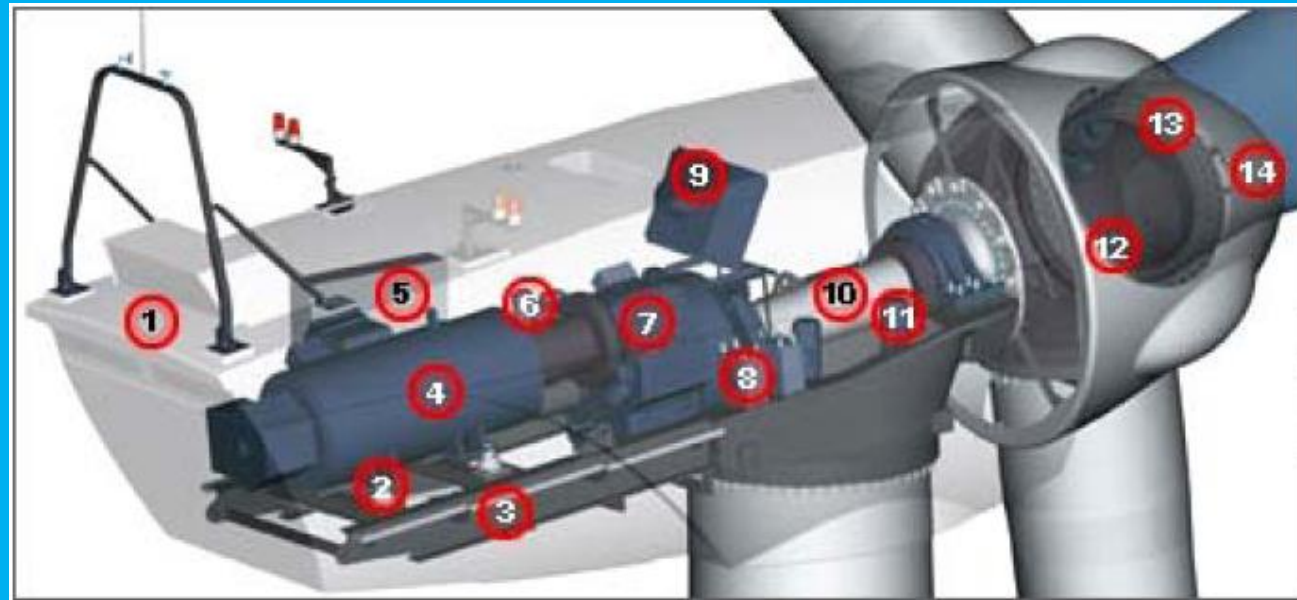
- Torony
- Gondola
  - Generátor
  - Fék
  - Tengelykapcsoló
  - Yaw vezérlő
- Rotor



