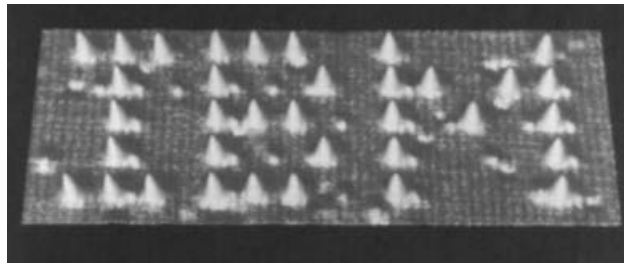


hogy a kvantummechanikai alagúteffektusnak megfelelően átugrálnak elektronok a mintáról a tűre és viszont. Ha elektromos tér van jelen (a tű negatívabb a mintánál) akkor az elektron átugrása a tűről a mintára valószínűbb, mint fordítva, kialakul az alagútáram. Ez az áram rendkívül érzékeny a minta és a tű távolságára, 0,1 nm-es távolságváltozás esetén tízszeresére nőhet, vagy tizedére csökkenhet. Azt is mondhatjuk, hogy egy nagyságrenddel érzékenyebbé tették Young topografinerét és alkalmas felfüggesztéssel nagyrészt megoldották a vibráció problémáját is.

Heinrich Rohrer Zürichben az ETH-n, a zürichi műegyetemen végzett 1951-ben, *Wolfgang Pauli* (1900–1958) és *Paul Scherrer* (1890–1969) tanítványa volt. Doktori munkájaként szupravezetőkben fellépő kicsiny hosszváltozásokat kellett mérnie – már ekkor megismerkedett a mérésgyilkos vibráció problémájával. 1963-ban kezdett dolgozni az IBM zürichi laboratóriumában, ahol többek között antiferromágnességgel és kritikus jelenségekkel foglalkozott 1978-ig, egy új, fiatal munkatárs belépéséig. Gerd Binnig sokáig a zenei és a fizikusi pálya között ingadozott; szépen hegedült és beat együttesekben gitározott. Sajat bevallása szerint egyetemi tanulmányai sem hagytak mély nyomot benne, csak azt élvezte igazán, amikor diplomamunkáján dolgozott. 31 évesen, doktoriának megvédése után lépett be az IBM laboratóriumába, ahol kedvező munkahelyi légkörre talált és kellemes barátokra lelt Rohrer személyében. Közös munkájuk eredménye, amit ők pásztázó alagútmikroszkópnak (Scanning Tunneling Microscope) neveztek el, méreteit tekintve nem nagy (elférne akármelyik feltaláló tenyerén), számítógépekkel összekapcsolt működését, teljesítményét tekintve viszont villámgyorsan kivívta a szakértők elismerését.

Gerd Binnig munkatársaival együtt 1986-ra kifejlesztette a pásztázó tűszondás mikroszkópok kereskedelmi forgalomban kapható jelenlegi legjobb (és nem



4. ábra. IBM felirat 35 xenonatomból, atomerő mikroszkóppal felvéve.

is a legdrágább) változatát, az atomerő mikroszkópot (Atomic Force Microscope). Ezzel már nemcsak elektromosan vezető anyagok felülete vizsgálható. Nem kell hozzá nagyvákuum (olykor még kicsi sem), biológiai makromolekulák, akár még élőlények is vizsgálhatók vele. Felbontása a legjobb transzmissziós elektronmikroszkópokéval vetekszik, az egyatomos tűcsúcsok esetén 0,1 nm. Egyetlen hátránya, hogy lassabban dolgozik, akár 5 percre is szükség lehet egyetlen kép elkészítéséhez. Binnigék ahhoz is értettek, hogyan szemléltessék találmányuk teljesítő képességét: tűszondájuk segítségével 35 xenonatomból kirakták az IBM betűket egy atomsíkra, majd ezt lefényképezték és publikálták (4. ábra).

