

Megújuló energiaforrások III. Labor

Dr. Ivelics Ramón PhD.
egyetemi adjunktus
ivelics.ramon@mik.pte.hu

PTE MIK Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
Környezetmérnök Tanszék

Tematika

1. Szilárd tüzelőanyagok tulajdonságainak, értékeinek elemzése, mérése (Kalorimetria). Számítási feladat kiosztása.
2. Szilárd tüzelőanyagok tulajdonságainak, értékeinek elemzése, mérése (Elemi összetétel, nedvességtartalom, hamutartalom mérések).
3. **Időjárásfüggő megújuló energiák működtetése. Meteorológiai mérések és feldolgozásuk. Folyékony és gáznemű tüzelőanyagok** tulajdonságainak mérés technikája.
4. Az energiatermelés környezeti hatásainak mérése, szilárd, folyékony és gáznemű emissziók mérés technikája, terjedése, elemzése.
5. Zárthelyi dolgozat.

Követelmények

Aláírás megszerzése:


- gyakorlatokon való részvétel
- számítási feladat (2022.04.13. 12h00)
- zárthelyi dolgozat (2022. 05.09. 16h45) (pót zh: 2022.05.16. 16h45)

Félévközi jegy:

- 1 db feladat és zh átlaga

Érdemjegy megállapítás az
összpontszám alapján (átlag):

- elégtelen ← 0-49%
- elégséges ← 50..64%
- közepes ← 65..72%
- jó ← 73..85%
- jeles ← 86% felett



PECSI TUDOMÁNYEGYETEM
Műszaki és Informatikai Kar
Mérnöki és Smart Technológiák Intézet
Környezetmérnöki Tanszék

MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK I.
2020/2021. tanév
II. félév

I. feladat
(Témadokumentációs feladat)

FELADAT: év. ... h részére.

Készítsen témadokumentációt a
.....
című témáról, szakirodalmi források és dokumentációk felhasználásával.

A témadokumentáció tartalma:

1. A téma irodalmának áttekintése, jelenlegi helyzetének értékelése.
2. A kiválasztott, a témát legjobban reprezentáló megoldások leírása (alkalmazási terület, működési elv, műszaki adatok, szerkezeti felépítés, stb.) (Megjegyzés: a leírás a szükséges mértékben tartalmazzon műszaki rajzokat, ábrákat, ismertetőket, stb.)
3. Javasolt a témakörhöz kapcsolódó technológiai vagy műszaki jellemző fejlesztését, illetve az üzemeltetés hatékonyságának növelését célzó javaslatok, ötletek, megállapítások összegyűjtése.
4. A felhasznált irodalom. A témadokumentációt kereséssel elért információkkal, illetve összegyűjtött cikkek-tanulmányok alapján kell összeállítani, amelyek száma min. 10 legyen. A felhasznált irodalom felsorolása, az akadémiai hivatkozási rendszernek megfelelően szükséges megadni a szerző nevét, a megjelenés évét, a forrásmunka címét, a kiadót, a letöltés pontos dátumát és a fellelési helyét.

A témadokumentációra vonatkozó terjedelmi és formai követelmények:

- A témadokumentáció szöveges részének terjedelme maximum 20db A4-es oldal legyen.
- A témadokumentációt elektronikus formátumban meg kell küldeni az iveltics.ramon@mik.pte.hu email címre, valamint fel kell tölteni a Neptun Meet Street felületre is.
- A feladat kiírását a címcímadó után csatolni kell a dolgozathoz.

Beadási határidő: 2021. április 28., 12⁰⁰ óra, elektronikusan

Pécs, 2021. február 3.

Dr. Iveltics Ramón PhD.
egyetemi adjunktus

Primer energiahordozók csoportosítása kimerülésük alapján

Kimerülő energiahordozók

- kémiai tüzelőanyagok:
 - szén, kőolaj, földgáz, egyéb,
- nukleáris tüzelőanyagok:
 - fission, fusion,
- *geotermikus energia*
- exotherm reactions

Megújuló energiahordozók

- napenergia: napsugárzás, fotoszintézis, szél, stb.
- *szél,*
- *bioenergia: izomerő, biomassza, mikrobiológiai reakciók,*
- gravitáció: árapály,
- hullámmozgás energiája.

Számítási feladat I.

Beépített teljesítmény meghatározás, területi+fogyasztás

Becslés

$$Q_{be, szük} [KW] = \frac{1000 * Q_{be} * (t_b - t_k)}{24 * 3600 * n_f * G}$$

Q_{be} – fogyasztott hőteljesítmény (MJ/év) $Q_{be} = N_{h\acute{a}z, \acute{e}v} * H_{g\acute{a}z}$

$N_{g\acute{a}z, \acute{e}v}$ (Nm³/év) – az átlagos éves gázfogy.

$H_{g\acute{a}z}$ (MJ/Nm³) - gáz átlagos fűtőértéke

G – hőfokhíd, $G = n_{f\ddot{u}t} * (t_b - t_{k\acute{a}tlag})$

$n_{f\ddot{u}t}$ - fűtési napok száma, kb.180-200 nap

n_f – fogyasztási tényező (0,7...0,8) v. együtthatósági

t_b – méretezési belső hőmérséklet (pl.: 20 °C)

t_k – méretezési külsőhőmérséklet (pl.: -13 °C)

$t_{k\acute{a}tlag}$ – fűtési szezon átlag hőmérséklete (pl.: 4 °C)

| Jelölés | Megnevezés | Mértékegység | Kastély | Vad. M. | K. Kertészet | Összesen |
|---------------------------------|---|-------------------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| Jelenlegi rendszer elemzés, gáz | | | | | | |
| $N_{\text{gázév}}$ | Átlagos éves gázfogyasztás (5 éves átlag) | $\text{m}^3/\text{év}$ | 86 365 | 21 756 | 27 366 | 135 486 |
| $H_{\text{gáz}}$ | Gáz átlagos fűtőértéke | MJ/Nm^3 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| Q_{be} | Fogyasztott hőmennyiség | $\text{MJ}/\text{év}$ | 2 936 393 | 739 687 | 930 436 | 4 606 516 |
| n_f | Fogyasztási tényező (0,7...0,8; 0,7) | - | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| t_k | Fűtési szezon átlaghőmérséklete | Celsius fok | 4 | 4 | 4 | 4 |
| $N_{\text{fűt}}$ | Fűtési napok száma | nap | 190 | 190 | 190 | 190 |
| t_b | Méretezési belső hőmérséklet | Celsius fok | 20 | 20 | 20 | 20 |
| t_k | Méretezési külső hőmérséklet | Celsius fok | -13 | -13 | -13 | -13 |
| G | Hőfokhíd | napfok | 3040 | 3040 | 3040 | 3040 |
| $Q_{\text{be, gáz}}$ | Szükséges teljesítmény | kW | 527 | 133 | 167 | 827 |
| Faapríték alapú biomassza kazán | | | | | | |
| $N_{\text{fűt}}$ | Fűtési órák száma | óra | 4560 | 4560 | 4560 | 4560 |
| Q_{le} | Tüzelőanyag igény | $\text{kWh}/\text{év}$ | 815 665 | 205 469 | 258 454 | 1 279 588 |
| H_{fa} | Tüzelőanyag fűtőérték - faapríték (nedv.t.: 40 %) | GJ/t | 10 | 10 | 10 | 10 |
| $Q_{\text{tü}}$ | Tüzelőanyag igény (lutro tonna) | $\text{t}/\text{év}$ | 294 | 74 | 93 | 461 |
| C | Széntartalom | % | 49,00 | 49,00 | 49,00 | 49,00 |
| A | Hamutartalom | % | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 |
| Cl | Klórtartalom | % | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| $Si+K$ | Szilícium+Kálium tartalom | % | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| K_{CO_2} | Szén-dioxid kibocsátás | $\text{t}/\text{év}$ | 528 | 133 | 167 | 828 |
| Cl | Klór keletkezés | $\text{t}/\text{év}$ | 0,09 | 0,02 | 0,03 | 0,14 |
| \bar{A} | Hamu kibocsátás | $\text{t}/\text{év}$ | 4,40 | 1,11 | 1,40 | 6,91 |

Számítási feladat II.

$Q_{\text{beép}}$ (MW) – beépített teljesítmény

$$Q_{\text{be}} \text{ (GWh)} = Q_{\text{beép}} \cdot \tau / 1000$$

Q_{be} – bemenő hőteljesítmény

τ - üzemóra/év

$Q_{\text{tühő}}$ (GJ) – tüzelőhő

$$Q_{\text{tü}} = Q_{\text{be}} \cdot 3600 / \eta$$

η - energiatermelés hatásfoka

$Q_{\text{tü}}$ (tonna/év) – tüzelőanyagigény

$$Q_{\text{tü}} = Q_{\text{tühő}} / H$$

H – fűtőérték (GJ/t)

| Jelölés | Faapríték alapú biomassza kazán | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Mértékegység |
|------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------|
| Q_{be} | Teljesítmény | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | MW |
| τ | Üzemóra/év, 24*180 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | 4320 | óra |
| Q_{be} | Bemenő teljesítmény | 4,32 | 8,64 | 12,96 | 17,28 | 21,6 | 43,2 | GWh |
| η | Energiatermelés hatásfoka | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | |
| Q | Tüzelőhő | 18296 | 36593 | 54889 | 73186 | 91482 | 182965 | GJ |
| H_a | Tüzelőanyag fűtőérték | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | GJ/t |
| $Q_{tü}$ | Tüzelőanyag igény | 1307 | 2614 | 3921 | 5228 | 6534 | 13069 | tonna/év |
| Y | Erdő átlagos vágástéri apadék hozama | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | t/ha/év |
| T_{vill} | Területigény | 653 | 1307 | 1960 | 2614 | 3267 | 6534 | ha |
| C | Széntartalom | 49,00 | 49,00 | 49,00 | 47,00 | 47,00 | 47,00 | % |
| A | Hamutartalom | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | % |
| Cl | Klórtartalom | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | % |
| $Si+K$ | Szilícium+Kálium tartalom | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | % |
| K_{CO_2} | Szén-dioxid kibocsátás | 2350 | 4700 | 7051 | 9017 | 11271 | 22543 | t/év |
| \dot{Cl} | Klór keletkezés | 0,39 | 0,78 | 1,18 | 1,05 | 1,31 | 2,61 | t/év |
| \bar{A} | Hamu kibocsátás | 19,60 | 39,21 | 58,81 | 104,55 | 130,69 | 261,38 | t/év |

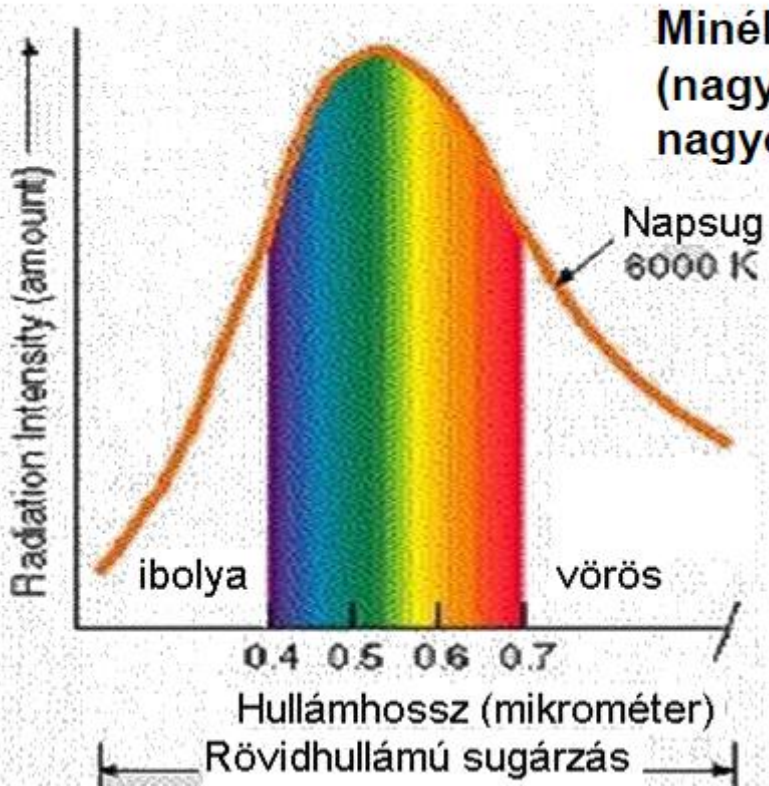
Primer energiahordozók csoportosítása kimerülésük alapján

Kimerülő energiahordozók

- kémiai tüzelőanyagok:
 - szén, kőolaj, földgáz, egyéb,
- nukleáris tüzelőanyagok:
 - fission, fusion,
- *geotermikus energia*
- exothermic reactions

Megújuló energiahordozók

- **napenergia**: napsugárzás, fotosynthesis, wind, etc.
- *wind*,
- *bioenergia: biomass, microbiological reactions*,
- gravitáció: tidal, etc.
- hullámzás energiája.



Minél kisebb a hullámhossz
(nagyobb a frekvencia) annál
nagyobb az energiatartalom

- Kék: 460~475nm
- Zöld: 520~530nm
- Sárga (borostyán):
585~595nm
- Élénk vörös: 620~630nm

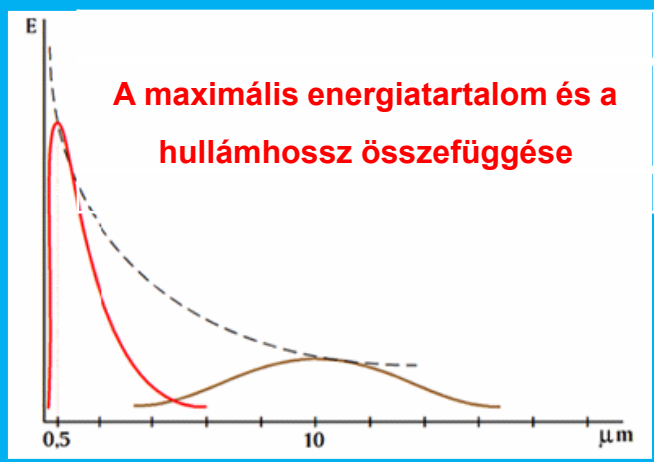
A frekvencia f a fény színét jelzi: a vörös kis frekvenciájú fény, a kék nagyobb frekvenciájú

A terjedési sebesség: légüres térben frekvenciától függetlenül minden fényhullám $c=300\ 000$ km/s sebességgel terjed

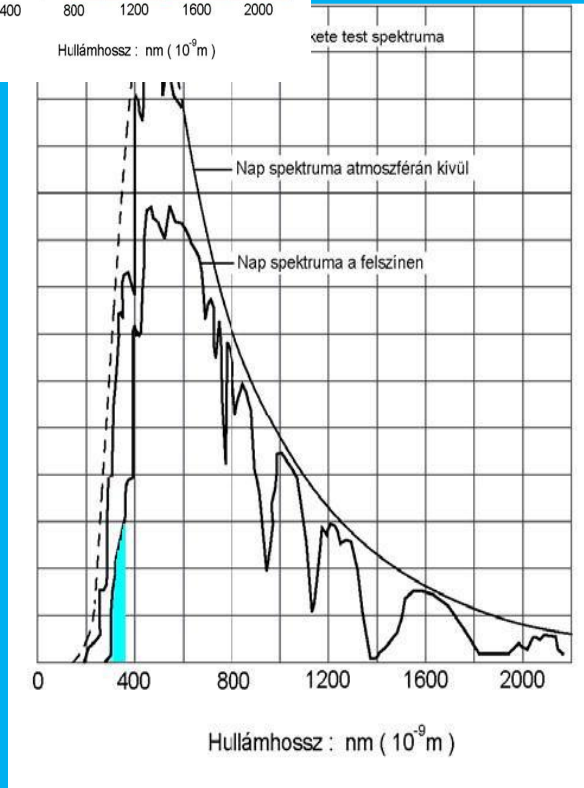
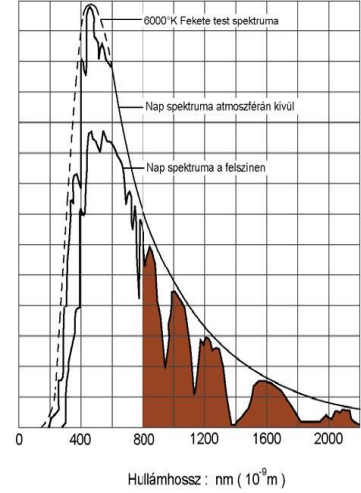
Hullámhossz: $\lambda = \frac{c}{f}$

A fényhullám energiája: $E = h \cdot f$

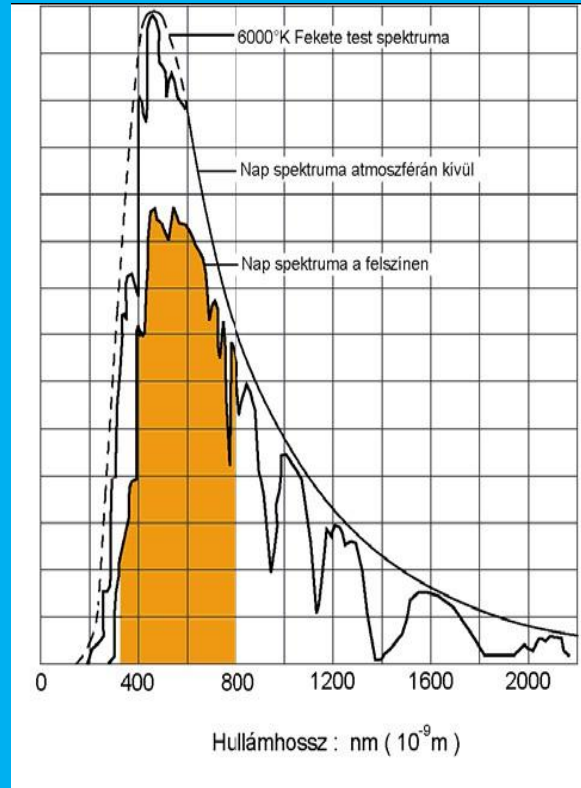
ahol h a Planck-állandó: $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$



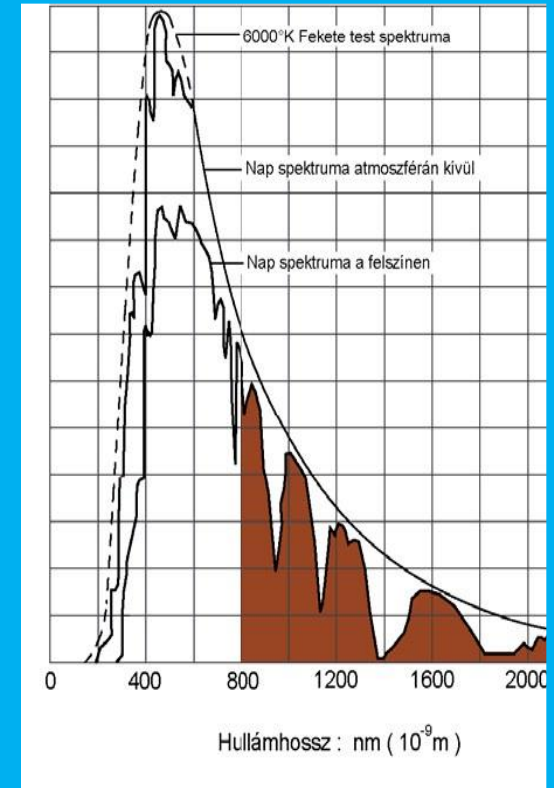
A napsugárzás spektrális eloszlása



Ibolyántúli sugárzás



Fény



Hősugárzás

Sugárzás

- Nap felszínének hőmérséklete ~6000K
- **Stefan - Boltzmann törvény:** a sugárzás intenzitása a hőmérséklet negyedik hatványával arányos (A kibocsátott intenzitás tehát nem függ az anyagi minőségtől, csak az abszolút hőmérséklettől. $\sigma=5,67\text{W/m}^2\text{K}^4$)