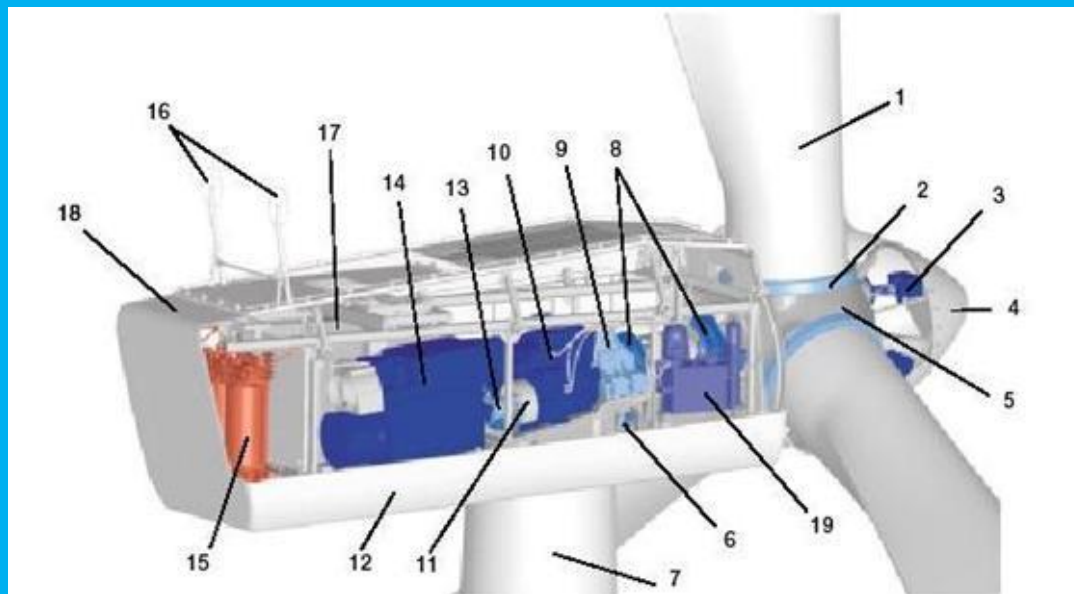
# Vízszintes tengelyű gépek

## Gondola felépítése (HAWT)

1. Gondola
2. Hangtompító
3. Váz
4. Generátor
5. Kontrol panel
6. Hidraulikus fék
7. Tengelykapcsoló
8. Hangtompító
9. Olajhűtő
10. Rotor tengelye
11. Yaw vezérlő
12. Dőlésszög vezérlő
13. Rotor
14. Orrkúp



# A SZÉLTURBINÁK FELÉPÍTÉSE



**Az aszinkron generátorral működő gép tipikus berendezései.**

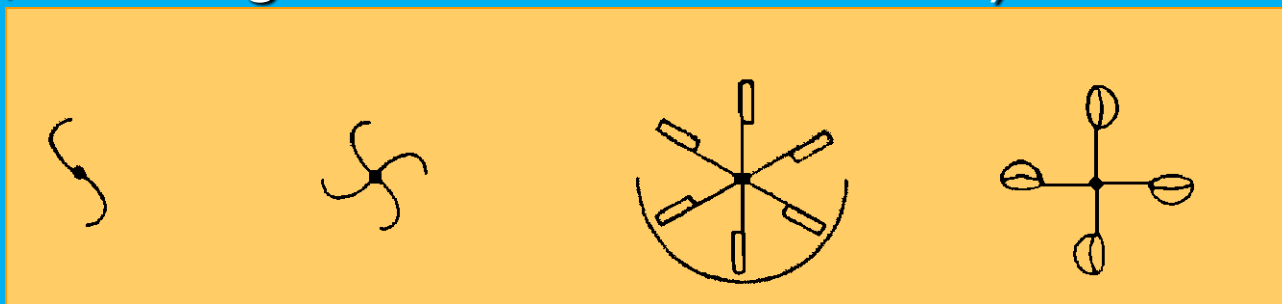
1	Lapát	11	Fő-tárcsafék
2	Lapát-csapágyazás	12	Gondola-alapkeret
3	Pitch-hidraulikus-hajtómű	13	Kardán-vagy-kompozit-tengely
4	Rotor-zárófedél	14	Generátor
5	Rotoragy	15	Transzformátor
6	Széliránykövetés-szabályozás	16	Anemométerek
7	Oszlop	17	Vezérlő-egység
8	Főcsapágy ház	18	Gondola-fedél
9	Hajtóműrögzítő-kar	19	Hidraulikus-egység
10	Gyorsító-fogaskerék-áthajtómű		

# Függőleges tengelyű gépek

## Csoportosítás

Elsődlegesen közegellenállást hasznosító gépek:

(Savonius kerekek, csak ellenállás-tényezőt hasznosító kerék, szélforgó kanalas anemométer)



Darrieus típusú gépek:

olcsó konstrukció;

széliránytól független üzem;

tág működési tartomány (40..50 m/s).



# Szélerőmű parkok

## Elhelyezkedés

A parkok elhelyezkedése törvényben szabályozott és országonként eltérő lehet (Mo):

Parkok elhelyezése:

lakott területtől oszlop magasság x15;

aszfaltúttól mért minimális távolság 100m;

földútnál általában 25m.

Parkok kialakítása:

turbinák minimális

távolsága

egymáshoz képest

(torony+lapát)x 2,5.



# GÉPTELEPÍTÉSI SZEMPONTOK

## AZ ÉRDESSÉG 1.

A felszín közelében az áramlások több okból is módosul(hat)nak. Meghatározó a domborzat és az érdeesség!

A felszín minőségét és a különféle tereptárgyak akadályozó hatását jellemzik az ún. érdeességi osztályok és érdeességi hosszok.

