

JÁNOSI IMRE

# Krízis vagy hisztéria?

## Emberiség és energia

**H**a a tisztelt olvasó a címben feltett kérdésre írásomban sommás választ keres, valószínűleg csalódní fog. Annak ellenére, hogy felhalmozott tudásunk minden másodpercben elképesztő mértékben bővül, csekély kockázattal jár az a kijelentés, hogy az emberi faj előtt álló hasonlóan átfogó kérdésekre talán soha nem adható kielégítő válasz. Ez persze nem jelenti azt, hogy válaszkísérletek elkészítő garmadája ne jutna el az egész, fél- és áltudományos írott és elektronikus sajtó segítségével a mindennapi katasztrófajelentésekre éhes bulvármédia-fogyasztótól a legmagasabb szintű döntéshozók asztaláig. Kísérletet legfeljebb arra tehetünk, hogy összefoglaljuk az emberiségre vonatkozó jelenlegi népesedési és energiafogyasztási adatokat és idézünk azon óvatos jóslatokból, melyek a közeljövő várható trendjeit próbálják megbecsülni.

### Olaj-civilizáció

Az ásványi olaj iparszerű kitermelése az 1850-es évek végén kezdődött. Az Amerikai Egyesült Államok szövetségi adóhatósága már 1866-ban sürgette szintetikus üzemanyagok előállítását, ami az 1890-es évekre teljes mértékben kiaknázottnak vélt petróleumot lett volna hivatott kivál-

tani. [1] A hasonlóan rövid távú „katasztrófális hiány”-jósolatok évtizedenként újra és újra felbukkantak, a tény viszont az, hogy a kitermelés és a felhasználás az előző évszázad során egyre gyorsuló ütemben növekedett. A fejlett ipari országokban a szinte kizárólag szénalapú energiatermelést a XX. század második felére jórészt felváltotta az olaj és a földgáz széles körű használata. Ennek a fokozódó egyoldalúságnak a kockázatára figyelmeztetett az 1973-as első és az 1979-es második olajválság, azonban a globális fogyasztási adatokat szemlélve ennek sem látható komolyabb hatása, talán a növekedés sebessége esett valamelyest (1. ábra). Ma a világ energiaszükségletének nagyjából 40 százalékát fedezi az összes, nem olaj- vagy gázalapú forrás (szén, atommaghasadás, biomassa, víz, közvetett vagy közvetlen napenergia és a föld belső hője).

Az első ábrán feltüntetett időszakban a világ népessége szinte pontosan a duplájára nőtt (2. ábra). Annak ellenére, hogy ezt a kettőzödést lényegében a kevésbé fejlett gazdaságú országok produkálták, jól látszik, hogy az energiafogyasztás ennél nagyobb mértékben bővült.

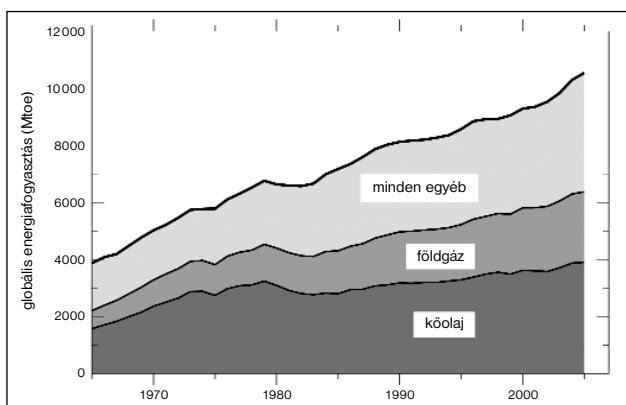
Ez a tendencia azzal magyarázható, hogy időközben az általános jólét, szokásos módon az egy főre jutó nemzeti össztermék- (GDP-) egységekben kifejezve,