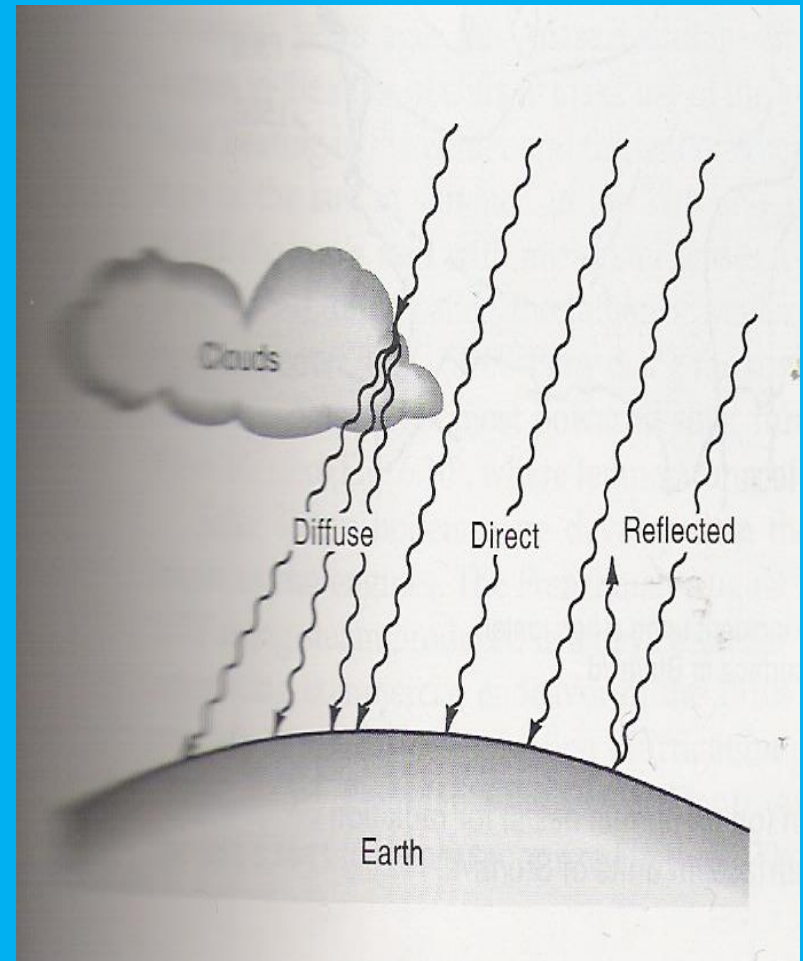
$$E(T) = \sigma T^4$$

- **Wien törvénye:** a maximális intenzitás hullámhossza annál kisebb, minél nagyobb a sugárzó test hőmérséklete

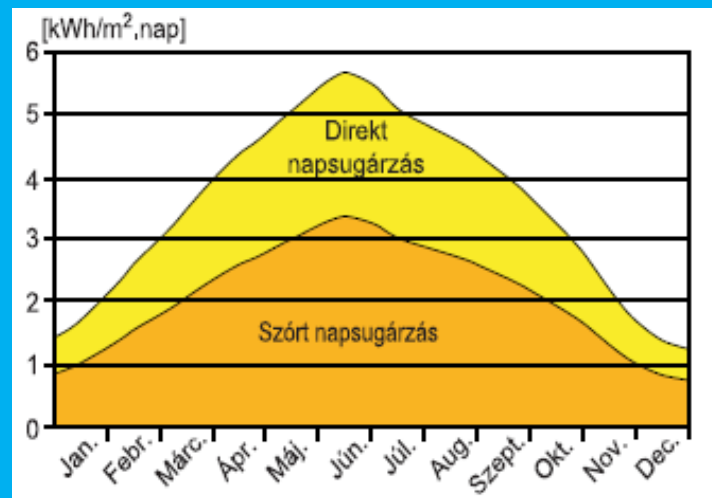
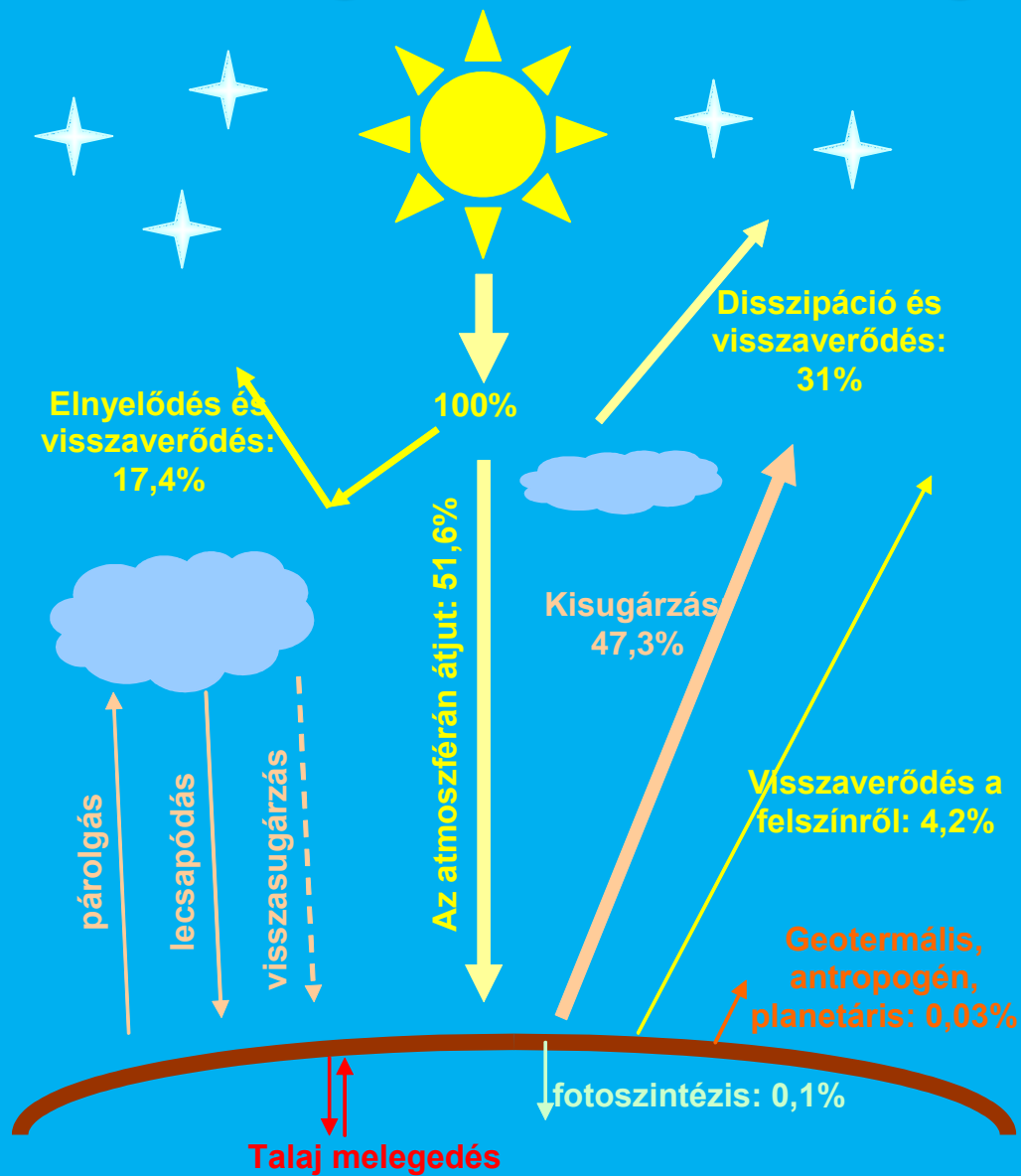
$$\lambda_m * T = \text{const}(3000)$$

Sugárzás

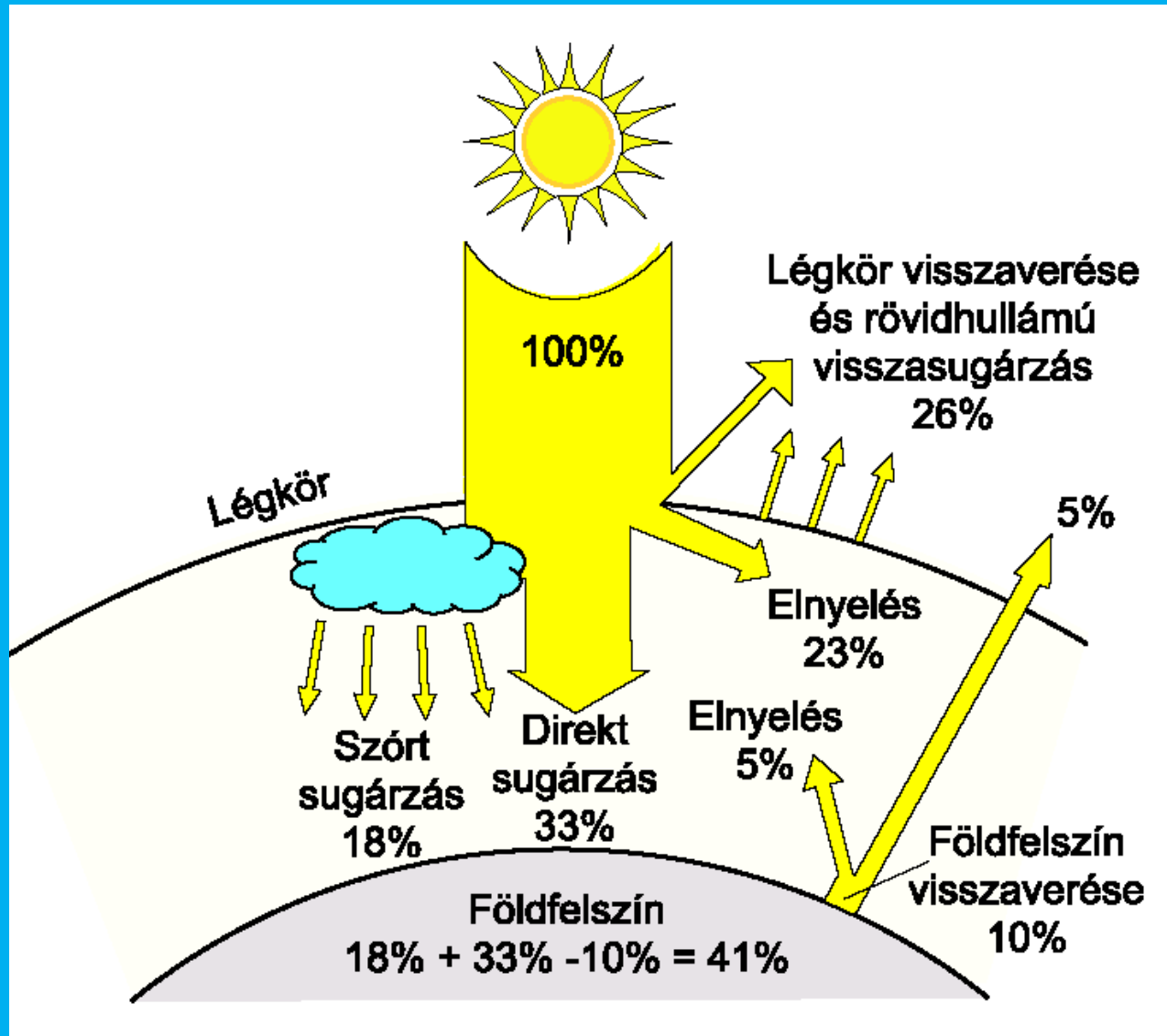
- A sugárzási energia forrása a Napban végbemenő fúziós folyamat.
- A beeső sugárzás a légkör jellemzőitől függ.
- Sugárzási komponensek:
 - Direkt (közvetlen) sugárzás
 - Diffúz sugárzás
 - Visszavert sugárzás



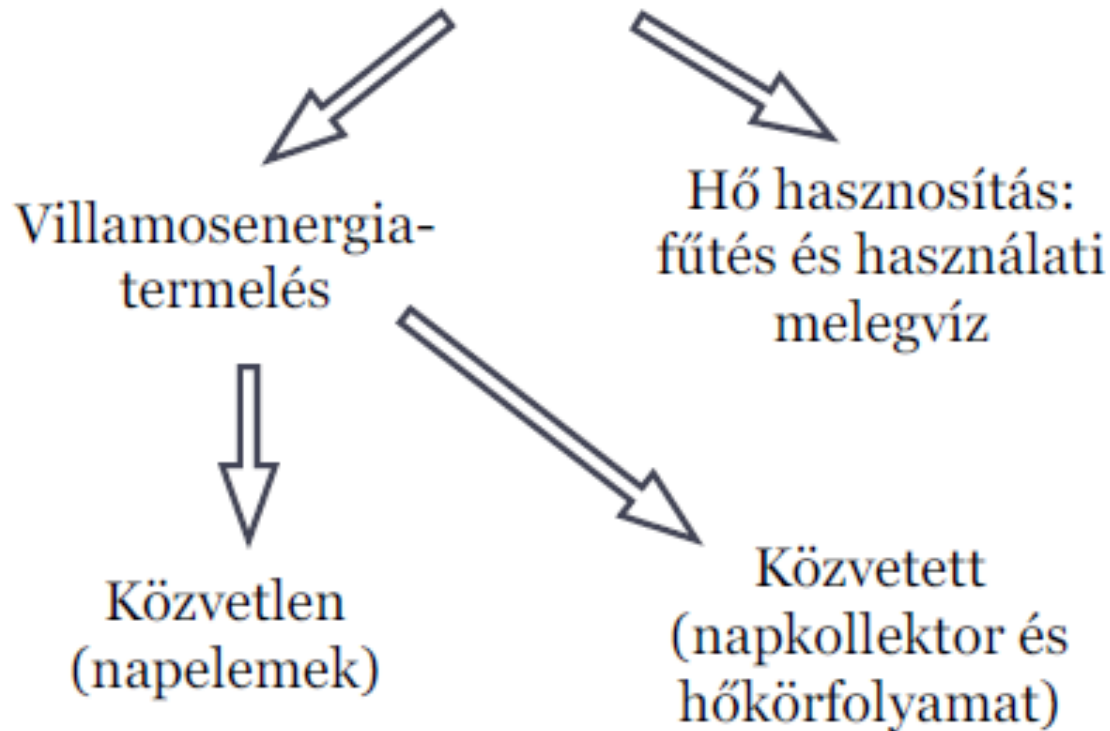
Sugárzás energiámérlege



Sugárzás energiámérlege

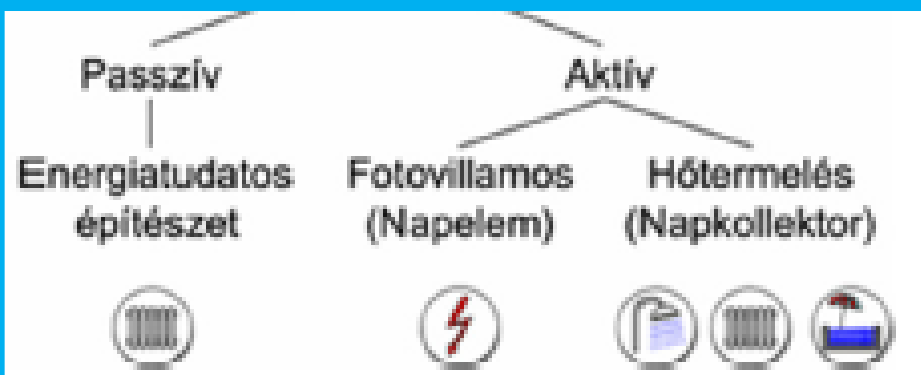


Napenergia hasznosítása



Villamosenergia-termelés napenergiával
Hő-villamos naperőművek
Fotovillamos energiaátalakítók

Hőhasznosítás
Aktív
Passzív

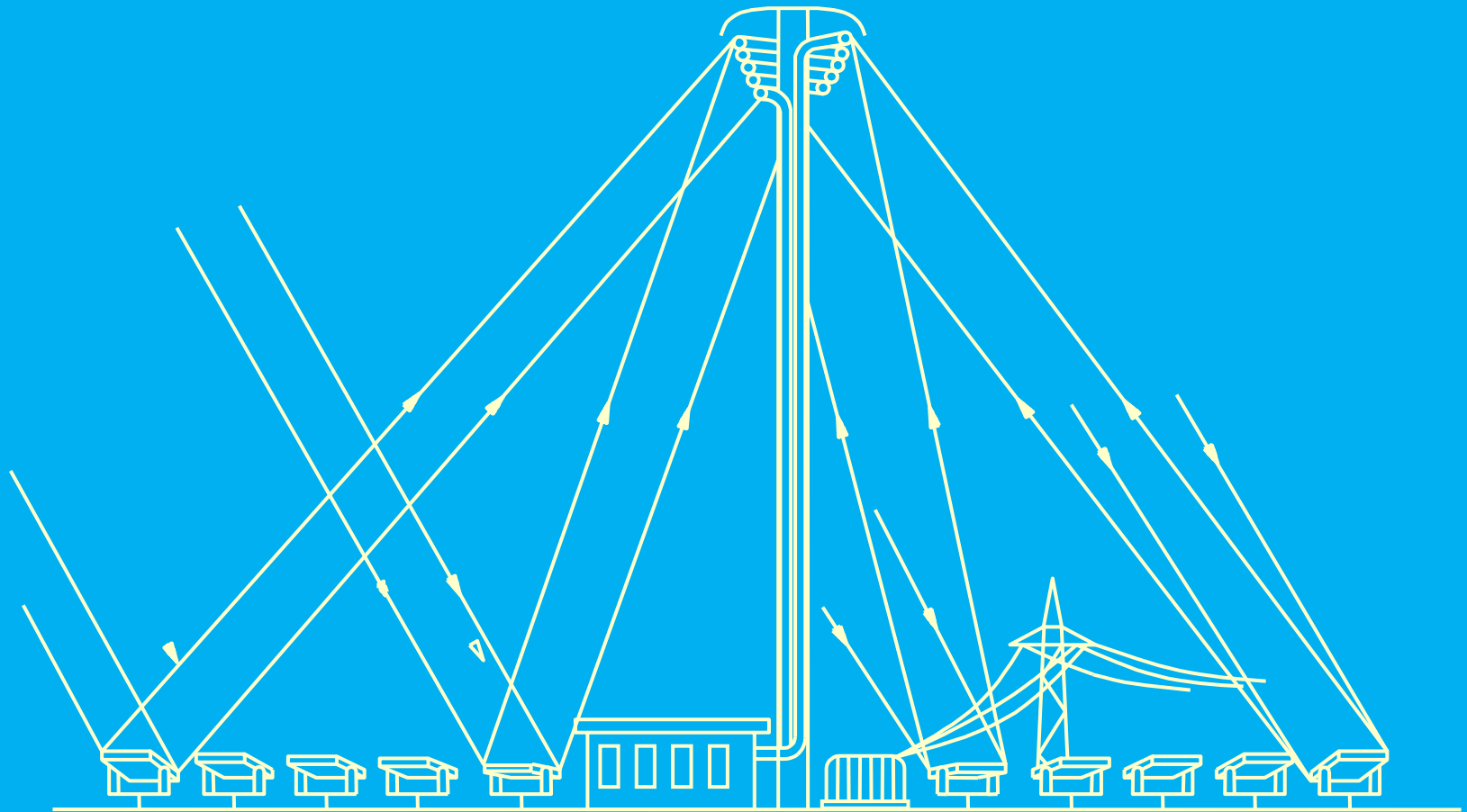


| Közvetlen átalakítás | Szempont | Közvetett átalakítás |
|--|--------------------|--|
| Hatásfok kis mértékben függ tőle, közepes sugárzás esetén legjobb | Sugárzás | Hatásfok jelentősen csökken a sugárzás csökkenésével |
| Hőmérséklet növekedésével hatásfok csökken | Külső hőmérséklet | Kialakítástól függ, általában hatásfok csökken hőm. növ. |
| Nagy, hirtelen ingadozások, de jó termelési adatok | Változékony idő | Kisebb és lassabb teljesítmény ingadozás, kevesebb termelt energia |
| Jobb hatásfok | Szeles idő | Roszabb hatásfok |
| Alacsonyabb | Karbantartásigény | Magasabb |
| Jól becsülhető | Költségek | Jól becsülhető |
| Villamos energia | Tárolási lehetőség | Villamos és hőenergia |

Hő-villamos naperőművek

- Napsugárzást koncentráló típusok
 - Torony
 - Parabolavályús
 - Parabolatányéros
- Egyéb
 - Szolár kémény
 - Naptó

Naperőmű: Központi torony



Heliosztatikus tükröző



Naperőmű: Központi torony



Teljesítmény:

