

Atomenergia és fenntartható fejlődés

(BMETE809008)

<https://oktatok.reak.bme.hu/tantargyak/atomenergia-es-fenntarthato-fejlodes/>

7-8. előadás Megújuló energiaforrások

2019-2020. tanév őszi félév

Dr. Aszódi Attila, Yamaji Bogdán

BME NTI

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

1

A megújuló energiaforrás

Definíció:

A természetes környezetben folyamatos, illetve folyamatosan ismétlődő energiaáramok formájában jelen lévő energiaforrások

Hasznosítása:

A teljes áram egy részének mellékágakon történő kicsatolása, átalakítása, tárolása és felhasználása útján

Megújuló elsődleges energiahordozók:

A felhasználás mértéke nem haladja meg a megújulását → csak a keletkezés ütemében aknázhatók ki. Jellemzőjük, hogy nem, vagy csak részben tárolódnak

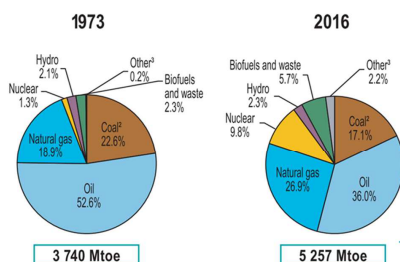
Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

2

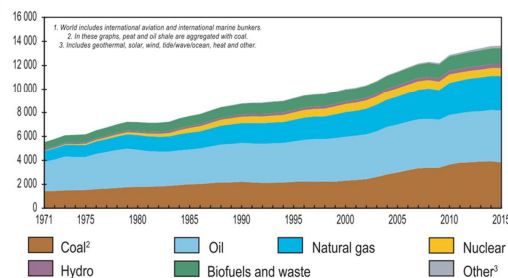
A megújulók részaránya

1973 and 2016 fuel shares of TPES¹



1. Excludes electricity trade.
2. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.
3. Includes geothermal, solar, wind, tide/wave/ocean, heat and other.

World¹ TPES from 1971 to 2015 by fuel (Mtoe)



3

Key World Energy Statistics 2018

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

A megújuló energiaforrások fajtái

- Víz
- Biomassza
- Szél
- Nap
- Geotermikus
- Árapály, tengeri hullámzás

A biomassza, víz-, szél- és napenergia a Nap földre sugárzott energiájának hasznosítása

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

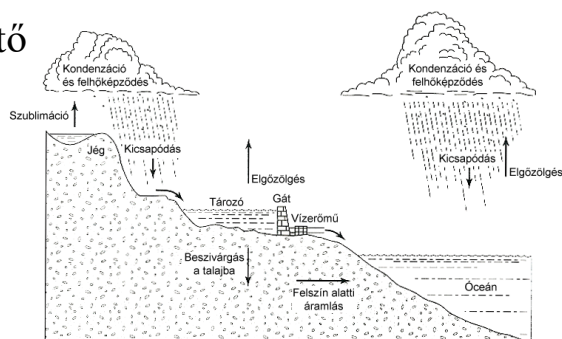
4

Vízenergia

Körforgás: a beeső napenergia elpárologtatja a felszíni vizet → felhő → kondenzáció → csapadék → felszíni vízfolyások → állóvizek

Hasznosítható:

a tengervízig vezető út során a potenciális energia egy része



Vízenergia

Duzzasztás: lelassul a vízfolyás (a súrlódásból adódó veszteség a sebesség négyzetével arányos)



Itaipu, Paraná folyón (20x700 MW), a brazil-paraguayai határon

Mesterséges medrek: súrlódás csökkentése

- üzemvíz csatorna
- csővezeték



Három Szurdok Gát, Kína, Jangce 26(32)x700 MW

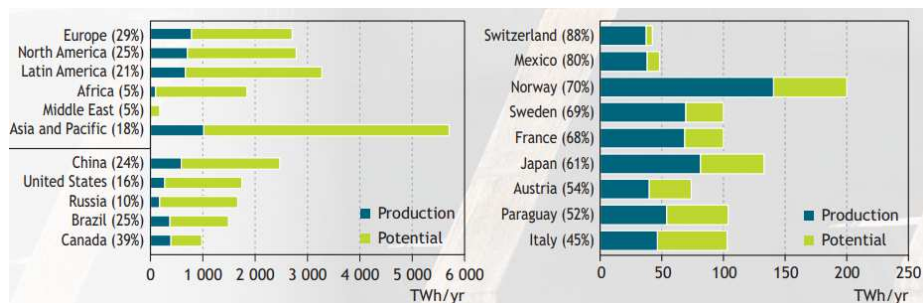
Vízenergia

- Erőművek jellemzői
 - Magas beruházási igények
 - Alacsony üzemeltetési költség
 - Nagy mértékű változás a környezetben (természet, települések)
 - Időszakosság (hóolvadás, esőzések)

Vízenergia

- A világ potenciális vízenergia-készlete:
 - ~ 300 EJ, ebből műszakilag hasznosítható: ~ 160 EJ
 - gazdaságosan kihasználható: ~ 40 EJ
 - Kiepipített:
 - Svájc 88%
 - Mexikó 80%
 - USA 16%
 - Világon: 19% (2010)
 - Vízenergia termelés a világon 2015-ben: 4000 TWh (~ 16%)
 - Az IEA előrejelzése szerint a világ éves vízenergia hasznosítása ~ 5800 TWh/év lesz 2050-re

Vízenergia



A vízenergia-potenciál kihasználtsága és az öt legnagyobb potenciállal rendelkező ország (2008)

A vízenergia-potenciált legnagyobb mértékben kihasználó országok listája (30 TWh/év-nél nagyobb termeléssel)

Forrás: IEA Renewable Energy Essentials: Hydropower (2010)

Vízenergia

A potenciális energia hasznosítása

– akár 90-95 %-os hatásfokkal

– függ:

- vízhozamtól
 - a terület csapadékviszonyaitól
 - hóolvadás lefolyásától
 - hosszú távú ingadozások (!)
- domborzattól
- a folyóvíz kihasználtságától
 - vízgyűjtés módja
 - nem energetikai célú vízkivétel
 - további vízerőművek

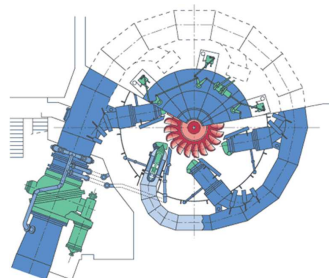
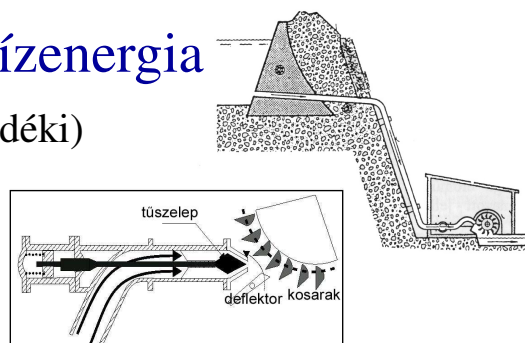
$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta \quad [W]$$



Vízenergia

Nagyeesésű (hegyvidéki) tározós erőmű

- $H \geq 50$ m
- Pelton turbina
 - max. 120 MW



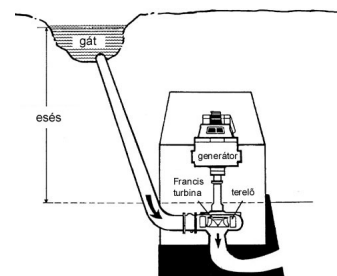
Vízenergia

Közepes esésű (duzzasztott tavas) erőmű

- $50 \text{ m} > H \geq 15 \text{ m}$
- Francis turbina
 - max. 1200 MW



Itaipu, Brazília

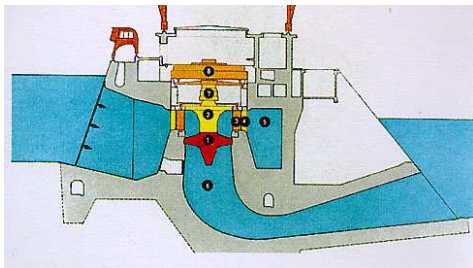


Három Szurdok



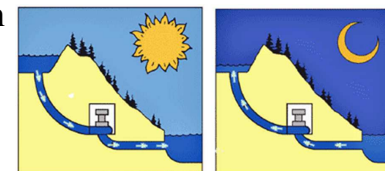
Vízenergia

- Kis esésű, tározótavas erőmű
 - $15\text{ m} > H$
 - Kaplan turbina
 - Csőturбина, Straflo, Arno-Fisher
 - max. 120 MW



Vízenergia

- Szivattyús-tározós erőmű
 - nagy esésű, kis teljesítményű erőművek
 - szivattyúval a felső tározóba nyomják a vizet, majd a terhelési időszakban a turbinán keresztül leengedik az alsó tározóba
 - a hasznosított energetikai potenciált nem növeli, csupán az időbeli átütemezésre ad módot; a veszteség mintegy 20-25%
 - alaperőművek (vízerőmű, atomerőmű) mellé

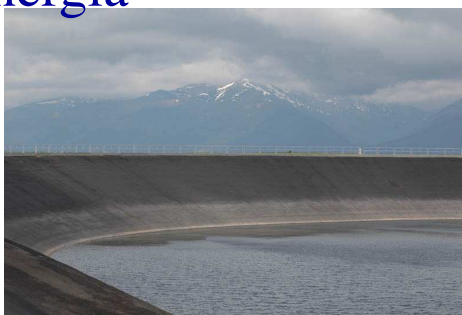
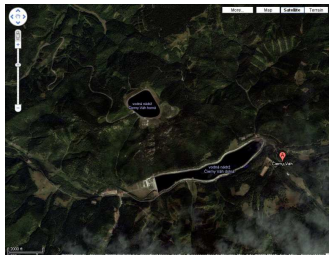


Daytime: Water flows downhill through turbines, producing electricity

Nighttime: Water pumped uphill to reservoir for tomorrow's use

Vízenergia

- Szivattyús-tározós erőmű:
Fekete-Vág, Szlovákia



Vízenergia

- Szivattyús-tározós erőmű:
Fekete-Vág, Szlovákia



Vízenergia

- Szivattyús-tározós erőmű: Okinawa, Japán

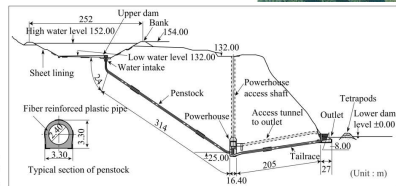


Fig. 3 - Sectional View of Waterways. The underground powerhouse is situated 150 m below ground level.

沖縄海水揚水プラント全景
Okinawa Seawater Pumped Storage Power Station

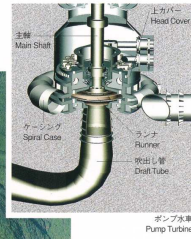


Fig. 4 - Sectional View of Pump Turbine and Appearance of Pump Turbine During Shop Assembly.

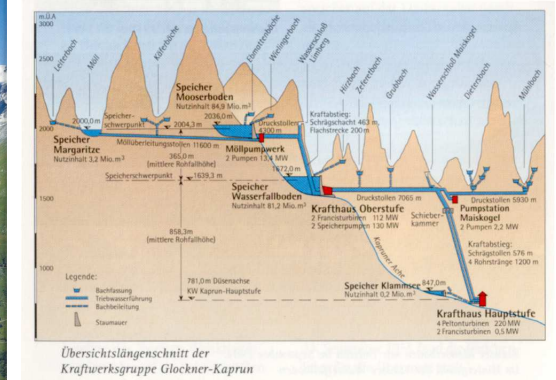
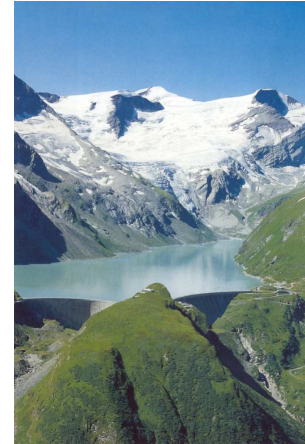
TABLE 1. Specification of the Pump Turbine for Seawater Pumped-Storage

Turbine operation		Pump operation	
Max. output	31,400 kW	Max. input	31,800 kW
Max. net head	141 m	Dynamic head	160 m
Max. discharge	26 m ³ /s	Discharge	20.2 m ³ /s
Specific speed	178.2 m-kW	Specific speed	51.4 m-m ³ /s
Rotating speed		Rotating speed	450±6% r/min

http://www.hitachi.com/rev/1998/revoct98/r4_108.pdf

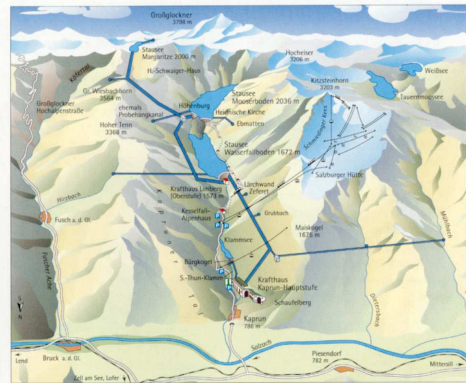
Vízenergia

- Kaprun



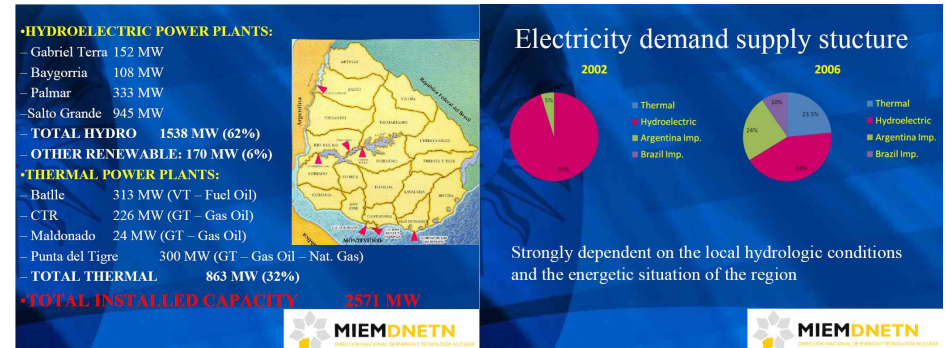
Vízenergia

- Kaprun



Vízenergia

- Uruguay



Vízenergia - Magyarországon ...

