

# Az energiatermelés és - felhasználás természeti következményei

Szarka László

geofizikus-mérnök, az MTA levelező tagja

MTA KÖTEB Energia és Környezet Albizottság (2008-2011, 2011-2014)

MTA KÖTEB Jövők a Földön (Future Earth) Albizottság (2014-2017)

szarka.laszlo@csfk.mta.hu

I. 2014-ig

II. 2014 óta

# *Magyar Tudomány*

MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK  
ÉS KÖRNYEZETI HATÁSOK  
vendégszerkesztők:  
Ádám József és Szabados László

Sina Simon 1810–1896  
Rekurzívak-e a természetes nyelvek?  
Szubjektív tudománytörténet

---

**2010•8**

Környezeti hatás: a természet reakciója az emberi tevékenységre

A természeti folyamatokba való emberi beavatkozás következményei nemlineárisak és beláthatatlanul hosszú távúak. A környezeti hatás helyett ezért inkább az emberi tevékenység, a természeti folyamatokba történő beavatkozás mértékét, intenzitását érdemes becsülni.

Az emberi beavatkozás három lényeges összetevője:

- (1) a geo-, hidro- és atmoszféra szennyezése (amelyek közül a figyelem manapság – alighanem túlzó mértékben – a CO<sub>2</sub>-kibocsátásra összpontosul);
- (2) a természettől elvett terület (ilyen az „ökológiai lábnyom”);
- (3) maga az energiatermelés és -felhasználás mértéke, az energiafajtától függetlenül

Az emberi beavatkozás intenzitásának mérséklését kizárólag az energia-felhasználás csökkentésével lehetne elérni.

## **MTA KÖTEB Energetika és Környezet Albizottság (2011):**

(Idézet az Energetika és Környezet Albizottságának állásfoglalásából):

Olcsó és könnyű megoldások nincsenek, és az ún. megújuló energiahajtákból a ma ismert megoldásokkal a világ jelenlegi energiaigénye nem elégíthető ki. A megújuló energiahajtáknak is megvannak a maguk korlátaik, környezeti hatásaik: a szennyezés csökkentésének ára például a természettől energiatermelésre elvett terület nagyságának növekedése. Tekintve, hogy az energiaforrások egyre növekvő felhasználása következtében az emberiség megsokszorozta természetátalakító tevékenységének intenzitását, a természetre gyakorolt legnagyobb emberi hatása éppen az energiatermelésnek és -fogyasztásnak van.

Természeti környezetünk megóvása érdekében ezért a legnagyobb lehetőség – globálisan és Magyarországon is – az energia-takarékosságban és az ésszerű energia-felhasználásban rejlik. Természeti lehetőségeinkkel a józan ész követve kell élni: idehaza minden energiahajtát a saját, optimális helyén, és megfelelő mértékben ajánlatos figyelembe venni. A bioenergiában a helyi felhasználás, a geotermikában a pazarlás megszüntetése, a szélenergiában az egyenletesebb időbeli termelés megvalósítása (pl. víztározással), a napenergia terén a lokális kiegészítő szerep lehetséges növelése, a vízenergia terén pedig egy teljes, politikamentes újragondolás kínálkozik lehetséges legfontosabb célkitűzésként.



Jeffrey Sachs: Sustainable development goals for a new era (2014)

## „Készlet jellegű” és „folyamat jellegű” energiafajták

### STOCK

#### Terrestrial stock (földikészlet-jellegű) energia

Nem megújítható („non-renewable”), terresztikus

kőszén, szénhidrogének, nukleáris hasadóanyagok,  
geotermikus energia

a Föld forgási energiája, árapály-energia

részben a biomassa

### FLOW

#### Flow (folyamat-jellegű):

Megújítható („renewable”), extraterresztikus

a Nap által vezérelt természeti folyamatok  
megcsapolásából: nap-, víz-, szél-, biomassa-,  
hullámenergia, felszín közeli földhő