0,5-10 MW

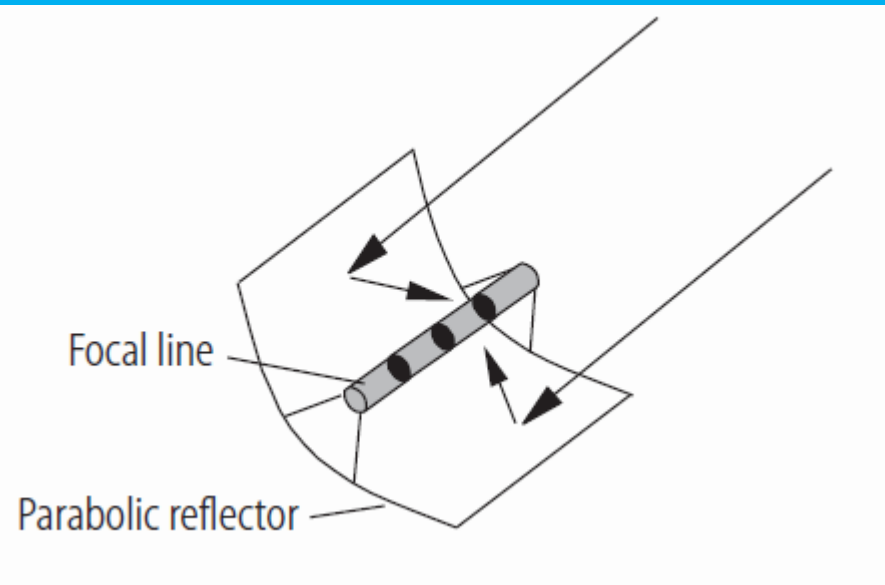
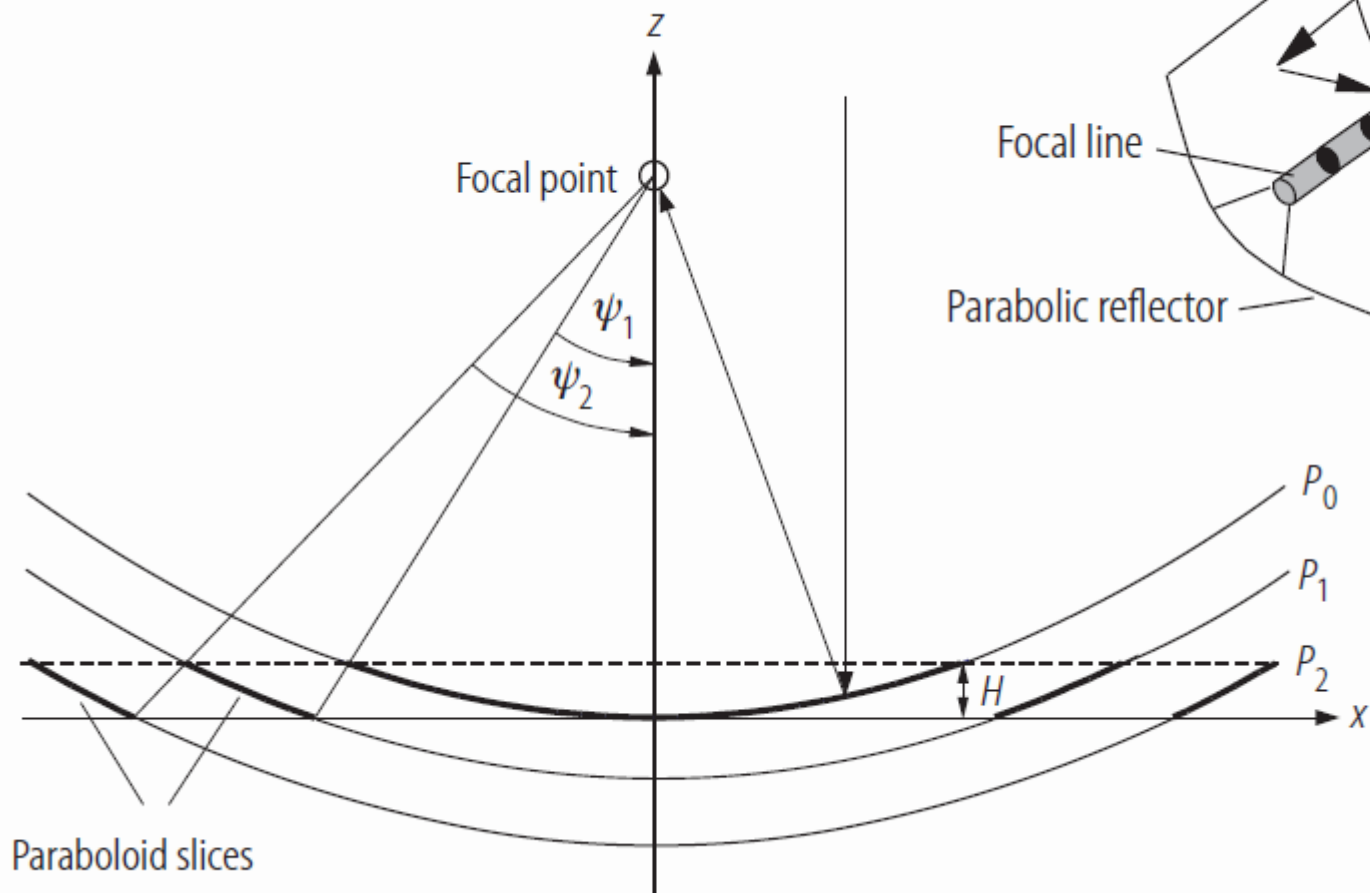
Területigény:

4e-80e nm

Torony magassága:

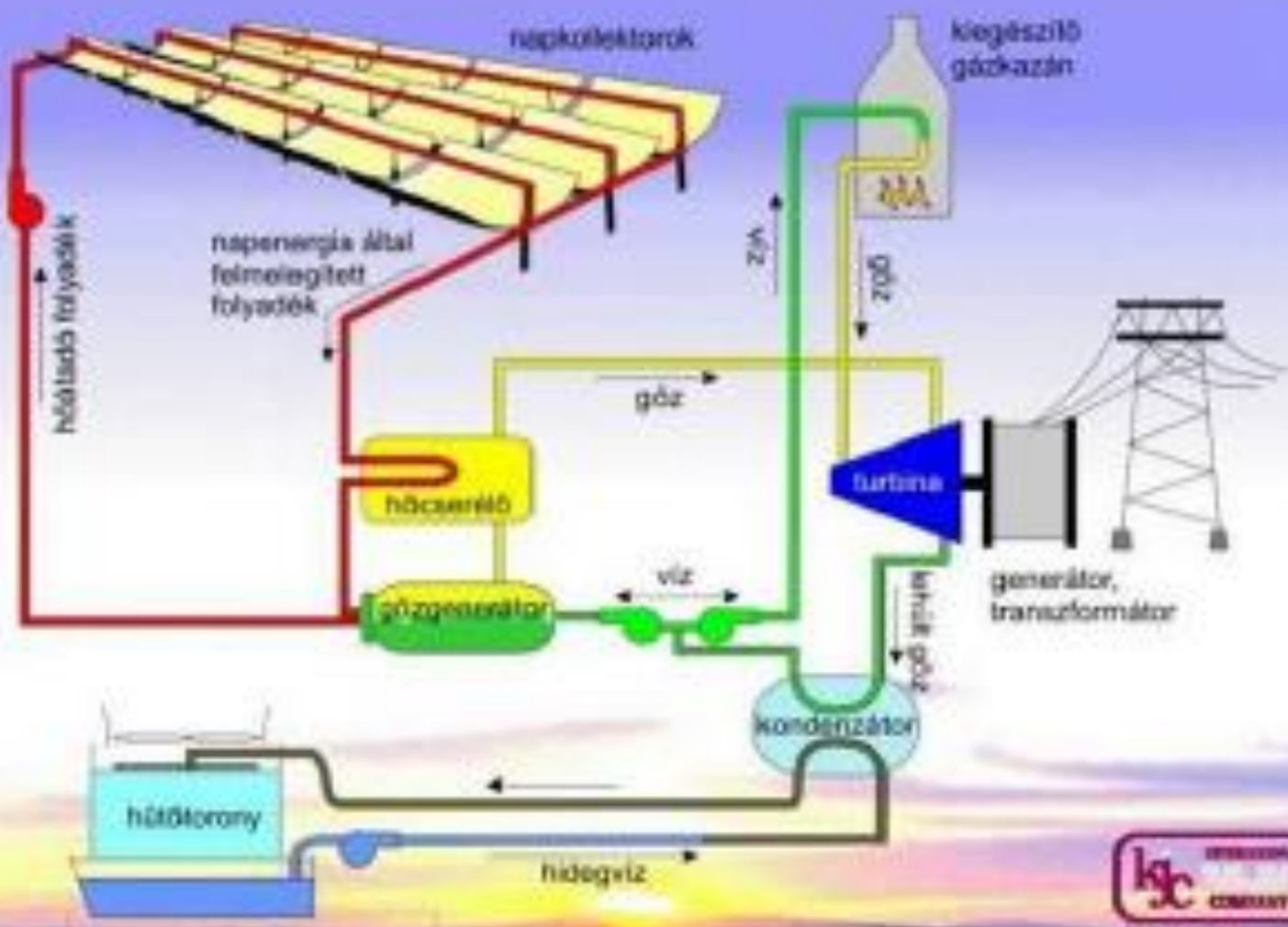
40-100 m

Parabola-vályús rendszer

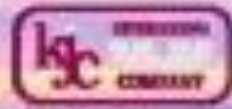


Parabola-vályús rendszer



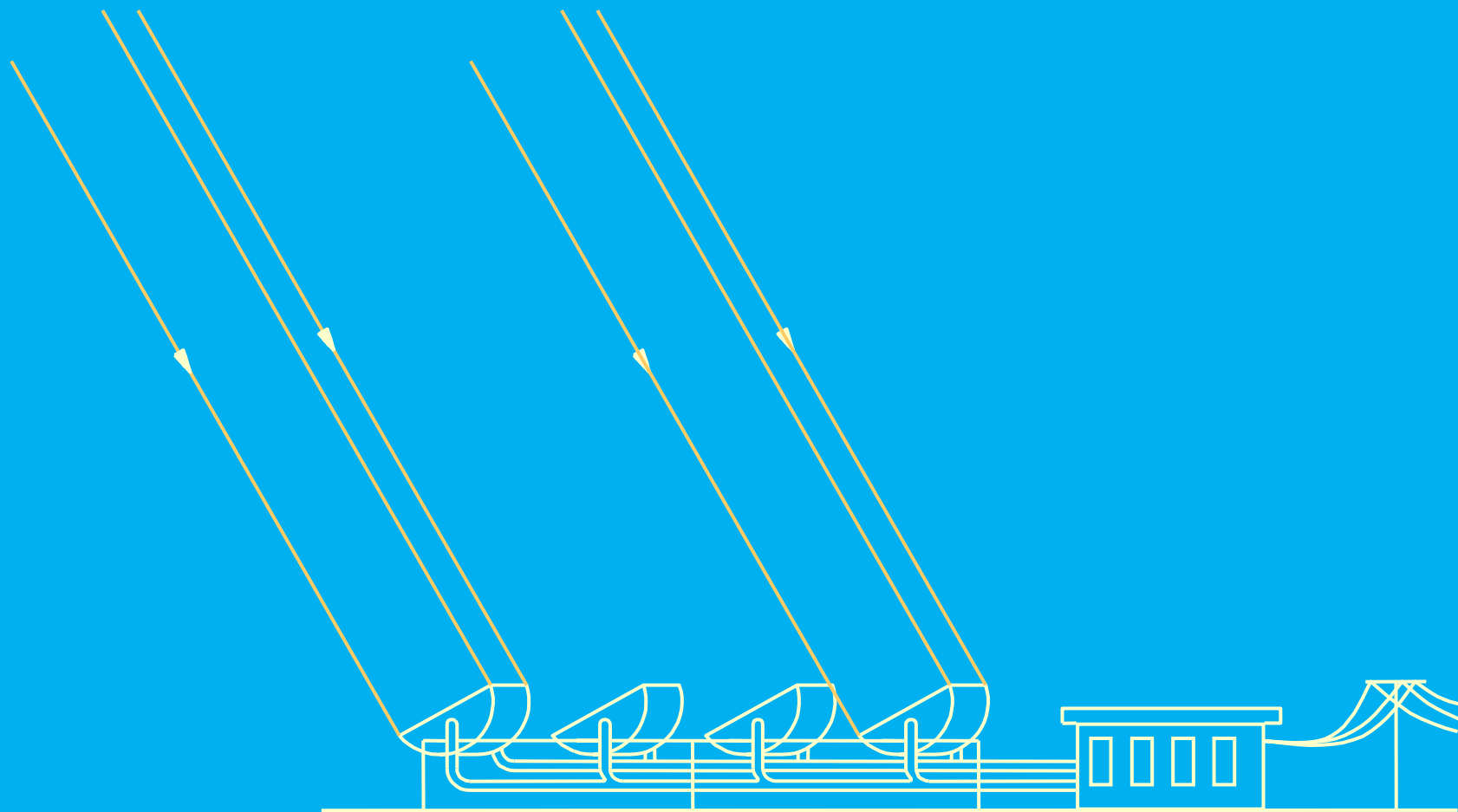


30 MW SEGS Configuration at Kramer Junction, California, USA

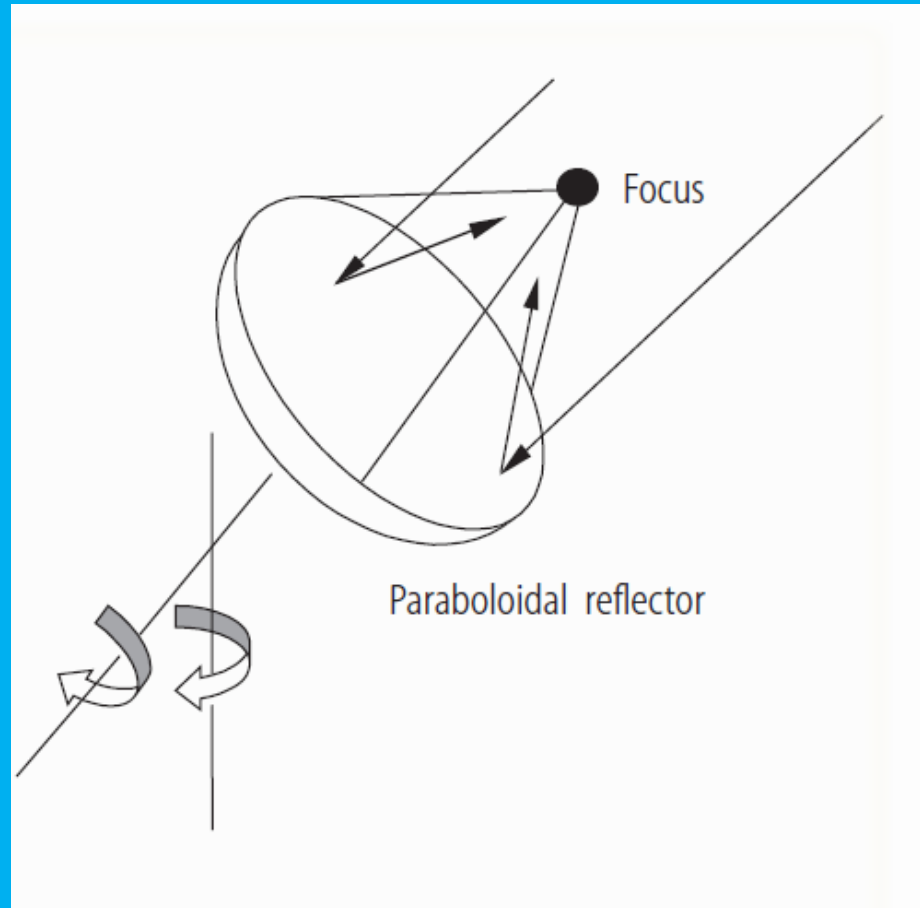


www.hsc.com

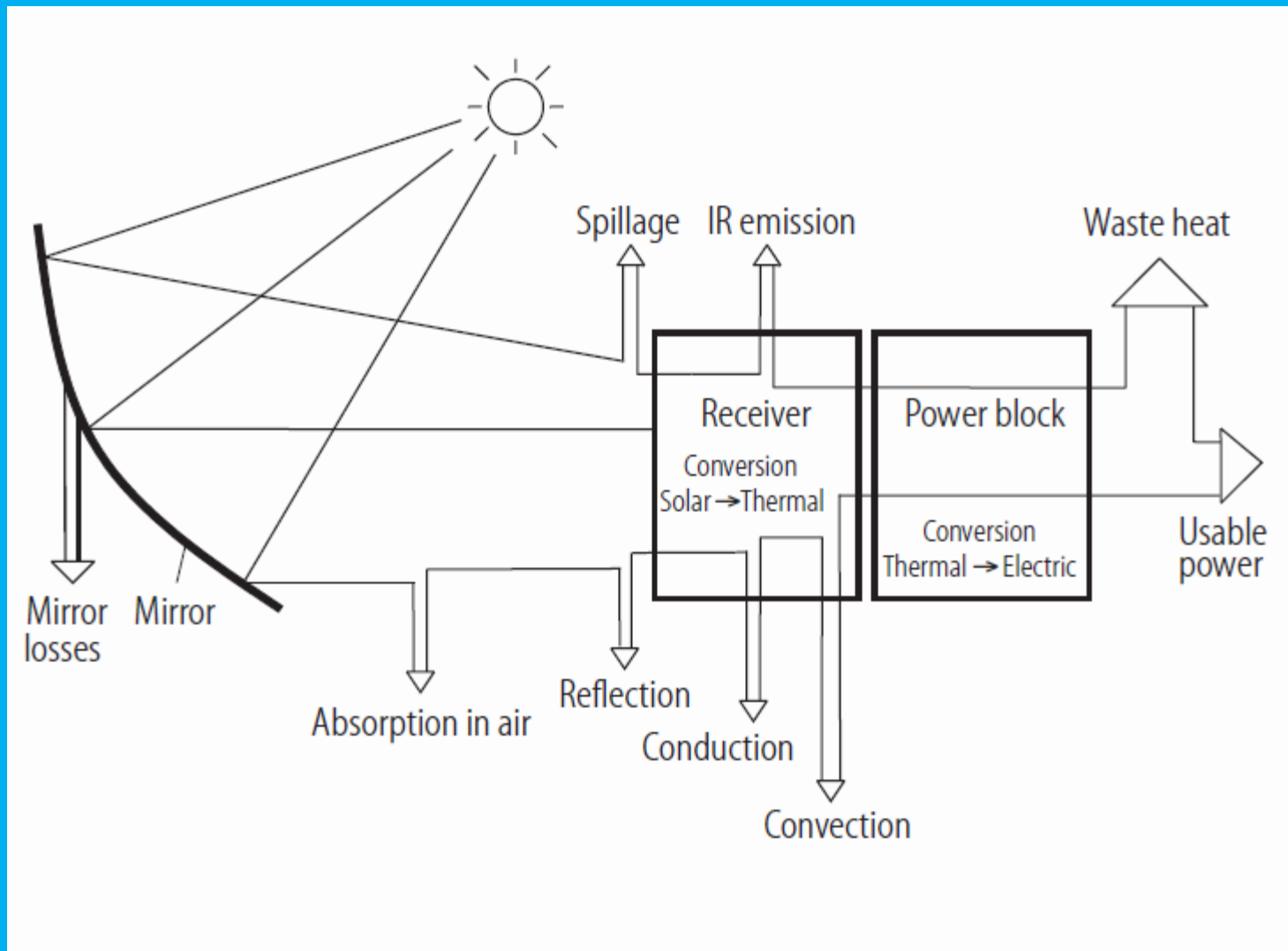
Naperőmű: Szoláris farm



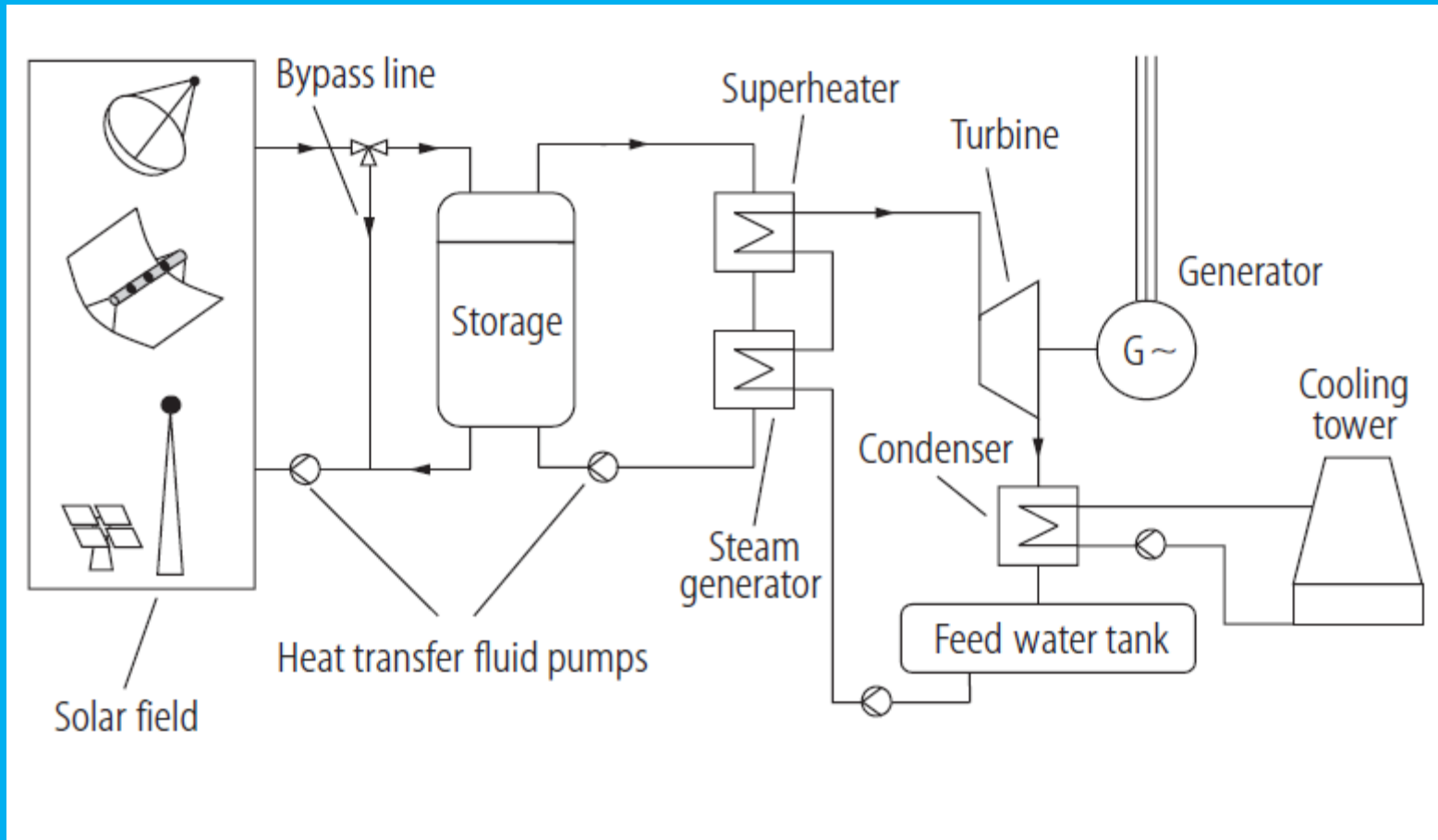
Parabolatányéros naperőmű



Naperőművek általános energiaátalakítási sémája

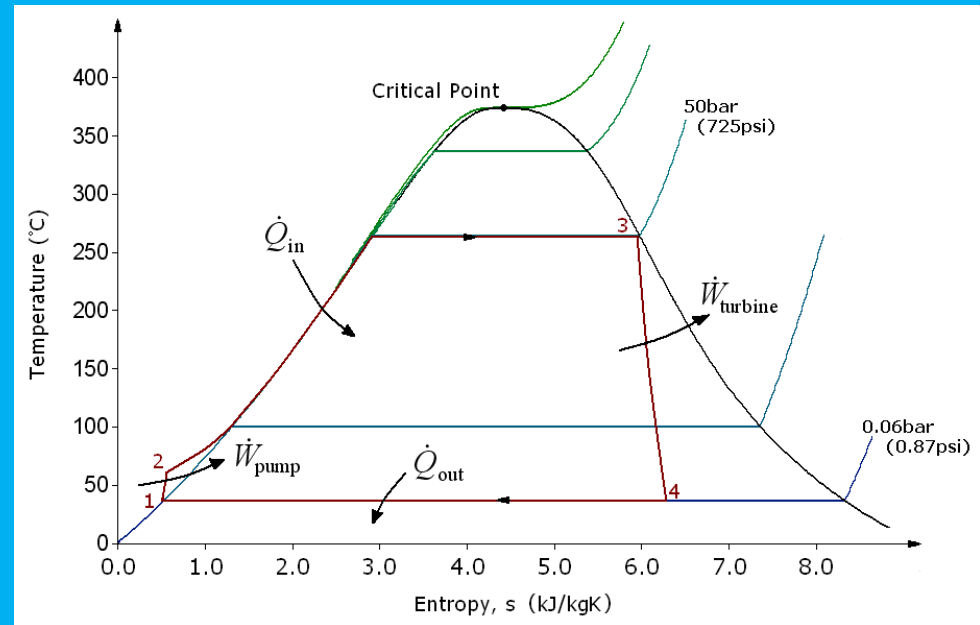
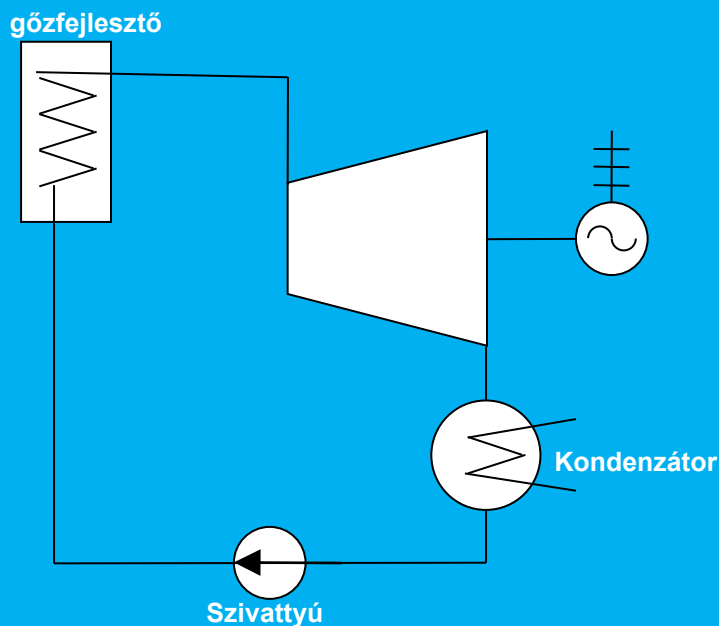


Naperőmű kapcsolási vázlata



ORC (Organic Rankine Cycle)

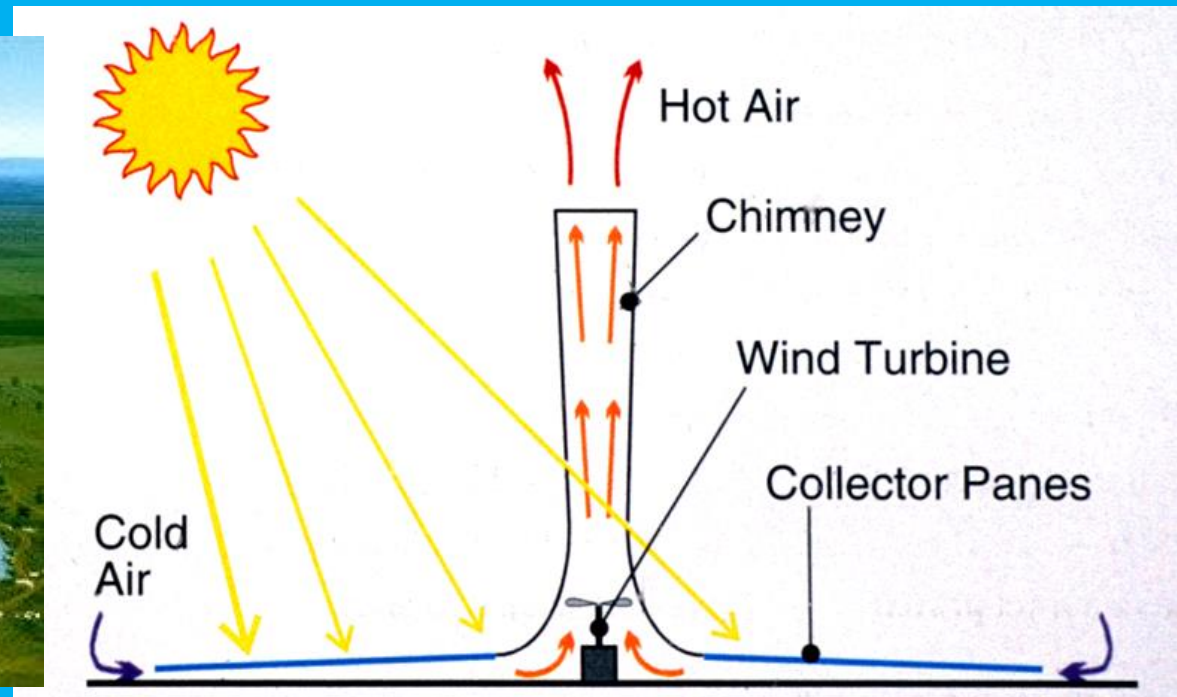
munkaközeg : szervesanyag, pl. izobután



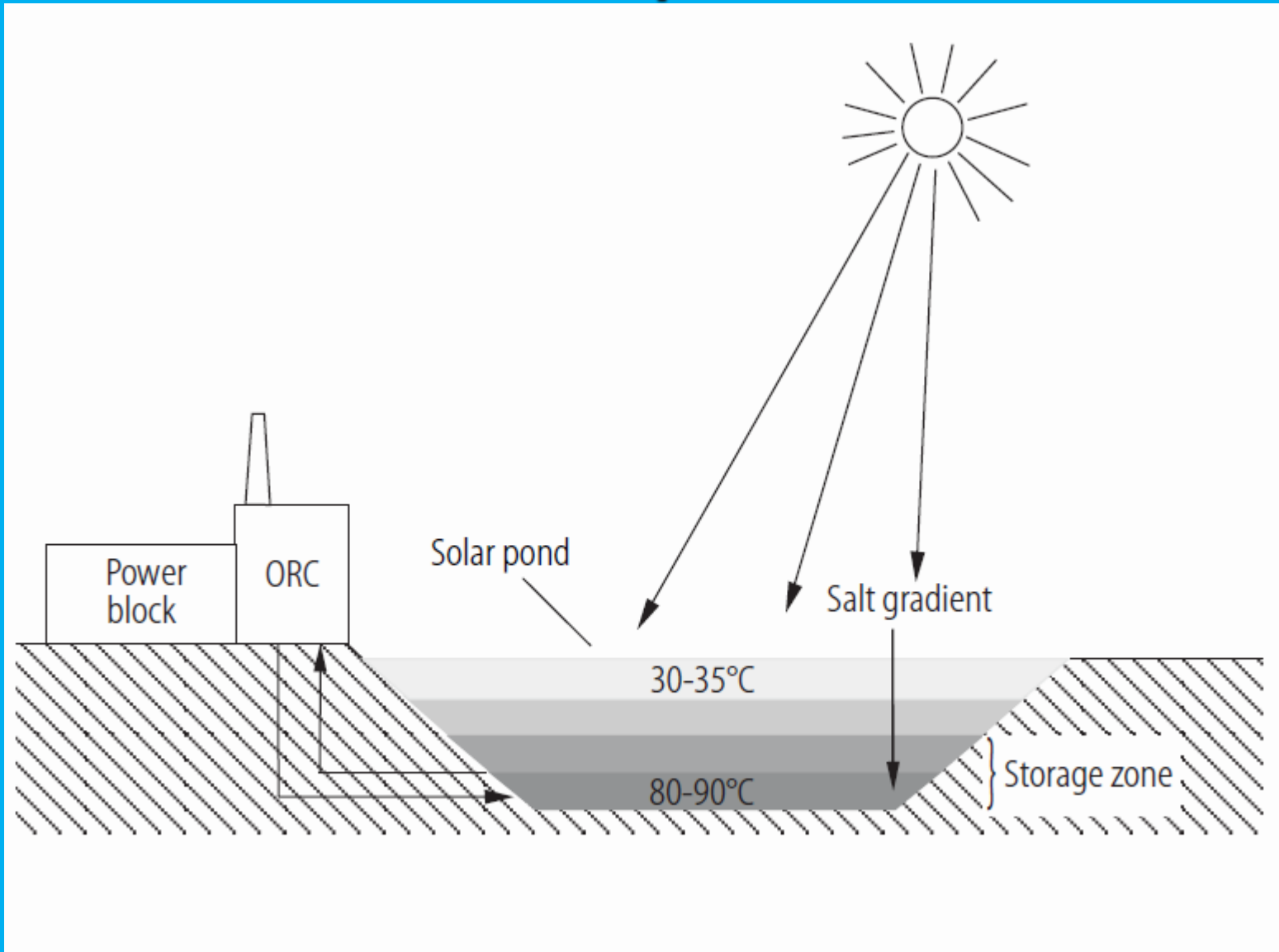
Naperőmű: Napkémény



Napkémény



Naptó



Napelemek főbb típusai

- Amorf
 - Hatásfok: 5-7%
 - Viszonylag olcsó

- Polikristályos

- 13-15%

- Monokristályos

- 14-17%
 - drága

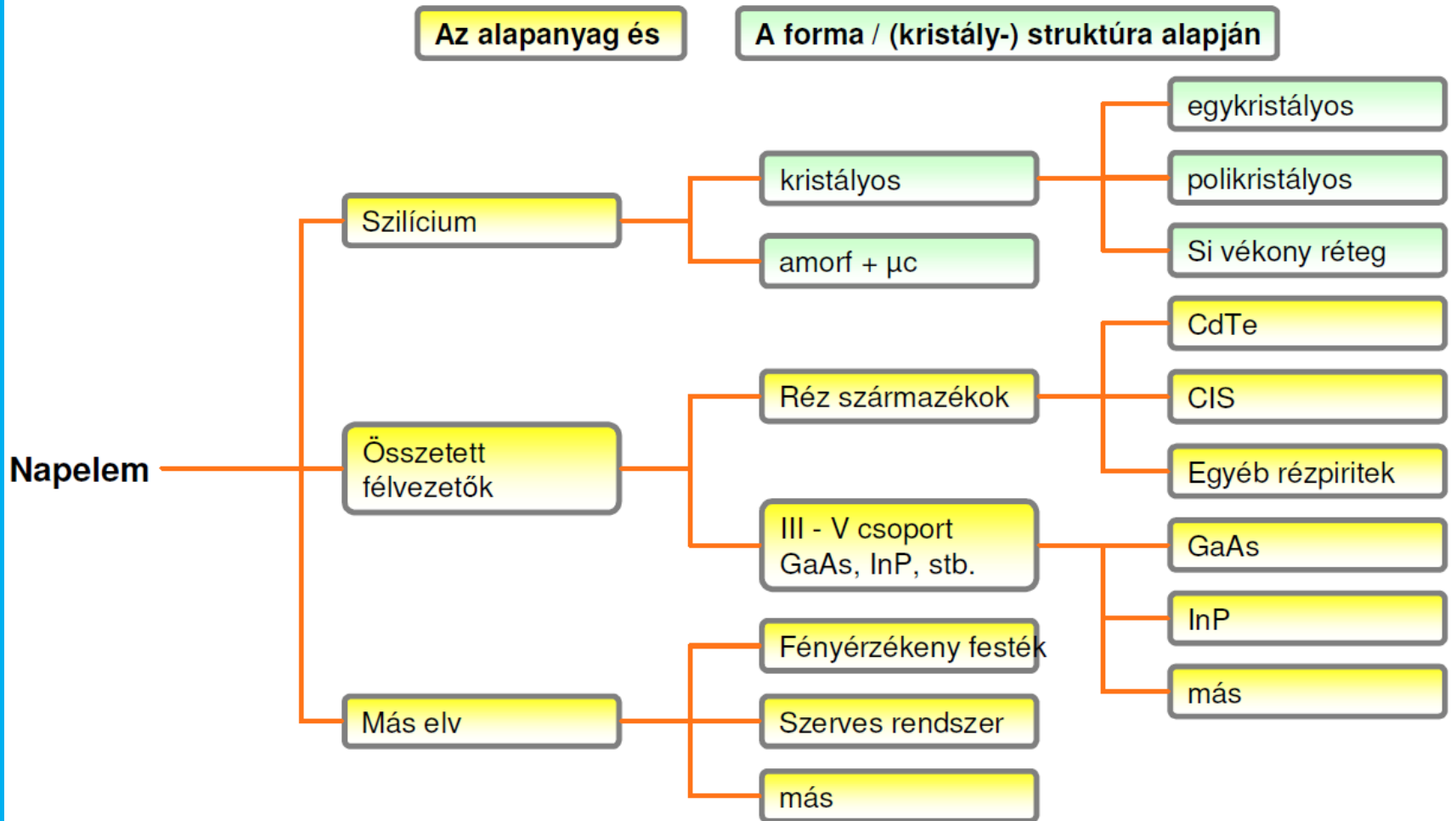
A fotovillamos cella lényegében egy dióda: két különböző tulajdonságú félvezető réteg összekapcsolt egysége.



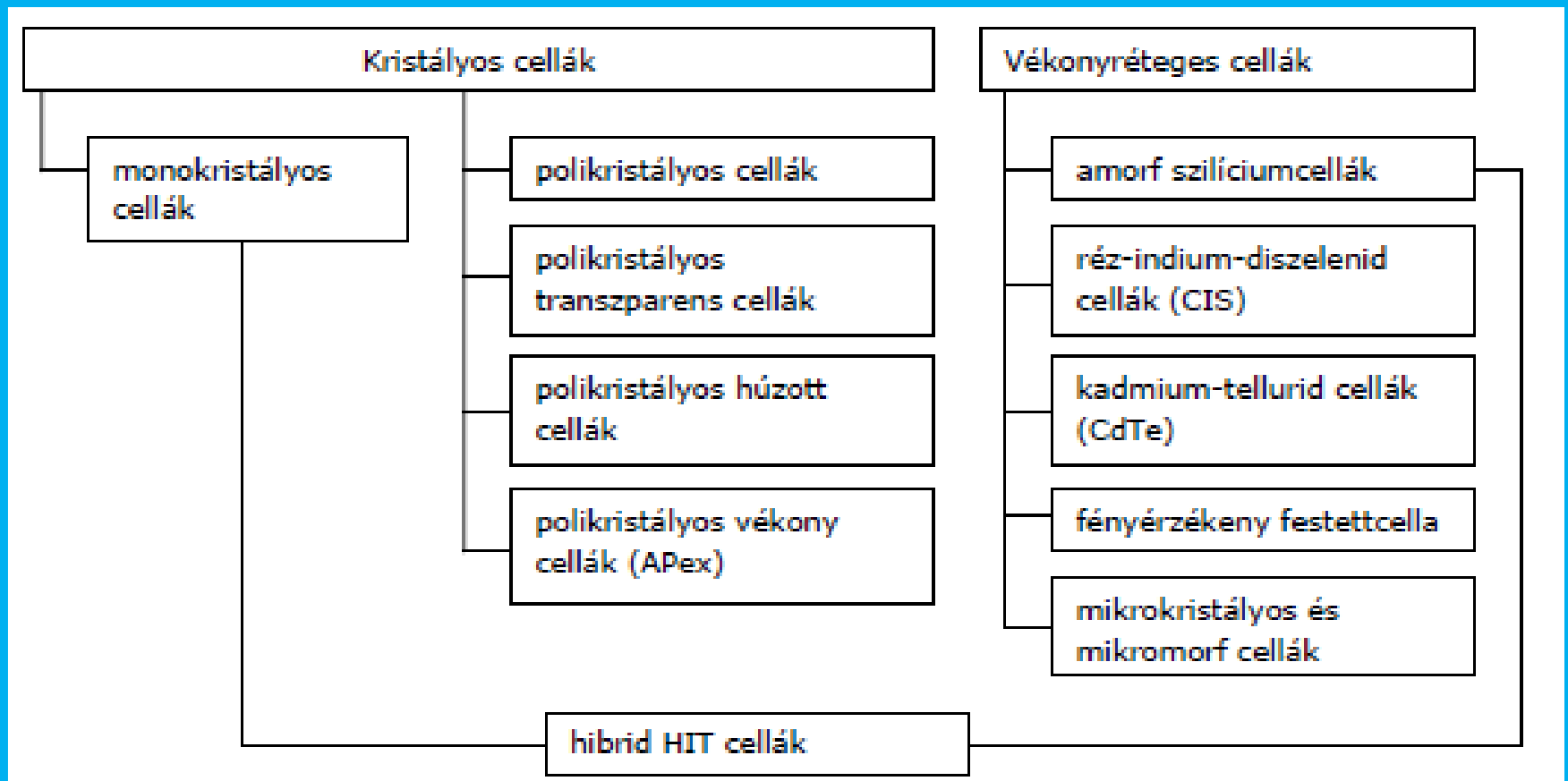
Napelem alapanyagai

- Szilícium (Si) (leggyakoribb):
 - Kristályos (egy-, polikristályos, Si vékony réteg)
 - amorf
- Összetett félvezetők:
 - Gallium-arzenid (GaAs)
 - Kadmium-tellurid (CdTe)
 - Réz-indium-diszelen (CuInSe₂ - CIS)
- Más elv:
 - Fényérzékeny festék
 - Szerves rendszer
 - egyéb

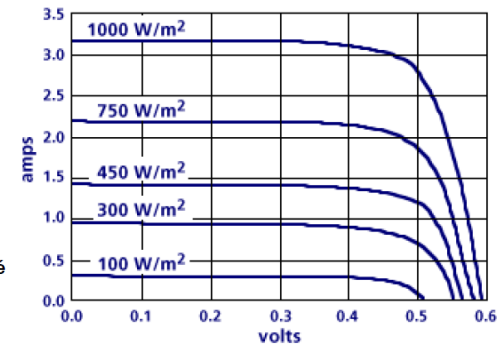
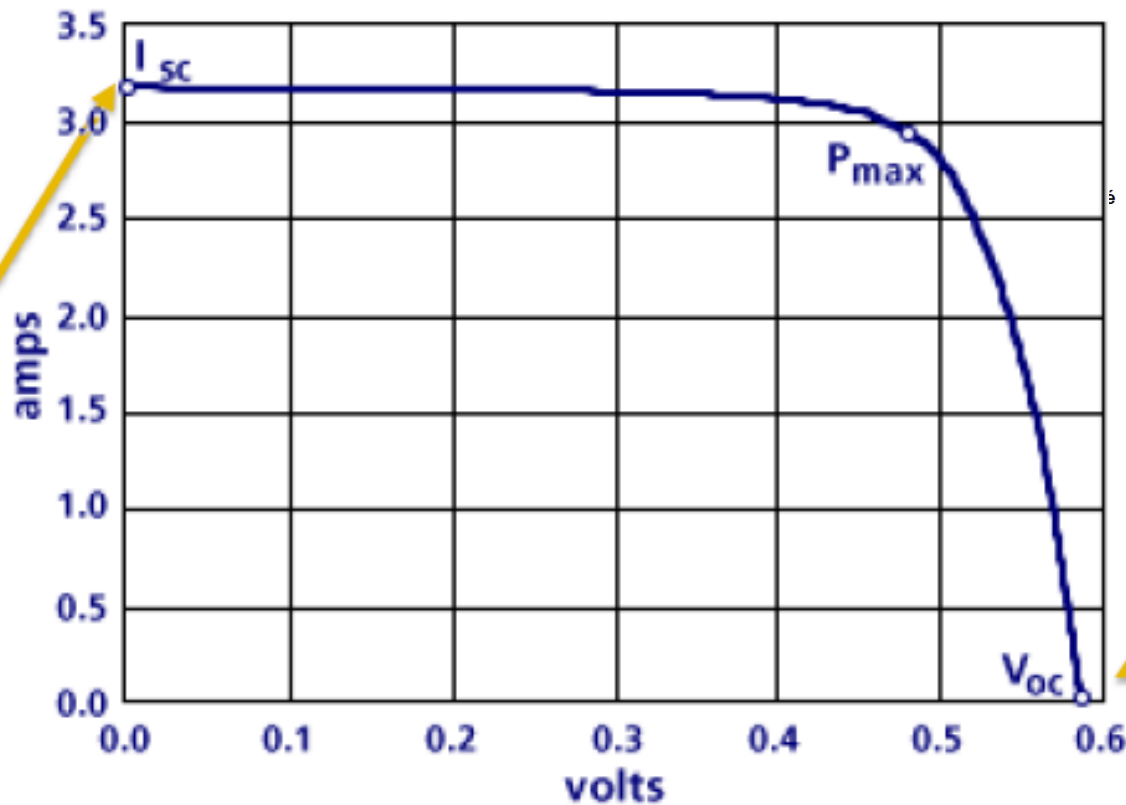
Napelem típusok osztályozása



