

# A MAI GLOBÁLIS KÖRNYEZETI KIHÍVÁSOK FÜGGETLENEK AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS ÉPPEN AKTUÁLIS TENDENCIÁJÁTÓL

Szarka László

az MTA levelező tagja

MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont

szarka.laszlo@csfk.mta.hu

## Bevezetés

A *Mi lenne, ha megállna a globális éghajlatváltozás? És ha nem?* című előadói elbeszélés arra kereszte a választ, hogy milyen hatással járna az emberi tevékenység és a környezet kapcsolataira, ha a sokak által legfontosabbnak tartott környezeti indikátor értékét rögzíteni lehetne, azaz mi történne, ha az éghajlat miatt nem kellene aggódnunk. E tanulmány szerzője szerint az éghajlatváltozás képzeletbeli kiiktatásának nem lenne érdemi hatása a környezet romló állapotának alakulására, és az aggodalom oka sokkal tisztábban látszana. Igyekszem megmutatni, hogy a klímaváltozás csupán kísérőjelensége annak az alapvető ok-okozati összefüggérendszernek, amely a természeti folyamatokba való emberi beavatkozás intenzitása és annak következményei között fennáll. A közvetlen ok: az ipari forradalom óta folyamatosan növekvő energiafelhasználás, a következmény pedig a teljes tönkretétel felé vezető globális környezetváltozás (Global Environmental Change, GEC). Az éghajlatváltozás a GEC része, az ún. „globális felmelegedés” pedig a rákbeteg lehetséges láztünete. Nem egyetlen tünetre, hanem a kiváltó okra kellene koncentrálni! A természet végzetes

tönkretételének elkerülésére radikálisan csökkenteni kellene az energiafogyasztást, aminek egyetlen, de hatalmas akadálya a globális fogyasztói szemlélet eluralkodása.

## Környezetalakítás százszoros energiával

A *Homo sapiens* az 500 millió tonnányi össztömegével nem a leghatalmasabb faj (ennél a természet hangyák és az antarktisi rákplanktonok össztömege is nagyobb), de „a természet meghódítása”, a környezet átalakítása kifejezetten az emberhez köthető. Az ember mindezt a rendelkezésre álló energiaforrások révén tudta megtenni. Az energiaforrás kezdetben az emberi és állati erő, majd némi megújuló energia (biomassza, szél, víz) volt. Az energiaigény rohamos növekedése az ipari forradalommal indult meg, és ezt a kőszén elégtette ki. Egy évszázaddal később az ember – a kőolaj, később a földgáz révén – újabb napenergia-konzerveket kezdett felnyitogatni. A hidegháború idején pedig elkezdődött a nukleáris energia termelése. Ma is ezek a „készlet” jellegű (a Földből származó, ún. *terresztris*) energiaforrások adják az energiafelhasználás 90 százalékát. A *modern megújulóknak* nevezett folyamat jellegű energiák (víz, szél, nap, nem hagyományos biomassza,

geotermia) részaránya 10%, a víz nélkül kevesebb mint 3% (1. táblázat).

A primerenergia-fogyasztás jelenleg 18 terawatt (1 TW = 10<sup>12</sup> watt). Ez körülbelül százszor nagyobb teljesítményt jelent annál, amennyit a Föld teljes népessége – jelenleg 7,2 milliárd ember – fizikailag képes kifejteni. Mintha mindenkinek 100 képzeletbeli rabszolgája lenne (az egy főre jutó energiafelhasználástól függően igen egyenlőtlen megoszlásban: az USA-ban például 500, Magyarországon 150, Kínában 100, Pakisztánban 2–3).

Az ipari forradalom óta elhasznált energia mennyiségét félévszázados bontásban a 2. táblázatban mutatjuk be:

A 2. táblázat legmeglepőbb adata talán az, hogy a 2000–2015 közötti másfél évtizedben csaknem ugyanannyi (kétharmad résznyi) energiát fogyasztottunk, mint amennyit az 1950–2000 közötti fél évszázad alatt, amikor az irreverzibilis környezeti hatásokat már többen is felismerték (Jócsik, 1971; Meadows et al., 1972). A világ energiafelhasználása azóta is folyamatosan nő, és ez a növekedési igény megállíthatatlannak látszik.