szintén növekedett (persze óriási egyenlőtlenségekkel). Az empirikus elemzések pedig egyértelműen azt mutatják, hogy egy országon belül a növekvő életszínvonal a lakosság számához viszonyítva aránytalanul nagyobb mértékű energiafogyasztással jár együtt. A legegyszerűbb közelítő összefüggés szerint a GDP nyolckilencszeres növekedése – például az 1000 dollár/fő/év szintről a 9000 dollár/fő/év jövedelem elérése – az olajszármazékok iránti keresletet durván tizenegyszeresére emeli. Ez a tény világosan érthető: a gazdasági növekedés motorja az ipar és az ezzel járó árumozgatás, de emellett a nagyobb lakásokban többet világítunk és fűtünk (vagy éppen hűtünk), a kéretpárt először motorra, majd autóra cseréljük, ha javul az infrastruktúra, távolabbi munkahelyekre ingázunk és így tovább.

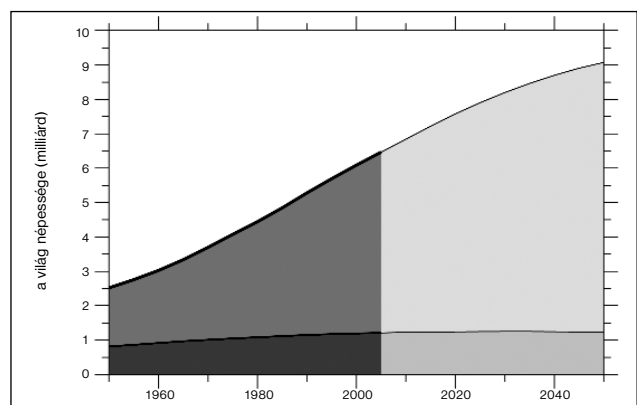
### A közeljövő trendjei

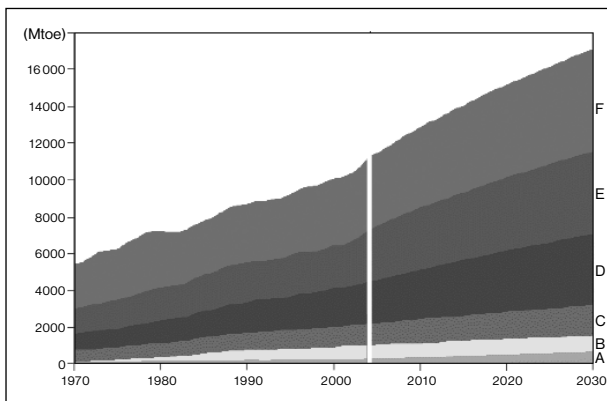
Az előrejelzések szerint tizenöt év múlva a nagyjából 8 milliárdnyi világnépesség mintegy 60 százaléka városlakó lesz. Ennél is fontosabb azonban, hogy kb. a lakosság háromnegyede fejlődő országokban él majd, ami Délkelet-Ázsia közelmúltjából vagy Kína és India jelenéből kiindulva óriási többlet-energiaéhséggel pá-

1. ábra. A globális energia, ezen belül a kőolaj és a földgáz fogyasztásának alakulása 1965 és 2005 között, „millió tonna olaj ekvivalens” (Mtoe) egységekben mérve. (Adatok: BP Statistical Review of World Energy, 2006, [2])

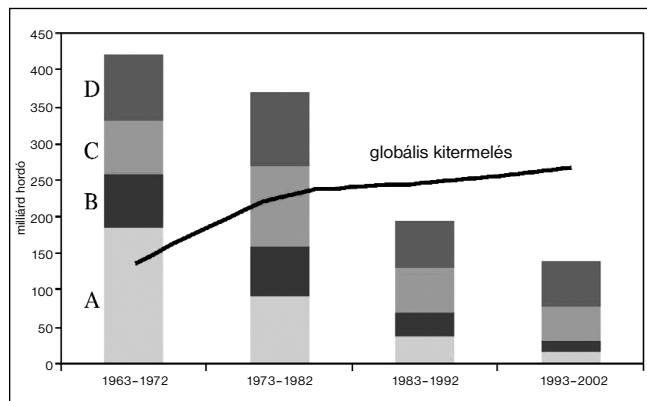


2. ábra. A világ népességének növekedése 1950 és 2005 között (milliárd fő egységekben) és a demográfiai becslés a következő néhány évtizedre. Az alsó sáv a fejlett országok népességére vonatkozik. (Adatok: ENSZ, World Population Prospects [3])