Rohrer és Binnig a Hewlett-Packard-díj és más kiüntetések után 1986-ban megkapták a fizikai Nobel-díjat. Pontosabban csak a felét, a másik felét az akkor már 80 éves Ernst Ruskának ítélte a svéd Nobel-díj bizottság. Az elektronmikroszkóp több mint fél évszázados történetében ez volt az első alkalom, hogy Nobel-díjjal tüntették ki a feltalálókat. Ha ezt Erwin Müller megérhette volna!

Szolgálja ez a cikk is a róla történő méltó megemlékezést, hiszen idén ünnepelhetjük nemcsak az elektronmikroszkópért adott Nobel-díj 25 éves évfordulóját, de június 13-án lenne Erwin W. Müller 100. születésnapja is.

VÉLEMÉNYEK

ENERGIA, CIVILIZÁCIÓ, KULTÚRA, TÚLÉLÉS – I.

Szergényi István

az ENSZ EGB Energia Bizottságának volt elnöke

Hazánk a világ energiatermelésében és -felhasználásában egyaránt csekély mértékben vesz részt, a globális folyamatok viszont nagy hatással vannak rá. Rövid

összefoglalónk civilizáció(in)k energiafüggősége miatt az energiával kapcsolatos kérdések sokoldalú megközelítésére törekszünk.

A *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottsága az 1972-ben meghirdetett VÉLEMÉNYEK sorozatát az olvasók kérésére tovább folytatja ez évben is. A szerkesztőbizottság állásfoglalása alapján „a *Fizikai Szemle* feladatául vállalja el, hogy teret nyit a fizikai kutatásra és fizika oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, várjuk a magyar fizikusok leveleit.

Az energetikai korszakok gyorsulva követik egymást

Az ember sorsát mindenkor döntő módon befolyásolta a saját izomerejével végzett munkáját meghaladó természeti energia igénybevétele. Ezzel kapcsolatban – visszatekintve – a sok ezernyi nemzedéket átfogó történetben több forradalmi változást lehet követni. A tűz egyszerű használata néhány százezer évig, az állati erő alkalmazása körülbelül tízezer évig tart(ott). Pár száz éves az összes energiafelhasználásnak ma is a négyötödét kitevő fosszilis energia kora, azon belül a kőolajé mintegy 150 év. A legújabb korszakban jelent meg a nukleáris energia, mostantól pedig (remélhetően) bekövetkezik a megújuló energiák reneszánsza. Eddig az uralkodó energiák periódusai egyre rövidülő szakaszokban követték egymást. Az, hogy az újabb radikális változás mikor és hogyan jön el, fokozatosan-e vagy hirtelen, nem jósolható meg. De hogy eljön – a természet kiuzsorázása következtében – az biztos. Korábban volt idő az újhoz való alkalmazkodásra, de nem tudjuk, hogy az következőkben is így lesz-e. Hétköznapjainkban inkább az energia növekvő ára, mintsem annak fenyegető hiánya az aggasztó. Nem kétséges, hogy ha a jelenlegi irányban haladunk, kritikus helyzet alakulhat ki. Ezért a pazarlással jellemezhető status quo fenntartása helyett az egyéneknek, a kormányoknak és a nemzetközi szervezeteknek egyaránt a megújulást kell választaniuk.

Az energia és a civilizáció fogalmáról

Valahányszor az energiaproblémát a civilizációval összefüggésben emlegetjük, olyan kérdéssel szembesülünk, amely óhatatlanul felveti mindkét fogalom esetében a hétköznapi értelmezésből való kilépést is. Az *energeia* (ενεργεια) szó legalább két és fél ezer évvel ezelőtt jelent meg, olyan fogalomként, amelyik az ógörögben isteni tettet vagy bűvös cselekedetet jelentett, *Arisztotelész* pedig a megvalósultságra, a működésre, a változásra való képesség kifejezésére használta.¹ A megvalósultság és a lehetőség (dünamisz) a létezők két egymást feltételező és egymástól elválaszthatatlan összetevője. Kortársunk, *Howard Van Till* [1] fizikus pedig azt a gondolatot veti fel, hogy Isten olyan világot teremtett, amelyikben a benne rejlő lehetőségek beavatkozása nélkül aktualizálhatók. E lehetőségek felismerése és kiaknázása pedig éppen az embernek lehet az osztályrésze, aki több-

¹ Arisztotelész szerint a megvalósultság annyit jelent, hogy egy dolog megvan, de persze nem úgy, mint ahogy lehetőség szerint létezőnek mondjuk. Szerinte a lehetőség annyit jelent, hogy vagy egy másik tárgy részéről képes valami hatást elszenvedni, vagy ez tud egy másik tárgyra hatni. A lehetőség és a megvalósultság pedig a létezők két egymást feltételező összetevője. „A lehetőség nem semmi, nem a lét teljes hiánya, hanem viszonylagos nemlét: a valós lét hiánya az annak megszerzésére képes létezőben.” *Aquinoi Szent Tamás* arra mutat rá, hogy kétféle lét van, tudniillik a megvalósult és a lehetőség szerinti.

kevesebb sikerrel él is ezzel, valahányszor tudását a természetre alkalmazza. Ezt teszik a természetkutatók. A mai átlagember azonban leginkább a kőolajat, a szénét, a földgázt és a villamosenergiát érti az *energia* szó alatt. E kettőség jellemzi napjainkban az energia értelmezését. Miközben tehát a mibenlétére vonatkozó évezredek rejtélye nem oldódott meg, az energia a hétköznapi élet, sőt az emberiség fennmaradásának nélkülözhetetlen és kikerülhetetlen tényezőjévé vált.

A különböző kultúrákat, a problematikus fogalomként kezelendő civilizációkat² a kivételes emberi adottságok, készségek hozták létre. Az ember kezdeti, fizikai energián alapuló tevékenysége során felhalmozott tapasztalatok a természetben egyedülálló konverziós folyamatban tudássá integrálódtak, és ráépültek egy-egy adott kultúrára. Így jöttek létre a különböző civilizációk, köztük a nyugati is. Egyet kell értenünk *Berényi Dénessel* [2], amikor a következőket írja: „Szinte minden nagy kultúra alapját valamilyen vallás képezi, de egyre inkább részét képezi a művészet, az irodalom és a tudomány is. A belőlük táplálkozó, a mindennapi életben megnyilvánuló gyakorlat a civilizáció.” Röviden úgy fogalmazhatunk, hogy „a civilizáció a felszín, a kultúra a mély”. Arra, hogy a kultúra miként hathat a világ energiaellátására, a későbbiekben térünk vissza.

A civilizációk életképessége és az erőforrások

Mi a titka az egyes civilizációk életképességének? Vajon a miénk, amit ma nyugati típusúnak nevezünk, fennmaradhat-e, és ha igen, akkor meddig? Mi lesz ebben a szerepe a fogyatkozó természeti erőforrásoknak és az emberi tudásnak? A tapasztalatok és a felhalmozott sokszínű tudás – mintegy első globalizációs folyamatban – megalapozták a tudományt, majd egyre több természeti erőforrást bevonva kialakította a technológiákat.

Az eredetileg a Nyugatról kiinduló technológiai civilizáció immár szerte a világon szétszóródott, és az egész emberiség potenciális közkincsévé vált. Megtartása érdekében ismét kollektív szellemi erőfeszítésre van szükség. Az ez iránt megnyilvánuló igény azzal arányosan növekszik, ahogyan szaporodik az emberi-

² A világ civilizációi az emberiség történetének utóbbi 4–5000 éve alatt keletkeztek. (Magát az elnevezést – *Claude Bélanger* szerint – a latin *civis* szó bázisán a 18. században – először az enciklopédisták használták.) A régi civilizációk közül már több eltűnt. Így a sumér és a maja civilizáció a túlzott öntözés, vagy az erdőirtás által okozott termőföld-szükségletnek eshetett áldozatul, ugyanis mindkét beavatkozást élelmiszerhiány követte. A „nyugati civilizáció” kialakulása i. sz. 8–9. századra tehető. Tudni illik, hogy a Nyugat már azt megelőzően is *Nyugat* volt, hogy elkezdett volna modernizálódni, hiszen ez az elnevezés a klasszikus görög–római örökséggel, a kereszténységgel stb. vette kezdetét. 1500 után pedig – a földrajzi felfedezéseket követően – terjeszkedni kezdett a világban, és a 18. századtól – az energetika fejlődésével összefüggő ipari forradalommal, illetve a kezdődő modernizációval – növekvő hatást gyakorolt a többi civilizációra. Ez azonban nem azt jelenti, hogy az újonnan modernizálódott társadalmak a nyugati társadalmi mintát is átvették volna.