Az emberiség az ipari forradalom óta több mint 30 ZJ-nyi primerenergia-mennyiséget

kőszén	30%
kőolaj	32,6%
földgáz	23,7%
atomenergia	4,4%
víz	6,8%
megújuló (víz nélkül)	2,5%
primer energia összesen	100%

1. táblázat • A világ primerenergia-termelésének megoszlása 2014-ben, energiafajták szerint. Forrás: British Petroleum (2015) (a hagyományos biomassza nélkül).

használt el. Figyelembe véve, hogy egyes becslések szerint a maradék fosszilisenergia-készlet kb. 40 ZJ-ra tehető, kimondható, hogy e készlet nagyjából felét már feléltük. Ugyanakkor ez a 30–40 ZJ energiameennyiség néhány természeti energiához képest olyannyira elenyészőnek tűnik, hogy azt gondolhatjuk, a jövőben is bőséges energiaforrásokra lehet számítani: (1) a 2004. december 26-ai indiai-óceáni földrengés energiája például 40 ZJ volt, több, mint amennyit az emberiség az ipari forradalom óta összesen hasznosított; (2) a közép-atlanti bazaltvulkanizmussal lét-

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	7,5 ZJ	1800–1950	10,00 ZJ
1950–2000	13,75 ZJ	1800–2000	23,75 ZJ
2000–2015	9,0 ZJ	1800–2015	32,75 ZJ
2015–2050 növekedés nélkül	23,00 ZJ	1800–2050 növekedés nélkül	55,75 ZJ

2. táblázat • Az emberiség energiatermelése, illetve -felhasználása 1800 óta és 2050-ig előrevetítve, zettajoule egységben (1 ZJ = 10<sup>21</sup> joule) kifejezve, ötvenéves időintervallumokra, illetve az ipari forradalom óta eltelt évekre számítva.

rejött 2,5 millió km<sup>3</sup> bazalt megszilárdulásakor 10 ezer ZJ hőenergia szabadult fel; (3) a földkéreg legfelső 1 km-nyi héjának hőtartalma 40 ezer ZJ (az atmoszférába távozó földhő 40 terawatt, a primerenergia-felhasználás több mint kétszerese); (4) 40 ZJ-ra tehető a Földet nem egészen három nap leforgása alatt érő napenergia mennyisége (15 ZJ/nap, ami 17 ezer TW-nyi teljesítménynek felel meg).

A vulkánkitörések és a földrengések energiájának hasznosítása talán még nem merült fel, de a földfelszín erő napsugárzásra és a földhőre kimeríthetetlen energiaforrásként szokás tekinteni.

#### Környezeti hatás

A környezeti hatás (*environmental impact*) valamely emberi tevékenység különféle (nem feltétlenül lineáris és nem feltétlenül azonnali) természeti következményei. Ezek az emberi tevékenységek lényegében az energiatermeléssel és -fogyasztással kapcsolatosak, hiszen az elérhető energia volt az, ami szászorosára növelte az emberiség munkavégző képességét. A természetből előállított (elsődleges, primer) energia több átalakítás után, harmadlagos (tercier) energia formájában áll a fogyasztó rendelkezésére.