A definíciók az Európai Szélatlasz (WAsP) szerinti megfogalmazásokat követik:

Érdeességi hossz: az a terepszinttől mért magassági távolság, ahol a szélesebesség elméletileg zérus.

Értéke az érdeességi osztálytól függően 0,0002 és 1,6 méter közötti lehet.

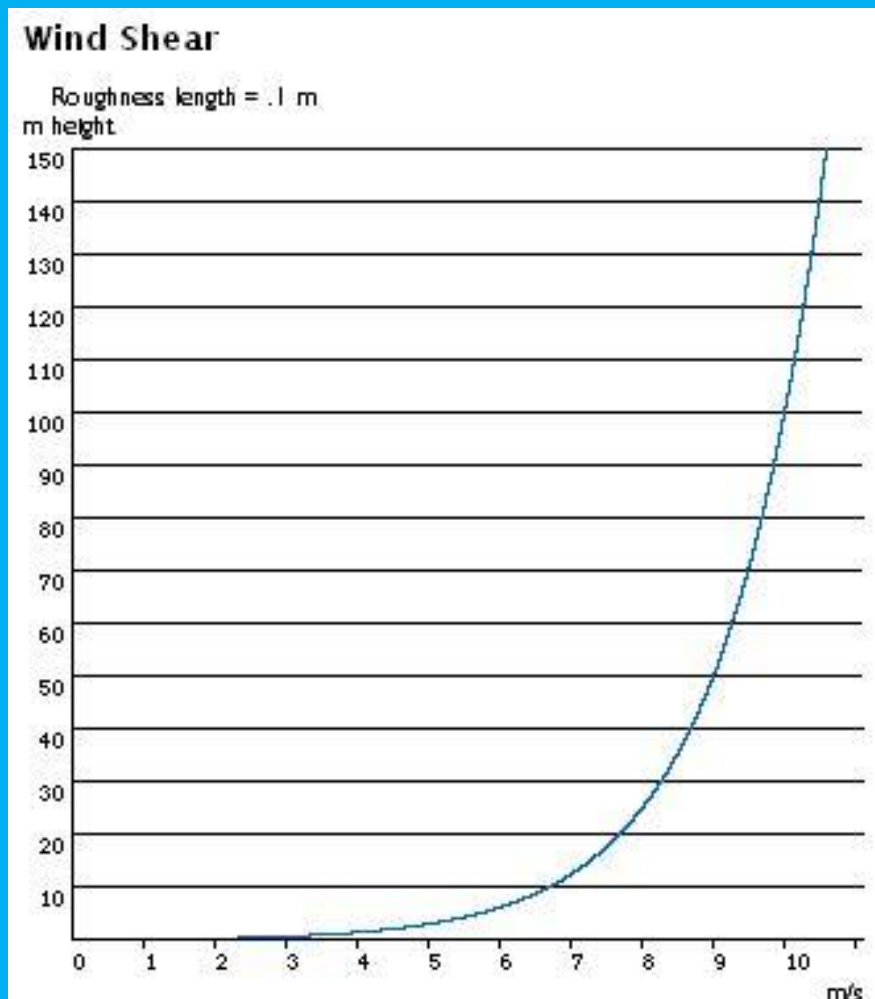
## AZ ÉRDESSÉG 2.

### Érdességi osztályok:

0	vizek felszínei
0,5	nyílt terep finom felszínnel (aszfalt, legelő)
1	mg-i terület kerítések és fasorok nélkül
1,5	mg-i terület ritka, max. 8 m magas fasorokkal
2	mg-i terület sűrűbb mezővédő fasorokkal
2,5	mg-i terület sok épülettel és tereptárggyal
3	falvak, kisvárosok vagy hegyi mg-i területek
3,5	nagyvárosok sűrű magas épületekkel
4	metropoliszok felhőkarcolókkal

**Különböző érdességi osztályok esetén eltérő szélprofil alakul ki, ami nagyban befolyásolja a géptelepítést!**

# A SZÉLPROFIL



A (2) érdességi osztály példája. Fontos, hogy eltérő erők támadják a lapátot a felső és az alsó holtponton!