3. ábra. A globális energiafogyasztás várható alakulása 2030-ig, fajtánként, „millió tonna olaj ekvivalens” (Mtoe) egységekben mérve. A: víz és egyéb megújuló források, B: nukleáris energia, C: biomassza, D: földgáz, E: szén, F: kőolaj. (Adatok: IEA World Energy Outlook 2006 [4])



4. ábra. Az olajtartalmak bővülése időszakonként és régióként, „milliárd hordó” egységekben (egy „US olajshordó” = 159 liter). A: Közel-Kelet, B: volt Szovjetunió, C: Európa és Észak-Amerika, D: Afrika, Latin-Amerika és Ázsia. (Adatok: IEA World Energy Outlook 2004 [4])

rosul majd. Ezért a különböző becslések egyöntetűen azzal számolnak, hogy két-három évtizeden belül a jelenlegi globális fogyasztási szint minimum 50 százalékkal emelkedni fog (3. ábra).

Figyelemre méltó, hogy egyetlen mértékadó előrejelzés sem számol az energia-hordozók részarányának jelentős átrendeződésével (3. ábra). Persze a hasonló becslések nem tudnak megjósolni hirtelen, lökészerű változásokat, mint amilyen például az 1986-os csernobili baleset volt. A fejlett országokban ezt követően kialakult nukleáris technika-ellenesség nem vezetett éppen tömeges erőműbezárásokhoz, de a kapacitásfejlesztések ezekben a régiókban lényegében leálltak, új beruházások nemigen történtek. Az alternatív, megújuló energiaforrásokról manapság egyre többet hallani, de az előrejelzések szerint ezek szerepe a következő évtizedekben a jelenlegi szinten marad, részarányuk nemigen haladja meg az 1 százalékot. Ennek okait a következő fejezetben részletezzük majd.

A kőolaj iránti jövőbeli igény becslésénél nem az elmúlt időszak fogyasztási görbéit extrapolálják, hanem komolyabb számításokat végeznek egy sor gazdasági adat alapján. Ha csak azt nézzük, hogy az Egyesült Államokban ezer lakosra 770, az EU-ban kb. 600 személyautó jut, míg ez a szám Kínában 10 körül van jelenleg, elképzelhetjük, mekkora lesz arrafelé az üzemanyag iránti igény növekedése.

Az igény persze csak a dolog egyik oldala, fontosabb kérdés, hogy kielégíthető-e egyáltalán. Éppen az előző fejezetben említett periodikus hiánypróféciák miatt nagyon óvatosan kell bánni a „meddig tart ki a jelenlegi készlet” kezdetű kérdésekkel. A múltbeli tapasztalatok szerint a technológiai folyamatos fejlődése lehetővé tette a készletek kiaknázását egyre mostohább éghajlati területekről, egyre nagyobb mélységekből, illetve egyre komplikál-

tabb feldolgozási eljárások mellett. Bonyos adatok azonban arra a triviális tényre figyelmeztetnek, hogy a fosszilis energia-hordozók tartalékai végesek. Egy példa: a világon feltárt új készletek mennyisége a nyolcvanas évektől kezdve folyamatosan csökken – annyira, hogy a kilencvenes években az elfogyasztott mennyiségnek kevesebb mint felét pótolták új feltárások (4. ábra).

A földgázzal kicsit jobb a helyzet. Az újonnan feltárt tartalékok mennyisége a hetvenes évektől kezdődően folyamatosan növekedett, ami a jelenlegi fogyasztási szint mellett kb. 70, a becsült bővülés mellett kb. 40 évre jelent biztos forrást. Az optimizmust fokozhatja az is, hogy a földgázmezők nagy részét ez idáig olajjal együtt fedezték fel, ám ez a becsült potenciális tartalékoknak csak mintegy negyedet jelenti. A technológiai fejlődés ezen a területen is töretlen, például a tenger alatti gázfeltárások csak mostanában kezdődtek el komolyabban.