Az *elsődleges (primer) energiák* természetből való *előállításával* (kinyerésével, begyűjtésével, befogásával) kapcsolatos környezeti hatások a Föld belsejéből származó energiák esetében bányászatot, az ún. *megújulók* esetében jellemzően felszín-átalakítást jelentenek. Tekintve, hogy a megújulók területi energiasűrűsége alacsony, meglehetősen nagy természeti területek átalakításáról is szó lehet. A befogáshoz szükséges egyes eszközök gyártásához ugyancsak elengedhetetlen a bányászat: a szélturbinák és napelemek gyártása intenzív ritkaföldfém-bányászatot és -kohászatot felté-

telez. Az *elsődleges energia átalakítása másodlagos energiává* az energiaforrás fajtájától függően nagyon specifikus. A fosszilis energiafajták villamos energiává történő alakításának első lépése például vegyi reakció (égés), amelynek révén hő és szén-dioxid – szénhidrogének esetében víz is – keletkezik. (A kőszén és a szénhidrogének *1. táblázat* szerinti primerenergia-megoszlásából és a reakcióegyenletekből következően nagyjából azonos mennyiségű: évente legalább 30–30 gigatonna szén-dioxid és víz szabadul fel.) A hőből – korlátozott hatásokkal – villamos energia lesz. A fisszilis (maghasadási) energia hővé, majd ezt követően – adott hatásokkal – villamos energiává alakul. Emisszió ebben az esetben nincs, de gondoskodni kell a radioaktív hulladék tárolásáról. A *másodlagos energiának harmadlagos – ún. „fogyasztókész” – energiává alakítása* (azaz a fogyasztási helyre való eljuttatása tengeri és szárazföldi fuvarozás, illetve cső- és távvezetékes szállítás révén) szintén környezetterhelő. A *tercier energia hasznos energiává átalakítása* hő keletkezésével, a végfelhasználás (mechanikai munka, hő, fény) pedig közvetlen környezeti behatásokkal jár. A primer energia legnagyobb része összességében – a tökéletlen energiaátalakítási hatások miatt – hő formájában kerül a környezetbe. A hasznos energia – amely ezidáig elegendő volt a kontinensfelszín körülbelül felének átalakítására – magában foglalja a mindennapi élet energiaigényét, az áruszállítását, az építkezéseket stb. Az ember ma egy nagyságrenddel több anyagot mozgat meg a Föld felszínén, mint a természetes üledékképző folyamatok (Szarka – Brezsnaynszky, 2012).

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás (amely a természeti folyamatok közül az üvegházhatásba való emberi beavatkozás mértékét kívánja becsülni) valóban egyike a környezeti hatás lehetsé-

ges mérőszámainak, de ezenkívül – amint láttuk – még ezernyi más (víz-, talaj-, levegőszennyezést és egyéb természetpusztító következményt) szempontot is célszerű lenne figyelembe venni. Mindezek korrekt szám-bavétele és összehasonlítása lehetetlen, mert a különféle energiafajták előállításának környezeti következményei túlságosan specifikusak. Az atomerőműre például potenciális veszélyforrásként tekintenek, de a biomassza-energia túlerőltetése üzembiztosan természetpusztító. Úgy gondoljuk, 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 energiafajtának a portfólióból való részesedési arányával.

Johan Rockström és szerzőtársai (2011) szerint az elviselhetőségi küszöbértéket (*planetary boundary*) a legnagyobb mértékben a biodiverzitás-csökkenés, másodsorban a nitrogén-ciklus terén léptük túl. Mindkettő egyértelműen a fogyasztáshoz kötődik, míg az éghajlatváltozásban (amely a Rockström-féle sorrendben harmadik helyezett lett) természetes okok is szerepet játszanak. Közismert ábrájukban az édesvízkészlet fogyását véleményem szerint alulbecsülték, az energia- és ásványianyag-készlettel pedig egyáltalán nem foglalkoztak. E kis véleményeltérés ellenére megállapítható, hogy az emberi fogyasztás (nyomában a jólét, a kényelem és a pazarlás) eddigi gyors növekedésének ára a természeti környezet tönkretétele és a természetben hosszú időn át felhalmozódott különféle kincsek (energia- és nyersanyagkincsek, felszín alatti víz, talaj) felélése.

Az ember ma már 18 terawattnyi (TW) teljesítménnyel folytatja a természeti kincsek

felélését, a természet helyére nyomul, szennyezi a vizet, földet, levegőt, „természetinek” 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. A végeredmény ott olvasható John Lukacs *Isten velem* című könyvében, sőt a könyv címeiben is (Lukacs, 2009).

Vajon mi történne, ha a megújuló energia mennyiségét – a felsorolt környezeti hatásokkal nem számolva – egy nagyságrenddel (a mai energiaigény száz százalékára) növelnénk?

A geotermikus energia kivételével az összes többi megújuló energia forrása a Nap, ami az egész földi természetet működteti. Első látásra valóban bőségesnek látszik. Ha figyelembe vesszük, hogy a Nap Földet érő energiájának fele a természet növények fotoszintézisét hajtja, és hogy a növények a fotoszintézis által másodpercenként kb. 130 TJ energiát tárolnak (azaz a teljesítményük 130 TW, alig hétszerese az emberi primerenergia-fogyasztásnak), akkor ez már óvatosságra kell, hogy intsen bennünket. Bizonyosan nem szabad jelentősen növelni a napenergia megcsapolásával az energiafogyasztást, mert az – a környezeti hatáson túlmenően – a természet kialakító erőibe történő megengedhetetlenül nagy beavatkozást jelentene.

#### *Emisszió- vagy fogyasztáscsökkentés?*

A technokrata-optimista üzleti világ a „biztonságos, tiszta és hatékony” energia nézetét

(lásd az Európai Unió Horizont 2020 keretprogramjában a „Secure, Clean and Efficient Energy” kihívást) összekapcsolta a klímacélkitűzések (a CO<sub>2</sub>-kibocsátás lassú csökkentése, illetve a „a globális hőmérséklet-növekedés 2 °C-on belül tartása”) megvalósításával. Ez alapján úgy tűnhet, mintha ezenkívül egyéb környezeti hatás nem is létezne. Véleményem szerint illúzió azt gondolni, hogy egyetlen kiragadott környezeti indikátor (nevezetesen a CO<sub>2</sub>-kibocsátás) kordában tartásával megállítható a környezet leromlása, ahogyan az is, hogy az ún. „zöldgazdasággal” fenntartható a jelenlegi komfortszint.

Az ún. *zöldnövekedés* (Green Growth) illúziója mögött véleményem szerint valójában meztelen gazdasági érdek: a fosszilis erőforrásokban szegény gazdagok érdeke áll. Ráadásul a vállalás számonkérhetetlen, továbbá sokkal józanabb célkitűzések megvalósításától vonja el a forrásokat.

#### Záró gondolatok

Az energia környezeti hatásainak összefüggérendszerében a „növekvő CO<sub>2</sub>-kibocsátás → erősödő üvegházhatás → globális felmelegedés” modell – függetlenül igazságtartalmától, amelynek vizsgálata nem tárgya e cikknek – mellékessé, lényegtelené válik. A növekedés korlátainak problematikája (Meadows et al., 1972) már a globális lehűlés felvetésének időszakában (Gwynne, 1975) is megjelent. *A Föld bolygó nemzetközi éve* is a természeti erőforrások véges voltára hívta fel a figyelmet (például Szarka – Brezsnaynszky, 2012).

Amennyiben az anyagi fogyasztás és a természeti javak kiaknázásának tempója nem állítható meg, az elővigyázatosság elvének komolyan vételével alapos okunk van felté-

telezni, hogy a fogyasztásorientált civilizáció összeomlás felé tart (Duncan, 2001; Lovelock, 2010). A közép-európai értelmiség – bár a hangsúlyt mindenki máshová teszi – ezt eléggé világosan látja (például Vida, 2009, 2011; Almár et al., 2011; Boia, 2014). Az összeomlás különféle fokozatai (kisebb-nagyobb megrázkódtatások) végén csak egy ködös *resilience*-ben (rugalmas alkalmazkodásban, túlélésben) reménykedhetünk.