# A HELLMANN-KÉPLET

A szélesebbesség magasságtól való függését a gyakorlatban sokszor egy praktikus egyszerűsített képlettel közelítjük:

$$v_{\text{ref}}/v = (z_{\text{ref}}/z)^\alpha$$

ahol:

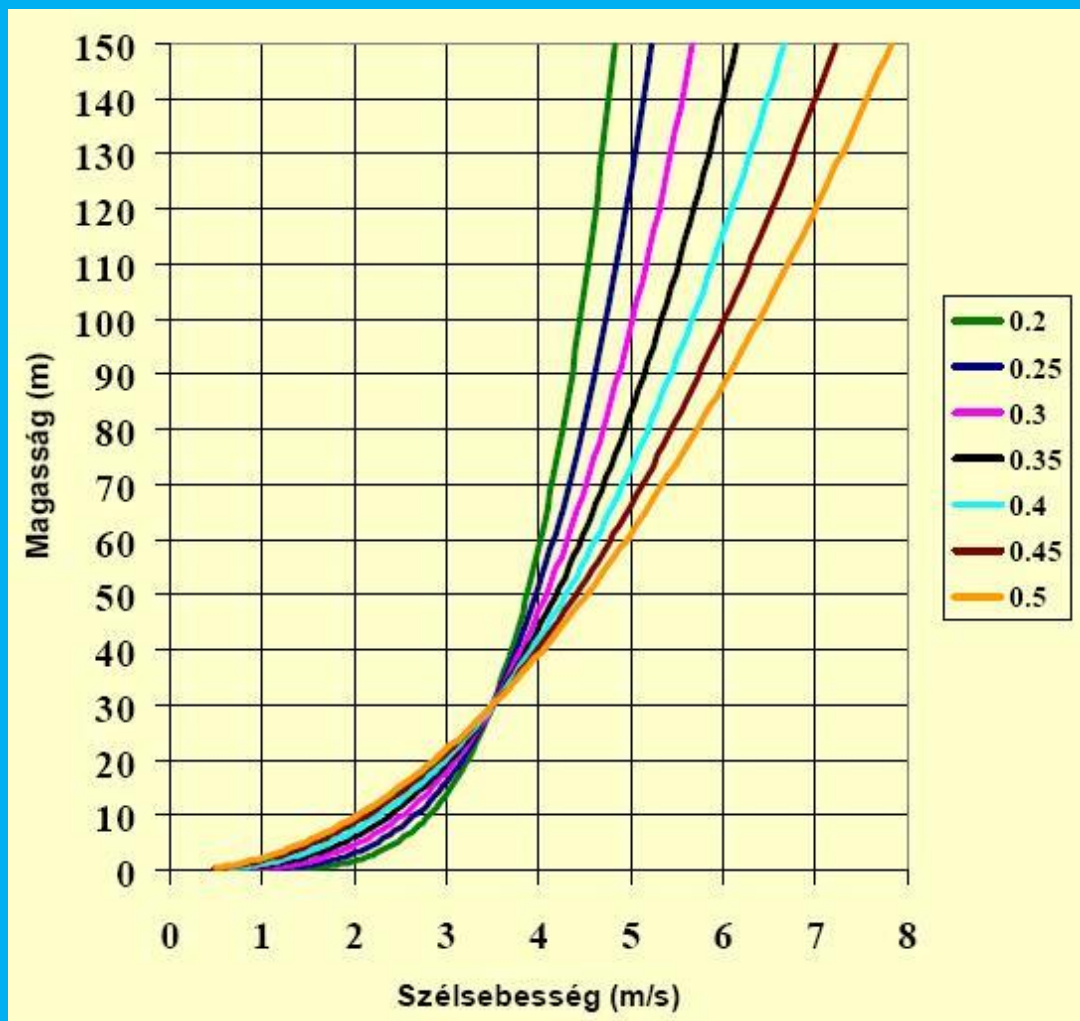
- v – sebesség a felszíntől z méter magasságban
- $v_{\text{ref}}$  – ismert viszonyítási sebesség  $z_{\text{ref}}$  magasságban
- $\alpha$  – Hellmann-féle szélprofil kitevő

A formula rendkívül népszerű, ugyanakkor számítások végzéséhez csak kellő körültekintéssel alkalmazható!

Az  $\alpha$  értéke jellemzően 0,1 és 0,8 között ingadozik, változik napszakonként, évszakonként, érdességi osztályok, légköri stabilitási állapotok, adott magasságban a sebességek, és szélirányok szerint is!