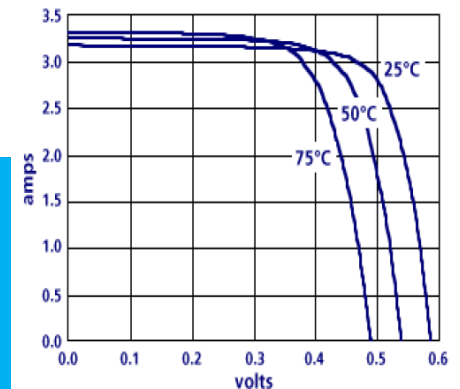
Napelem cellák osztályozása



Rövidzárlati áram

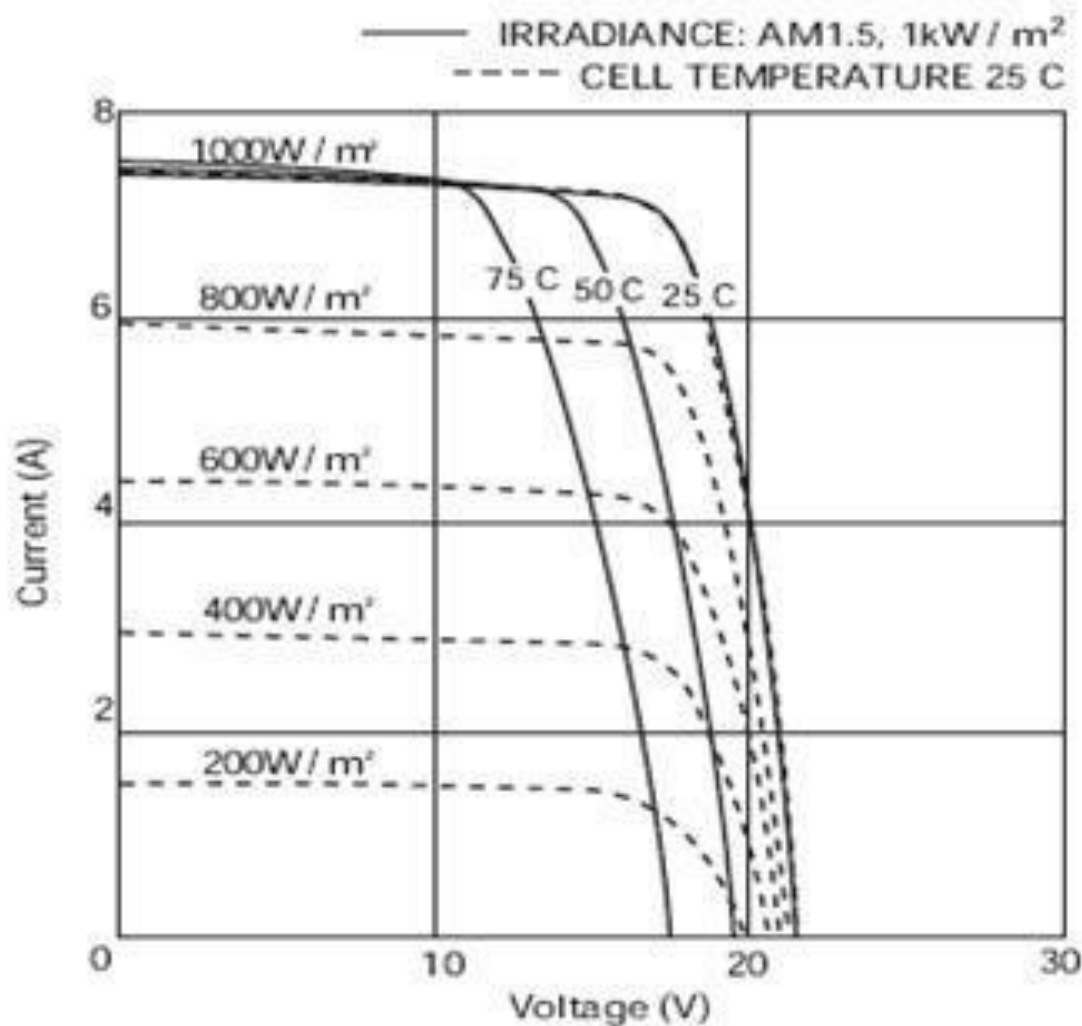


Nyitott áramköri feszültség

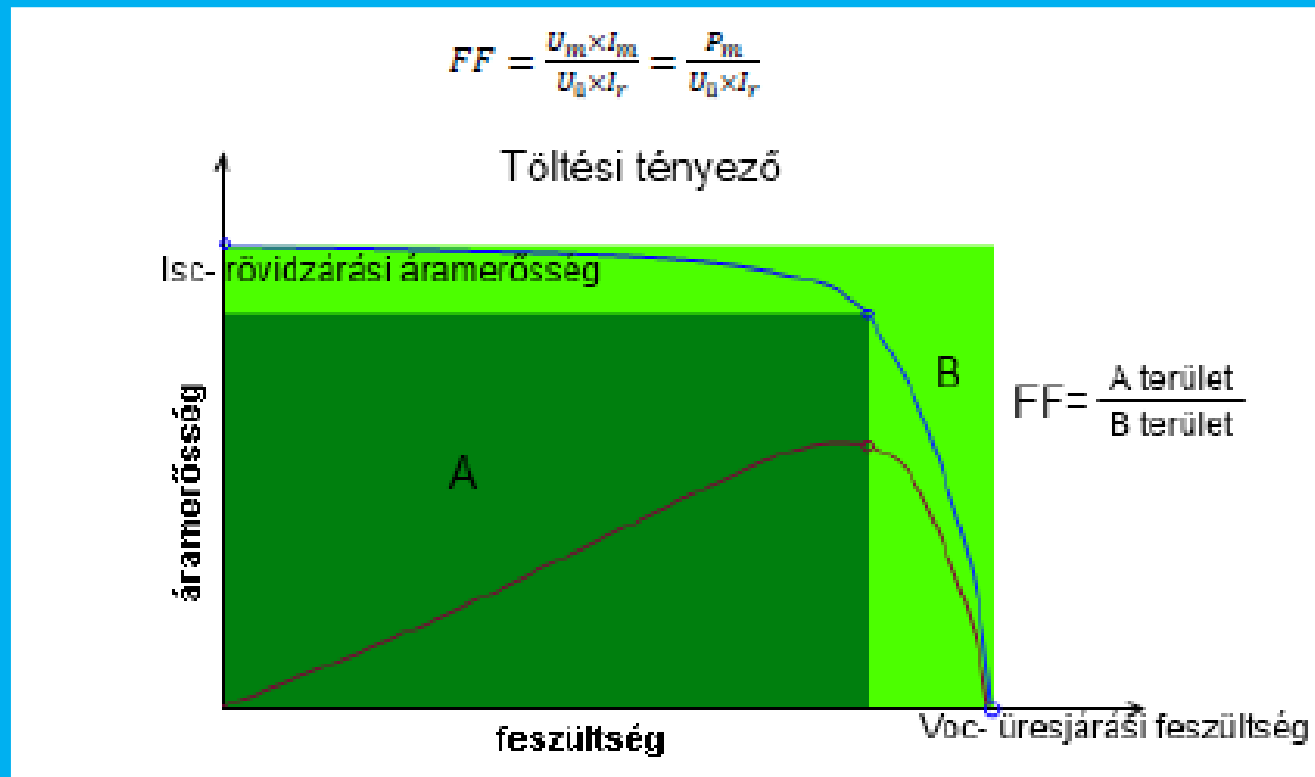


Környezeti hatások

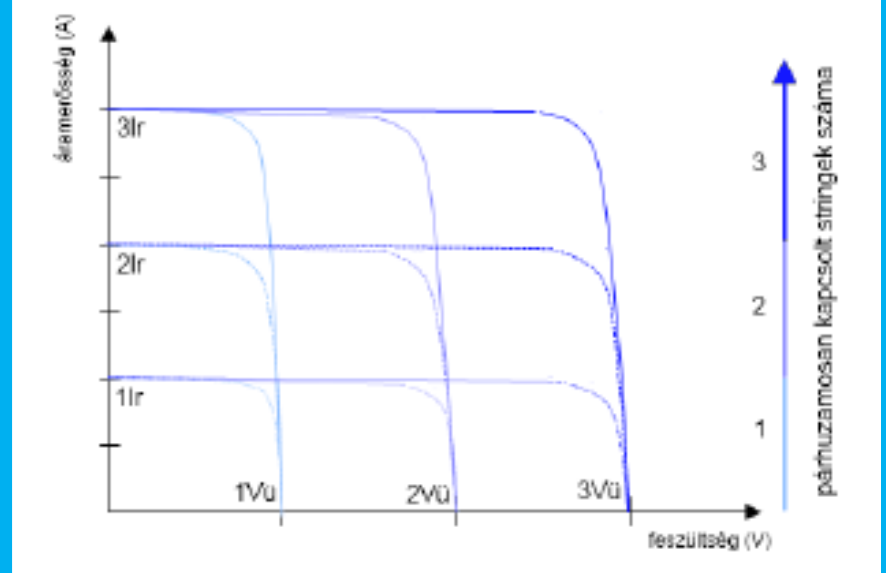
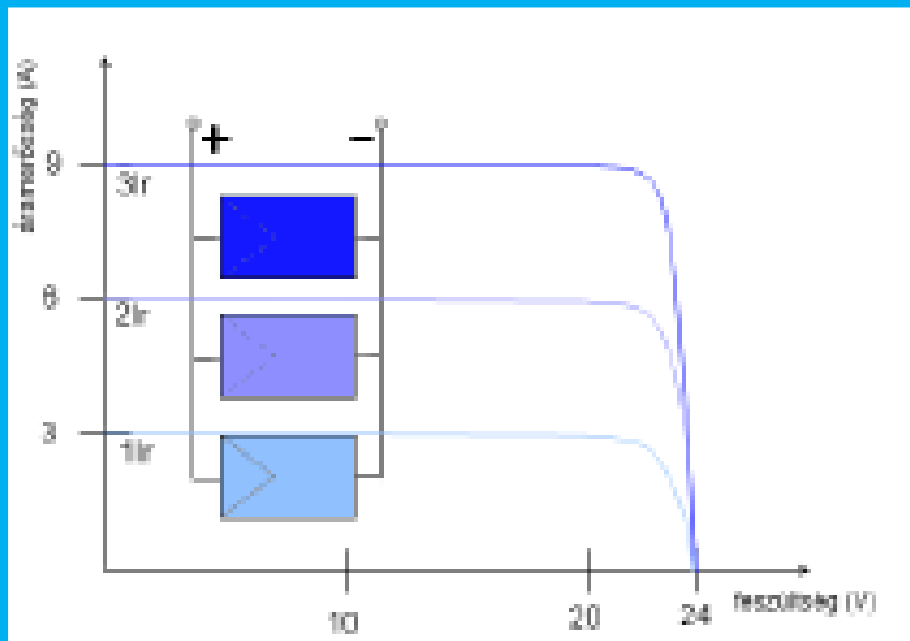
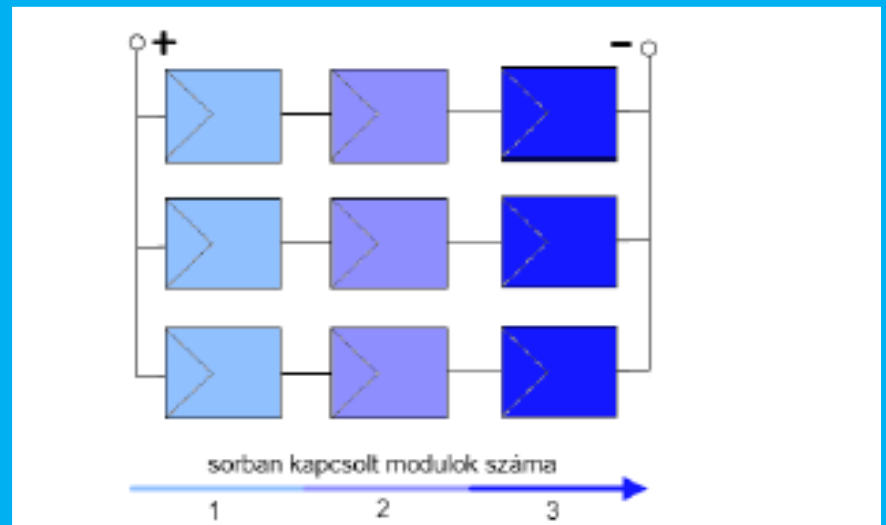
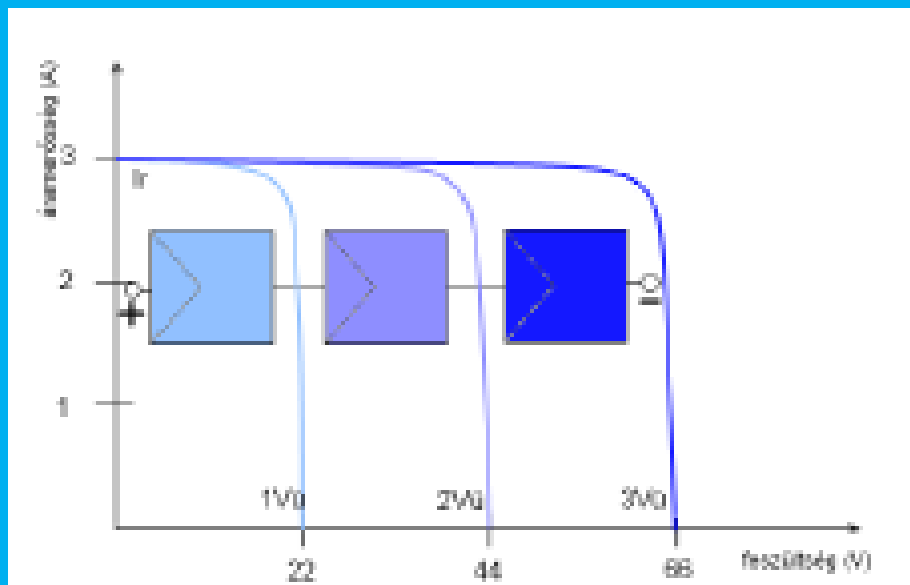
- Hőmérséklet
- Besugárzás



Cella jelleggörbe, kitöltési tényező



- maximális teljesítmény munkapontja (MPP, maximum power point). A napelemcella maximális teljesítményt (P_m) ad le, melyet a munkaponti áram (I_m) és a munkaponti feszültség (U_m) határoz meg;
- rövidzárási áram (I_r): egy 10×10 -es kristalyos cellánál kb. 3 A. Az I_r 5-15%-kal nagyobb, mint az I_m ;
- üresjárási feszültség (V_0): jellemző értéke 0,5-0,6 V, amorf celláknál 0,6-0,9V.



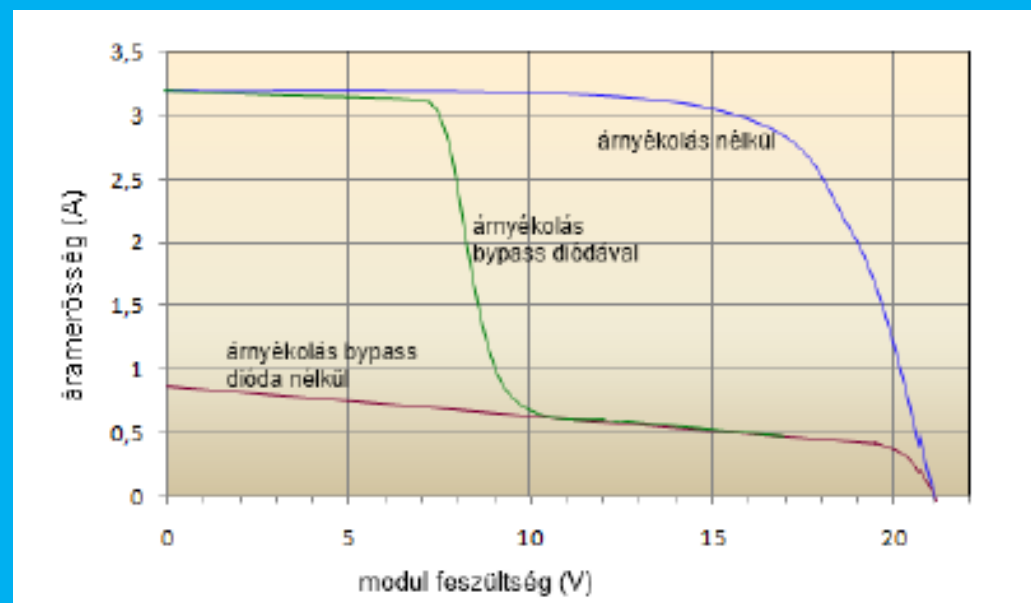
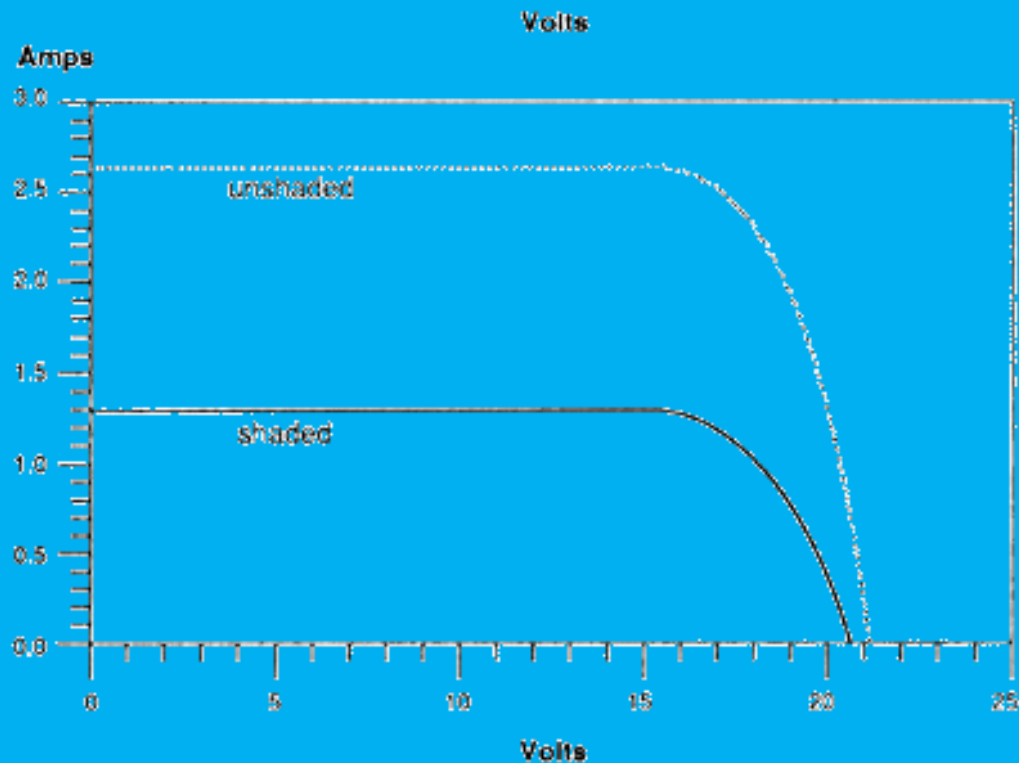
Árnyékolás

Egyetlen cella
leárnyékolásának
hatása a modulra!

(sérült cella azonos
következmény-hez
vezet) =>>

10-20 cellánként
bypass dióda,

!enélkül az árnyékolt
cella határozza meg
az áramerősséget!



Napelem hatásfoka

A napelem hatásfoka azt jellemzi, hogy a napelem a beérkező napsugárzást milyen arányban képes hasznosítani.

$$\eta = \frac{P_m}{A \times E} = \frac{FF \times U_0 \times I_T}{E \times A}$$

P_m a maximális teljesítmény (Wp),
 A a napelem felülete (m^2),
 E a beeső napsugárzás (W/m^2).

$$\eta_n = \eta_{STC} = \frac{P_m(STC)}{A \times 1000 W/m^2}$$

Ökölszabály:

1kWp = kb. 10m² napelemfelület

(inverter, tartószerkezet, tranzformátor nélkül!)