A kőszén megőrzési jelenlegi meghatározó szerepét (22 százalék az összszámban, 3. ábra). Ezen belül az erőművi felhasználás 70 százalékos aránya tovább bővül, elsősorban a feltörekvő régiók növekedését szolgálva. A második legnagyobb kőszénfogyasztó ágazat az acélgyártás (15 százalék), a háztartási felhasználás ezek mellett elhanyagolható (3 százalék) és csökkenő tendenciát mutat. Szerencsére a bizonyított készletek a jelenlegi fogyasztás mellett is vagy kétszáz évig kitartanak.

#### Az alternatív energiaforrások korlátai

A 3. ábrán is látható, hogy a fosszilis energia-hordozókon kívül minden más részaránya nagyjából 20 százalék, ezen belül az atomerőművek képviselnek 6 százalékot, a

maradék 14 százalék az úgynevezett „megújuló” forrás. Érdekes az elején tisztázni, hogy ez az elnevezés kissé félrevezető. A valóban megújuló, azaz az időszakos fogyasztást a Naptól érkező energiából teljes mértékben pótló hordozók részaránya kevesebb, mint 1 százalék, és az előrejelzések szerint ez a következő egy-két évtizedben nem is fog nagyon változni. A fennmaradó rész a klasszikus biomassza és főleg a fejlett országokban jellemző hulladék égetésére jut. Könnyen belátható azonban, hogy például az erdőkből származó tűzifa csak húsz-harminc év alatt újul meg, a háztartási hulladék pedig nem is nettó energiaforrás, ugyanis az abban lévő termékek előállításához több energiát fogyaszt, mint amennyit az égetésből vissza lehet nyerni.

Vegyük sorra, hogy a közeljövőben miért nem várható a jelenleg ismert alternatív energia-hordozók javára jelentős átrendeződés. Itt hangsúlyosan megismételjük, hogy jelenleg ismert *technológiákról* esik szó, amely nem tervezendő össze a tudományos ismeretekkel. Maxwell egyenleteit 1865-ben, huszonekét évvel a Hertz-féle kísérlet előtt írta le, de ki gondolta volna akkor, hogy az elektromágneses hullámok igazolása ilyen döntő hatást gyakorol majd az emberi civilizációra. Könnyen lehet, hogy a fosszilis forrásokat kiváltó lehetőség már valahol az emberi tudásanyag része, csak ma még nem igazán látszik, hogy mi lenne ez.

#### Nukleáris energiatermelés

A jelenleg működő 443 energiatermelő reaktor a globális villamosenergia-szükséglet mintegy 16 százalékát biztosítja (kb. 3700 GW), ez a kapacitás 2030-ra nagyjából 50 százalékkal fog bővülni. [5] A fejlesztések nem az OECD országok területén zajlanak, főleg a már említett társadal-

mi elfogadottság hiánya miatt. Kétségtelen tény, hogy a lassan bomló, erősen sugárzó hulladék feldolgozása vagy végleges tárolása sehol sem megoldott, a „kiégett” fűtőelemek legnagyobb részét mindenhol az erőművek mellé telepített átmeneti tárolókban raktározják. Talán kevésbé ismert adat, hogy a nagyobb arányú elterjesztés igazi korlátja itt is az üzemanyag: a gazdaságosan kitermelhető uránérc ( $^{235}\text{U}$ ) tartalékai még a jelenlegi felhasználási ütem mellett sem tartanak tovább, mint kb. 30–40 év. Léteznek elképzelések az urán helyettesítésére, például a sokkal gyakoribb tóriummal ( $^{232}\text{Th}$ ), de a reaktorok új generációja egyelőre csak tervezésszinteken létezik.

### Magfúzió

Érdekes nézőpontból üdvözölte a Nature című vezető tudományos folyóirat [6] az ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor [7]) 2006. november 21-én aláírt alapító szerződését. Nem a tudományos jelentőségét emelte ki (a Nap energiatermelésének megvalósítása a Földön), nem a fejlesztés méretein lelkendezett (34 ország, több mint 10 milliárd euró), hanem azt hangsúlyozta, hogy ez a kutatási projekt harminc év óta az első, ami a globális energiagondok megoldását célozza. A baj ezzel is csak az, hogy optimális esetben sem várható a módszer gyakorlati hasznosítása fél évszázadnál hamarabb, nem is beszélve a bizonytalansági tényezőről, amit egy esetleges kudarc jelentene.