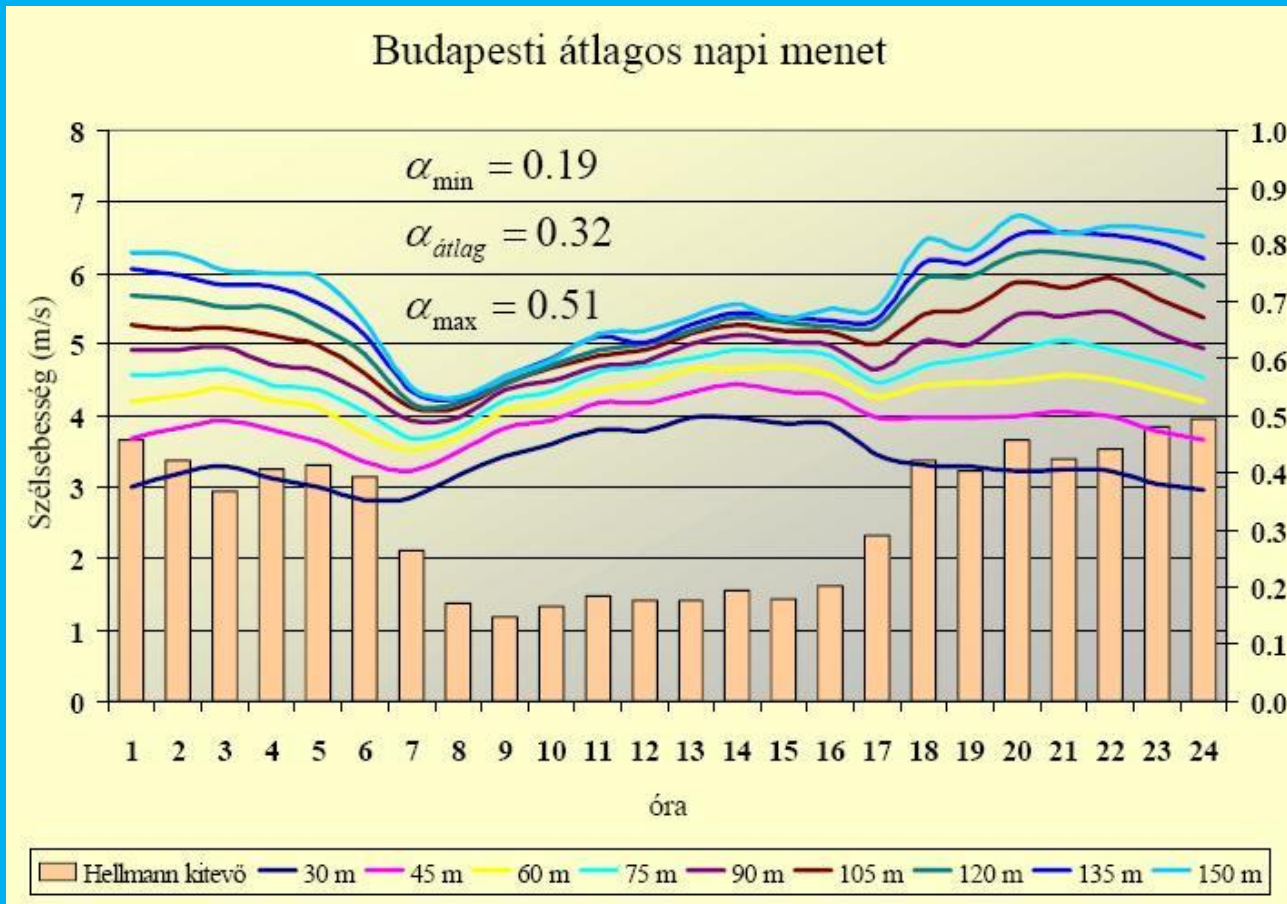
# A HELLMANN-KITEVŐ TULAJDONSÁGAI 1.