részben a biomassa

Emisszió

**Kőszén: 30,0 %**

**Kőolaj: 32,6 %**

**Földgáz: 23,7 %**

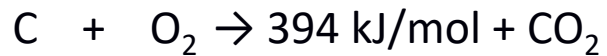
**Atomenergia: 4,4 %**

**Víz: 6,8 %**

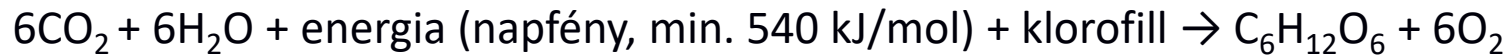
**Megújuló (víz nélkül): 2,5 %**

**Primer energia összesen: 100 %**

A légköri CO<sub>2</sub>-szint emberi befolyásolásának három kézenfekvő módja:



A fotoszintézis egyenlete:



(A CO<sub>2</sub>-egyenleghez hozzájárul: mállás, szubdukció, metamorfózis, vulkanizmus, hőmérsékletváltozás)

| Időszak                  | időszaki energia | Időszak                  | összegzett energia |
|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------|
| 1800-1850                | 1.00 ZJ          | 1800-1850                | 1.00 ZJ            |
| 1850-1900                | 1.50 ZJ          | 1800-1900                | 2.50 ZJ            |
| 1900-1950                | 7.50 ZJ          | 1800-1950                | 10.00 ZJ           |
| 1950-2000                | 13.75 ZJ         | 1800-2000                | 23.75 ZJ           |
| 2000-2015                | 9.00 ZJ          | 1800-2015                | 32.75 ZJ           |
| <b>2015-2050</b>         | <b>23.00 ZJ</b>  | <b>1800-2050</b>         | <b>55.75 ZJ</b>    |
| további növekedés nélkül |                  | további növekedés nélkül |                    |

1 ZJ (zetajoule)=  $10^{21}$  joule

|       |                                                                                |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 39 ZJ | A világ teljes becsült fosszilisenergia-készlete (2010)                        |
| 15 ZJ | A Földet 24 óra alatt érő napsugárzás teljes energiája                         |
| 40 ZJ | Egy nagyon nagy földrengés energiája<br>(pl. Indiai óceán, 2004. december 26.) |

Az ember közvetlen élettere valójában a bioszféra (a litoszféra, a hidroszféra és az atmoszféra azon része, ahol van élet és biológiai folyamatok mennek végbe). Ha a tengerfenéktől a sztratoszféráig terjedő 20 km vastag gömbhéj térfogatát tekintjük bioszféraként, akkor az kevesebb, mint hétmilliomod része a szilárd Földének. (Amennyiben a Földet a tízszeres földugár-távolságban lévő magnetopauzáig értenénk, akkor a bioszféra ehhez a térfogathoz képest a nanotartományba kerülne.)

Az emberiség az ipari forradalom óta mintegy 30-40 ZJ-nyi primerenergia-mennyiséget használt el. Néhány természeti energia:

1. Egy erős földrengés során annyi energia is felszabadulhat, mint amennyit az emberiség az ipari forradalom óta összesen használt. (A 2004. december 26-ai indiai-óceáni földrengés energiája 40 ZJ volt.)
2. A bazaltvulkanizmus során felszabaduló hő is tekintélyes lehet; a közép-atlanti bazaltvulkanizmussal létrejött 2,5 millió köbkilométernyi bazalt esetében 10 ezer ZJ nagyságrendben van.
3. 40 ZJ-ra tehető a Földet nem egészen három nap leforgása alatt élő napenergia mennyisége (15 ZJ/nap, ami 17 ezer TW-nyi teljesítménynek felel meg).
4. A földkéreg legfelső 1 km-nyi héjának hőtartalma 40 ezer ZJ (az atmoszférába távozó földhő 40 terawatt, az energiafelhasználás több mint kétszerese).
5. A Föld kinetikus (forgási) energiája kétszázmillió zetajoule.