### Közvetlen napenergia

A Naptól érkező energia közvetlen hasznosítására két fő eljárás ismeretes, a direkt elektromosáram-termelés (napelem), illetve a beérkező sugárzás hővé alakítása (napsapda). Mindkét módszer egyre népszerűbb, főleg a kisfogyasztók körében, például egy családi ház energiaellátásában már ma is sokat jelenthet egy megfelelő berendezés telepítése. A ma ismert technológiákkal a világ elektromosáram-igényét fedezné egy kb. 220 000  $\text{km}^2$ -es terület lefedése napelemekkel, [8] ez bizony nem csak országunk méretéhez képest tűnik nagyknak (kb. 470  $\text{km}$  oldalú négyzet). Megjegyeznénk, hogy a napelemek iparszerű gyártása óta (nyolcvanas évek eleje) a mai napig előállított összes cella becsült területe kb. 30  $\text{km}^2$  – amellel, hogy 2006-ban már piaci hiány mutatkozott a legfontosabb alapanyag, az egykristály szilícium terén. [9] A napenergia közvetlen hasznosításának másik akadálya annak időszakos jellege (pl. éjszaka nem áll rendelkezésre). A gazdaságos megoldás jelenleg elképzel-

hetetlen. Vagy óriási tárolókapacitásokat kellene kiépíteni, vagy az egész földgolyón átívelő elektromos hálózattal kéne összekötni a sötét és napos féltekét.

### Közvetett napenergia

Ide nagyjából három, jól kidolgozott technológia tartozik. Jelenleg még a legfontosabb a vízenenergia hasznosítása (az összmelegben belül mintegy 0,3 százalék), de óriási területi egyenetlenségekkel. Norvégia például lényegében teljes elektromosáram-fogyasztását vízerőművekkel termeli, míg a szárazabb területeken fel sem merül a vízi energiatermelés lehetősége. Ezen a téren nem várható ugrásszerű fejlődés két ok miatt. Az egyik a közismert környezeti károk elretentő hatása, a másik az óriási beruházási költség.

Sokkal több szó esik manapság a szélenergia hasznosításáról. Ezen a területen Európa élen jár: a telepített kapacitások nagysága négyszer nagyobb, mint például az Egyesült Államokban, a legnagyobb szélturbinagyártó cégek is európaiak, és jelentős telepítési projektek vannak folyamatban. [10] Az előző évtizedekben komoly tudás halmozódott fel a szélenergia integrálásával kapcsolatban, az összkép azonban nem teljesen egyértelmű. A mindennapi tapasztalatok is azt sugallják, hogy a szél eléggé megbízhatatlan energiaforrás, hol fúj, hol meg nem. Ez különösen igaz a kontinensek belsejében, így hazánk területén. A tengerpartok ilyen szempontból sokkal ígéretesebbek, nem csoda, hogy az új telepítések zömét ilyen területekre tervezik. Az talán kevésbé ismert, hogy egy adott helyen, állandónak tűnő szél esetén is, a légáramlás turbulens természete miatt egy szélgenerátor energiatermelése elképesztő mértékben ingadozik. A mérések szerint még egy több tucat generátorból álló, optimális széljárású helyen felépített erőmű átlagos teljesítménye sem haladja meg a névérték ötödét, ami jelentős beruházási többletköltséggel jár. Ráadásul a hagyományos elektromos elosztóhálózatokat stabil üzemű erőművekre tervezték, ezért sok helyen hasonló gondot jelent a szélturbinákhoz hasonló, erősen ingadozó források integrálása.