**A kitevő és a szélprofil fontos kapcsolatban vannak!**



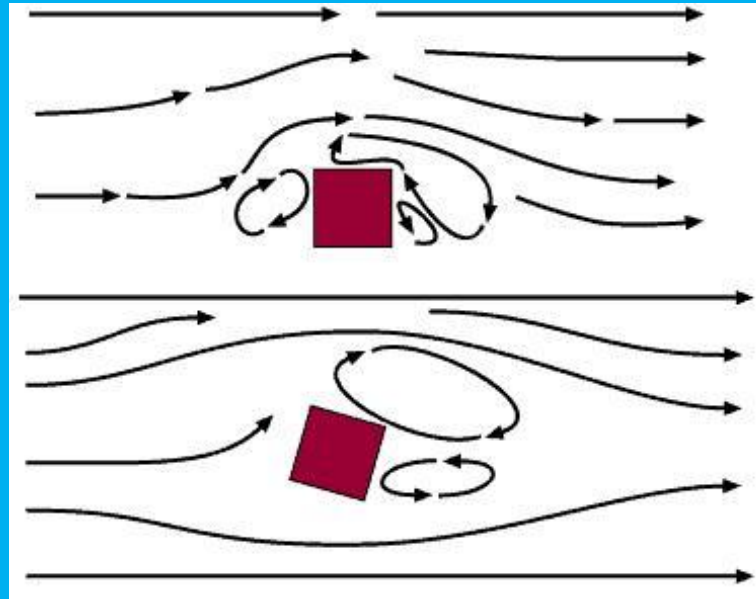
# A HELLMANN-KITEVŐ TULAJDONSÁGAI 2.

A kitevő értéke (több okból is) időben változó!



# TEREPAKADÁLYOK

A szél útjába kerülő akadályok (művi és természetes tereptárgyak, pl. épületek, építmények, fák, sziklák stb.) erősen csökkenthetik a szélesebességet, ráadásul általában kellemetlen turbulenciát is okozva:



A hatást befolyásolja az objektum ún. porozitása is (mennyire tömör, „keresztülfújhatatlan” a tárgy).



# AZ ÖRVÉNYHATÁS

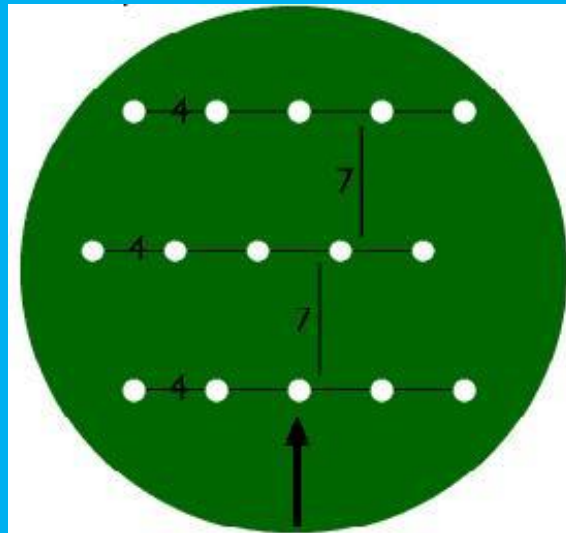
A rotorlapátok a rendezett áramvonalakat örvényessé teszik (wake effect):



A gép mögött az áramlás erősen turbulenssé válik. Az ebből származó aerodinamikai veszteségek mérséklése érdekében a szélerőmű parkokban a gépeket egymástól kellő távolságban kell elhelyezni! Ezt általában a rotorátmérő valamely egész számú többszörösével számszerűsítik - irányonként.

# A PARKHATÁS

A „wake loss” minimalizálása érdekében ökölszabály, hogy a gépeket a domináns szélirányban egymás mögött legalább  $5 \div 9$ , míg arra merőlegesen egymás mellett legalább  $3 \div 5$  rotorátmérőnyi távolságra helyezzük el:



Nyilvánvaló ellenérdekek a szélenergetikai és a területhasználati szempontok között!  
Az eredő energiaveszteség 10% alatt elfogadható.

# *Szélerenergia hasznosítás*

## Technológia előnyei:

- **TISZTA** energia;
- alacsony üzemeltetési költség;
- alacsony externális költség.





# *Szélerenergia hasznosítás*

## Technológia hátrányai:

- zajhatás  
(lapátok száma, sebesség);
- vizuális szennyezés  
(tájképfarmálás);
- elektromágneses zavarás  
(üvegszállal merevített műanyag);
- madárpusztulás.