STC (standard test conditions) szabványos mérési körülmények, cellahőmérséklet 25C, függőleges sugárzás 1000W/m², AM1,5 légköri csillapítás

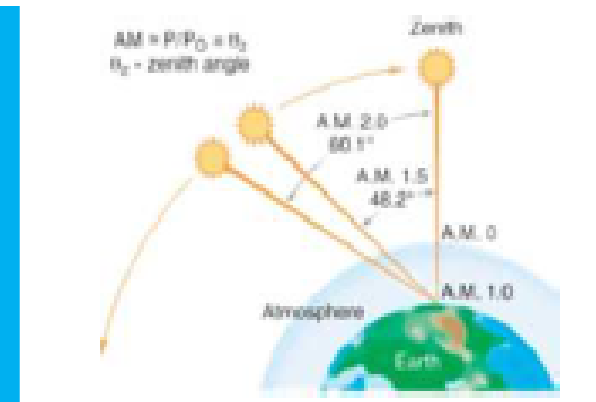
Atmoszferikus hatások

AM (= Air Mass):




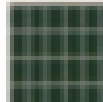

AM0 atmoszférán keresztüli gyengülés nélküli sugárzás, 1367 W/m² (szolar konstans)

AM1 földfelszínre merőlegesen érkező sugárzás

AM1,5 kb. $\alpha=48^\circ$ -os beeső sugárzás



Különböző rendszerek területigénye

| Cella anyaga | Területigény 1 kWp-hez | |
|-----------------|-------------------------|---|
| Monokristályos | 7 – 9 m ² |  |
| Polikristályos | 7,5 – 10 m ² |  |
| CIS | 9 – 11 m ² |  |
| CdTe | 12 – 17 m ² |  |
| Amorf szilícium | 14 – 20 m ² |  |

Várható hozam

Magyarországon déli tájolású, 40 fokos dőlésszögű felületre kb. 1400kWh/év napsugárzás érkezik!

Így 1kWp névleges teljesítményű, 0,8 körüli teljesítmény arányú (=PR=performance ratio= $E_{\text{valódi}}/E_{\text{ideális}}=0,70-0,85$) rendszer kb. 1100-1200 kWh/év villamos energiát termel!

(terület, dőlésszög, cellafajta, tájolás, hőm.)

A napsugárzás-mérések alapműszerei

Napfénytartammérő, Campbell-Stokes-féle

pirheliométer (napkorong irányából érkező direkt sugárzás intenzitását tudjuk meghatározni),

piranométer (az érzékelő által meghatározott sík feletti térből érkező összes rövidhullámú sugárzás (globálsugárzás) mérésére szolgál), (A meteorológiai állomásokon ebből a műszerből található a legtöbb. Ez a mérőeszköz egy árnyékoló gömb segítségével a diffúz sugárzás mérésére alkalmas, míg a műszert a földfelszín felé fordítva a mérések a felszínről reflektált sugárzást adják meg. A reflex- és globálsugárzás aránya a felszín albedója.)

pirgeométer (irányítottságtól függően a légkör hosszuhullámú visszasugárzását, vagy a felszín hosszuhullámú kisugárzását méri).



Primer energiahordozók csoportosítása kimerülésük alapján

Kimerülő energiahordozók

- kémiai tüzelőanyagok:
 - szén, kőolaj, földgáz, egyéb,
- nukleáris tüzelőanyagok:
 - fission, fusion,
- *geotermikus energia*
- exothermic reactions

Megújuló energiahordozók

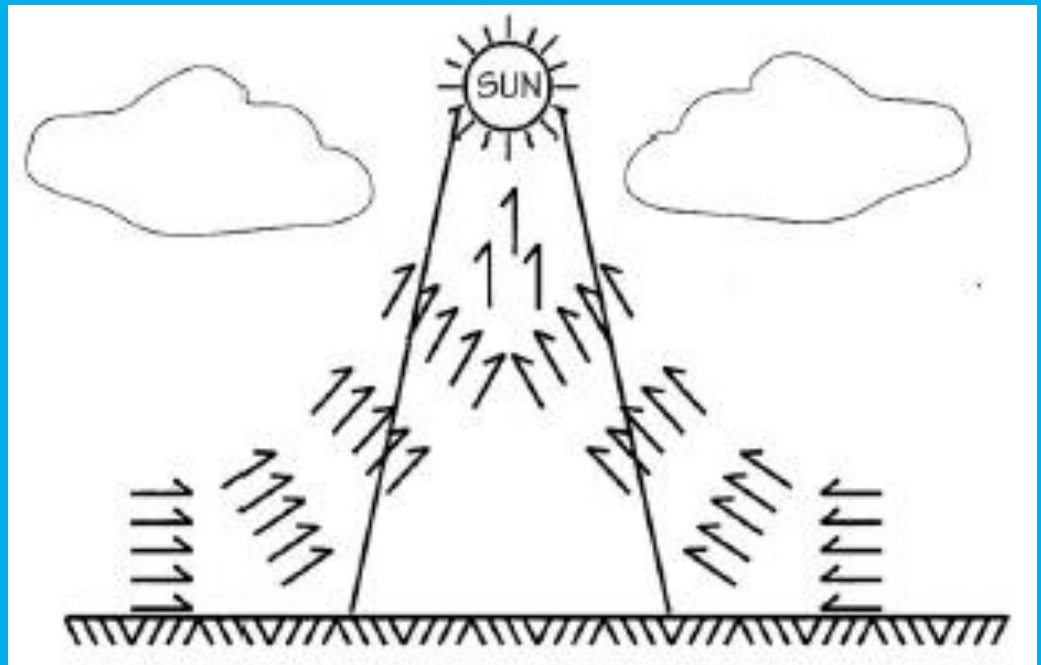
- napenergia: napsugárzás, fotosynthesis, **szél**, stb.
- ***szél***,
- *bioenergia: izomerő, biomassza, mikrobiológiai reakciók,*
- gravitáció: tidal, wave,
- hullámzás energiája.

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.

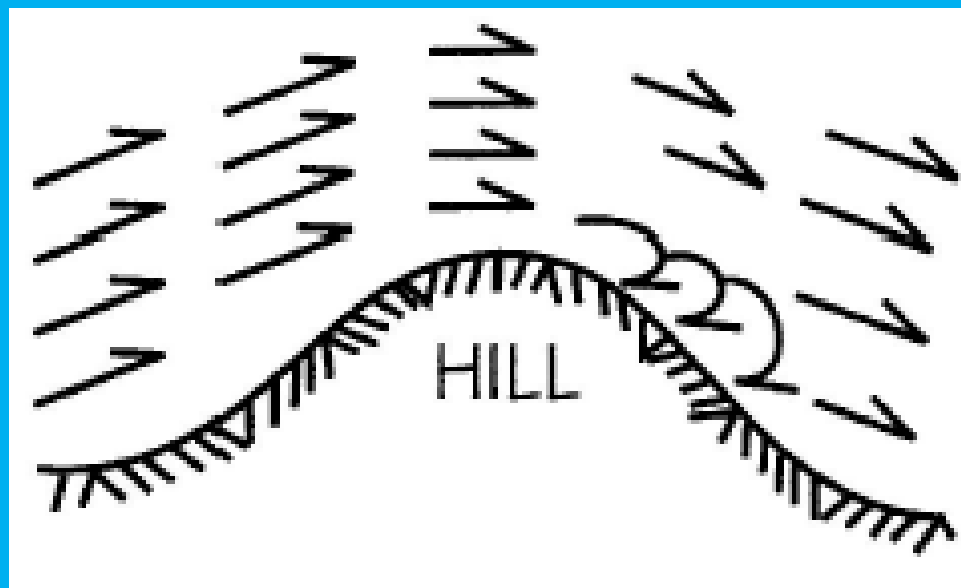


Szél mint energiaforrás

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

Természetes akadályok (domborzati viszonyok)

Mesterséges akadályok (építmények)



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

Áramlástan alapfogalmak:

Szélerőgép felületén időegység alatt átáramló légtömeg:

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

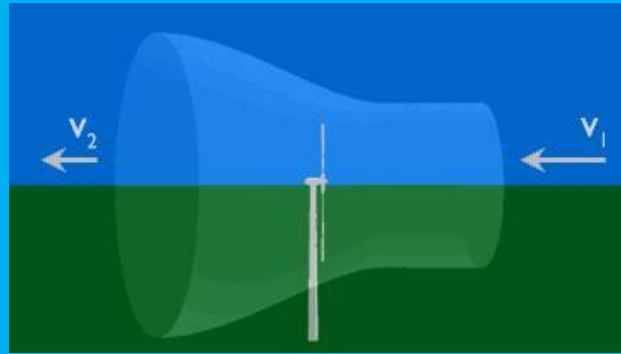
A - szélerőgép aktív felülete, m^2

ρ - a levegő sűrűsége, kg/m^3

v_0 - a szélkerék előtti zavartalan szélesebesség, m/s

Sebesség- és nyomásviszonyok

A szélerőgép 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):

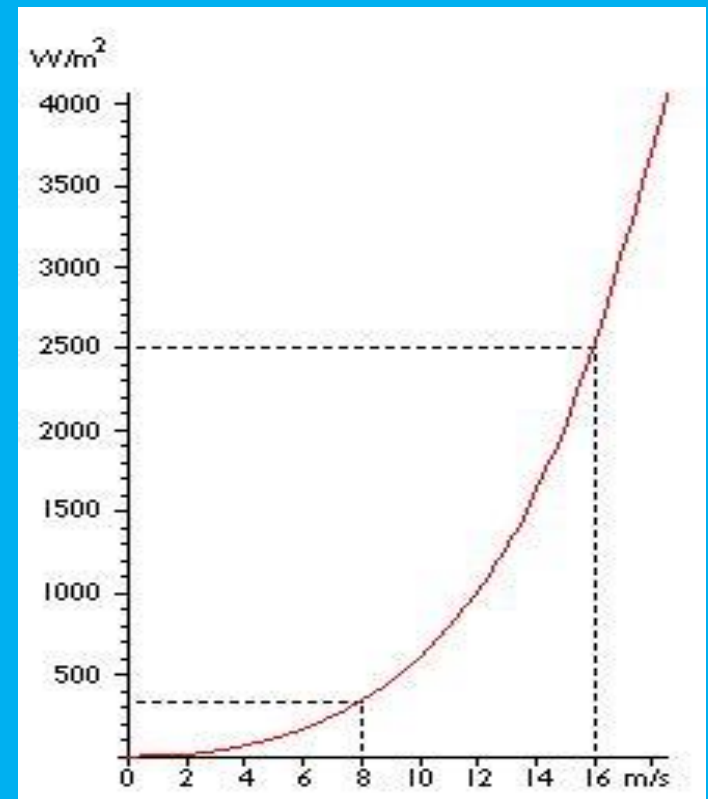
A - a széllel szembeni felület, m^2

ρ - a levegő sűrűsége, kg/m^3

v_0 - a szélkerék előtti zavartalan
szélsébség, m/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!

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!)

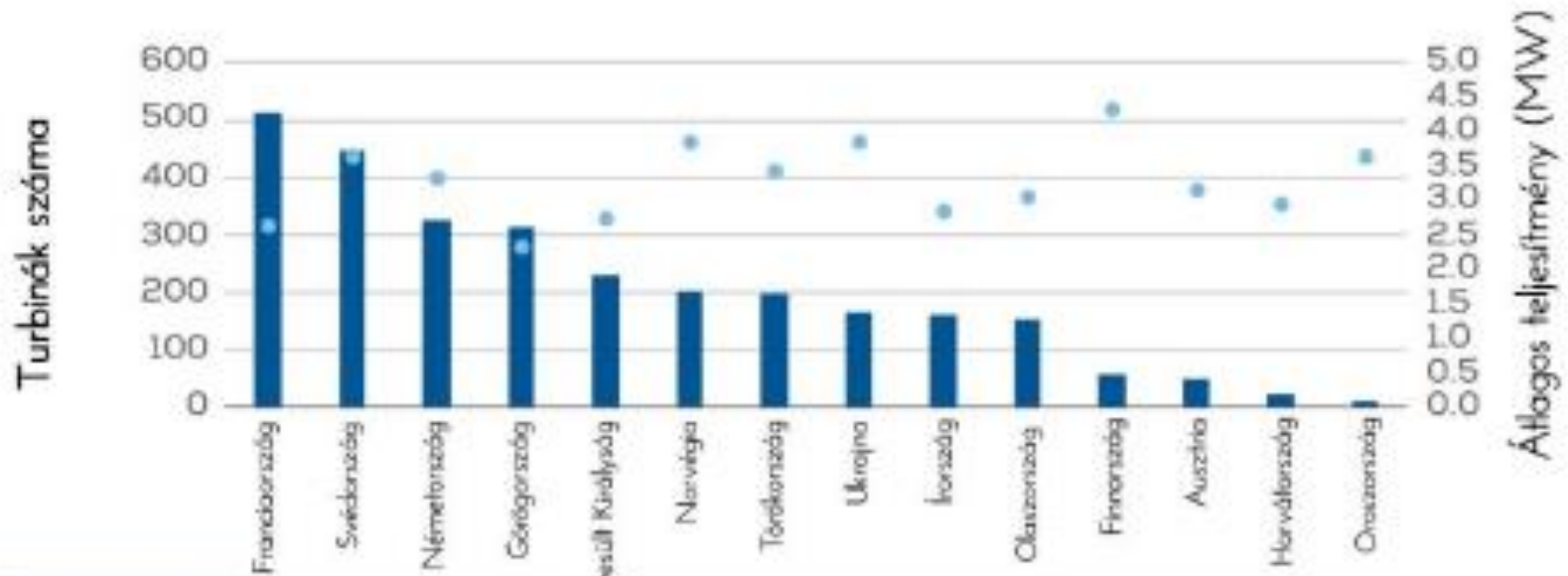
| Ország | Minimum távolság lakott területektől | | Megengedett legmagasabb zajszint (dB) | |
|--------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|-------|
| | (m) | (magasság függvényében ¹⁶) | nappal | éjjel |
| Egyesült Királyság | nincs | | 43 | 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 | 3.0 | 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 ¹⁴ | 0,32 |
| Szélerőművek termelése 2019-ben (TWh) | 417 ¹⁵ | 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

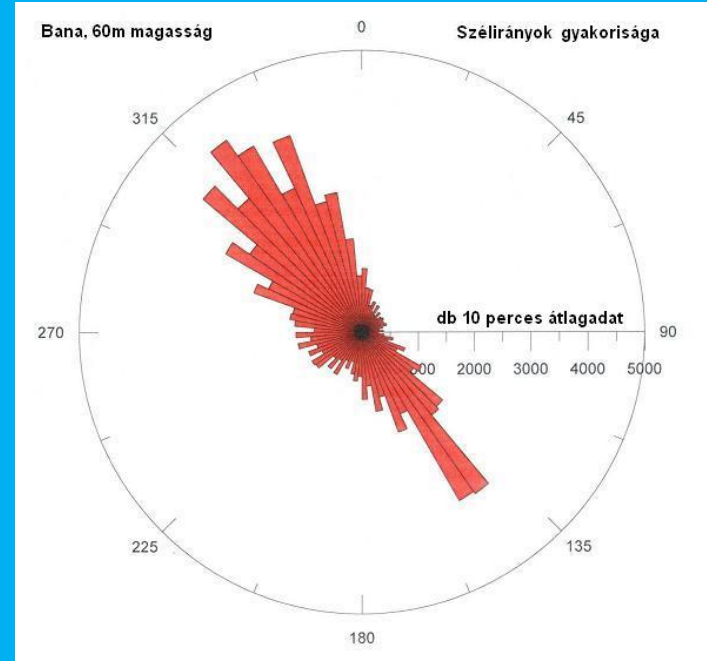
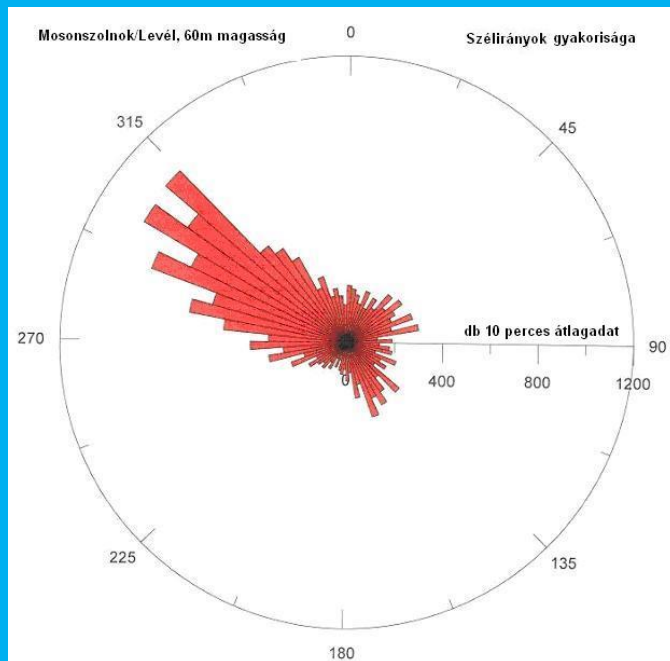
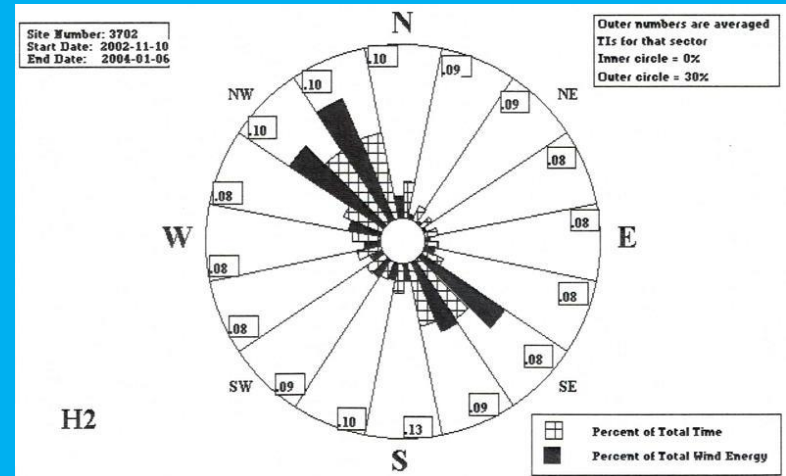
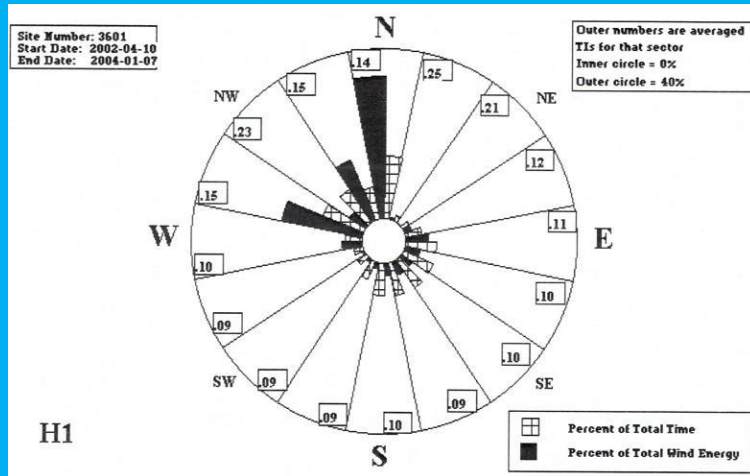


ADATGYŰJTÉS



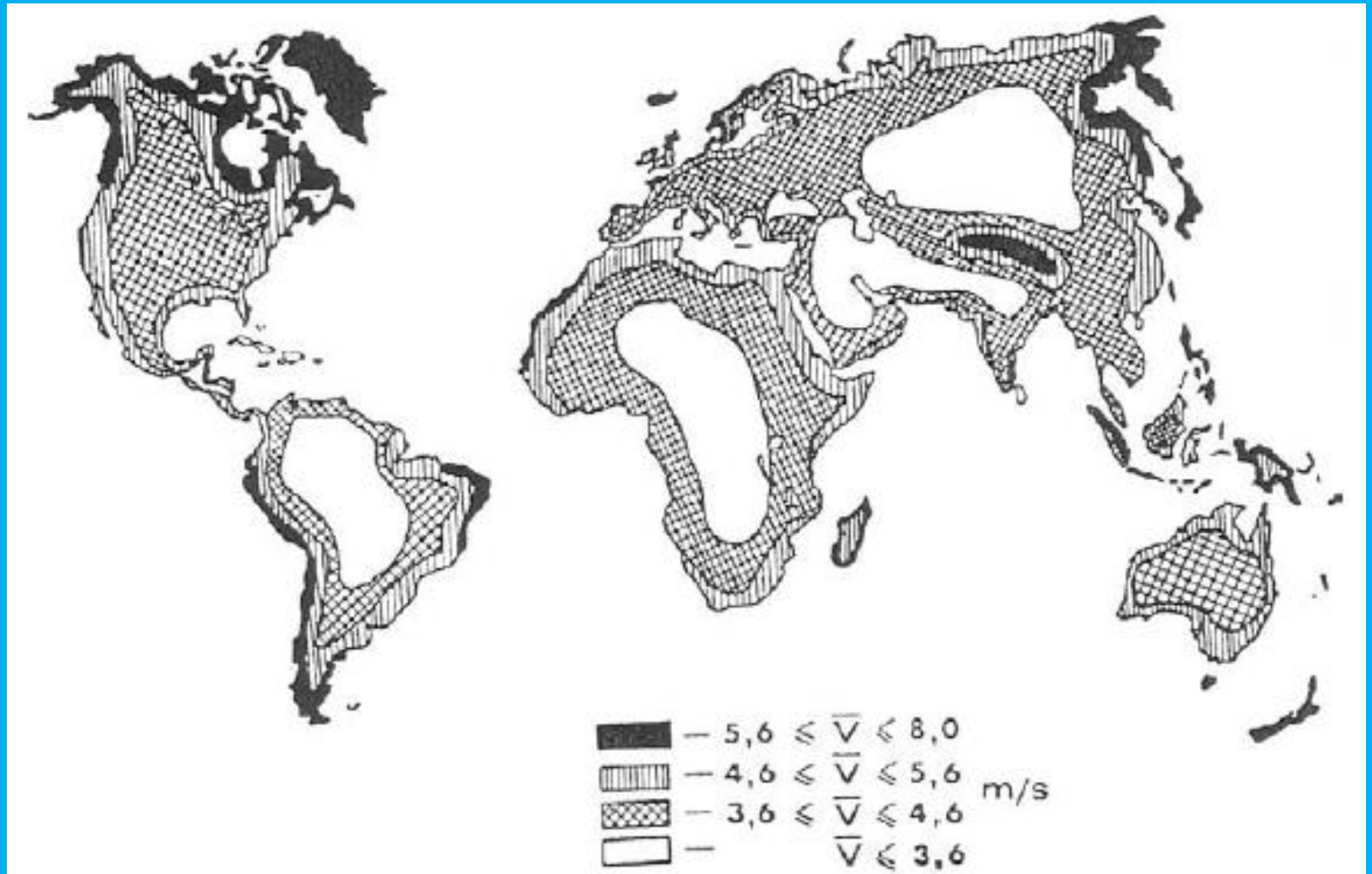
SZÉLRÓZSÁK

A felvett adatokat szemléletesen ábrázolják a különféle ún. szélrózsák.