A harmadik fő technológiacsalád a fotoszintézis kihasználásán alapul. A növényzet a napenergia mintegy 0,5 százalékát képes tárolni, ami nem túl jó hatásfok (pl. a jelenlegi legkorszerűbb napelemek 40 százalék feletti hatásfokkal működnek). Mindemellett különleges előnynek tekinthető, hogy a fotoszintézis során a légköri szén-dioxid egy része a növényekbe épül. A növények energetikai hasznosítására többféle lehetőség adódik, a legegyszerűbb a hőerőművi égetés. Ennél komplikáltabb, de a jelenlegi közlekedési tech-

nika csekély módosítását kívánó eljárás a bioüzemanyagok (etanol és biodízel) előállítás, amiben például Brazília világvilágszónyalatban élen jár. Valóban jó ötletnek tűnik a fölös mezőgazdasági kapacitások ilyen felhasználása, azzal a megjegyzéssel, hogy a bioenergia jelenleg semmiképpen sem tekinthető a fosszilis források globális alternatívájának. Ha az emberiség teljes szükségletét energetikai jellegű növénytermesztés fedezné, egyszerűen nem maradna hely élelmiszerek előállítására, ugyanis a becsült szükséges területnagyság nagyjából megegyezik a világon jelenleg művelés alatt álló területtel (ez a szárazföldek 10 százaléka). A bioüzemanyag amúgy is csak akkor jelentene valódi energiaforrást, ha az előállításához valódi megújuló forrásokat használnának. Ez ma még nem így van, emiatt a földművelésnél, műtrágyák és gyomirtók gyártásánál, a leparlásnál és a finomításnál, valamint a szállításnál több fosszilis energia fogy, mint ami a bioüzemanyagok égetésekor keletkezik.

Hasonló okok miatt például a hidrogén sem tekinthető valódi energiaforrásnak, bár mint hordozó a későbbiekben fontos szerepe lehet. Jelenleg azonban jobbra földgázból vagy elektrolízissel állítják elő ipari méretekben, mindkettő sokkal több energiába kerül, mint amennyi az égetéskor nyerhető.

A hidrogénnél könnyebben kezelhető, kevésbé problémás energiahordozó lehet a jövőben a szintetikus metanol. Előnye, hogy könnyen keverhető benzinnel, tárolása és szállítása sokkal egyszerűbb, mint a hidrogéngázé és lényegében minden olyan vegyipari termék alapanyaga lehetne, amelyet jelenleg kőolajból állítanak elő. Hátránya, hogy ma még a metanol energetikai alkalmazása sem gazdaságos technológia. Kiinduló anyagai a hidrogén és a szén-dioxid, az előbbi drága (bár legalább nem kell tárolni és messzire szállítani), az utóbbi pedig jelenleg csak nagy koncentrációban használható, a légkörben található 0,3–0,4 ezrelék nem elég a mai módszerekhez. A metanol kiterjedt ipari hasznosításának élharcosa Oláh György; 2006 augusztusában adott interjúja májusi Kémia különszámunkban jelenik meg.

### Egzotikus források

A Föld belső hőjének hasznosítására kidolgozott technológiák léteznek, fejlesztések is folynak több helyen, de mégsem várható, hogy ez lenne a jövő meghatározó forrása. Ezen a területen is az Egyesült Államok jár élen, elektromosenergia-igényének 0,34 százalékát fedezi geotermikus erőművek, a világ teljes jelenlegi kapacitása 9 GW körüli. A legjobban kidolgozott módszer szerint vastag csöveken