A mindennapokban globális küzdelem folyik a még meglévő természeti erőforrások birtoklásáért, de ezt különféle technikákkal (többek között CO<sub>2</sub>-figyelemeltereléssel, a zöldenergia-források lehetőségeinek túlértékelésével) álcázzák. Egy természettudományi (mikrobiológiai) megfigyelés (Hol et al., 2013) társadalomra történő alkalmazásával élénk áll egy elgondolkodtató modell: amíg a kellőképpen fragmentált térségekből álló életterekben az ún. *önző és együttműködő* típusú baktériumok egyaránt fennmaradnak, addig az osztott élettereket egyetlen homogén életteré nyitva az „önző” baktériumok elpusztítják az együttműködőket, majd önmagukat is elkezdik fölfalni.

Noha kétségtelen, hogy az energia a civilizáció hajtóereje (Szergényi, 2015), de a nyugati és az „elnyugatiasodó” globális civilizáció húzóereje a globális fogyasztói igény lett. Emiatt ma a legnagyobb globális környezeti kihívás a fogyasztói szemlélet visszazorítása lenne, függetlenül az éghajlatváltozás éppen aktuális tendenciájától.

A részleges fragmentáltság megőrzése pedig alapvető létérdekünk.

Kulcsszavak: *energiafogyasztás, környezeti hatás, éghajlatváltozás, fenntarthatóság, összeomlás*

#### IRODALOM

- Almár Iván – Csaba László – Csányi Vilmos – Czelnai Rudolf – Falus András – Fürst Zsuzsanna – Kroó Norbert – Pataki Ferenc – Székely János – Varga János (2011): *Válság és apokalipszis*. Budapest: Éghajlat Könyvkiadó,
- Boia, Lucian (2014): *A Nyugat hanyatlása*. Kolozsvár: Koinónia
- British Petroleum (2015): *BP Statistical Review of World Energy June 2015*. • <http://tinyurl.com/g56c8wv>
- Duncan, Richard C. (2001): World Energy Production, Population Growth, and the Road to the Olduvai Gorge. *Population and Environment*. 22, 5, 503–522. • <http://dieoff.com/page234.pdf>
- Gwynne, Peter (1975): The Cooling World. *Newsweek*. 1975. április 28. • <http://tinyurl.com/k5sroda>
- Hol, Felix J. H. – Galajda Péter – Woolthuis, Rutger G. et al. (2015): The Idiosyncrasy of Spatial Structure in Bacterial Competition. *BMC Research Notes*. 8, 245, doi: 10.1186/s13104-015-1169-x • <http://tinyurl.com/kaz3htd3>
- Jócsik Lajos (1971): *Az öngyilkos civilizáció*. Budapest: Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

- Lovelock, James (2010): *Gaia halványuló arca*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Lukacs, John (2009): *Isten velem*. Budapest: Európa Kiadó
- Meadows, Donella H. – Meadows, Dennis L. – Randers, Jørgen – Behrens III, William W. (1972): Limits to Growth. New York: Universe Books • <http://tinyurl.com/qxohw4h>
- Rockström, Johan – Steffen, Will – Noone, Kevin et al. (2011): A Safe Operating Space for Humanity. *Nature*. 461, 472–475. DOI:10.1038/461472a
- Szarka László – Brezsnaynszky Károly (2012): Globális környezeti alapkérdésekről. In: Baranyi Béla – Fodor István (szerk.): *Környezetipar, újraiparosítás és regionalitás Magyarországon*. Pécs: MTA KRTK Regionális Kutatások Intézete
- Szergényi István (2015): *Energia, civilizáció, szintézisigény*. Budapest: Typotex
- Vida Gábor (2009): Véges Föld és végtelen vágyak. In: Kóródi Mária (szerk.): *Az erőszak kultúrája. Fenntartható-e a fejlődés?* Budapest: Pallas Kiadó
- Vida Gábor (2011): Globális energiagondok. *Biokontroll*. 2, 1, 4–11.