# EGYÉB TELEPÍTÉSI SZEMPONTOK

- Az alagút effektus



- A domb effektus



- Környezet- és természetvédelmi aspektusok

- Villamos hálózati csatlakozás közeli lehetősége

- Közlekedés, megközelíthetőség

- Geológia, geomorfológia, hidrológia

- Archeológia

- Tájesztétika, humán attitűd, stb.

# SZÉLERŐMŰVEK ÉS A KÖRNYEZET 1. TÁJBA ILLESZTÉS, ESZTÉTIKA

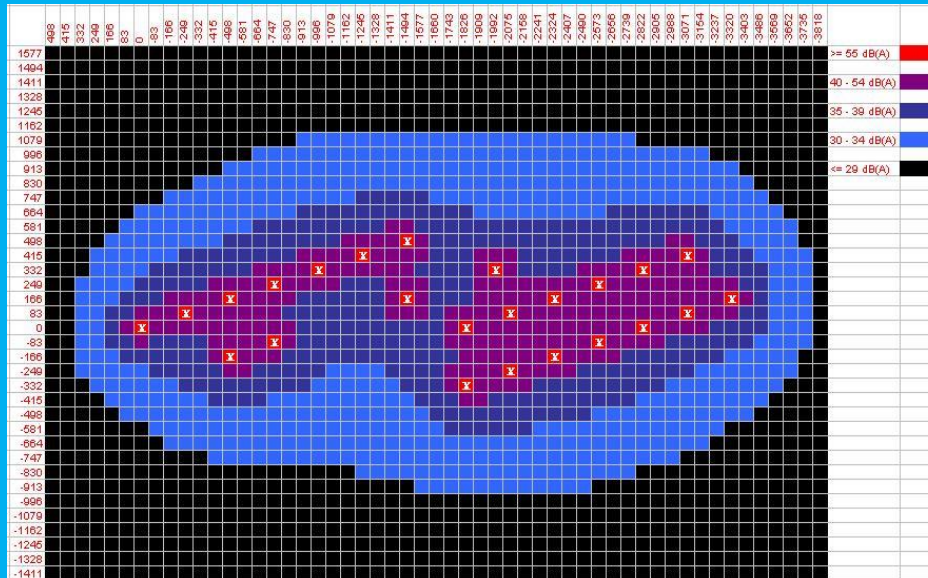
„Landscape architecture” → nyugaton igen fejlett!  
Szempontok a szubjektív érzékelés befolyásolásához:

- távolság a lakott területektől,
- egyszerű geometriai formációk,
- gépméret (látvány, forgás),
- színeképi megjelenés, stb.



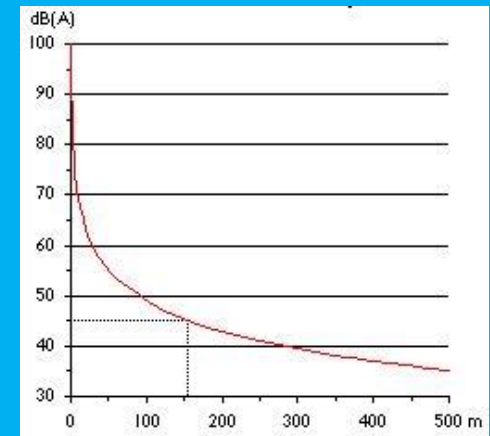
# SZÉLERŐMŰVEK ZAJKIBOCSÁTÁSA

A hanghatás ma már nem probléma! A hatóságok előírásaiban a dB(A) súlyozott skálát használják.



Hallásküszöb: 0

- 30 -     Suttogás
- 60 -     Normál beszéd
- 90 -     Városi közlekedés háttérzaj
- 120 -    Rock koncert
- 150 -    Sugárhajtómű 10m-re



Infrahang!  
(<20 Hz)

## SZÉLERŐMŰVEK ÉS A KÖRNYEZET 5. FAUNA ÉS FLÓRA

**A szélerőmű telephelyek gondos megválasztásával a negatív hatások gyakorlatilag elhanyagolhatók!**



**A mortalitási mutatók az egyéb humán tevékenységek (pl. közlekedés, elektromos távvezetékek, épületek) összehasonlításában elenyészők, minimális élettér szűkülés azonban elismerhető a madárvilág vonatkozásában. Emlősökre csak átmeneti zavarhatás.**