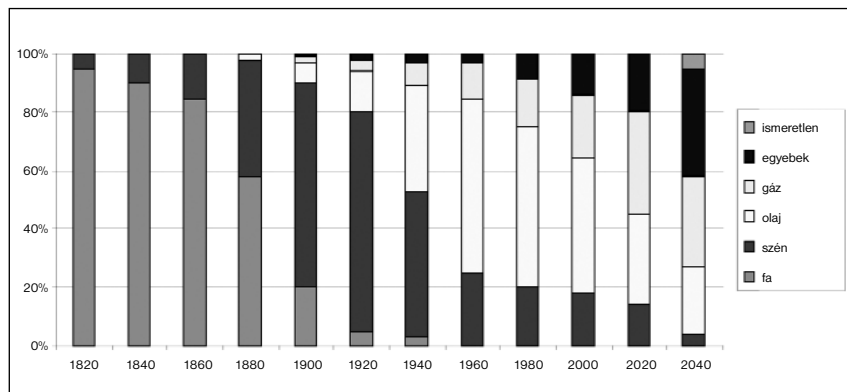
keresztül sóoldatot pumpálnak a földkéreg mélyére, ahol kb. 100–150 °C-ra felmelegszik, és kiszivattyúzás után gőzturbinákban használható áramfejlesztésre. Az eljárás korlátja, hogy a túl nagy mennyiségben bepumpált folyadék egyszerűen lehűti a kőzetet, és a visszamelegedésre akár éveket is várni kell. A kisméretű generátorok azonban stabilan üzemelnek, ez például a szelenergiával összehasonlítva nagy előny.

A magfúzió kiaknázásának nem az egyetlen módja lehet a már említett ITER berendezés, ahol a forró plazmát egy óriási tórusz alakú mágneses csapdában igyekeznek elegendően magas hőmérsékletre felfűteni. Egy alternatív kísérletben a hidrogénbomba robbanását szeretnék mikroszkopikus méretben utánozni, ehhez 2 mm átmérőjű fagyasztott trícium-deutérium golyócskákat ejtenek gigantikus erejű lézernyalábok fókuszpontjába. Ez a NIF (National Ignition Facility [11]) nevű amerikai projekt többszöri halasztást követően igen lassan halad, és annyira távol áll egy esetleges gyakorlati alkalmazástól, hogy erre még jóslatokat sem lehet olvasni.

A tervezők fantáziája egyébként kifoghatatlan különböző erőmű-ötletek terén is. Hely hiányában még felsorolni sem tudjuk a tengerek hullámain, a dagály-apály áramlásokat, a tengervíz hőjét vagy az igazán „szélsőséges” – a fizika ismert törvényeit azonban nem sértő – források kiaknázását ígérő módszereket (pl. űrbe telepítendő naperőművek, különféle termo-elektromos cellák, ozmózmotorok stb. [12]). A „nagy áttörés” még várat magára.

### Fejfel a falnak?

Egy jövődől globális energiakrízis lehetőségére azon a trivialisáson alapul, hogy a jelenlegi civilizációnk alapjának tekinthető fosszilis (és nukleáris) tüzelőanyag-készlet nyilvánvaló módon véges. Az erőforrások végeségének felismerése nagyjából egy időse lehet az emberi tudattal, és az ezen korlátok legyőzésére tett állandó erőfeszítés minden bizonnyal az innováció legfontosabb motorjának tekinthető az emberiség történetében. A modernizálódó társadalmakban az energetika terén is számos technológiaváltás következett be, amelyek jellegzetes „hullámszerű” görbékkel jellemezhetőek. Az **5. ábrán** jól látható tendenciák alapján az optimista megközelítés azt sugallja, hogy a kőolaj gazdaságosan kitermelhető tartalékainak csökkenését ugyanúgy követi az alternatív források térnyerése, ahogy ez korábban a tradicionális fűtőanyagok esetén bekövetkezett. A pesszimistább futurologusok azonban soha nem mulasztják el hozzáfűzni, hogy például az állati erő háttérbe szorítása nem a vészes takarmányhiány



5. ábra. Energetikai „hullámok” az Egyesült Államokban a XIX. századtól kezdve, illetve a várható tendencia. (Adatok: US Department of Energy [13])

miatt következett be, illetve a széntüzelés térnyerését sem az erdők teljes eltűnése előzte meg. Ma viszont a kőolajkészletek végeessége úgy kerül mind beláthatóbb közelségbe, hogy egyáltalán nem látszik, mi lenne a gazdaságos alternatíva.