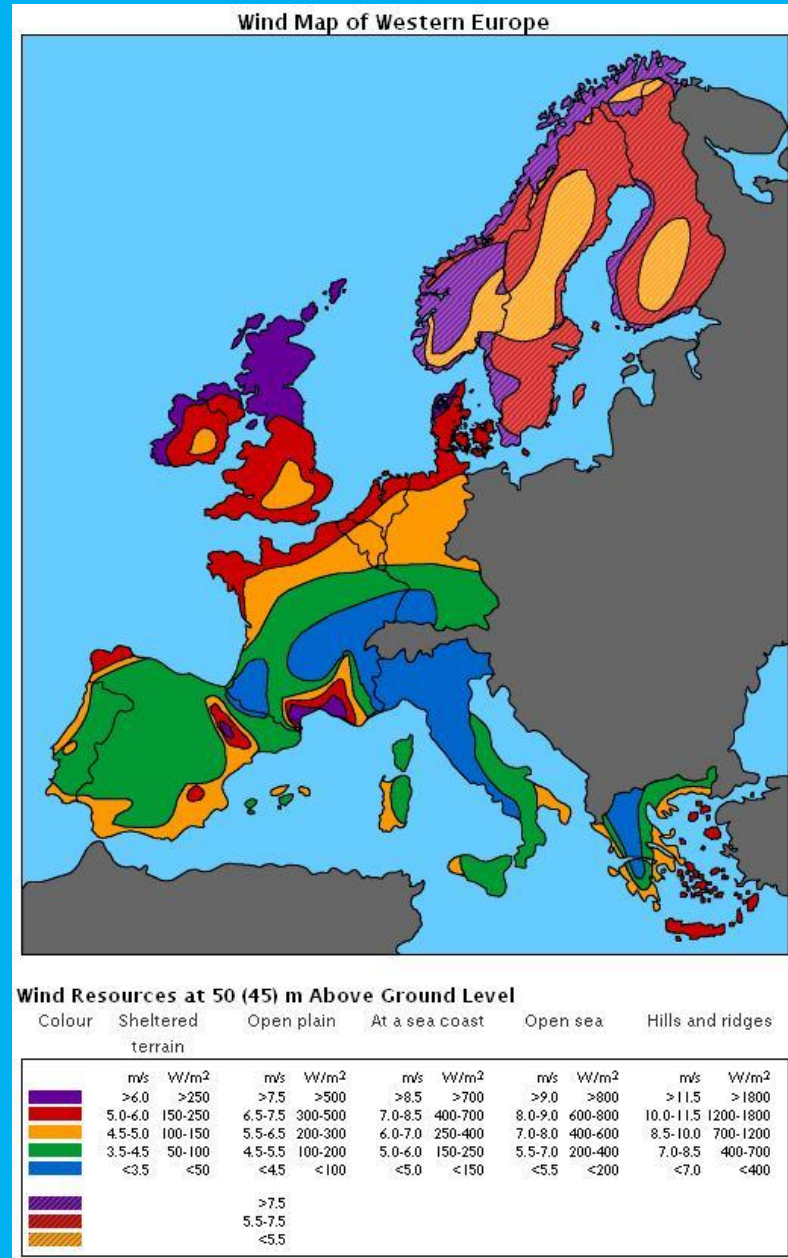
Szélerenergia hasznosítás

Szélesebesség eloszlása a világon



SZÉLTÉRKÉPEK

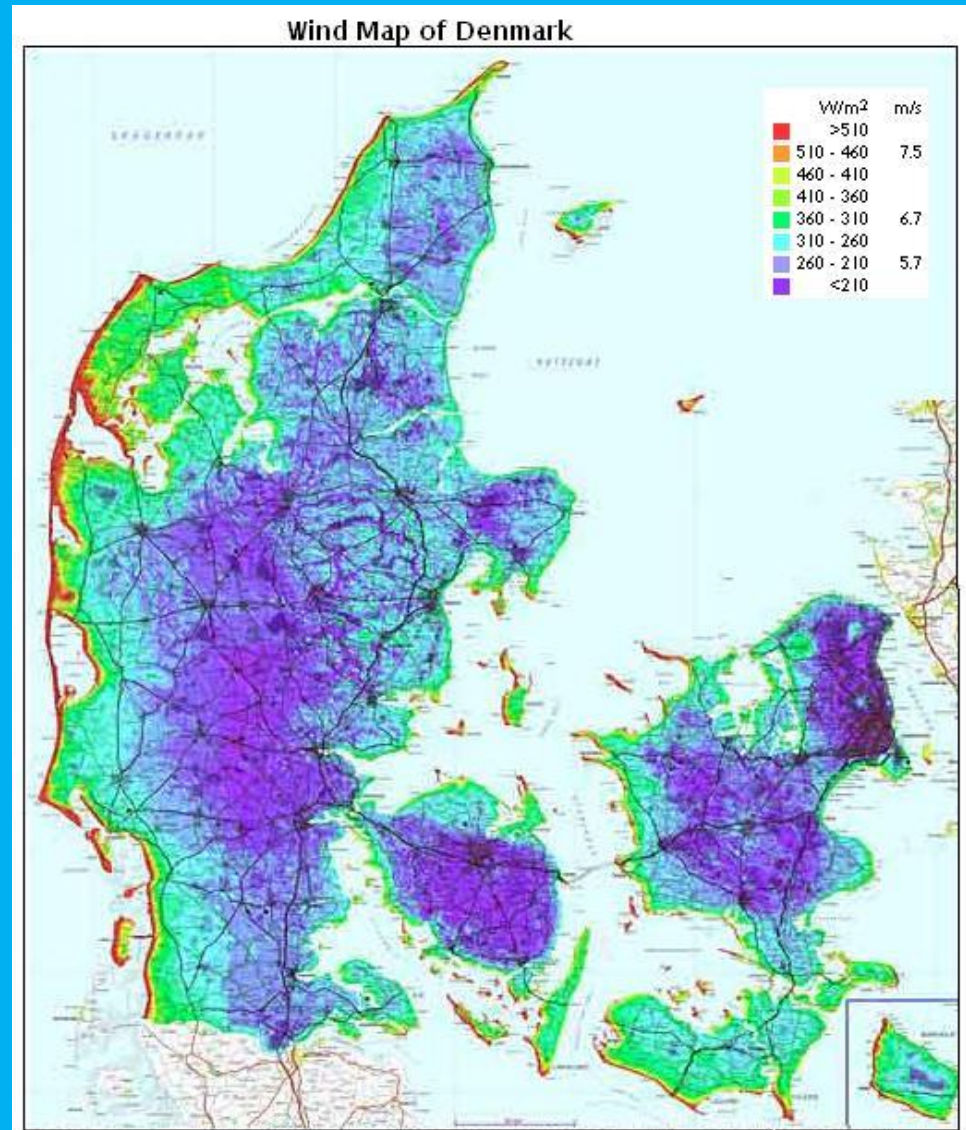
Minőségi kép, érdemi eligazítást nem ad, de jól orientálja az egyes nyugat-európai országokat potenciáljuk értékelése, viszonyítása során.



SZÉLTÉRKÉPEK – AZ ÚTTÖRŐ DÁNIA

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

Évtizedek munkája, támaszkodva a százéves meteorológiai adatsorokra!

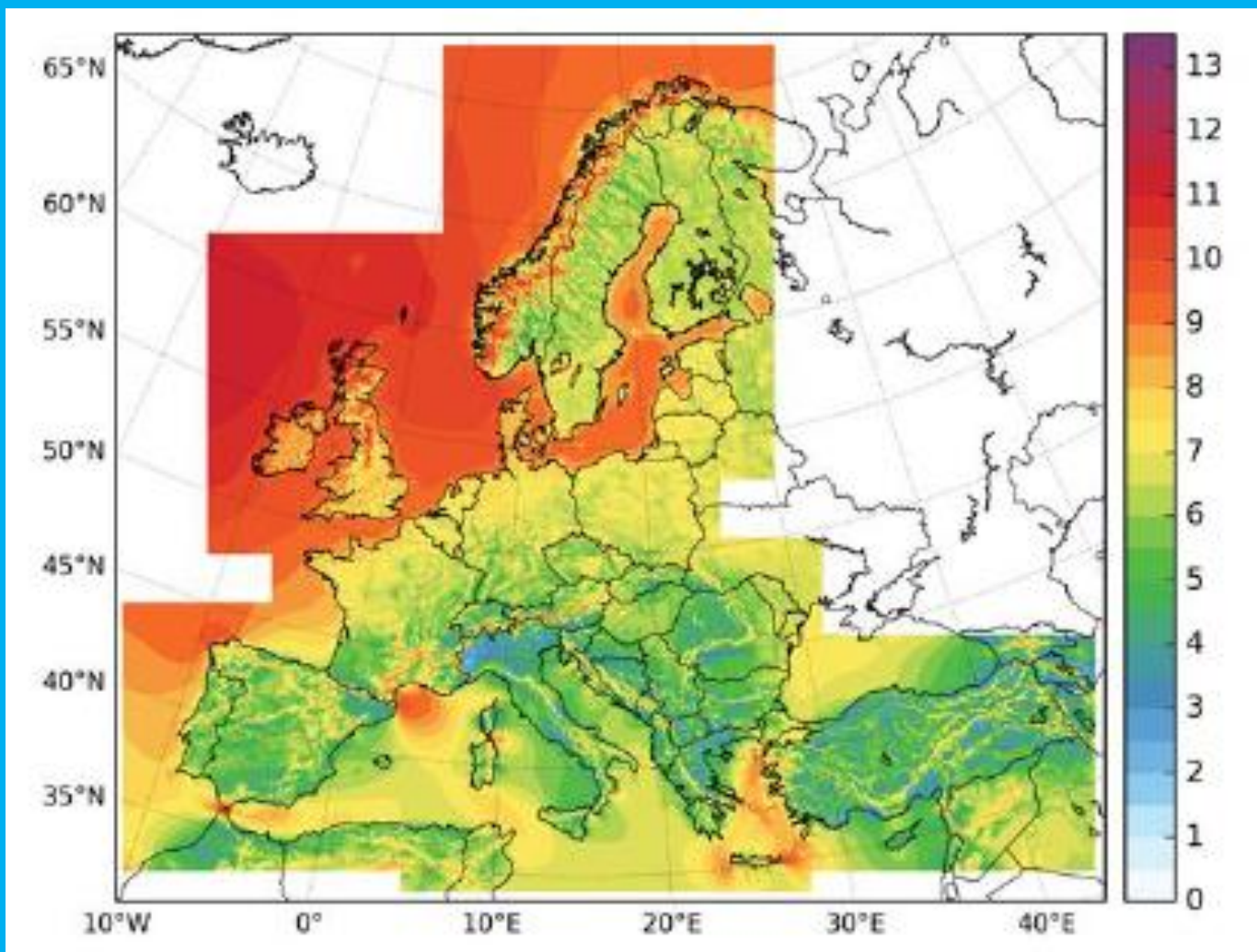


A meteorológia szerepe a szélenergia termelésben

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.

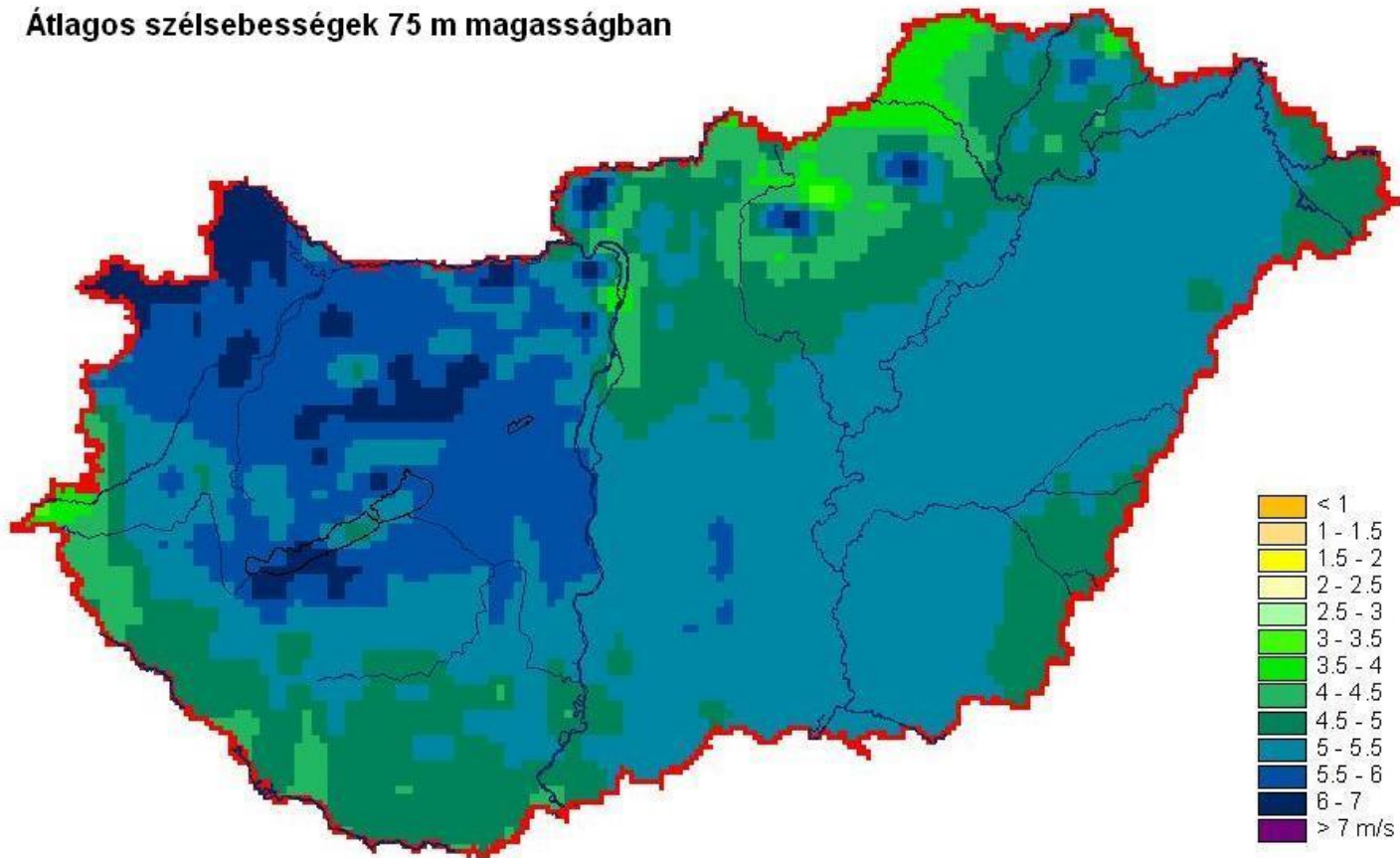
Átlagos szélesebesség 100 m-es magasságban az Új Európai Szélatlasz



SZÉLTÉRKÉPEK 3. – A HAZAI HELYZET

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

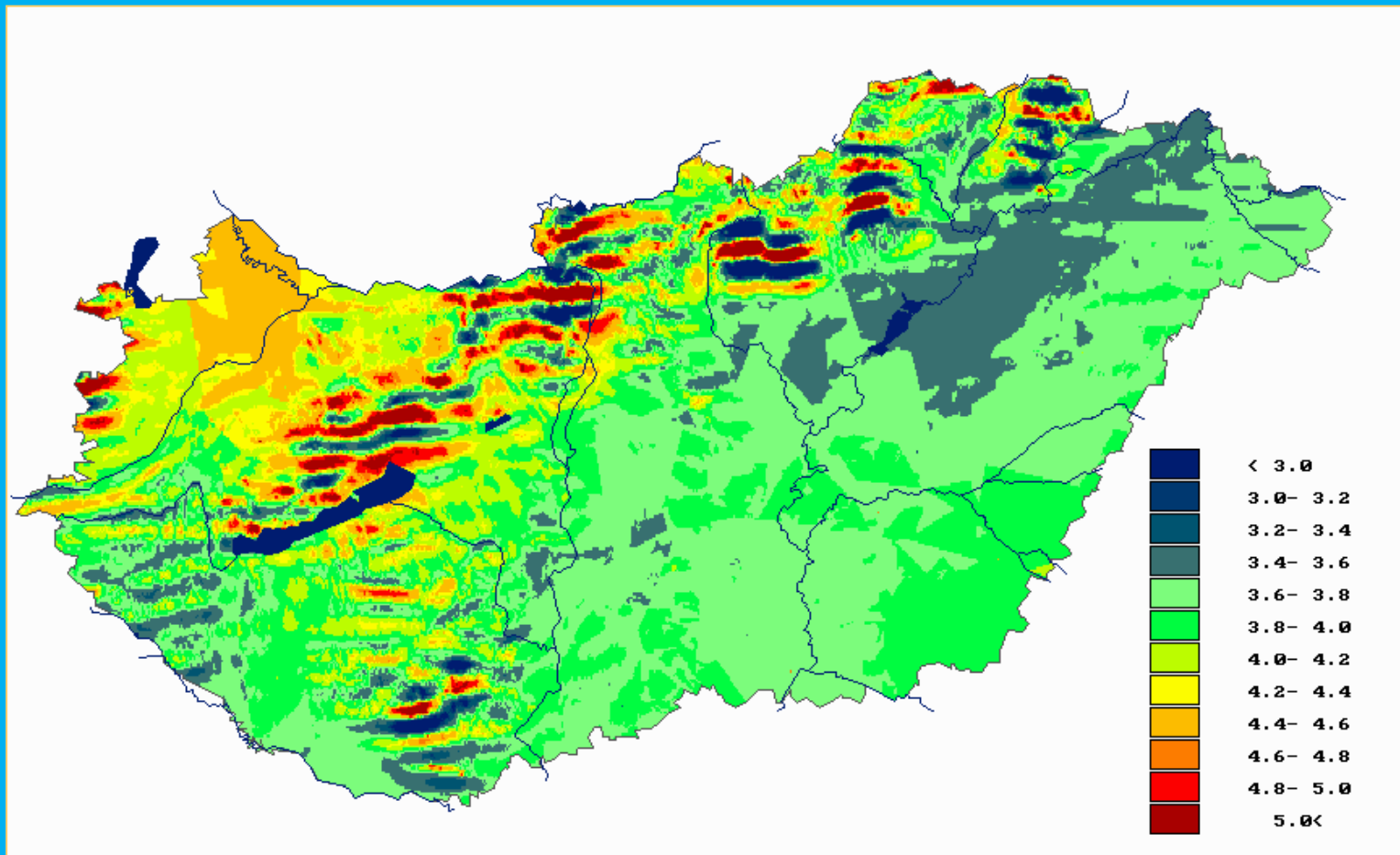
Átlagos szélesebességek 75 m magasságban



Szélerenergia hasznosítás

Magyarország helyzete

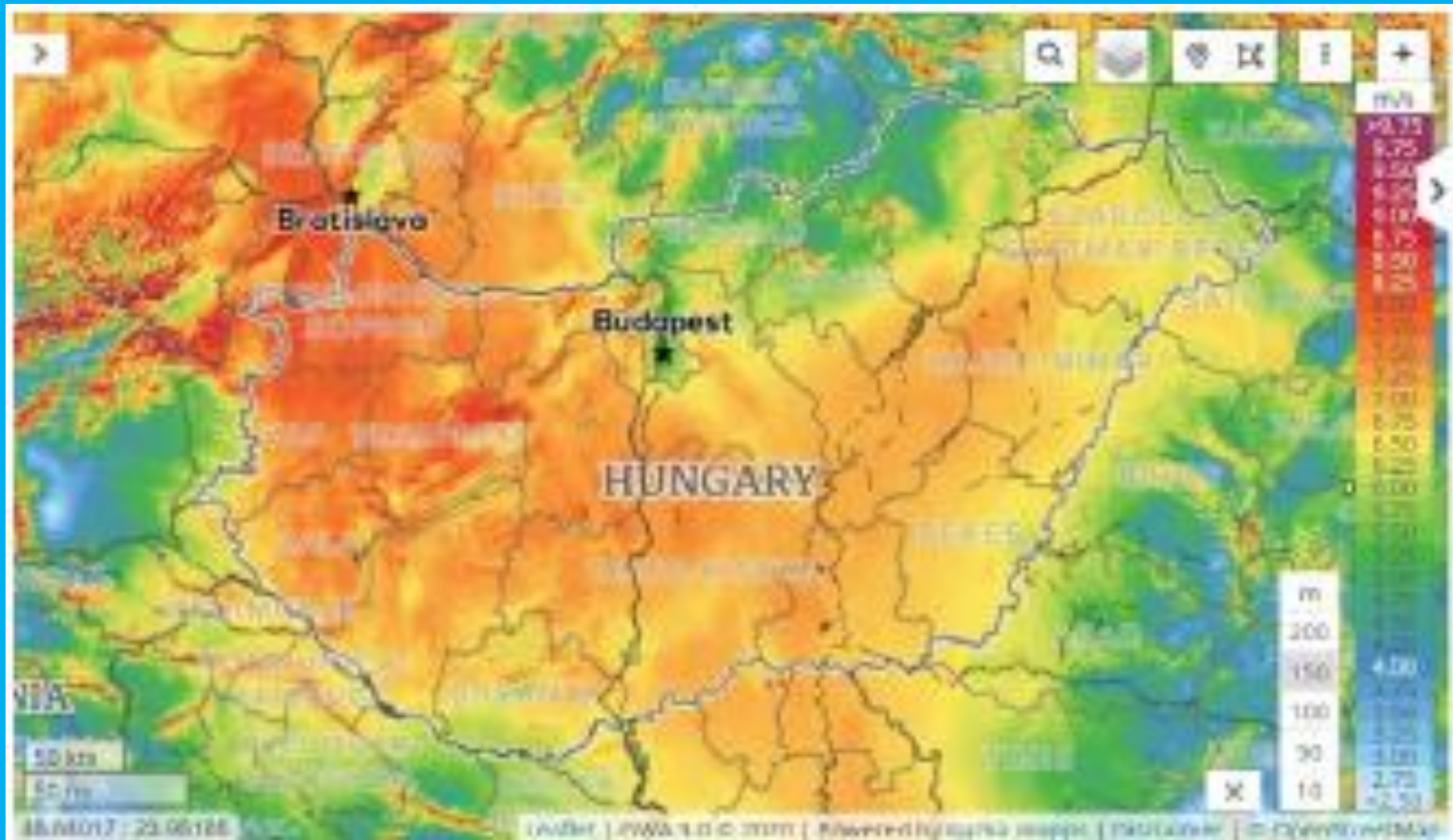
Szélerő térkép 70 m magasságban



Új Globális Szélatlasz

Az átlagos szélesebbesség 150 méteres magasságban.

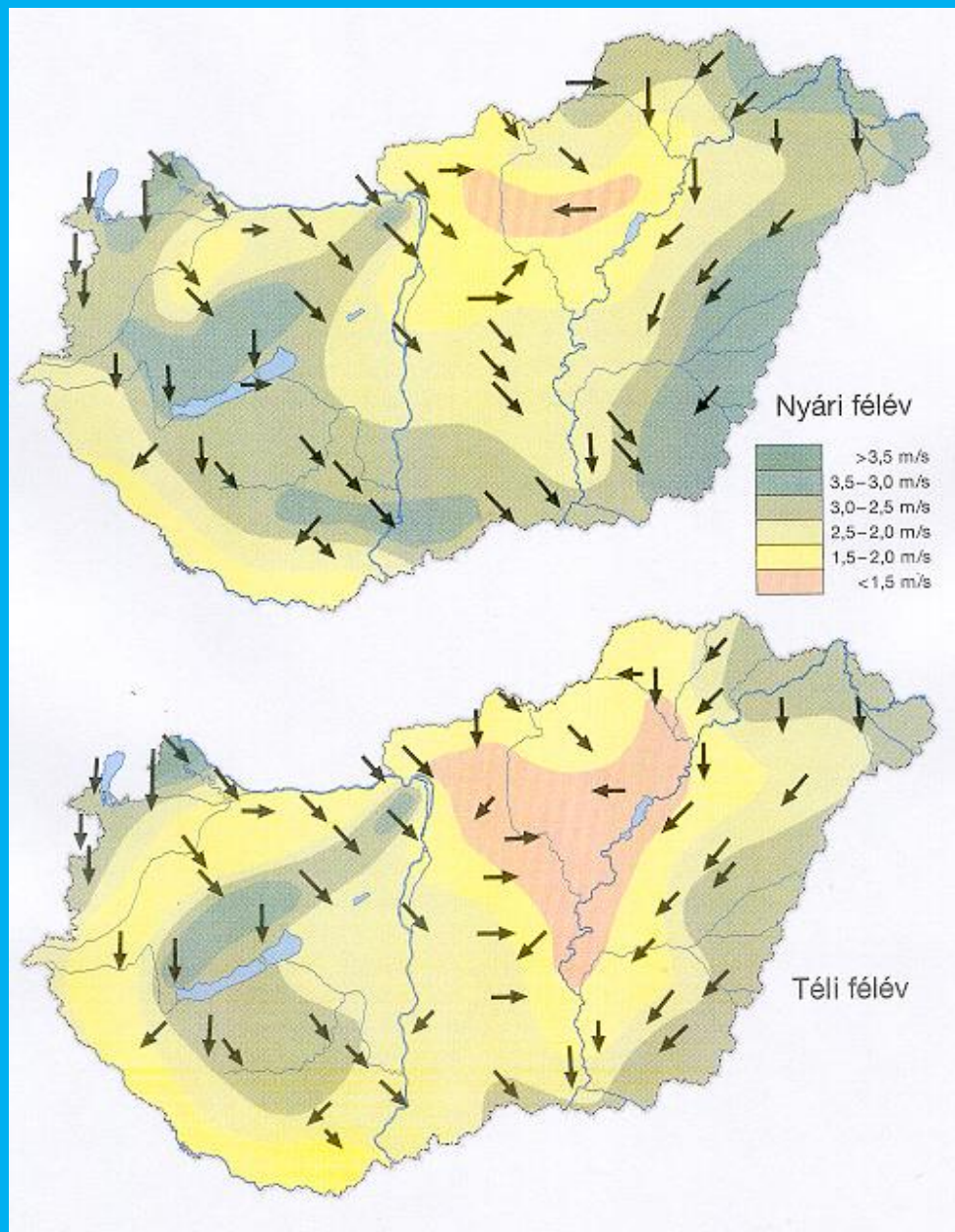
Hazánk legszeleesebb 10%-án az évi átlagos szélesebbesség itt már 7,76 m/s, míg az ország egészére 6,83 m/s. Napjaink technológiája szempontjából ez a kalkuláció a leginkább releváns.



Szélerenergia hasznosítás

Magyarország helyzete

Nyári-téli uralkodó szélirányok és szélesebességek területi megoszlása



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 szélesebbesség elméletileg zérus.

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

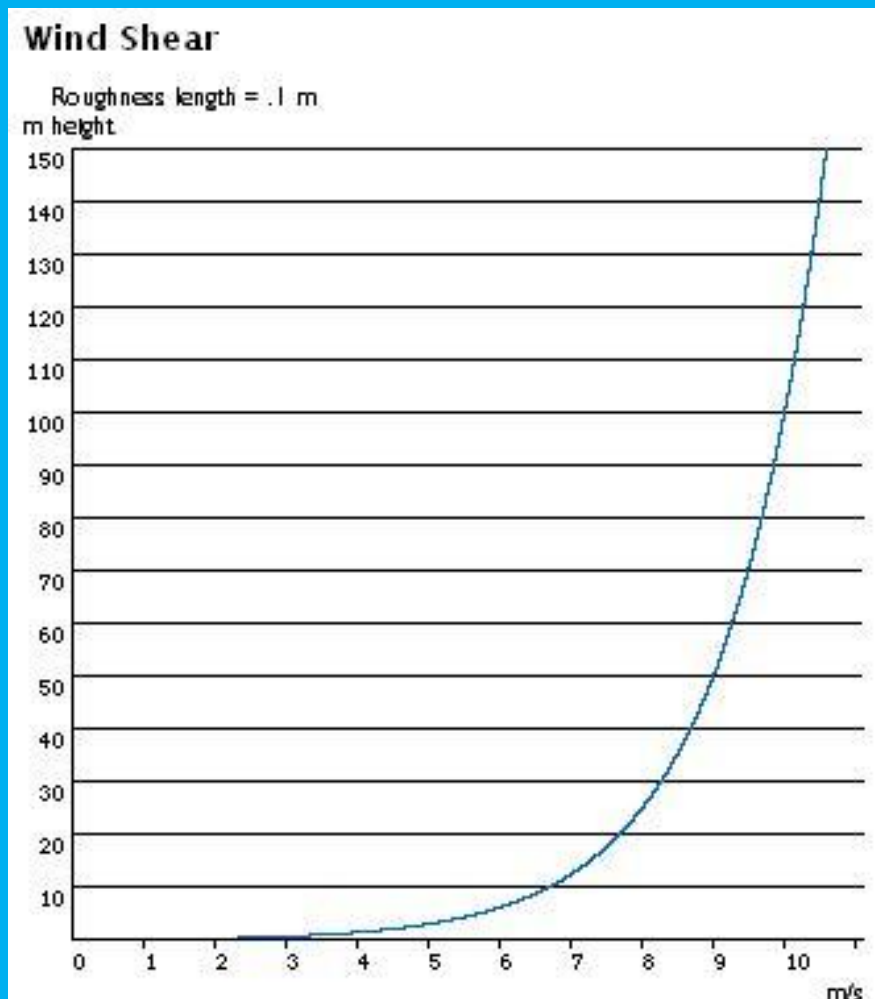
AZ ÉRDESSÉG 2.

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:

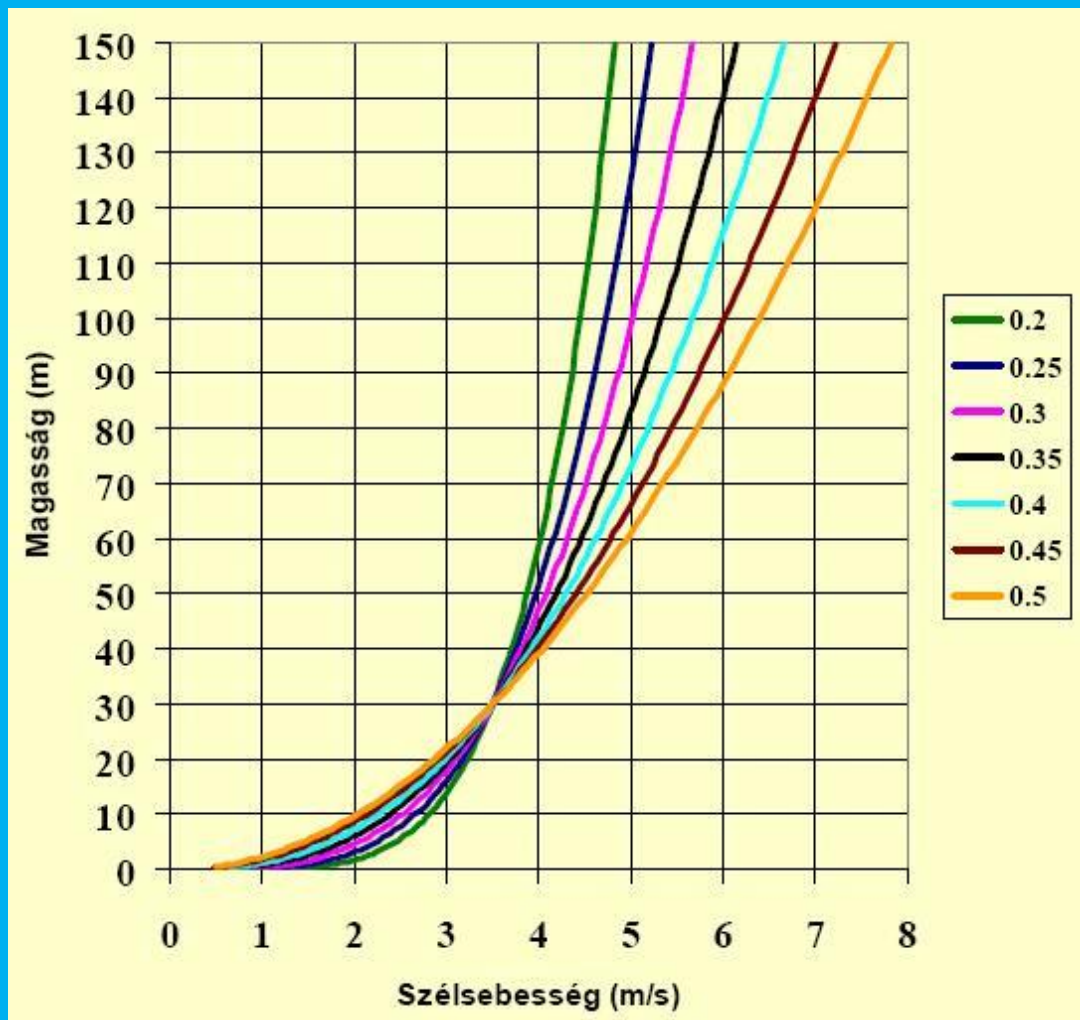
- v – sebesség a felszíntől z méter magasságban
- v_{ref} – ismert viszonyítási sebesség z_{ref} magasságban
- α – Hellmann-féle szélprofil kitevő

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

Az α 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!

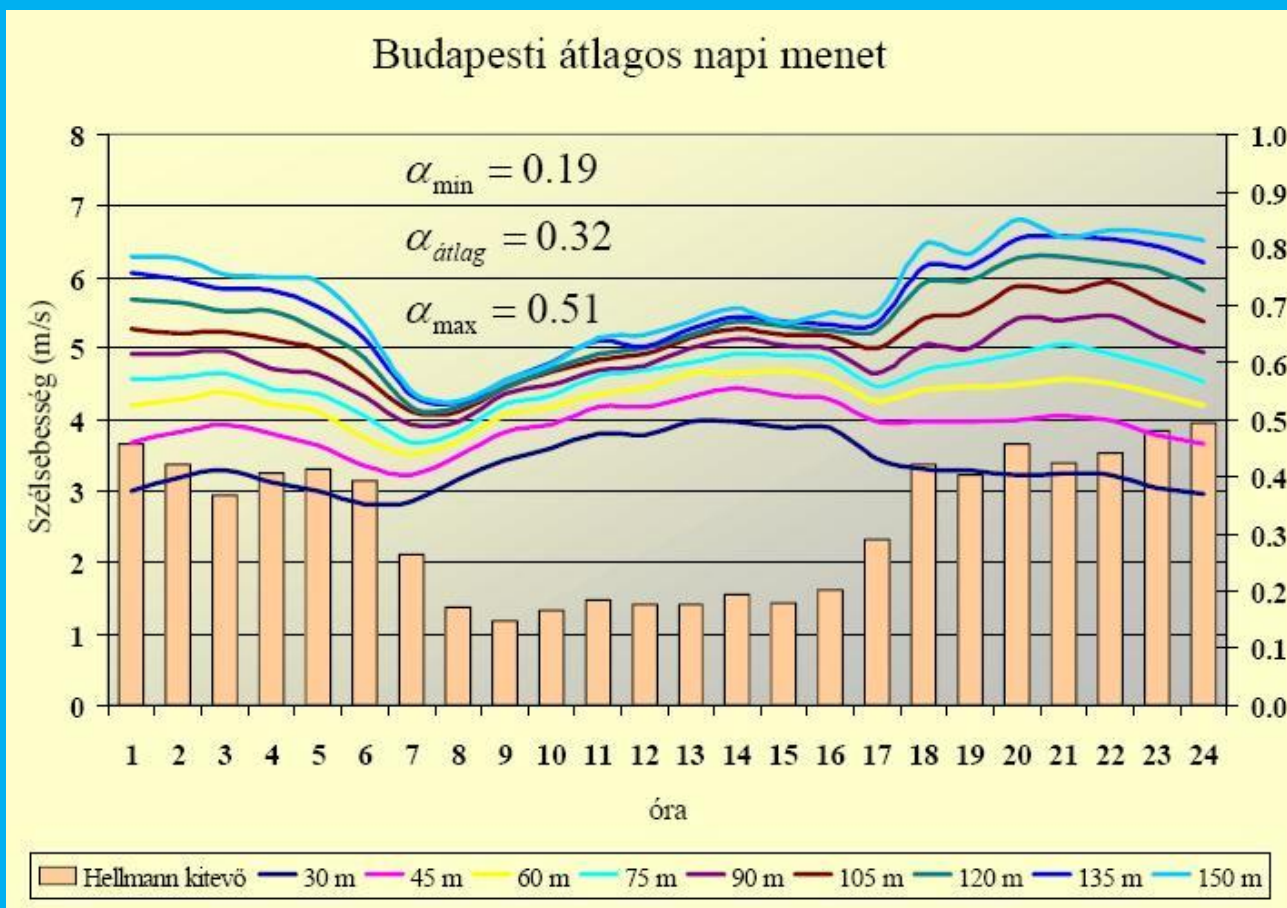
A HELLMANN-KITEVŐ TULAJDONSÁGAI 1.

A kitevő és a szélprofil fontos kapcsolatban vannak!



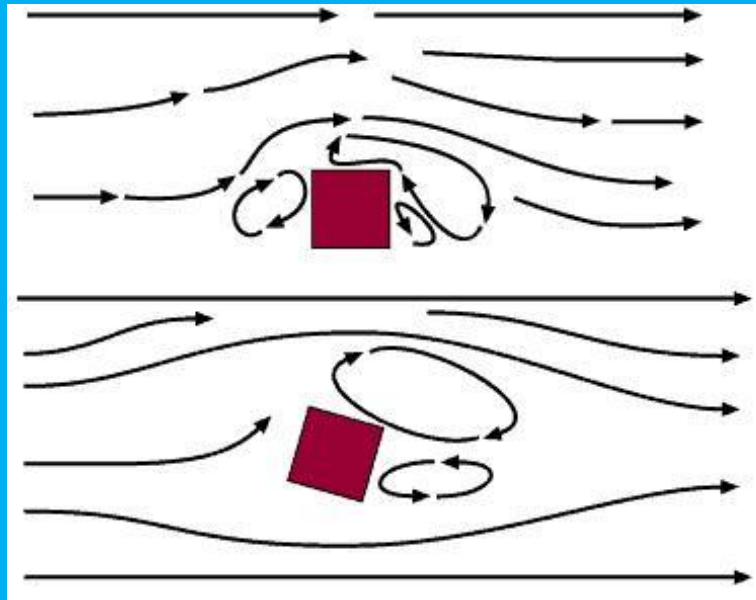
A HELLMANN-KITEVŐ TULAJDONSÁGAI 2.

A kitevő értéke (több okból is) időben változó!



TEREPAKADÁLYOK

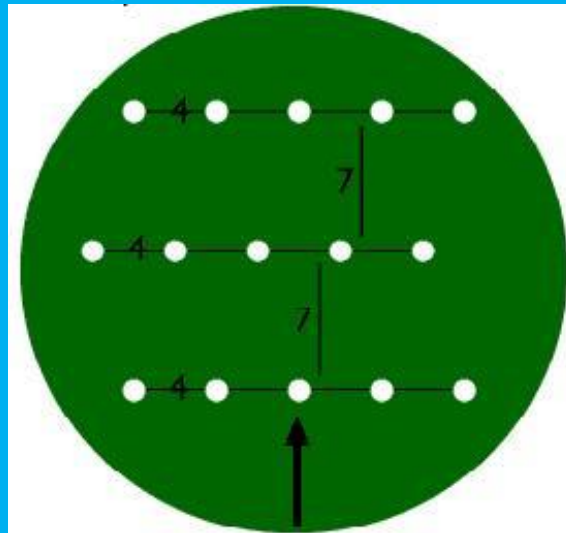
A szél útjába kerülő akadályok (művi és természetes tereptárgyak, pl. épületek, építmények, fák, sziklák stb.) erősen csökkenthetik a szélesebességet, ráadásul általában kellemetlen turbulenciát is okozva:



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

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.