Az emberiség által elhasznált energiamennyiség meglepően csekély. Ezért a Napból és a Föld belsejéből érkező folyamat jellegű energiákkal sokan száz százalékban kiválthatónak tartják a készlet jellegű energiaforrásokat.

## A természeti energiák megcsapolásának lehetőségei

A Nap – amely a geotermikus energia kivételével az összes többi megújuló energia forrása, hiszen valójában a természetet működteti – valóban bőségesnek („abundant”-nak) látszik. Az ember ma annyi fosszilis energiaforrást használ, amennyi a Földet érő napsugárzás energiája több mint  $1/10000$  ( $1/7000$ -ed) részének felel meg. És annyi megújulót, ami a napsugárzási energia egymilliomod részének nagyságrendjébe esik. Felmerül a kérdés, hogy lehet-e a napenergia  $1/10000$ -ednyi energiamennyiségét vagy ennél még többet a Nap aktuális energiáját megcsapolva előállítani? Ha figyelembe vesszük, hogy a Nap Földet érő energiájának fele a termesztett növények fotoszintézisét hajtja, és hogy a növények a fotoszintézis által száz másodpercenként kb. 130 TJ energiát tárolnak (azaz a teljesítményük 130 TW, alig hétszerese az emberiség primerenergia-felhasználásának), akkor ez már óvatosságra kell, hogy intsen bennünket. Bizonyosan nem lehet jelentősen növelni a napenergia megcsapolását, mert az megengedhetetlenül nagy beavatkozás lenne a természet rendjébe: magát a legfontosabb természetformáló erőt változtatná meg.

Egy másik (a fentitől független, az üvegházhatáson alapuló) megközelítés (MEADOWS ET AL. 1972) szerint is van felső határa a Földre érkező napenergia hasznosításának. Azzal ugyanis, ha annak  $5/10000$ -ed részét (tehát a jelenlegi energiafelhasználás három és félszeresét) többletként felszabadítjuk – bármilyen tiszta módon – a földi átlaghőmérséklet kb. egy fokkal emelkedik (GYULAI 2010).

| Energia                               | Technológia                                                     | Példák                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>természeti adottságok</b>          |                                                                 | helyek, ahol terresztikus energiák felhalmozódhattak; napsütéses, szeles hely, folyó, erdő                                                                                  |
| ↓                                     | előállítás: kinyerés, begyűjtés, befogás, különféle eszközökkel | bányászat (kőszén-, szénhidrogén-, uránérc), fakitermelés, energiabefogó berendezések gyártása: szélmalom (szélturbina), napkollektor és fotovoltaikus átalakító, gátépítés |
| <b>elsődleges (primer) energia</b>    |                                                                 | kőszén, kőolaj, földgáz, uránérc, biomassa, vízenergia, geotermikus energia, napenergia, szélenergia                                                                        |
| ↓                                     | átalakítás                                                      | erőmű, égetőkemence, finomító                                                                                                                                               |
| <b>másodlagos (szekunder) energia</b> |                                                                 | finomított olaj, villamos energia, hő, biogáz                                                                                                                               |
| ↓                                     | szállítás/átvitel                                               | teherfuvar, csővezeték, távvezeték                                                                                                                                          |
| <b>harmadlagos (tercier) energia</b>  |                                                                 | szén, dízelolaj, benzin, faszén, villamos energia, hő, biogáz                                                                                                               |
| ↓                                     | átalakítás                                                      | motorok, melegítők, kályhák                                                                                                                                                 |
| <b>hasznos energia</b>                |                                                                 | végfelhasználás („shaft power”), hő, fény                                                                                                                                   |

Hatásfok: nagyon alacsony

Energia + anyag = jólét + környezeti hatás (természetátalakító munka, emisszió (pl. hő))