Bős-Nagymarosi vízlépcső-rendszerről most ne beszéljünk...

Szivattyús energiáról

- Energia-túltermelés idején vizet szivattyúznak egy magasan fekvő víztározóba
- Szükség esetén turbinákon keresztül leeresztik
- 75-80 %-os tárolási hatásfok
- Feketevág (Szlovákia)
 - 445 m magas
 - 3,7 millió köbméter
- Magyarországon lehetséges: Prédikálószék
 - 500 m magasság
 - 1200 MW teljesítmény



Vízenergia

• Magyarországon:

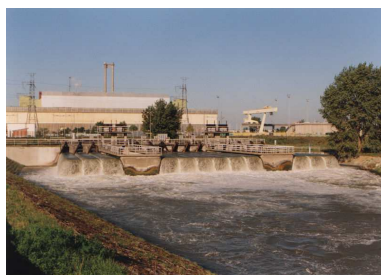
- Tiszalök
 - 7,5 m szintkülönbség, Kaplan turbina, 3 db, beépített teljesítmény 12 MW
- Kisköre
 - 6,27 m, csőturbina, 3 db, 21 MW
- Kesznyéten (Hernád)
 - 13,8 m, Kaplan, 2 db, 4,7 MW
- Gibárti Erőmű (Hernád - 0,59 MW)
- Felsődobszai vízerőmű (Hernád - 0,51 MW)
- Ikervári vízerőmű (Rába - 1,47 MW)
- Tassi erőmű (Soroksári Duna-ág - 0,65 MW)



Tiszalök

Vízenergia

- Paksi melegvíz csatorna mint lehetséges vízturbina telepítési hely?



A melegvíz csatorna

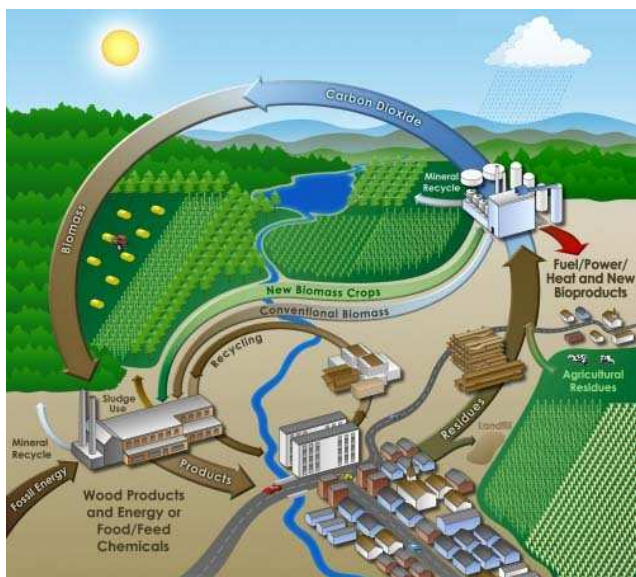


Energiatörő műtárgy

Biomassza

- Egy adott biotopikus környezetben található – eleven és holt – szerves anyag
 - producensek: víz + CO₂ + napfény → cukor + O₂ (fotoszintézis)
 - konzumensek: növényevők és az azokat fogyasztó ragadozók
 - lebontók: mikroorganizmusok, gombák; lebontják a szerves anyagot, és CO₂-t, CH₄-t termelnek
- A biomassza elégetése is termel füstgázt, de a keletkező CO₂ 1-2 éven belül újra szerves anyagként jelenik meg, így nem okoz feldúsulást de egyéb szennyezők is kikerülnek

Biomassza



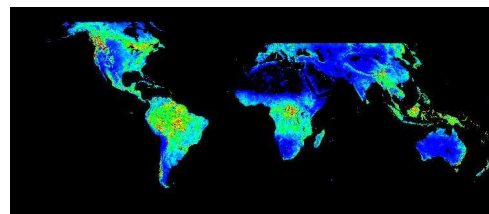
Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

25

Biomassza

- Föld éves biomassza hozama: ~ 165 Mrd tonna
 - szárazföldi: ~ 110 Mrd tonna
 - trópusi erdők: ~ 30 tonna/ha
 - kultúrnövények: ~ 6,5 tonna/ha



- tengerek, óceánok: ~ 55 Mrd tonna

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

26

Biomassza

- Energetikai célú felhasználás:
 - közvetlen eltüzelés
 - pirolízis (elgázosítás)
 - sajtolás (brikett, pellet, olaj)
 - fermentálás (erjesztés - alkohol, biogáz)

leggyakoribb a közvetlen hőtermelés

Üzemyanyag	Viztartalom %	MJ/kg
Tölgyfa	20	14,1
Erdei fenyő	20	13,8
Szalma	15	14,3
Gabona	15	14,2
Repceolaj	-	37,1
Kőszén	4	30,0-35,0
Barnaszén	20	10,0-20,0
Tüzelőolaj	-	42,7
Bio-metanol	-	19,5

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

27

Biomassza

- Mezőgazdasági melléktermékek fűtőértéke



Dr. Aszódi Attila, BME NTI

28

Biomassza

- Tüzelés: amit megtermelünk...



Bálákban a mezőgazdasági melléktermék



Fa



Energiaültetvény gyorsan fejlődő fajtákkal

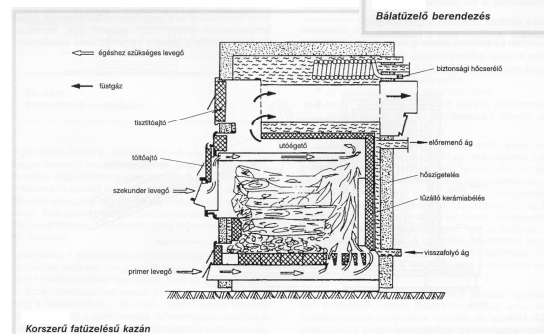
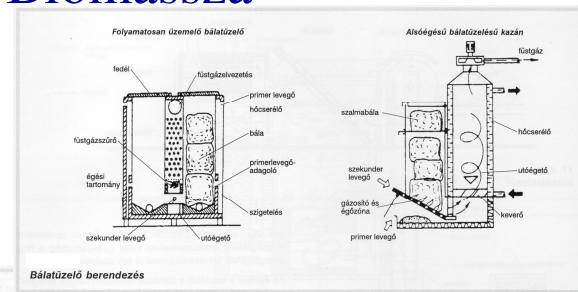


Fa brikett

... azt **elégetjük**...

Biomassza

...a kazánokban



Biomassza

- **Pirolízis:** hő hatására megindul a szerves anyag bomlása (hőbontás)
 - hagyományos: 300-500 °C-on, a végtermék gáz és faszén. A gáz magas illóolajtartalma kondenzálással kinyerhető, így alkalmas fűtőolajnak
 - gyors: 800-900 °C-on, a végtermék gázban főleg CO van
 - 1970-es évekig Budapesten a „városi gáz” előállítására
 - jelentősége csökken

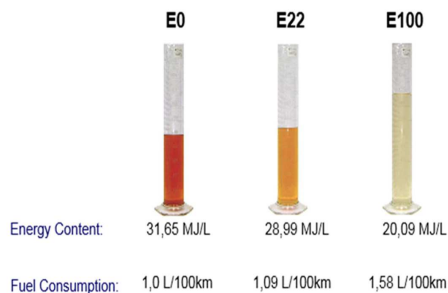
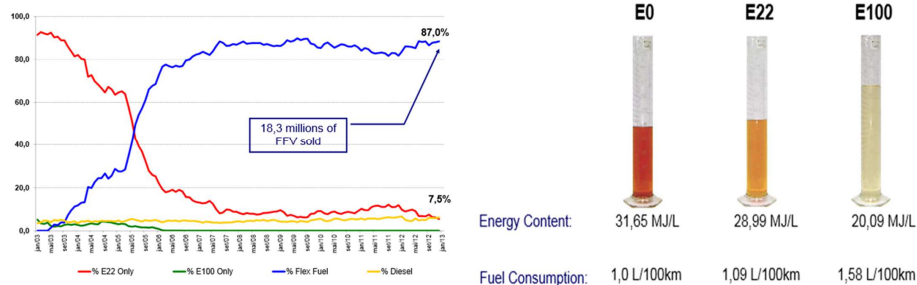
Biomassza

- A mezőgazdasági melléktermékek **sajtolása**
 - térfogatcsökkentés, szállítási költsége csökkentése
 - brikett, pellet
 - széntüzelésű erőműben adalékként csökkenthető a károsanyag-kibocsátás
 - növényi olajok

Növényi olajok anyagjellemzői					
Megnevezés	Sűrűség g/cm ³	Lobbanáspont °C	Kínem. viszk (20°-on) mm ² /s	Fűtőérték MJ/kg	Cetánszám
Glúzoilaj	0,81-0,85	55	2-8	45	>45
Repceolaj	0,91	317	97,7	40,5	~39
RME (repceolaj-metilészter)	0,88	55	6,3-8,1	37,2	50-54
Napraforgóolaj	0,92	316	65,8	39,8	—
Lenolaj	0,93	—	51	39,5	—
Szójolaj	0,92-0,93	330	63,5	39,7	—
Olivolaj	0,91-0,92	—	83,8	40	—
Földimogyoró-olaj	0,91-0,92	290-333	84,3	40	—
Gyapotmagolaj	0,91-0,93	318-322	89,4	39,7	—

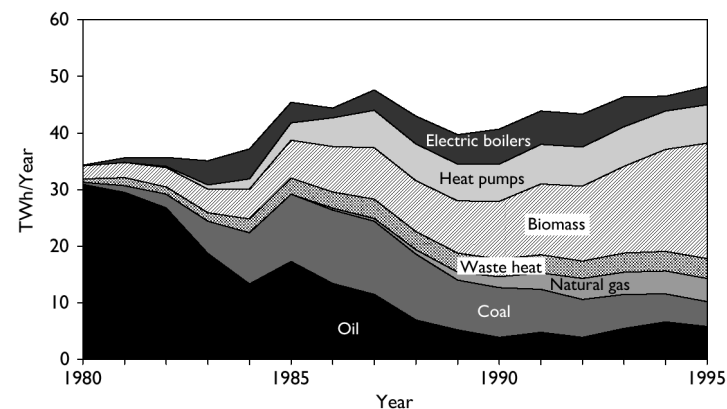
Biomassza – Flex Fuel

- Brazil nemzeti program az etanol alkalmazására: Proálcool, 1975
 - az etanoltermelés és az üzemanyagcélú használat ösztönzése (20% keverék)
 - a tiszta etanol üzemanyagcélú használata: E100



Biomassza-szén párharc Svédországban

Figure 1.6. District Heating in Sweden, 1980-1995



Fuels and technologies for production of district heating in Sweden. Since the introduction of carbon taxes for the heating sector, biofuels have increased their market shares by 70%, while coal has lost half its share. The fuel switch has considerably increased the learning opportunities for biomass technologies.

Bioüzemanyag dilemma

- Túltermelés van mezőgazdasági árukból
- Szükség van környezetbarát energiaforrásokra
- Meg kell őrizni a vidéki emberek munkalehetőségét
- Élelmiszer túltermelés helyett állítsanak elő energetikailag hasznosítható biomasszát
- Meg kell akadályozni a klímaváltozás fokozódását, a biomassza felhasználás széndioxid-szemleges
- Nincs elegendő terület arra, hogy egyszerre elégítsük ki az emberiség élelem, növényi rost, energia szükségletét
- Energiámérleg?
 - Termesztés, betakarítás, szállítás, feldolgozás, konverzió
- Szén-dioxid megtakarítás?
- Az energetikai ültetvények célja a magas produkció,
 - ezt ültetvényekkel lehet elérni – élőhely?
 - Ezt alacsony diverzitású rendszerekkel lehet elérni – faji diverzitás?
 - A fajokat az előnyös tulajdonságra szelektálni kell – genetikai diverzitás?
- Nagy kiterjedést igényel – izóláció?

Bioüzemanyag dilemma

- Az ültetvények Brazíliában, Ázsiában az esőerdők, mocsarak, mezők pusztításával növekednek → a Föld „tüdeje” összemegy
- Indonézia mára a 3. szén-dioxid kibocsátó a világon, mert olajpálma ültetvényeket létesítettek a kiirtott erdők helyén
- Nem mindegy, milyen növényt alkalmazunk bioüzemanyag gyártásra:
 - kukorica :-)
 - kukorica :-(
 - repce :-(
 - szója :-(
 - hulladék! :-)
- Élelmiszerválság
- Ki lakjon jól: az ember vagy az autó?
300 kg kukorica = 100 liter etanol VAGY táplálék 1 főnek másfél évig (ezer kilométer, vagy másfél év élet)
- Magyarország: 2 milliárd liter benzin, 2,8 milliárd liter gázolaj fogyott 2005-ben.
 - Ennek helyettesítésére: kb. 2 millió ha-n kukorica (etanol), 2 millió ha repce (biodízel). Összes hazai szántóföld 4,509 millió hektár. Max. 400 ezer ha-ral, kb. 500 millió liter bioüzemanyaggal lehet számolni, ez 10% körüli helyettesítés

Szélenergia

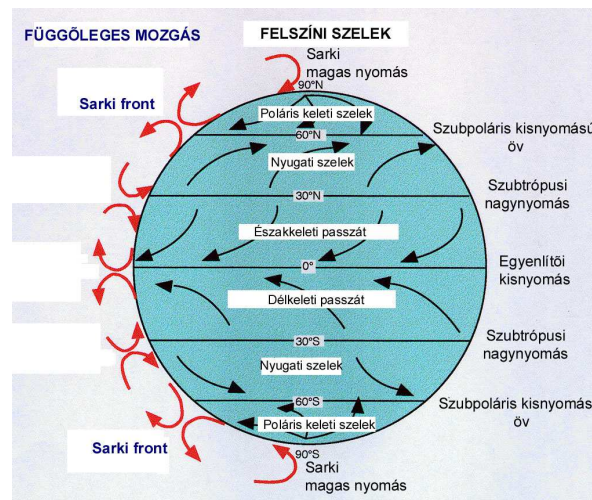
Napenergia különböző mértékben melegíti fel a földfelszínt, vizeket, azok pedig más-más mértékben hevítik fel a vele érintkezésben levő levegőt.

A melegebb levegő fel, a hidegebb leszáll...



Szélenergia

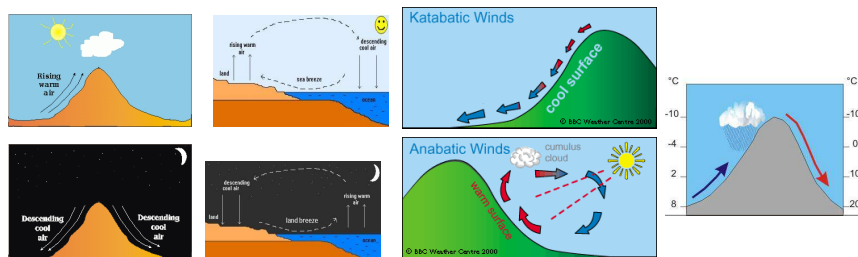
- Globális szélrendszerek



Szélenergia

- Helyi szelek

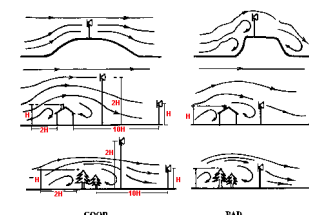
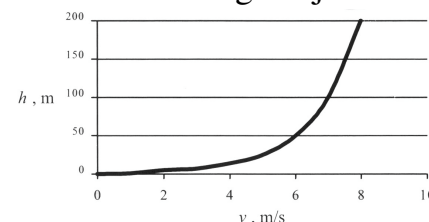
- szárazföldi, tengeri, tavi, hegy-völgyi, fön jellegű szelek, bora, chinook, misztrál, nemere
- kanyonszelek, hegyszorosai szelek
- instabilitási szelek
- zavartalan áramlás, nyomásgradiens eredménye



Szélenergia

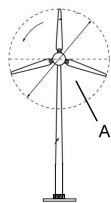
- A levegőmozgás jellemzői

- nem állandósul
- befolyásolja:
 - légkör stabilitása
 - földfelszín (műtárgyak, domborzat, növényzet)
- lokális jelenségek
- a szélesség talaj feletti változása:



Szélenergia

- Gazdasági megfontolások:
 - ott célszerű kiaknázni a szélenergiát, ahol az éves átlagsebesség a talajszint felett 10 m-rel meghaladja a 4 m/s-ot
 - Budapest: 1,8 m/s
 - Debrecen: 2,5 m/s
 - Magyarád: 4,9 m/s
- Szélmotorok elméleti maximális hatásfoka: **60%**
 - gyakorlatban maximum 45-50%



Az A [m²] felületen áthaladó légtömeg sebessége: v [m/s]
 Az A felületen egységnyi idő alatt áthaladó levegő térfogata:
 $V [m^3/s] = A [m^2] \times v [m/s]$

A \dot{V} térfogatáramú levegő tömegárama, ha a levegő sűrűsége ρ [kg/m³]:
 $\dot{m} [kg/s] = \rho [kg/m^3] \times v [m^3/s]$

Az A keresztmetszeten áthaladó levegő mozgási energiája:
 $E [J] = 1/2 \times m [kg] \times v^2 [m^2/s^2]$
 Az egységnyi idő alatt áthaladó levegő mennyiség mozgási energiájából adódó **maximális** teljesítmény:

$$P [W] = E [J/s] = 1/2 \times \dot{m} [kg/s] \times v^2 [m^2/s^2]$$

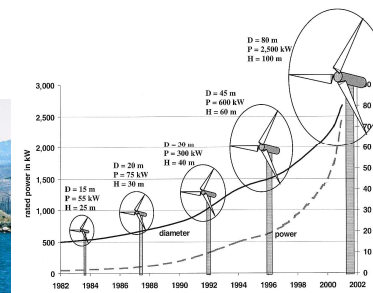
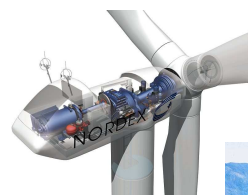
$$= 1/2 \times \rho [kg/m^3] \times V [m^3/s] \times v^2 [m^2/s^2] =$$

$$= 1/2 \times \rho [kg/m^3] \times A [m^2] \times v^3 [m^3/s^3]$$

De a hatásfok (max 60%) figyelembe veendő!

Szélenergia

- Vízszintes tengelyű szélmotorok
 - kiforrott rendszerek
 - 100 – 200 – 600 kW egységenként (mára 1000-2000 kW tipikus)



Szélenergia

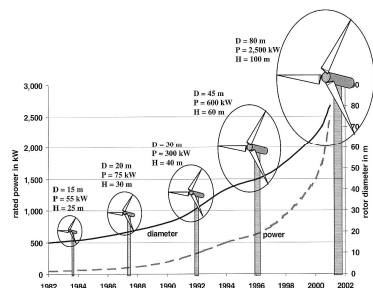
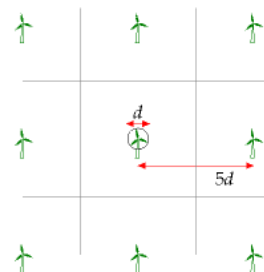
- Vízszintes tengelyű szélmotorok
 - ideális elosztás: szélturbinák között 5D távolság
 - turbina maximális teljesítménye:

$$\frac{1}{2} \rho v^3 \times \frac{D^2 \pi}{4}$$
 - egységnyi földterületre vetítve:

$$\frac{\frac{1}{2} \rho v^3 \times \frac{D^2 \pi}{4}}{(5D)^2} = \frac{\rho v^3 \pi}{200}$$
- 50% teljes átalakítási hatásfok, 10 m/s:

$$9,42 \text{ W/m}^2 \rightarrow 1000 \text{ MWe} \sim 10^8 \text{ m}^2 =$$

$$= 100 \text{ km}^2 \text{ (10 km x 10 km)}$$
 (Budapest területe: 525 km²)



Szélenergia

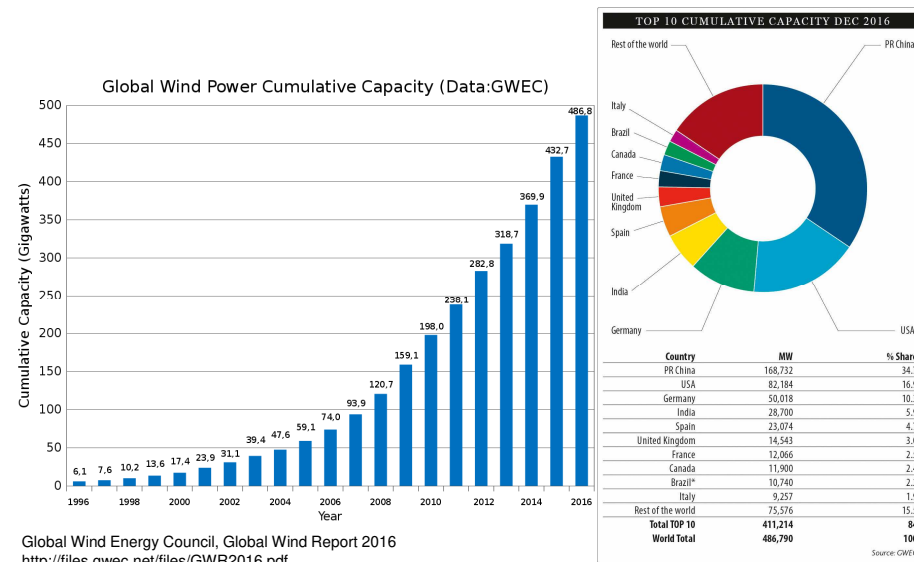
- Függőleges tengelyű szélmotorok
 - Darrieus kerekek
 - jobban alkalmazkodik a változó szélirányhoz, de csak 5 m/s felett alkalmazható



Szélenergia

- Gyenge pontok:
 - nem csak szélcsendben, de kis szélesség mellett sem képesek teljesítményt leadni
 - nagy sebesség esetén biztonsági okokból le kell állítani (a nagyobb berendezés darabszámmal megszorodtak a szélkerékhez köthető balesetek ← pózna kidőlés)
- Nem kiszámítható rendelkezésre állás a villamosenergia-rendszerben → gyakorlatilag csak tüzelőanyag-megtakarítást eredményeznek
- A kapacitás 80-90%-ának megfelelő egyéb (tipikusan fosszilis) forgó tartalék szükséges!

Szélenergia kapacitás a világban



Szélenergia - Magyarország

A KULCSI SZÉLERŐMŰ ADATAI:

Típus: ENERCON E-40
 Nyomáskülváló nélküli, változtatható fordulatszámú, szabályozható lapátoszög állású széltermő

Névleges teljesítmény: 600 kW
 Rotorátmérő: 44 m
 Tengelymagasság: 60m
 A lapátok: 3 ígű
 Lapátok anyaga: Epoxygyanta, beépített villámhárítással és jégmentesítő fűtéssel

A forgási irány: órajelirányú
 A fordulatszám: 10-14 fordulat
 Lapátoszög állítás: Minden lapát külön lapátoszög állító motorral szerelt

Fűtés: Kétfázisú, szinguláris csapágy
 Generátor: Szinkron generátor, közvetlen hajtású gyűrűs generátor
 Feszültség: 440V
 Hálózati bekapcsolás: 20 kV-os transzformátoron keresztül
 Fékrendszer: 3 lapátoszögállító vezérlő motor, rotor vészfék, rotor retesz

Szellőztető: Aktív, motoros szellőztető követés
 Indítási sebesség: 2.5 m/s (9 km/h)
 Névleges teljesítmény: 12 m/s (43.2 km/h)
 Biztonsági leállítás: 25 m/s (90 km/h)
 Tartótorony: kúpos acél szerkezet
 Toronymagasság: 60 m
 Torony súly: 68 t
 Telepítés helye: Kulcs, Arany János utca, Az Agrospecial Kft mezőgazdasági gyümölcsösökje

A KULCSI SZÉLERŐMŰ

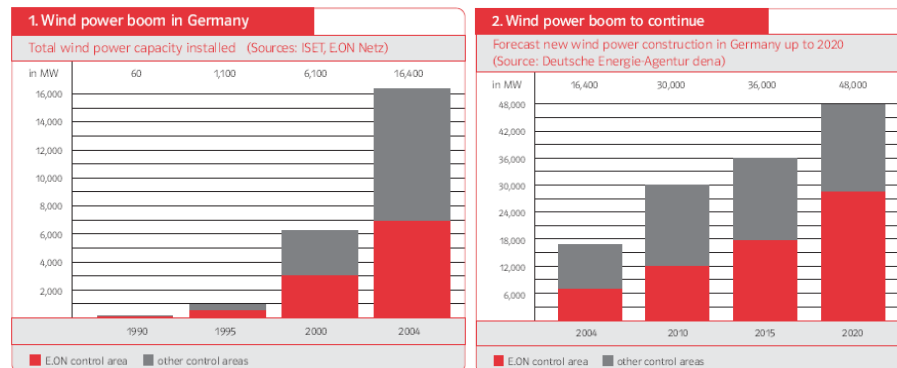
Magyarországon 2011. áprilisában 329 MW széltermőművi kapacitás volt beépítve, a kiadható széltermőművi kapacitásengedélyek korlátja 740 MW (Magyar Energia Hivatal).

Széltermőművek terjedése



E.ON Netz, Wind Report 2005

eredeti link: www.eon-netz.com/Ressources/downloads/EON_Netz_Windreport2005_eng.pdf



Telepített széltermőművi kapacitás Németországban, 1990-2004

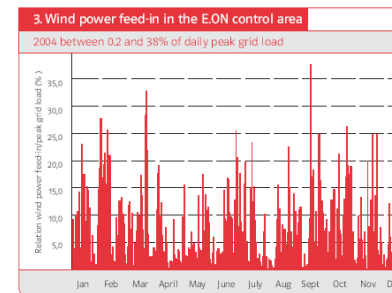
Telepített széltermőművi kapacitás Németországban, előrejelzés 2020-ig

Nehézségek

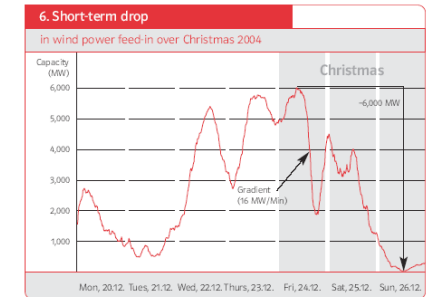
- 2004-ben a német szélenergia-áttermelési arány 20% volt
- Az E.ON területén 2004 folyamán a maximális szélenergia-betáplálás 85%-a volt a beépített teljesítménynek
- Az átlagos betáplálás 20%-át tette ki az átlagos kapacitásnak, az év több mint felében a kapacitás 14%-át sem érte el
- **A szélenergia-áttermelés mögött a kapacitás 80-90%-ának megfelelő tartalék** (hagyományos, tipikusan fosszilis) kapacitást kell biztosítani a termelés ingadozása miatt – 2003-ban az E.ON-nak 100 millió euró többlet költség
- Pontatlan a szélerősség előrejelzése, így rossz a termelt energia és a villamos rendszer tervezhetősége

Probléma: alacsony kihasználtság

- Az erősen változó szélerősség miatt erősen ingadozik a termelés is (az E.ON területén a napi hálózati csúcsterhelésnek 0-30%-a)
- Néhány óra alatt több ezer MW-os termelés-ingadozások is lehetnek (példa: 2004.12.24. – 4024 MW csökkenés 10 óra alatt, a csökkenés elérte a 16 MW/perc-et is! Valamint két nap múlva 40 MW alá esett!)



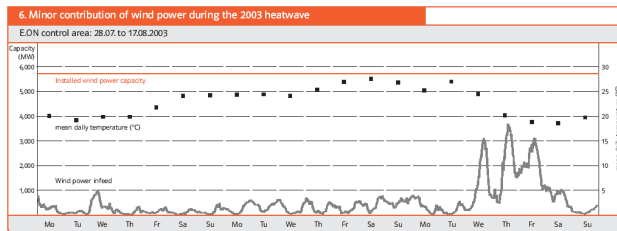
Szélenergia-áttermelés aránya a napi csúcsterhelésben



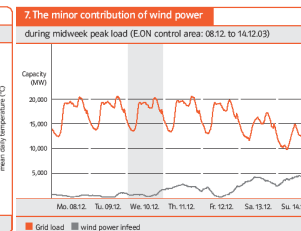
Szélenergia-áttermelés aránya a napi csúcsterhelésben

Probléma: pont amikor kellene...

- A nagy nyári hőség (nagy légkondicionálási igény) és a tartós téli hideg (nagy fűtési igény) közös jellemzője a stabil nagynyomású időjárási rendszerek jelenléte. Ilyenkor általában **nem fúj a szél...**



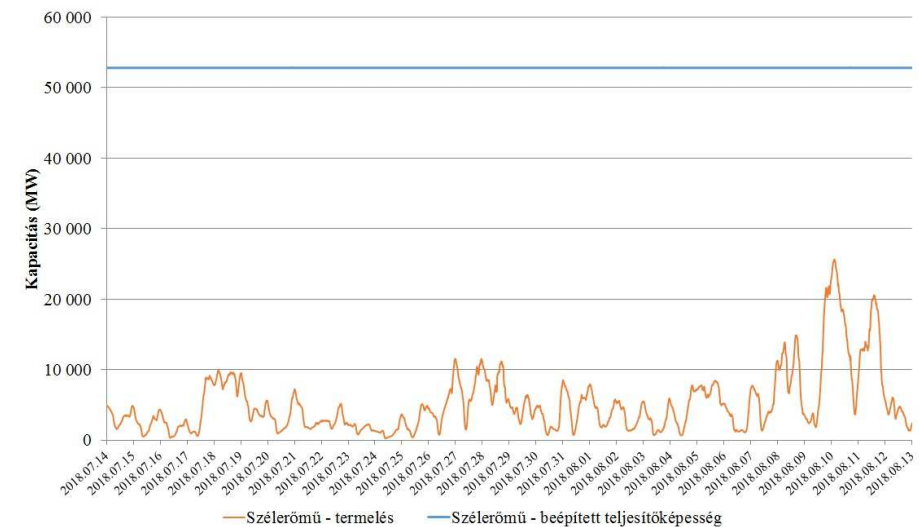
Szélenergia-áttermelés részese-
dés a 2003-as nyári hőhullám alatt



Szélenergia-áttermelés részese-
dés egy téli hétköznapon

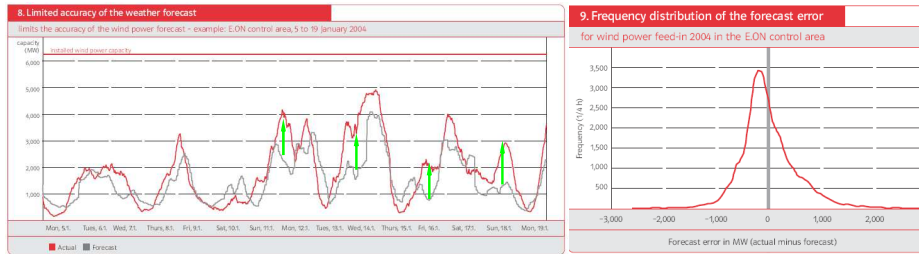
Probléma: pont amikor kellene...

Németország szélenergia-áttermelése 2018. július 14. és augusztus 14. között.



Probléma: előrejelzés

- A hálózati frekvencia tartásához minél pontosabb termelési és terhelési (fogyasztási) előrejelzés kell
- A szél erőművi termelés előrejelzése a szél erősség-előrejelzés pontatlansága miatt nagyon rossz, igen pontatlan (a rekord -2500 és +4000 MW eltérés)



Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

57

Hálózat-fejlesztés

- Németország széles részein a villamos hálózat terhelése elérte határait: pl. Schleswig-Holsteinben nagyobb szél erőművi termelés lenne lehetséges, mint amennyit el tudnak szállítani az ottani távvezetékek
- **Ok: a hagyományos erőműveket a fogyasztókhöz közel telepítették, a szél erőműveket azonban oda, ahol szél van**
- Elektromos hálózat kiépítése szükséges a „széles” környékeken
- **A hálózatépítés költségeit is be kell tervezni a szél erőműpark bővítésekor, ami tovább növeli a villamosenergia-rendszer költségeit**

Fenntartható fejlődés és atomenergia

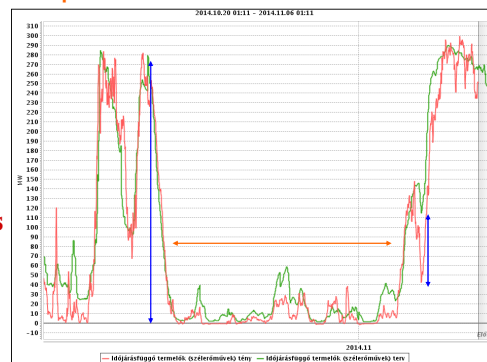
Dr. Aszódi Attila, BME NTI

58

Szél erőművi projektek régióinkban

- A nyugat-európai szélkerék gyártók jól megerősödtek a német és osztrák zöld kormányok alatt.
- Magyarországon csak néhány helyszín van, ahol a széljárás megfelelő.
- Szél erőművi projektek nem rentábilisak a beruházások állami támogatása és a magas garantált átvételi áramár nélkül.
- Komoly lobbitevékenység zajlik a háttérben.
- A fogyasztói villamosenergia-ár jelentősen nőne magas rendszerszintű szél erőművi arány esetén, és a rendszer szabályozhatóságának biztosítása (ha egyáltalán lehetséges) tovább növelné a költségeket.
- Magas szél erőművi arány esetén a rendszer **villamosenergia-tárolás** nélkül gyakorlatilag szabályozhatatlan lenne. (Tározós vízerőmű kell.)

<http://www.mavir.hu/web/mavir/szeltermeles>



Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

59

Ha csődöt mond a védelmi rendszer...

Dánia, 2008. február



Wind turbine topples, kills worker, The Oregonian, August 26, 2007 12:20PM
http://blog.oregonlive.com/breakingnews/2007/08/wind_turbines_column_snaps_kil.html



Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

60

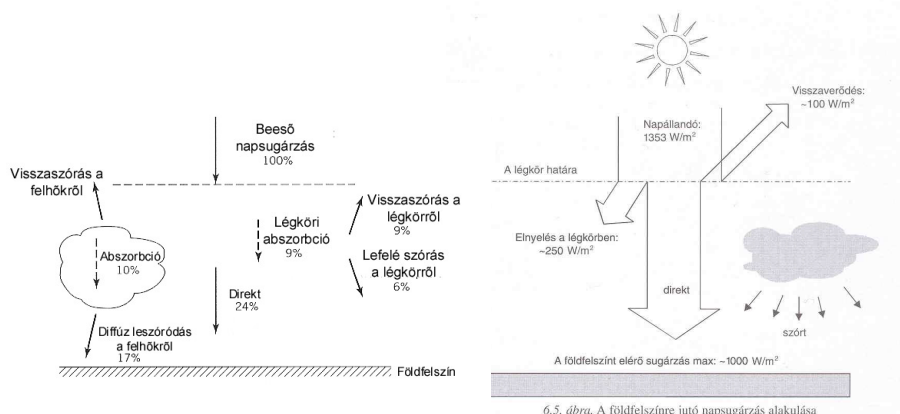
Ellenőrző kérdések

1. Mi a megújuló energiaforrás definíciója, hasznosítása és mik a megújuló elsődleges energiahordozók?
2. Melyek a megújuló energiaforrások fajtái?
3. Ismertesse a vízenergia hasznosításának elvét és a vízkörforgást!
4. Ismertesse a vízerőművek jellemzőit!
5. Jellemezze röviden a Pelton turbinát!
6. Jellemezze röviden a Francis turbinát!
7. Jellemezze röviden a Kaplan turbinát!
8. Ismertesse a szivattyús-tározós erőművet!
9. Mi a biomassza?
10. Ismertesse a biomassza energetikai célú felhasználásának módjait!
11. Ismertesse a szélenergiát és a légköri áramlások jellemzőit!
12. Ismertesse a szélenergiával kapcsolatos gazdasági és műszaki megfontolásokat!
13. Ismertesse a szélenergetikai megfontolásokat a hálózat-fejlesztéssel kapcsolatosan!

Napenergia

- A legnagyobb jelentőségű megújuló energiaforrás
 - A földfelszínre jutó átlagos teljesítmény: $1,35 \text{ kW/m}^2$
 - A Földre jutó napenergia 1 ‰-énél többet nem lehet energetikai célokra elvonni anélkül, hogy ökológiai zavarokat ne okoznánk
- Alkalmazások:
 - mezőgazdaság (fotoszintézis)
 - melegházhatás kihasználása
 - gyorsan növekvő növényi tüzelőanyagok termesztése: energiaültetvények → biomassza
 - hő „begyűjtése”

Napenergia



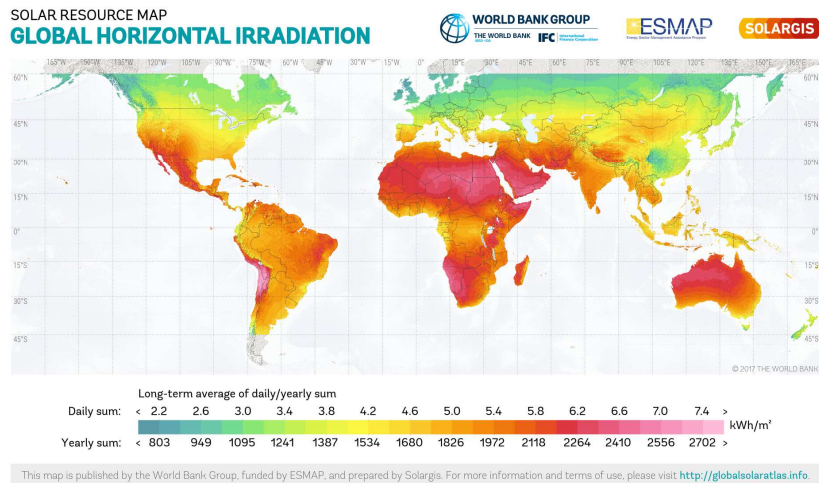
Napenergia

- Hátrányok:
 - a napsugárzás változókéony és szakaszos jellege → energiátárolásra van szükség
 - kis energiasűrűség
 - a felhasználástól és az energiaátalakítástól függően 1 kW-hoz $10\text{-}50 \text{ m}^2$ szükséges → 1 GW: $10\text{-}50 \text{ km}^2$! másra nem alkalmazható területekre
 - ott lehet versenyképes, ahol nagy a napos órák száma, és nagy az intenzitás
 - beeső évi átlagos sugárzási energia:
 - Magyarország: $1168\text{-}1305 \text{ kWh/m}^2$
 - Afrika: $2250\text{-}2500 \text{ kWh/m}^2$
 - Ausztráliában a maximum: 2500 kWh/m^2

Napenergia

• Földi megoszlás

<https://globalsolaratlas.info/downloads/world>
https://globalsolaratlas.info/api/download/World/World_GHI_mid-size-map_160x95mm-300dpi_v20170216.png



GHI - Global Horizontal Irradiation: a napsugárzás direkt és diffúz komponensének összege
 (https://globalsolaratlas.info/about/faq)

Fenntartható fejlődés és atomenergia

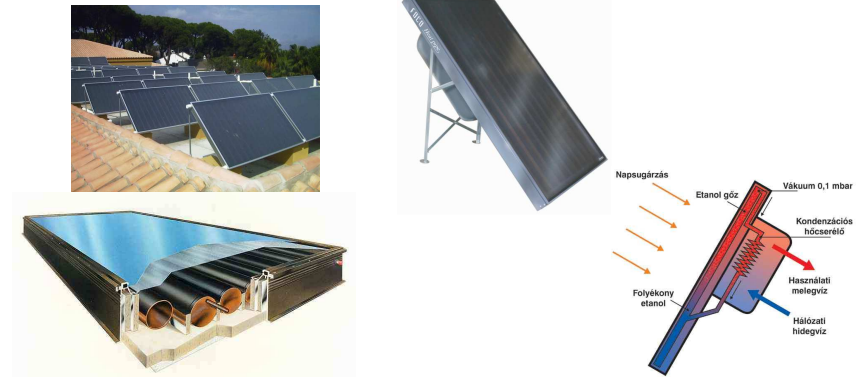
Dr. Aszódi Attila, BME NTI

65

Napenergia

• Síkkollektor

- fényáteresztő felület alatt abszorbens felület, alatta munkaközeg (pl. víz) szállítja a termelt hőt
- a víz akár forráspontig melegíthető
- max. hatásfok 40-50%, de párás időben lecsökkenhet 0%-ra



Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

66

Napenergia

• Magas hőmérsékletű kollektorok

villamosenergia-termelés céljára

– Parabolatükrök

- „vályú”
- „tányér”



Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

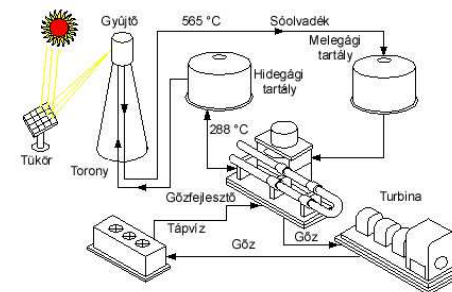
67

Napenergia

– Naptornyok

- Solar 2 (USA, Mojave-sivatag) sóolvadékos torony, 10 MWe

- sóolvadék melegági hőmérséklete: 565 °C
- hidegági hőmérséklet: 288 °C



Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

68

Napenergia

– Összehasonlítás

	Parabola vályú	Parabola tányér	Naptorony
Kapacitás	30-320 MW	5-25 kW	10-200 MW
Üzemi hőmérséklet [°C]	390	750	565
Kihasznátság	23-50 %	25 %	20-77 %
Csúcs hatásfok	20%	29.4%	23%(v)
Éves átlagos nettó hatásfok	11-16%	12-25%(v)	7-20%
Állapot	Kereskedelmi rendszer prototípusa	Demonstrációs egység	Demonstrációs egység
Technológiai fejlesztési kockázat	Alacsony	Magas	Közepes
Tárolási képesség	Korlátozott	Akkumulátor	Van
Fajlagos ár [USD/W]	2,7-4,0	1,3-12,6	2,5-4,4

(v) = előre várt;

forrás: www.cancee.org - Climate Action Network Central and Eastern Europe

Napenergia



Shams-1
Parabolatükrök
~175 000 tonna CO₂/év megtakarítás



Névleges teljesítmény: 100 MWe
Tükrök száma: 258 048
terület: kb. 2.5 km²
gyűjtőterület: 627,840 m²
hőcsövek száma: 27 648
hőszállító közeg: Therminol VP-1

<http://www.origo.hu/dojaras/20130319-seprogep-kell-a-legnagyobb-naperomuhoz-napenergia-abu-dzabi-egyult-arab-emiratusk.html>
<http://www.shampower.ae/en/the-project/factsheets/overview/>

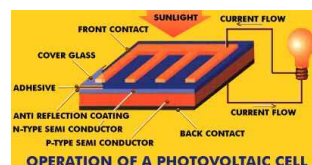
Napenergia

• Fotovoltaikus elemek

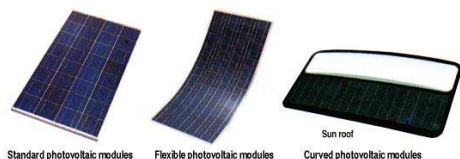
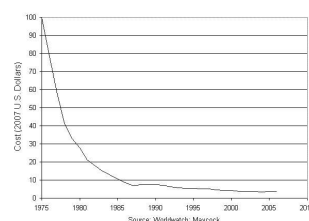
– napenergia közvetlen villamos energiává alakítása

– gyenge hatásfok, de erős fejlődés:

- 1978: ~ 1% (26 USD/Wpeak)
- 1986: ~ 7% (7,5 USD/Wpeak)
- 1996: ~ 16% (5 USD/Wpeak)
- 2002: ~ 18% (2 USD/Wpeak)
- 2007: ~ 20% (25% laboratóriumban)
- 2011-ig legmagasabb érték: ~ 40%



World Average Photovoltaic Module Cost per Watt, 1975-2006



http://www.earthpolicy.org/Indicators/Solar/2007_data.htm

Napenergia

– Gyártás, felhasználás

- gyors növekedés az elmúlt évtizedben
- termelt villamos energia egységára még mindig nagyon magas (gyártási költségek - félvezető technológia)
- tendencia: hatásfok csökkenése az olcsó gyárthatóság érdekében
 - Si: olcsóbb, de rosszabb hatásfokot ad
 - GaAs, CdTe, AlSb, InP: drágább, jobb hatásfok
- megfelelően alacsony ár esetén erőművi alkalmazás is megoldható (50-75 km²/GW területigény), de alacsony éves kihasználás!

Figure 1 - Evolution of global PV cumulative installed capacity 2000-2012 (MW)

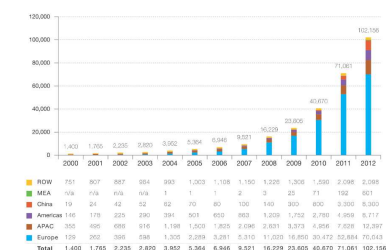
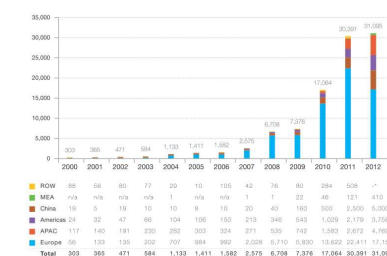


Figure 2 - Evolution of global PV annual installations 2000-2012 (MW)



* From 2012 onwards, these figures are directly integrated into those of the relevant regions.

ábrák: European Photovoltaic Industry Association, Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017
http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf

Világ PV össz beépített kapacitás és éves beépítések alakulása

Napenergia

Gyártás, felhasználás

- gyors növekedés az elmúlt évtizedben
- termelt villamos energia egységára még mindig nagyon magas (gyártási költségek - félvezető technológia)
- tendencia: hatásfok csökkenése az olcsó gyárthatóság érdekében
 - Si: olcsóbb, de rosszabb hatásfokot ad
 - GaAs, CdTe, AlSb, InP: drágább, jobb hatásfok
- megfelelően alacsony ár esetén erőművi alkalmazás is megoldható (50-75 km²/GW területigény), de alacsony éves kihasználás!

FIGURE 5 EVOLUTION OF GLOBAL ANNUAL SOLAR PV INSTALLED CAPACITY 2000-2017

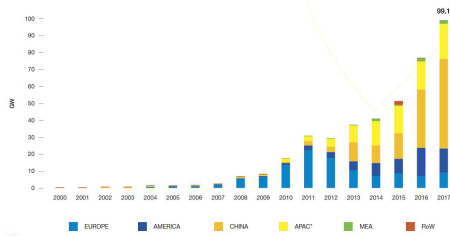
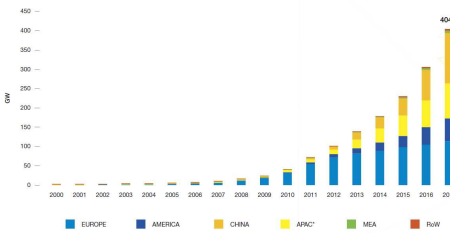


FIGURE 6 EVOLUTION OF GLOBAL TOTAL SOLAR PV INSTALLED CAPACITY 2000-2017



Világ PV össz beépített kapacitás és éves beépítések alakulása

Global Market Outlook for Solar Power, 2018-2022

<http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Global-Market-Outlook-2018-2022.pdf>

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

73

Napenergia

PV modulok árának alakulása

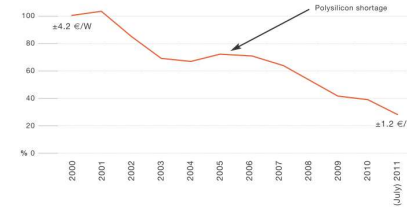


Figure 3 - Evolution of the average PV module price in Europe

source: Price data based on Pauli Miris (Navigator Consulting)

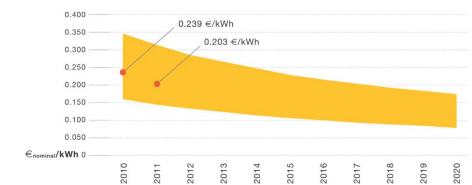


Figure 7 - European PV LCOE range projection 2010-2020

PV villamosenergia-egységköltség előrejelzés

ábrák: European Photovoltaic Industry Association, Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/Competing_Full_MR.pdf

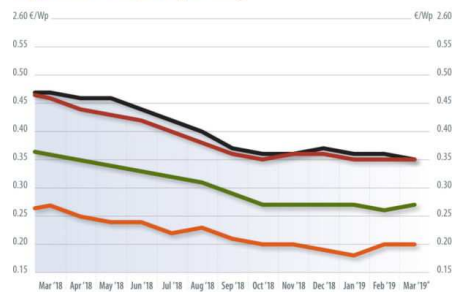
Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

74

Napenergia

EU spot market module prices by technology



Crystalline modules (mono-/poly-Si) average net prices (€/Wp)

- High efficiency:** Crystalline modules 290 Wp and above with Cello, PERC, HIT-, n-type - or back-contact cells or combinations thereof
- All black:** Module types with black backsheets, black frames and rated outputs of between 200 Wp and 320 Wp
- Mainstream:** Modules with usually 60 cells, standard aluminum frames, white backing and 260 Wp to 285 Wp - the majority of modules on the market
- Low cost:** Reduced-capacity modules, factory seconds, insolvency goods, used modules (crystalline), products with limited or no guarantee

* Data up to March 10, 2019

More information: www.pvchange.com

<https://www.pv-magazine.com/features/investors/module-price-index/>

Solar Photovoltaics Competing in the Energy Sector

http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/Competing_Full_MR.pdf

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

75

PV modulok árának alakulása

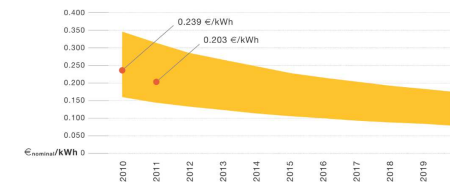


Figure 7 - European PV LCOE range projection 2010-2020

PV villamosenergia-egységköltség előrejelzés

Napenergia

- Űrtechnika (MIR, ISS)
- kisméretű alkalmazások ellátása
- épületek ellátása
- erőművek kiegészítő energiaforrásként, mellékberendezésekhez (< 1kW)



TABLE 7 OVERVIEW OF COMMERCIAL PV TECHNOLOGIES

Commercial Module Efficiency

Technology	Thin Film		Crystalline Silicon		CPV
	(a-Si)	(CdTe)	Cl(G)S	a-Si/ μ c-Si	Dye s. cells
Cell efficiency	4-8%	10-11%	7-12%	7-9%	2-4%
Module efficiency	16-22%	14-18%	30-38%	13-19%	11-15%
Area needed per KW (for modules)	~15m ²	~10m ²	~10m ²	~12m ²	~7m ² ~8m ²

source: EPA 2010, Photon International, March 2010, EPA analysis. Efficiency based on Standard Test conditions.

European Photovoltaic Industry Association,

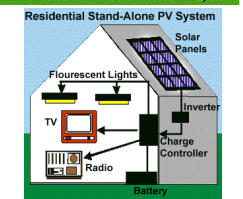
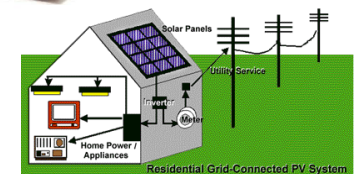
Solar Generation 6 Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World 2011

http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/Solar_Generation_6_2011_Full_report_Final.pdf

Fenntartható fejlődés és atomenergia

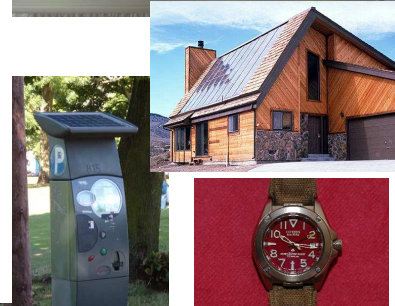
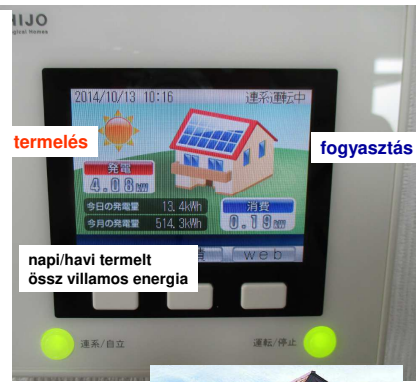
Dr. Aszódi Attila, BME NTI

76



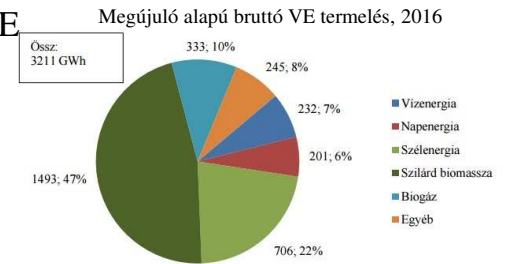
Napenergia

- Napkollektor: használati melegvíz előállítása
 - Jó kiegészítés a gázzal vagy az árammal előállított melegvíz mellett
 - Villamos energia előállítására gyakorlatilag nem alkalmas
- Fotovoltaikus cellák: napenergia közvetlen árammá alakítása
 - Űrtechnika
 - Kis méretű alkalmazások ellátása (**karóra**, kisegítő világítás, parkolóóra, **kommunikáció biztosítása a villamos hálózattól távoli helyeken**)
 - Az áram akkumulátoros tárolásában nagyon környezetszennyező anyagokat alkalmaznak!
- A nap- és szélenergia fejlődéséhez a költségek csökkenése mellett forradalmi energiátárolási megoldásra lenne szükség!



Napenergia Magyarországon

- A 2016-ban megtermelt VE 7%-a megújulókból
- A napenergiából termelt energia 6%-a a megújulókból termelt energiának
- Legnagyobb naperőművek:
 - Mátrai naperőmű (22,6 MW)
 - Paksi naperőmű (20,6 MW)
 - Pécsi naperőmű (10 MW)

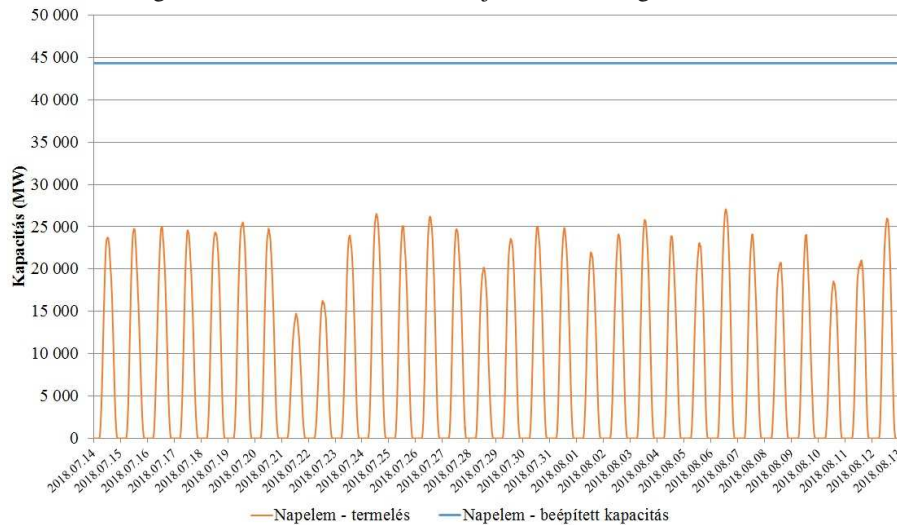


<https://www.portfolio.hu/vallalatok/a-sor-vegen-kullog-magyarorszag-a-megujulo-arantermelesben.298620.html>



Napenergia

Németország fotovoltaikus termelése 2018. július 14. és augusztus 14. között.



https://aszodiattila.blog.hu/2018/08/22/a_nyari_hohullam_hatasa_a_villamosenergia-termelésre

Koncentrált napenergia

Három technológiai alrendszer:

- Hőtermelő (napenergia koncentrátor)
- Hőtároló
- Hőhasznosító erőművi körfolyamat

Nagy egységnyi felületre eső energiasűrűség.

Koncentrálás tükrök segítségével → egy pontba történő fókuszálás

<https://www.mvmpartner.hu/hu-HU/ Szolgáltatások/Villamos-energia/Erdekessegek/Fotovillamoskoncentratorosnapenergia-hasznositas>

Koncentrált napenergia

Egydimenziós koncentráció:

- Parabola keresztmetszetű vályús koncentrátor:
 - Beérkező párhuzamos napsugarak
 - Fókuszvonalra koncentrálnak a parabola keresztmetszetű tükrök
 - Hőhordozó cső helyezkedik el a fókuszvonalban



CONCENTRATING SOLAR POWER PROGRAM REVIEW 2013
<https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/58484.pdf>

Figure 1. Phoenix parabolic trough collector – Xcel Cameo Coal Hybrid Plant, Grand Junction, CO

<https://www.mvmpartner.hu/hu-HU/Szolgalatasok/Villamos-energia/Erdekesssegek/Fotovillamoseskoncentratorosnapenergia-hasznositas>

Koncentrált napenergia

Egydimenziós koncentráció:

- Fresnel tükrös kollektor:
 - Fókuszálás: több vékony síktükrök
 - Előny:
 - Olcsó kialakítás
 - Kisebb területen, ugyanannyi napsugárzást fog be
 - Hátrány:
 - Tökéletlenebb koncentráció a síktükrök miatt



Linear Fresnel Collectors A Technology Overview

http://sfera.sollab.eu/downloads/Schools/Fabian_Feldhoff_Linear_Fresnel.pdf

<https://www.mvmpartner.hu/hu-HU/Szolgalatasok/Villamos-energia/Erdekesssegek/Fotovillamoseskoncentratorosnapenergia-hasznositas>

Koncentrált napenergia

Kétdimenziós koncentráció:

- Parabolatányéros koncentrátor / naptányéros koncentráció
 - Tükrök a parabolakonzolon
 - Fókuszpont: hőgyűjtő hőhordozó közeggel
 - Energiatárolás:
 - Sterling motor
 - Gőzfejlesztés → Rankine körfolyamat

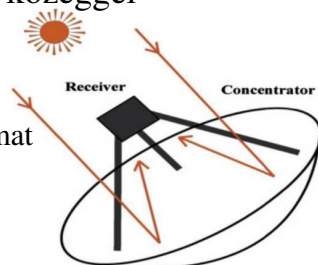


Figure 8.7. Schematic of a parabolic-dish solar concentrator [57].

Parabolic Dish

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/parabolic-dish>

<https://www.mvmpartner.hu/hu-HU/Szolgalatasok/Villamos-energia/Erdekesssegek/Fotovillamoseskoncentratorosnapenergia-hasznositas>

Koncentrált napenergia

Kétdimenziós koncentráció:

- Naptorony - energiátárolás
 - Hőhordozó: gyakran sóolvadék – 550-600 °C → jó hatásfok
 - Atmoszférikus nyomáson és 560 °C-on történő tárolás
 - Hőcserélő → gőztermelés
 - Nem kell cserélni a sót az erőmű élete során (30+ év)
 - Minimális hőveszteség (~15°C/nap)
 - Környezetbarát só → nátrium és kálium-nitrát keveréke → erőmű leszerelése után műtrágya



<https://www.leg.state.nv.us/App/InterimCommittee/REL/Document/5931> –

Crescent Dunes Project Overview 2014

<https://www.solarreserve.com/en/technology/molten-salt-energy-storage.html>

<https://www.mvmpartner.hu/hu-HU/Szolgalatasok/Villamos-energia/Erdekesssegek/Fotovillamoseskoncentratorosnapenergia-hasznositas>

Koncentrált napenergia

LUMMUS CONSULTANTS
INTERNATIONAL

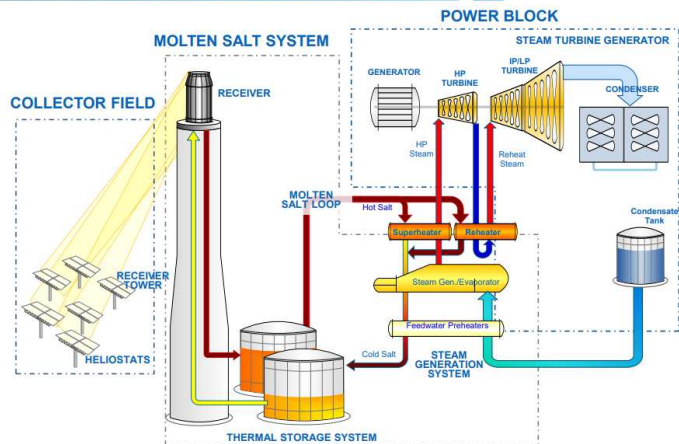


Image: SolarReserve

A World of Solutions
Applying Molten Salt from CPS to Baseload Heat Availability – CPS Technology overview
Lummus Consultants

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

85

Koncentrált napenergia

Naptorony – energiatárolás

- Előnyök:
 - Hagyományos erőműhöz hasonló működés (akkor termel, amikor kell)
 - Nincs károsanyag kibocsátás
 - 24/7 képes működni, ha kell
 - Olcsó összevetve a többi energiatárolási módszerrel
 - Költséghatékony működés
 - Akár kétszer annyit is képes termelni egy évben, mint bármilyen másik napenergia-technológia
- Hátrány:
 - Sólolvadék magas olvadáspont → folyamatos fagyásvédelem

<https://www.solarreserve.com/en/technology/molten-salt-energy-storage.html>

<https://www.mvmpartner.hu/hu-HU/Szolgaltatasok/Villamos-energia/Erdekessegek/Fotovillamoskoncentratorosnapenergia-hasznositas>

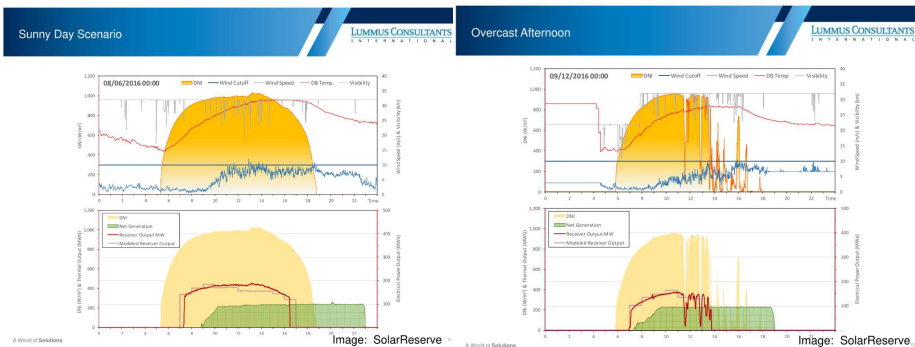
Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

86

Koncentrált napenergia

aaaaa



A World of Solutions

Image: SolarReserve

A World of Solutions

Image: SolarReserve

Applying Molten Salt from CPS to Baseload Heat Availability – CPS Technology overview
Lummus Consultants

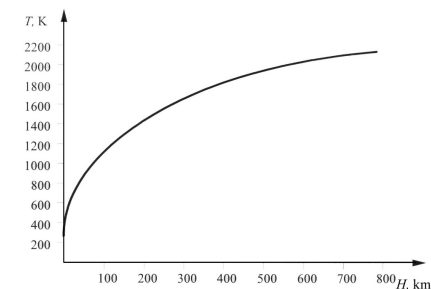
Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

87

Geotermikus energia

- Óriási mennyiségű hő a bolygóban
 - radioaktív bomlás!
 - földfelszínnél: 3 °C/100 m



	Vastagság [km]	Hőmérséklet [°C]	Sűrűség [g/cm ³]	Nyomás [kbar]
Kéreg	6-40	15-1000	3-3,3	0-9
Köpeny	2900	1000-2500	4-7	10-400
Folyékony mag	2100	2500-3000	8-10	400-1300
Szilárd mag	2600 (D)	3000-6000	11-13,5	1500-4000

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

88

Geotermikus energia

- Nagy geotermikus potenciál, de:
 - csak véges számú helyen lehet megcsapolni
 - reálisan megközelíthető mélységben a hő viszonylag alacsony hőmérsékleten van jelen → 10-15%-os hatások

- Lokálisan:

- vulkanikus övezetekben: gőzdómkok, forrásvizek
- Magyarország: az ország területének 70%-án a geotermikus gradiens kétszerese az átlagosnak



Rudas fürdő

Geotermikus energia

- Termákvizek hasznosítása

- balneológia
- forró termákvíz/termálgőz energetikai hasznosítása

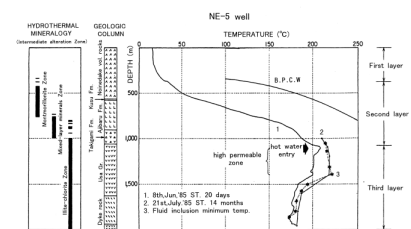


Fig. 6. Temperature profile of NE-5 well. Two measured down-hole temperature profiles under static conditions (1,2). Fluid inclusion minimum temperature (3), and boiling point-enthalpy curve for water (B.P.C.W.) are shown. Note that the down-hole temperatures do not reach the boiling temperature at any depth. This is confirmed in all wells in the area. Stratigraphy and alteration zones are shown in the left column, and the thermal structure of the flow layers is shown in the right CT-scanning image.

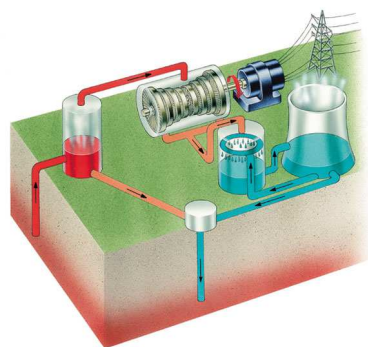


Takigami - termálgőz hasznosítás, 25 MW

Geotermikus energia

- Mesterséges források

- Hot-Dry-Rock eljárás
 - kísérleti erőművek: pl. Los Alamos mellett (5 MW)
 - Brandenburg (5 MW)



Az elzászi Soultz-sous-Forêts erőmű (1,5 MW)

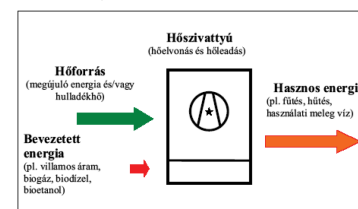
Geotermikus energia

Mesterséges földhőrendszerek:

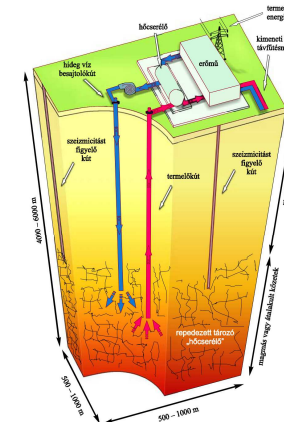
- Enhanced Geothermal System (EGS)
- Hot Dry Rock (HDR)
- Heat Mining (DHM)

Hőszivattyú

- a környezet hőenergiáját hasznosító berendezés
- A földhőszivattyúk a talajvízből és a kőzetekből közvetlenül nem hasznosítható hőenergiát vonnak el, ezt – külső energia felhasználásával – magasabb hőmérsékletű, hasznosítható hővé alakítanak



1.4. ábra: A hőszivattyús rendszer elvi vázlata (Kömös és társai, 2008)



1.3. ábra: Mesterséges földhőrendszer (Häring, 2002 in Madné Szönyi, 2006)

forrás: A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon; Ajánlások a hasznosítást előmozdító kormányzati lépésekre és háttér tanulmány, Magyar Tudományos Akadémia, 2008 http://www2.sci.u-szeged.hu/geotermika/dokumentumok/MTA_geotermika.pdf

Geotermikus energia

- Hasznosíthatóság
 - termálvizek lokálisan alkalmazhatók
 - kiaknázás fokozza a kimerülés veszélyét (a legtöbb geotermikus erőműben fokozatosan csökken a gőznyomás)
 - a megvalósított erőművek 70%-át száraz gőz táplálja
 - A kitermeléshez (gyakran) villamos energiára is szükség van



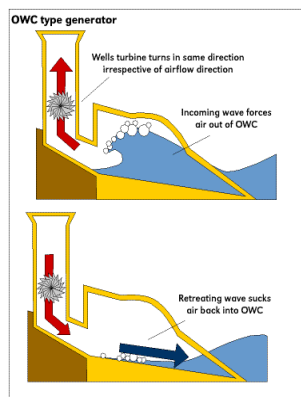
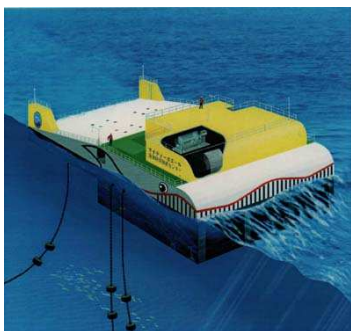
Japán Alpok, Nagano

Árapály, tenger hullámzása

- Hullámzás:
 - elméleti számítások szerint 1 m hosszú hullámfront teljesítménye
 - 1 m magas hullám esetén 1 kW
 - 2 m magas hullám esetén 10 kW
 - 13 m magas hullám esetén 1 MW
 - Északi-tenger: átlagos hullámmagasság 1,5 m, 6 s periódusidővel
 - túl erős hullámzás veszélyezteti a berendezést
 - kisteljesítményű (100-500 W) bóják ellátása

Árapály, tenger hullámzása

- koncepciók: Óriás Bálna (120 kW)
oszcilláló hullám oszlop (180 kW)



Árapály, tenger hullámzása

- Árapály
 - Hold 24 óra 50 perces keringési ideje, árapály 12 óra 25 perces ciklusa, illetve a maximumok szinuszos változása 14 napos ciklussal
 - lokálisan változó mértékű: néhány cm-től 15-20 m-ig
 - számítások szerint a földi árapály teljesítménye 2,6-3 TW

Árapály, tenger hullámozása

– erőművek

- Kanada, Új-Skócia (16 MW)
- Oroszország, Fehér-tenger (1 MW)
- Franciaország, St. Malo mellett a La Rance folyón (240 MW)



La Rance, St. Malo (EDF)

Árapály, tenger hullámozása

– La Rance

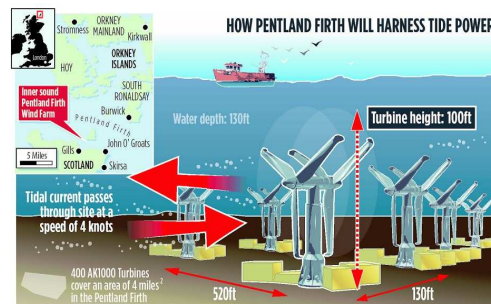
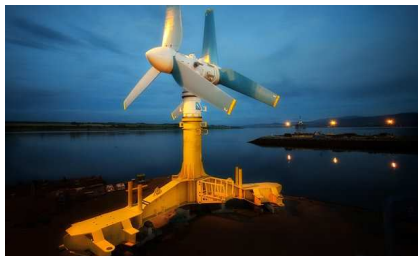
- 1967 óta évente 600 millió kWh termelt energia, összesen 16 milliárd kWh
- 24, két irányba is üzemeltethető turbina (Kaplan jellegű), egyenként 10 MW
- 750 m hosszú, 13 m magas gát
- 1996: 18,5 centime/kWh (8 Ft/kWh)



Árapály, tenger hullámozása

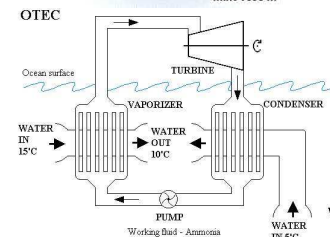
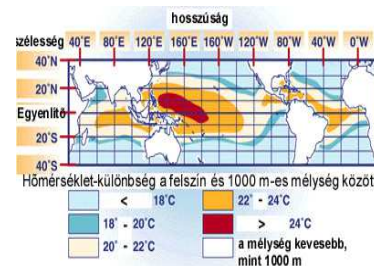
Pentland Firth (Skót-Felföld)

- 15 méter magas turbinák
- Egyenként 1,5 MW teljesítmény
- 23 millió font támogatás 269 darab turbina elkészítéséhez
- Teljes tervezett kapacitás 398 MW

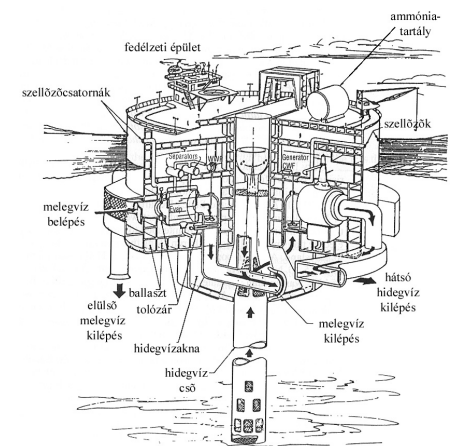


Óceáni hőenergia-átalakítás

- OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion)

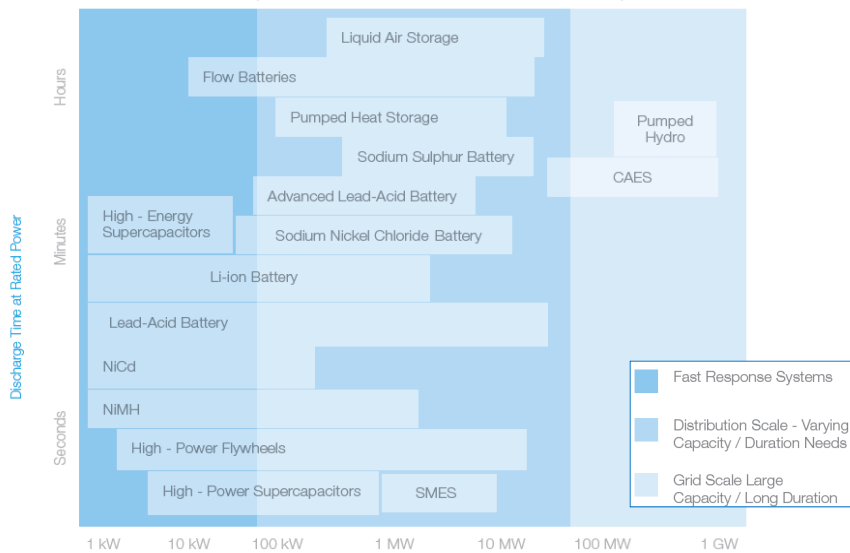


elméleti max. hatásfok: 6-7%



A 100 MWe erőműkonceptió egy 25 MWe-os blokkja; átmérője 100 m

Energiatárolási technológiák



<http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20E18%20Electricity-Storage.pdf>
http://www.arup.com/Publications/5_minute_guide_to_electricity_storage.aspx

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

101

Energiatárolási technológiák

- Lendkeres energiátároló / Flywheel energy storage (FES) - Fizika

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

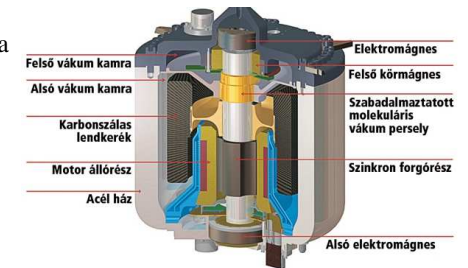
- Forgási energiát alkalmazza energiátárolásra

I: a lendkeréknek a forgástengelyre vett tehetetlenségi nyomatéka

ω : szögsebesség

- A lendkerékben tárolt energia arányos annak a forgási sebességének a négyzetével:

- Energia kivétel \rightarrow csökken a forgási sebesség
- Energia hozzáadás \rightarrow nő a forgási sebesség



<https://www.mvmpartner.hu/hu-HU/Szolgáltatások/Villamos-energia/Erdelkessegek/Lendkeresenergiatarolorendszerekalkalmazasazaalternativenergiatarolasban>

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

102

Energiatárolási technológiák

- Lendkeres energiátároló - Fizika

– Alkalmazás

- közlekedés (girobuszok, elektromos mozdonyok)
- Szünetmentes tápegységek
 \rightarrow a kapacitása hasonló az akkumulátoréhoz, de gyorsabb a kisütési sebessége
- Hálózati energiátárolás (FES plant in Stephentown, NY - 2011)
- Szélturbinák \rightarrow a csúcsidezők kivül generált teljesítményt tárolja

– Paraméterek

- Hosszú élettartam (10^5 - 10^7 felhasználási ciklus)
- Nagy energiasűrűség (360-500 kJ/kg)
- Nagy maximális teljesítmény
- Maximális hatásfok: 90%
- Kapacitástartomány : 3 kW – 133 kW



Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

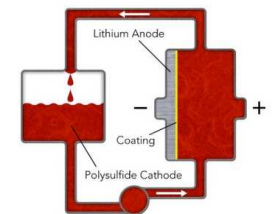
103

Energiatárolási technológiák

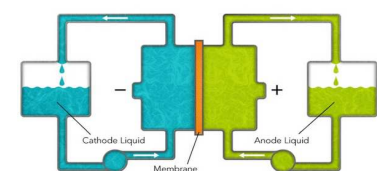
- Akkumulátorok

- Egy vagy több elektrokémiai cella, ami a tárolt kémiai energiát villamosenergiává konvertálja
- Elektrolit, ami lehetővé teszi az ionáramlást az anód és a katód között

New Lithium-Polysulfide Flow Battery Design



Today's Redox Flow Battery Design



1. elsődleges (egyszeri használat)

\rightarrow A kémiai reakció kimeríthető

2. másodlagos (újratölthető)

\rightarrow visszafordítható kémiai reakció

Source: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/05/new-battery-design-could-help-solar-and-wind-energy-power-the-grid>

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

104

Energiatárolási technológiák

• Akkumulátorok:

– Paraméterek:

- Rövid élettartam (hőmérsékletfüggőség, korrózió, kisülési sebesség, túltöltés)
- problémák: környezeti hatás

– Alkalmazás:

- autók
- Készletléti állapot kapcsolókhöz
- Telekommunikáció
- Szünetmentes tápegységek

Secondary cells (rechargeable batteries)				
example	anode (-)	electrolyte	cathode (+)	voltage
lead acid	lead (Pb)	sulfuric acid (H ₂ SO ₄)	lead oxide (PbO ₂)	2.11 V
nicad	nickel hydroxide (Ni(OH) ₂)	potassium hydroxide (KOH)	cadmium hydroxide (Cd(OH) ₂)	1.35 V
nife	nickel hydroxide (Ni(OH) ₂)	potassium hydroxide (KOH)	iron (Fe)	1.2 V
nizn	nickel hydroxide (Ni(OH) ₂)	potassium hydroxide (KOH)	zinc (Zn)	1.65 V
nickel metal hydride	nickel hydroxide (Ni(OH) ₂)	potassium hydroxide (KOH)	intermetallic compounds	1.2 V
lithium ion	carbon (C)	lithium salts in an organic solvent**	lithium cobalt oxide (LiCoO ₂)	3.6 V

Energiatárolási technológiák

• Szivattyús-tározós erőmű

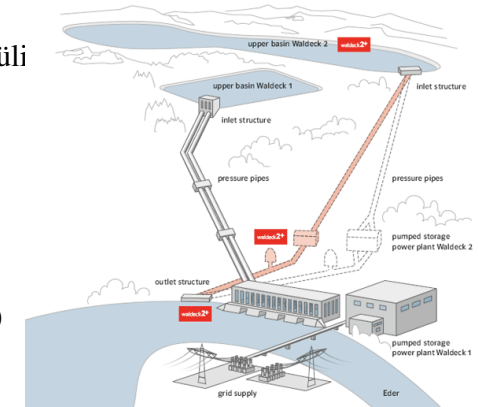
– Potenciális energia tárolása

→ a vizet felszivattyúzzák egy alacsonyabb pontból egy magasabbra (alacsony ár, csúcsidezőszakon kívüli periódusok)

→ Nagy kereslet:

a tárolt vizet turbinákon engedik át

(+Lásd: Megújulók 1. 10-20. dia)

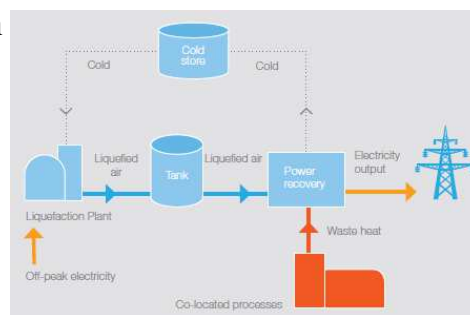


Energiatárolási technológiák

• Energiatárolás cseppfolyósított levegővel

- Cseppfolyós levegő vagy cseppfolyós nitrogén az energiátároló közege
- A cseppfolyósított levegő egy szigetelt alacsony nyomású tartályban van tárolva kriogén hőmérsékleten

→ Amikor szükségünk van az energiára, a cseppfolyósított levegő hőcserélőkön keresztül, hogy kitáguljon és meghajtson egy turbógenerátort

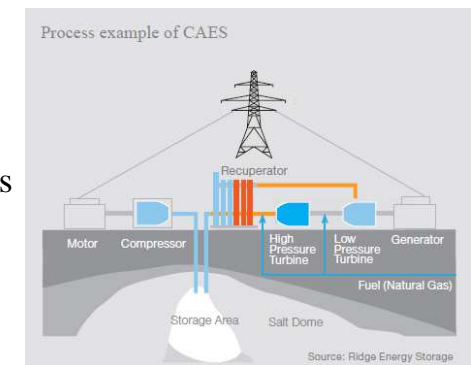


Energiatárolási technológiák

• Sűrített levegős energiátárolás

- A levegő sűrítése és tárolása energiátárolás céljából
 - Tároló létesítmény: földalatti geológiai üregek vagy erre a célra kialakított tartályok

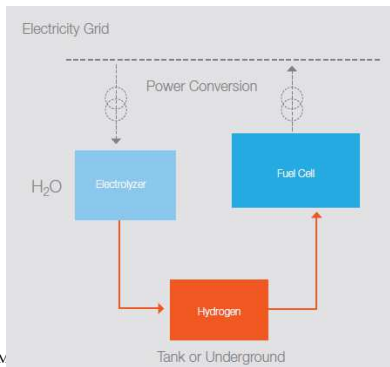
– Amikor szükségünk van a tárolt energiára, a kiengedett levegőt felmelegítjük földgáz égetésével, ami kitágul és meghajt egy gázturbinát mely elektromos áramot generál



Energiatárolási technológiák

• Hidrogén

- A víz hidrogénné és oxigénné bontásával (elektrolízis) tárolják az energiát (csak a hidrogént tárolják)
- Hálózati energia felhasználáshoz a tárolt hidrogént egy üzemanyagcellában oxigénnel rekombinálják, ami elektromos áramot generál



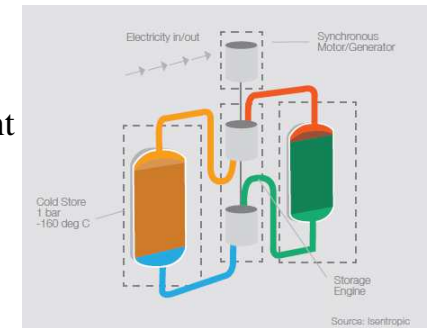
Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME

Energiatárolási technológiák

• Hőszivattyús energiatárolás (PHES)

- Az energia egy tároló motort hajt meg, ami hozzá van kapcsolva két nagy hőtárolóhoz
- Tároláskor az elektromos motor egy hőszivattyút hajt meg, ami a hőt a hidegebb részből a melegebb részbe pumpálja át
- Kiadáskor a hőszivattyú megfordul, és hőerőgépként üzemel



Fenntartható fejlődés és atomenergia

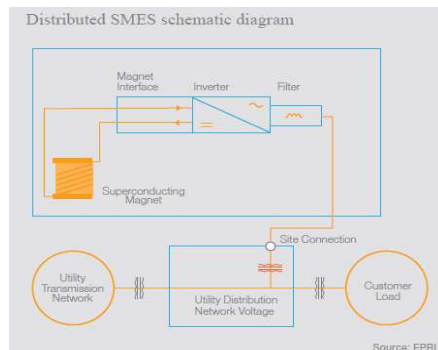
Dr. Aszódi Attila, BME NTI

110

Energiatárolási technológiák

• Szupravezető mágneses energiatároló (SMES)

- A szupravezető tekercsekben generált erős mágneses tér segítségével tárol energiát (a tekercsen átfolyó egyenárammal) → az energia sok ideig tárolható minimális energiaveszteség mellett



- A leggyakrabban alkalmazott típus az a Niobium-Titán, ami - 271 °C-on működik

Fenntartható fejlődés és atomenergia

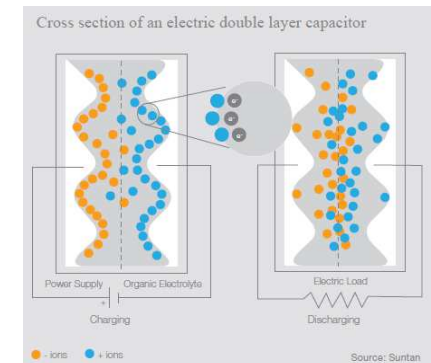
Dr. Aszódi Attila, BME NTI

111

Energiatárolási technológiák

• Ultrakapacitás vagy superkondenzátor

- A kondenzátorok az energiát, mint elektromos töltés tárolják két lemez között a kondenzátoron belül
- A hálózati frekvencia stabilizálásához használták ← gyors töltési és kisütési ciklusok
- Magas szintű önkisülés
- Rövid idejű tárolásra alkalmazzák



Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

112

Energiatárolási technológiák

Technical Performance	Typical current international values and ranges						
Technology Variants	Pumped hydro	CAES	High power Flywheels	Super - capacitors	VRB flow cells	Li-ions battery	SMES
Energy input/output	Electricity/Electricity						
Services, applications	bulk storage, load levelling, f/v regulation, renewables integration	bulk storage, load levelling, f/v regulation, renewables integration	distr. storage, UPS back-up, load levelling, renewables integration	distr. storage, UPS backup, v regulation, automotive	distr. storage, load levelling, renewables integration	distr. storage, load levelling, ren. integrat., portable power automotive	distr. storage, load levelling, f regulation renewables integration
Status	commercial	commercial	pre-commercial	R&D pre-comm	pre-commercial	pre-commercial	R&D demo
Typical power output, MW	250-1000	100-300 (10-20)	0.01-10	0.1-10	0.01-10	0.1-5 (<10)	0.1-10+
Storage capacity, kWh	na	na	1-25	na	20-50	5-10	na
Energy efficiency, %	70-80	45-60	> 85	90	75/80DC 65/70AC	90DC	>90
Lifetime, yr (cycles)	>30 >5E4	30 >1E4	20 (5E4-1E5)	na (5E4)	5-15/20 (1E4)	8-15 (1-3E3)	na (5E4)
Response time	sec. to min.	min.	sec.	sec.	short	sec.	immediate
Charge time	several hrs	hrs	15 min	sec	na	min to hrs	short

Source: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20E18%20Electricity-Storage.pdf>

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

113

Főbb ellenőrző kérdések és témakörök

1. Ismertesse a napenergia fogalmát, alkalmazásának módjait, gazdasági és műszaki megfontolásait!
2. Ismertesse a síkkollektor jellemzőit!
3. Ismertesse a magas hőmérsékletű kollektor jellemzőit!
4. Ismertesse a naptorony jellemzőit!
5. Ismertesse a fotovoltaiikus elemeket!
6. Ismertesse a geotermikus energia fogalmát és jellemzőit!
7. Mi az árapály energia és mi a tengeri hullámzás energetikai felhasználása?
8. Hogyan működik az óceáni hőenergia-átalakítás?
9. Ismertesse az energiatárolási módokat!

Fenntartható fejlődés és atomenergia

Dr. Aszódi Attila, BME NTI

114