Az persze nem állítható, hogy a kérdéskört teljes közöny kísérné, a jövő illetően látogatása változó intenzitással folyik. A tájékozottabb olvasók például felidézhetik a hetvenes évek második felében felizzott vitát, amelyet a Római Klub nevű szervezet „A növekedés korlátai” címmel közölt jelentése váltott ki. [14] Az abban vázolt, meglehetősen borús (pontosabban katasztrofális) jövőkép sok szempontból túlzónak bizonyult. Viszont érdekes módon még az akkor felvetett és létező problémák megoldása irányában sem látszik túl sok haladás, pedig akkoriban például globális klímaváltozásról még szó sem esett. Tünet értékű tény, hogy a hetvenes-nyolcvanas években a mainál négyszer nagyobb anyagi támogatást kaptak energetikai célú alaputatások (OECD országok adatai), és például a napenergia vagy szélenergia terén évente bejelentett szabadalmak száma akkoriban a mainak háromszorosra volt.

Ez a fajta támogatáscsökkenés nyilván nem kis mértékben a piaci szemlélet térnyerésének „köszönhető”. Megfelelő gazdasági haszon reményében persze az energetikai cégek is óriási pénzeket fektetnek be új technológiák kidolgozására, de érdemes még egy pillantást vetni az **5. ábra** utolsó oszlopára. E század negyvenes éveiben az Egyesült Államok összenergia-igényének kb. 5 százalékát jelenleg ismeretlen forrásból várják kielégíteni. Márpedig a tudománytörténet szerint a hasonló „ismeretlen” források felfedése sokkal inkább zsúfolt egyetemi dolgozószobák vagy kutatóintézetek laborjainak mélyén várható, ahol a szabadon csapongó fantáziát kevésbé korlátozzák a havi bontásban elkészített és számon kért projektervek. 🏠

### FORRÁSOK

1. F. Sandbach, *Social Studies of Science*, **8**, 495–520, (1978).
2. <http://www.bp.com/statisticalreview>. Megjegyzés: Ezek az adatok csak a kereskedelmi forgalomban regisztrált energiahordozókra vonatkoznak.
3. <http://esa.un.org/unpp/>
4. <http://www.iea.org/textbase/weo/index.htm>
5. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/ionuclear.html>
6. *Nature*, **444**, 519 (2006).
7. <http://www.iter.org>
8. M.I. Hoffert et al., *Science*, **298**, 981–987, (2002).
9. <http://www.solarserver.de/solarmagazin/artikel-august2006.html>
10. <http://www.ewea.org/>
11. <http://www.llnl.gov/nif/project/>
12. A. V. da Rosa: *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. (Elsevier, New York, 2005).
13. <http://www.acunu.org/>
14. D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III.: *The Limits to Growth*. (New York, Universe Books, 1972).

### E SZÁMUNK SZERZŐI

DR. BOSCHÁN PÉTER egyetemi tanár, Műnsteri Egyetem, Németország; DR. CZELNAI RUDOLF akadémikus, meteorológus, Dörgicse; DR. DULAI ALFRÉD paleontológus, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest; DR. FRENKEL ANDOR ny. tudományos főmunkatárs, KFKI RMKI, Budapest; DR. JÁNOSI IMRE egyetemi docens, ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék, Budapest; DR. KALOTÁS ZSOLT fősztályvezető-helyettes, Országos Környezet- és Vízügyi Főfelügyelőség, Budapest; DR. LADÁNYI LÁSZLÓ, a kémiai tudomány kandidátusa, BME-OMIKK, Budapest; DR. LEÉL-ÓSSY SZABOLCS geológus, egyetemi tanár, ELTE TTK, Budapest; DR. MATOS LAJOS kardiológus, Szent János Kórház, Budapest; DR. OROSZ LÁSZLÓ akadémikus, az ELTE Genetikai Tanszékének professzora, Budapest; DR. PÁL TAMÁS középiskolai tanár, Óveges József Gyakorló Középiskola és Szakiskola, Budapest; DR. SZABÓ M. GYULA csillagász, SZTE Kísérleti Fizika Tanszék és Csillagvizsgáló, Szeged; DR. TÖRÖK ISTVÁN ny. fizikus, a fizikai tudományok kandidátusa, MTA ATOMKI, Debrecen; DR. VELLAI TIBOR egyetemi docens, ELTE Genetikai Tanszék, Budapest; VÖRÖS JUDIT muzeológus, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest.