



CENTRE FOR ENERGY RESEARCH HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

MTA Energiatudományi Központ Energia- és Környezetbiztonsági Intézet

Az energiatermelés környezeti hatásai

**Dr. Belgya Tamás
Igazgató**

**62. Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató
Debrecen 2019 március 13-16**

Tartalom

- Energetikai fogalmak, fizika korlátok, meghatározó mennyiségek
- Erőművek környezeti hatásai
- Összefoglalás

Bevezetés

Az előadásomban Dr. Szarka László akadémikus – az MTA Jövők a Föld Elnöki albizottság vezetője – e tárgyban közreadott gondolatait mentén fogok haladni.

Néhány az energia termeléssel és felhasználással kapcsolatos fogalom tisztázása

Energia biztonság: energiaforrások folyamatos elérhetősége megfizethető áron

Elsődleges (primer) energiaforrás, amelyet átalakítva felhasználásra előkészítünk

- Szén, szénhidrogének, napenergia, vízenergia, szélenergia, geotermikus energia, atomenergia, bioenergia

Másodlagos (szekunder) energiaforrás a fogyasztóhoz továbbítandó energia

- Gáz-hő, szén-hő, benzin-közlekedés/szállítás, nap-villamos, nap-hő, víz-villamos, szél-villamos, szél-mechanikus, geotermikus-hő, atom-villamos, ...

Harmadlagos (tercier) energiaforrás a felhasználónál átalakított energia

- Gáz-fűtés, villamos-hűtés, villamos-fény, villamos-mechanikus, ...

Energia egységek: $J = Nm = kgm^2/s^2 = VAs = Ws$, $eV \approx 1,602 \times 10^{-19} J$, $J \approx 0,24 cal$

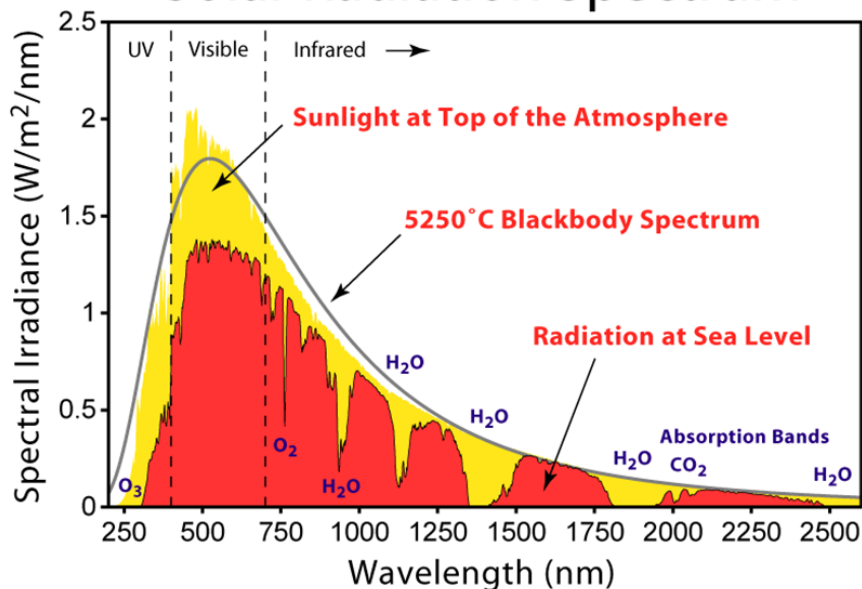
Energia fogalma

- Az energia az anyag, a sugárzás és a mozgás egyik legáltalánosabb tulajdonsága.
- Az energia mennyiségének megmaradása egy folyamat esetén az időbeli eltolás invarianciájára vezethető vissza (Noether-tétel, ill. Noether töltés).
- Az anyag, a sugárzás és a mozgás az energia megjelenési formái.
- Egymásba átalakulhatnak, miközben a teljes energia megmarad.
- Hétköznapi értelemben egy energiával rendelkező rendszerrel munkát végezhetünk (pl. autót hajthatunk), ill. munkavégzéssel energiát adhatunk át (pl. pumpálással egy palackban lévő levegő nyomását növelhetjük).
- A termodinamikával összhangban a **hasznos energiává átalakítás** során mindig veszteség lép fel, ezt a folyamat hatásfokának nevezzük: $\eta = \frac{E_{hasznos}}{E_{befektetett}} < 1$

Megújuló és nem megújuló primer energiák

- A **megújuló energia forrás** Szarka László elnevezése szerint „**folyamat jellegű**”, a **nem megújuló energiaforrás** „**tárolt jellegű**”
- A földön két forrása van a folyamat jellegű energiaforrásoknak, a Nap sugárzása és a Föld belső hője (geotermikus)
- A napfény formájában: szoláris állandó = 1361 W/m^2 fény fluxust mértek a világűrben, geotermikus hő fluxus 0.087 W/m^2 !!!

Solar Radiation Spectrum

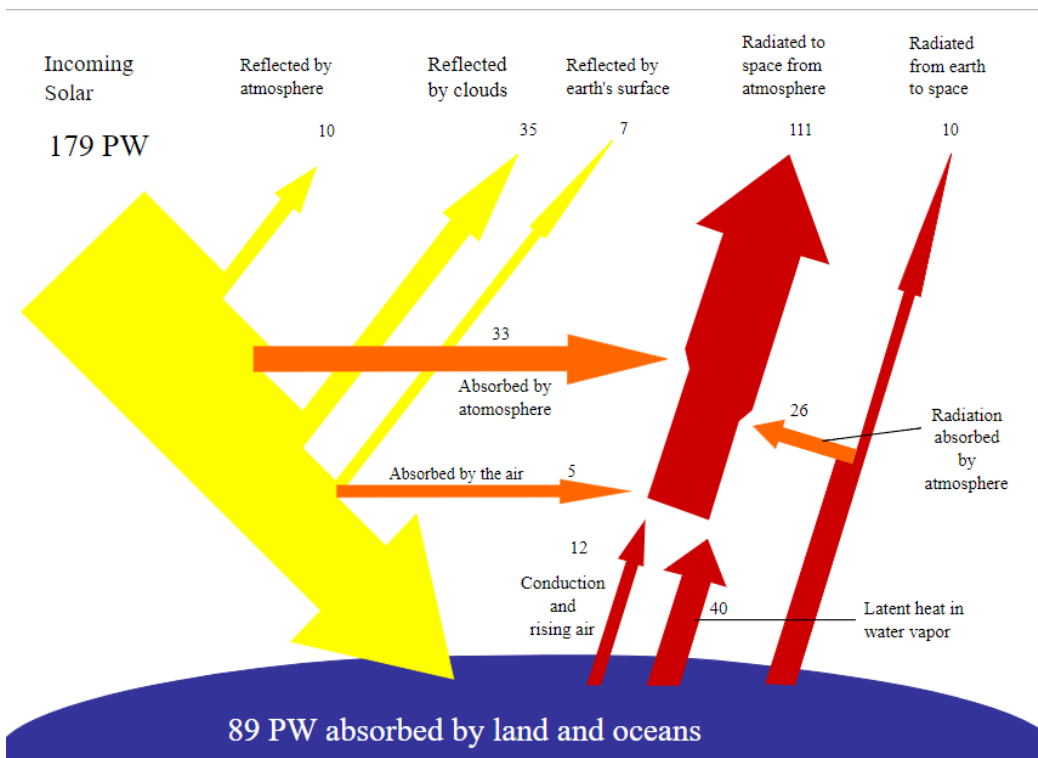


A föld felülete: $1.28 \cdot 10^{14} \text{ m}^2 \Rightarrow 1.74 \cdot 10^8 \text{ GW}$
Az éves besugárzási energia 5.5 YJ, ebből 3.9 YJ nyel el felszín, de ezt vissza is sugározza a világűrbe (különben nem lenne egyensúly)

Az emberiség éves primer energia felhasználása 18000 GWév vagy 0.57 ZJ

Tehát a nap sugárzásának kb. 0.01%-át használjuk fel összességében

Napenergia és más energiatermelés



Éves szoláris eredetű energiák EJ Globális/Magyarország

Szoláris	3850000/49
Szél potenciál	2250/0.53
Biomassza pot.	200/0.2
Víz potenciál	187/0.014

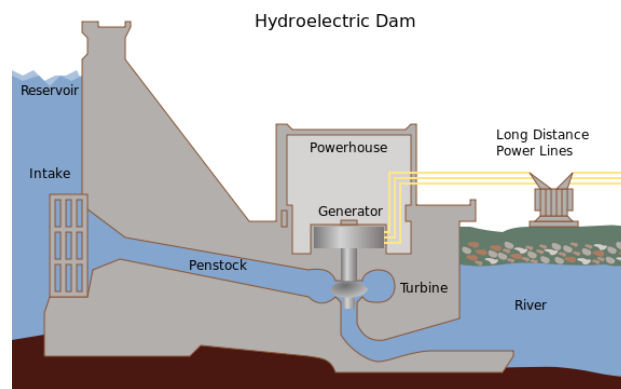
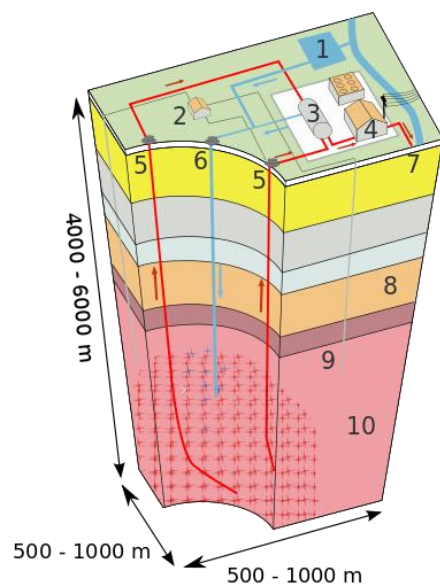
Globális energiatermelés EJ

Primer	575
Víz	38
Biomassza	4
Szél	3.8
Napelem	1.8
Koncentrált napenergia	0.05
Óceáni	0.004
Geotermikus	0.3
Elektromos	67
Szén	66
Gáz	21.6
Nukleáris	4.4

6

Primer megújuló energia átalakítás másodlagosra

	áram	hő	bioüzemanyag	hirogén	mechanikus
nap	X	X	X	X	
szél	X				X
óceán	X	X			
víz	X				X
biomassza	X	X	X		
geotermikus	X	X			



Rance, second largest tidal power station at 240 MW

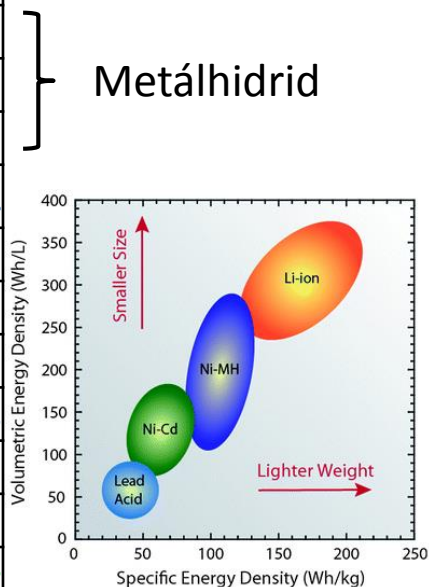


Energiaforrások fajlagos energiatartalma

Tárolás

Fűtőanyag	Égéshő (MJ/kg)
Hidrogén	143
Szén-monoxid	10.1
Metán	55.5
Etán	51.9
Propán	50.3
Bután	49.5
Biodízel	40
Metilalkohol	22.7
Fűtőolaj	45
Gázolaj	46
Benzin	47
Paraffinolaj	49
Száritott fa	19
Tőzeg	23
Barnaszén	10
Barnaszén brikett	21
Grafit	32.8
Paraffin	49
Foszfor	25.2

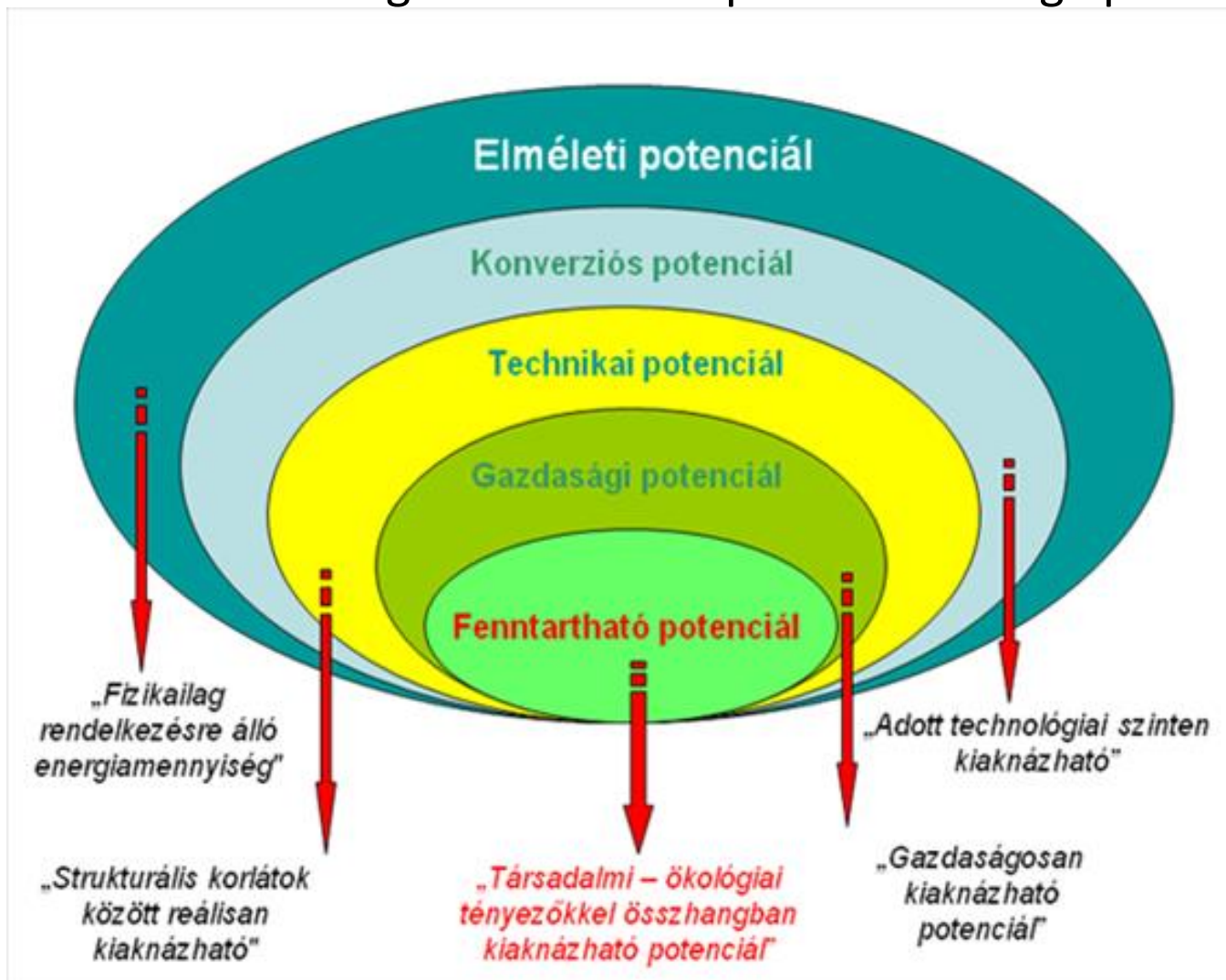
Energiahordozó (1 kg)	Fajlagos energiatartalom (MJ/kg)
mc^2	89 876 000 000
D-T fúzió	337 408 588
urán (235)	80 250 000
Magnézium	25.2
MgH ₂	9.9
FeTiH _{1.95}	2.5
LaNi ₅ H _{6.7}	2.5
Ólom akkumulátor	0.008-0.014
NiCd	0.013-0.022
NiMH	0.017-0.033
Li-ion/kobalt	0.042-0.053
Li-ion/Mangán	0.028-0.038
Li-ion/foszfát	0.025-0.033
Li-polimer	0.040-0.055
Anyag	Lecsapódási hő MJ/kg
Etanol (78.4 °C)	0.841
Metanol (64.7 °C)	1.104
Víz (100 °C)	2.257



Kémiai energiatartalom $< 10^{-6}$ Atomenergia tartalom, forrás wikipédia/ Belgya

Energia potenciálok

Az energiatermelésben meghatározó szerepe van az energiapotenciáloknak



Energetika Dr. Tóth Péter, Dr. Bulla Miklós, Dr. Nagy Géza (2011)

https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Energetika/ch02s02.html

Megújuló és tárolt jellegű energiákról

A megújulók problémája az **alacsony teljesítményfluxusuk**, mit jelent ez?

Konverziós potenciál		Technológia	Szükséges terület m ² /GWh (30 évre előre)
Primer energia teljesítmény fluxusa			
Bioenergia:	0.5 W/m ²	Geotermikus	400*
Szélergia:	2 W/m ²	Szél	800-1335
Napelem park:	5-10 W/m ²	Fotovillamos	3237
Vízerőmű:	24 W/m ²	Napenergia	3561
Koncentrált naperőmű:	20 W/m ²	Szén	3642**
Anglia nap átalakítás előtt:	110 W/m ²		
Sivatag átalakítás előtt :	250 W/m ²		
Szénerőmű:	278 W/m ²		
Gázerőmű:	370 W/m ²		
Atomerőmű:	966W/m ²		

Életciklus elemzés alapján: Giuliano Buceti
Env. Quality: Int. J. 25 (2014) 5-18

*A mélyben jóval több, akár több km²

**A széntüzelésű erőművek, illetve az ahhoz tartozó bányászat és szállítási útvonalak jóval több területet igényelnek, mint a szélerőművek (ez utóbbi vitatható).

Energetika Dr. Tóth Péter, Dr. Bulla Miklós, Dr. Nagy Géza (2011)
https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Energetika/ch02s02.html

Magyarország területe: 93000 km²,
lakosság: 9.781 millió, 105 fő/ km²
Magyarország primer energia
fogyasztás/év: 1121 PJ, 850 PJ import

Magyarország teljes megújuló energetikai
potenciálja: 2665-2790 PJ/év, konverzió átlag: 15%,
A fogyasztás kb. 30%-a azaz 400 PJ/év

Életciklus elemzés: Az előállítás és újrafeldolgozás minden lépésének figyelembevétele!!!

Az energiatermelés környezeti hatásai

Tárolt jellegű primer forrásból

Minden energiaátalakításnak vannak környezeti hatásai

Az energiatermelés környezeti hatásai

(Szén hő v. villamos energia)

- Mo.-on nagy szén (lignit) készlet van, lignit bányászat és szállítás $\Rightarrow$ porterhelés (markológép, hosszú szállítózalag, vasút, zaj)
- A bányászat jelentős környezet átalakítással jár
- A Mátrai Erőmű évente több, mint 6 millió tonna szén-dioxidot bocsát ki, amely az ország teljes kibocsátásának több, mint 10%-át jelenti.
- Kéndioxidot, nitrogénoxidot is bocsát a légkörbe
- Biomassza (10%) kukoricaszár, szalma, maghéjak, gombakomposzt, faapríték és napraforgószár az összes szénerőműben



Mátrai erőmű, Visonta beépített
Szén 900 MW Gáz 2x33 MW, PV
16 MW



Mátrai erőmű, Visonta



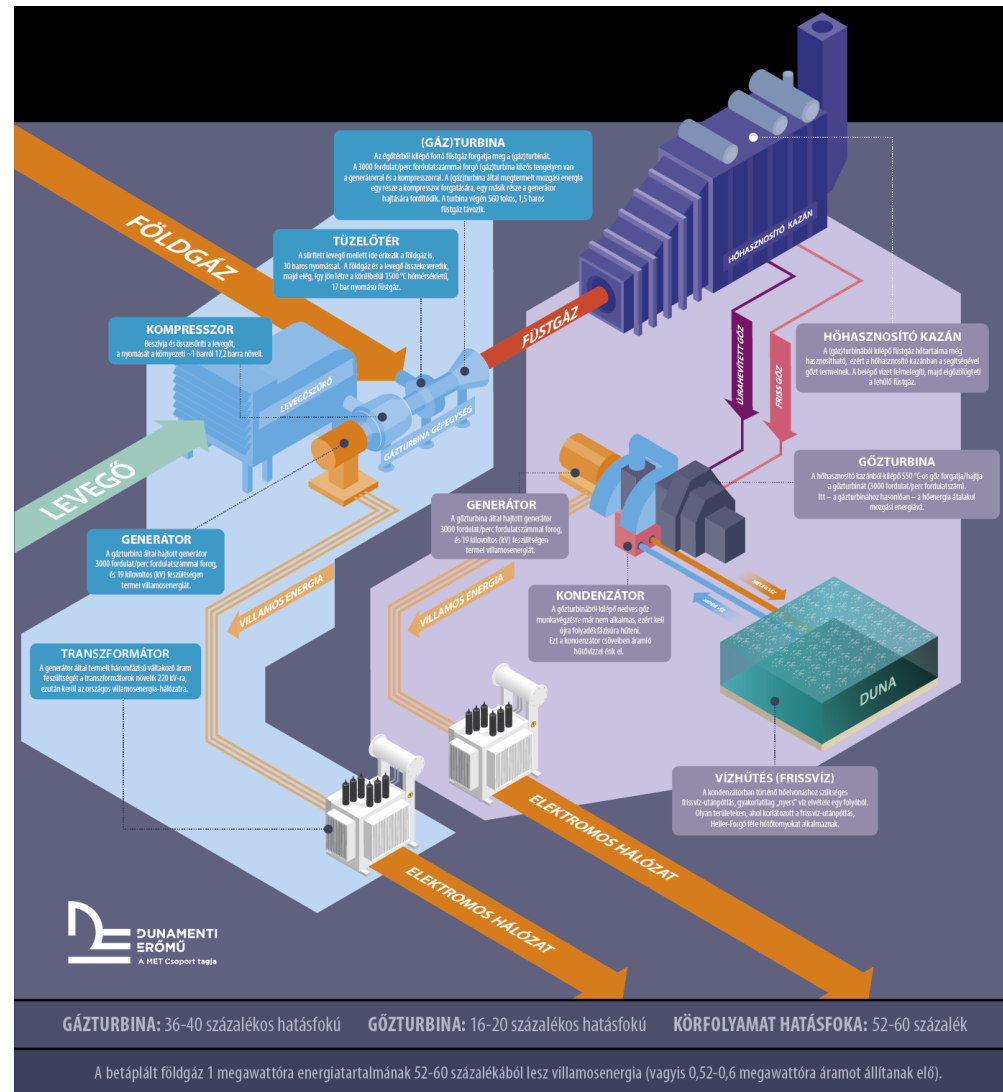
Bükkábrányi külszíni fejtés



Az energiatermelés környezeti hatásai (Gázerőmű)

A Dunamenti Erőmű (kombinál típus)

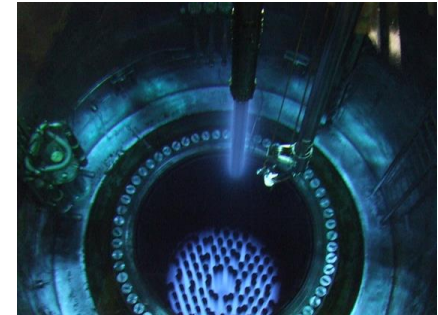
- A legtisztább szénhidrogén tüzelésű erőműtípus
- Gyorsan indítható
- Hatásfok gázturbina 40%, füstgáz gőzturbina 20%, 860 MW villamos és 560 MW hő teljesítményű kombinált erőmű
- Környezeti hatás gázvezeték, szivárgás, szag
- CO₂ kibocsátás 60%-a a szén-erőműnek
- Duna melegítés
- A régi blokkok helyén 16.7 MW napelem park létesül



Az energiatermelés környezeti hatásai

(Atomerőmű)

- Az atomerőmű a klíma változás, stabilitás és a területfoglalás szempontjából a legjobb alaperőmű választás
- Üzemelése minimális anyagmozgatást igényel
- A Duna melegítése
- A biztonságos üzemelést folyamatos fejlesztésekkel támogatják (pl. MTA EK)
- A kiégett üzemanyag tárolása mély geológiai tárolóban lehetséges, amelynek problémája a hosszú kb. 1 millió éves tárolási idő
- A tárolási idő lerövidíthető az un. IV. generációs reaktoros vagy gyorsítóval működtetett átalakító rendszerrel, melyek kifejlesztése folyamatban van
- Magyarországon az összesen 2 GW_e teljesítményű 4 blokk adja az villamos energiatermelés 50%-át



Az energiatermelés környezeti hatásai

Megújuló v. Folyamat jellegű primer forrásból

Az energiatermelés környezeti hatásai

(Biomassza primerről másodlagosra)

Előnyei

- A biomassza megújuló energiaforrás – az eltüzelt növények helyére újabbak ültethetők.
- Szénsemleges energiaforrás.

Hátrányai

- Költséges módja a villamos energia előállításának
- Biomassza-források közelében kell megépíteni (30 km-es körben gazdaságos a szállítás)
- Mező gazdaságilag hasznosítható területeken konkurál az élelmiszer-termeléssel.

Magyarországi biomassza-erőművek:

- Ma már a legtöbb széntüzelésű erőmű vegyes tüzelésű.
- Biomassza fűtő- és erőmű Magyarország több településén van. Ezek kapacitása 2-50 MW között van
- Faaprító nagyon zajos, a föld beleremeg, gázkibocsátás, mint a szénerőmű



A hamu veszélyes hulladék, mezőgazdasági hasznosításra hígítás nélkül nem használható, ez viszont nem megengedett. Napi kb. 20 t keletkezik.

Pannon Hőerőmű, Pécs

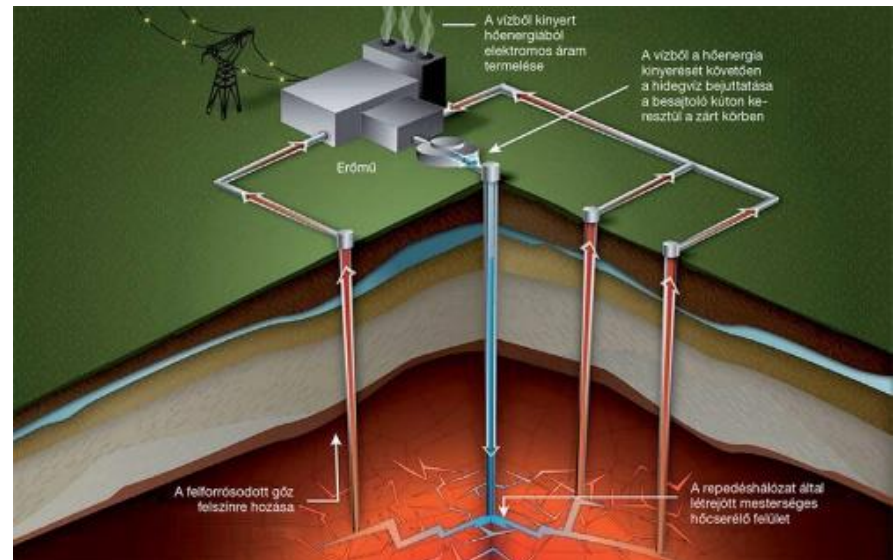
Az energiatermelés környezeti hatásai

(Geotermikus erőmű)

- EGS (Enhanced Geothermal System) rétegrepesztés szükséges, okozhat földrengést, beszajtott vizet igényel, ha a kőzet száraz
- A meleg ágon beérkező víz jelentős oldott ásványi anyagot és gázokat hozhat
- Nincs jelentős környezetszennyezés (a gázokat égetéssel lehet ártalmatlanítani)
- Igazán nagy geotermikus erőművet csak vulkánokhoz közeli nagy hő gradiensű ($1\text{W}/\text{m}^2$) területen lehet építeni (Magyarország nem ilyen hely)
- A kicsi fluxus miatt kimeríthető, nagy több km^2 területről lehet összegyűjteni a hőt



Nesjavellir geotermikus erőmű, Izland



EGS Battonya, 12 MW + hő 62 MW épül

Az energiatermelés környezeti hatásai

(Vízerőmű)

- A legnagyobb teljesítményű megújuló energia, vízjárás függő
- Sík vidéken nagy tározó szükséges, sok helyet foglal igen sokáig
- Jelentős környezet átalakítás
- A hordalék lerakódás metán (üvegház hatású gáz) felszabadulással jár
- Hegyvidéken mélyvízű tározók
- Földrengés veszély, gátszakadás
- Csökkenti az árvízveszélyt, öntözéshez hozzájárul
- Hazánkban mindössze 57 MW kapacitással két nagyobb (Kisköre és Tiszalök) és 11 mini erőmű működik
- Magyarország legjelentősebb vízerőműve a [Bős-nagymarosi vízlépcső](#) lett volna (Bős - 720 MW; Nagymaros - 160 MW), de a társadalmi ellenállás miatt megbukott (1992). Azóta tabutéma



Kisköre 28 MW



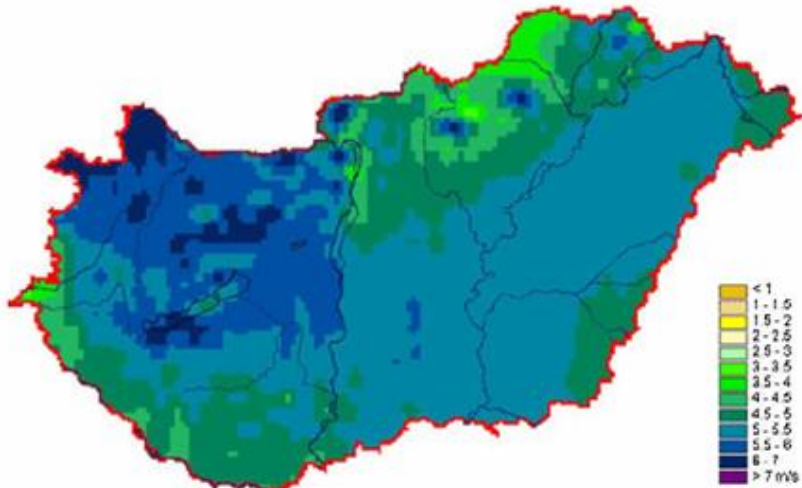
Tiszalök 12.9 MW



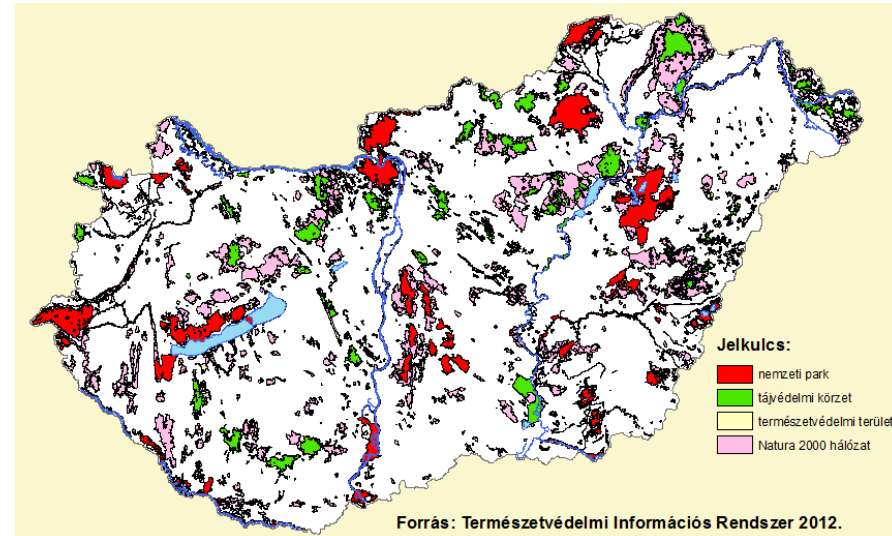
Gibárti vízerőmű

Az energiatermelés környezeti hatásai (Szélerőmű)

- Zajhatás: 95-105 dB(A)-t mértek. A torony lábától 50 m-re a zaj emisszió már csak 50-60 dB(A)
Esztétikai követelményeket is figyelembe kell venni
- Tájvédelmi területek kizárva
- Madarak pusztulása, vonulási útvonalak kizárva
- Elektromágneses sugárzás interferenciája lehetséges és kerülendő (tervezési megszorítás)
- 171 db 330 MW



Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat



Forrás: Természetvédelmi Információs Rendszer 2012.

Az energiatermelés környezeti hatásai

(Naperőmű)

- Harmadik legnagyobb területigényű változó teljesítményű energiatermelés
- Két formája terjedt el
 - a napelem park erőmű direkt villamosenergia termelés
 - a koncentrált naperőmű generátoros villamosenergia termelés
- A termelés alatt lényegében nem szennyezi a környezetet
- A folyamatos ellátáshoz tárolást igényel (szélerőmű is)
 - Akkumulátor park drága és szennyező lehet
 - Szivattyús víztározó, szintén nagy területigényű
 - Olvadék sós tárolás (éjszakai üzemet is lehetővé teszi)
 - Elektrolízises hidrogén, városi gáz vagy vegyi anyag tárolás (hosszú idejű), széndioxidot is fel lehet használni
 - Okos hálózatot is be lehet vonni a tárolásba (elektromos autó, vízmelegítés)

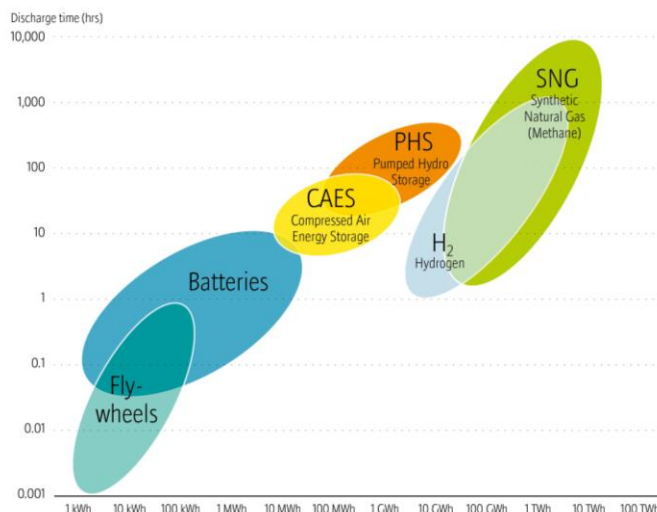


Az energiatárolás környezeti hatásai

(Pumpás vízerőmű, akkumulátor park, Kémiai energia)

- Egy 100 m magasságon megépített pumpás vízerőműben 1GWh tárolásához, 3.6 km³ vagy 3.6 Mt vizet kell felpumpálni (hatásfok 100%, valóság 70%)
- Akkumulátor : ólom 2.5x10⁵ t, Li-polimer 66000 t (30-80% energia)
- Kémiai: hidrogén 25.2 t $\Rightarrow$ 3x10⁵ m³, metán 65 t $\Rightarrow$ 9.9x10⁴ m³, gázolaj 78 t $\Rightarrow$ 92 m³ (hatásfok függ az előállítástól, de vsz. <80%)
- Mindegyik tárolási módnál veszteséggel kell számolni

Overview storage capacity of different energy storage systems



Összefoglalás

- Minden energiatermelési folyamatnak számos környezeti hatása és fizikailag korlátozott mennyiségi határa van
- Egy ország energiatermelésében fontos szerepe van a társadalmi elfogadottságnak
- A fentiek felül a gazdaságossági, ellátásbiztonsági, fenntarthatósági és politikai szempontok figyelembevételével lehet kialakítani azt az energia mixet (energiatermelési arányt), amely a legkedvezőbb az ország számára.

Olvasmány: Magyar Tudomány, „Megújuló energiaforrások és környezeti hatások vendégszerkesztők: Ádám József és Szabados László, 8. (2010) 906-979

<http://www.matud.iif.hu/archive.htm>

<http://www.matud.iif.hu/2007-08.pdf>



Köszönöm a figyelmet!

Az energia fogalma

- Nagyon nem egyszerű (Görög szó (ἐνέργεια) azaz akció)

Idézet Robert L. Lehrmantól az Amerikai Tanárok Egyesülete lapjában megjelent cikkéből:

„Az energia modern definíciójának, a termodinamika első és második törvényén kell alapulnia. Bármilyen kevesebb meghamisítja a képet. Ha néhány szóban nem lehet kielégítő definíciót adni, akkor meg kell elégedjünk azzal, hogy nem kapunk egy szép leírást.”

R. Feynman Lectures on Physics:

„Az energia megmaradás törvénye azt állítja, hogy van egy bizonyos mennyiség, amit energiának nevezünk, amely nem változik miközben a természet jelentő változáson megy keresztül. Ez egy elvont gondolat, mert ez egy matematikai elv, amely azt mondja ki, hogy van egy numerikus mennyiség, amely nem változik, amikor valami történik.”