A különféle energiaforrások előállításakor fellépő környezeti hatások mindenre kiterjedő összehasonlításáról nem tudunk. Összevetés leginkább csak az ún. klímavédelmi előírások (elsősorban a CO<sub>2</sub>-emisszió) szempontjából történt meg (LÁNG 2008). A CO<sub>2</sub>-kibocsátás (amely a természeti folyamatok közül az üvegházhatásba való emberi beavatkozás mértékét kívánja becsülni) valóban egyike a lehetséges mérőszámoknak, de ezen kívül – amint a felsorolásból láttuk – még ezernyi más (víz-, talaj-, levegőszennyezést és egyéb természetpusztító következményt) lenne célszerű figyelembe venni. Mindezek korrekt számbavétele és összehasonlítása lehetetlen, mert a különféle energiafajták előállításának környezeti következményei túlságosan specifikusak.

Az MTA KÖTEB keretében úgy gondoljuk (NÉMETH ET AL. 2013), hogy a különféle energiafajták előállításának környezeti hatása összességében elsősorban a megtermelt energia mennyiségétől, és nem az energiaforrás fajtájától függ. A különböző energiafajták előállításával kapcsolatos környezeti hatás tehát elég jól becsülhető az egyes energiafajtáknak a portfólióból való részesedésük arányával.

Az ember ma már 18 terawattnyi (TW) teljesítménnyel alakítja környezetét. Folytatja a természeti kincsek felélését, a természet helyére nyomul, szennyezi a vizet, földet, levegőt, „természeti”-nek mondott katasztrófákat indukál, globális méretekben szállítgat ide-oda természeti erőforrásokat és termékeket (többek közt invazív fajokat), összeomlasztja a biodiverzitást és az ökoszisztémákat. Mindezek révén persze befolyásolhatja – többek között – az éghajlatot is. Az ún. „fejlett” világ már olyan kényelmi szinten él, hogy az számára testi és lelki károsodást okoz, de fogyasztói szemléletével még mindig egyre több termékre és szolgáltatásra (és egyre több energiára) tart igényt. Az ipari forradalom óta az emberiség legalább 30 zetajoule (ZJ) energiát használt fel, majdnem annyit, mint amennyi energia a világ teljes fosszilis energiakészletéből egyes adatok szerint még kinyerhető. Ugyanakkor a földi természet roppant erejét jelzi, hogy (a) egyetlen igazán erős földrengés energiája elérheti a 40-50 ZJ-t; (b) a Földet érő napsugárzás teljes energiája csaknem tízezerszerese a jelenlegi energiafelhasználásnak. Ezen az utóbbi tényen alapszik a megújuló energia korlátlan lehetőségeit hirdető nézet.

Véleményem szerint nincs helye techno-optimizmusnak. A megújulók kis területi energiasűrűségén (illetve az óriási energiaigénnyel kapcsolatos technikai kérdések megoldatlanságán) túlmenően egyrészt azért, mert a Földet elérő napsugárzás nagyon csekély része vonható el a természettől következmény nélkül, másrészt azért, mert akármilyen „tisztá” az energiaforrás, az energiafelhasználás környezeti hatása elsősorban az energia mennyiségétől, és nem az energiaforrás fajtájától függ. Minden környezetfajtának megvan ugyanis a maga hátránya, illetve környezetkárosító következménye. A fosszilizéké történelmileg a légszennyezés (manapság a széndioxid-kibocsátás is „légszennyezésnek” számít), az atomenergiáé az üzembiztonsági kockázat, a megújulóknak pedig általában a nagy területigény és a bonyolult technika (beleértve a különleges ásványi nyersanyagok iránti igényt). Az előállított energia végső soron – az energiafajtától függetlenül – természetátalakító munkává és hővé alakul. A jelenlegi fosszilisenergia-felhasználást megközelítő léptékű ún. megújuló energia előállítása (amennyiben egyáltalán lehetséges), ugyanolyan természetpusztító lenne, mint a hagyományos energiafajtáké.