ség, illetve ahogyan fogyatkoznak a természeti energiaforrások.³ A múlttal összevetve a megoldáshoz ma már jóval kevesebb idő áll rendelkezésre, mivel a veszélyeztető tendenciák – közöttük a természet kizsákmányolásának folyamatai – felgyorsultak.

Emlékeztetünk arra, hogy a korai civilizációkban a termőföld és a víz volt a két legjelentősebb erőforrás. Történelmi példákból valószínűsíthető, hogy a régi Egyiptom, Kína és India fennmaradása – szemben a (sumér, maja stb.) eltűnt civilizációkkal – többek között a fáraók, a császárok és a maharadzsa (a föld- és vízgazdálkodást is) erős kézzel irányító államainak köszönhető.⁴ Mára a föld és a víz mellé felsorakozik az ásványi nyersanyagok egyre bővülő köre, azon belül nagy súllyal az energiahordozók. A következőkben bemutatandó sokasodó kihívások és az említett tapasztalatok felhívják a figyelmet arra, hogy a civilizáció(ink) fenntartásában az államoknak egyre fontosabb szerepe lesz.

Az energiagondok, mint az emberiség előtt álló kihívások egyike

Amellett, hogy az egyes országoknak számos egyedi problémával kell megküzdeniük, egyre több, az egész világra nehezedő globális kihívással is szembe kell nézniük. Ezek közé tartozik a túlnépesedés,⁵ az egy főre jutó termőföldterületek erőteljes csökkenésével összefüggésben jelentkező élelmiszer-, valamint vízhiány. Globális problémává válik a klímaváltozás, a városiasodás,⁶ a migráció, nem utolsósorban az energiahiány. Az OECD, IEA⁷ szerint jelenleg másfél milliárd ember

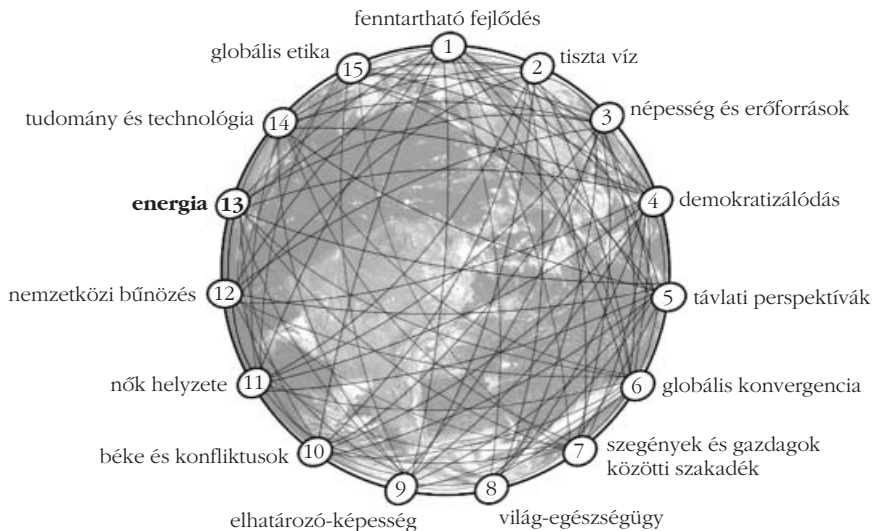
³ Természetesen nem csak az energiahordozó-készletek korlátozottságáról van szó. A civilizáció „működtetése” érdekében nem szabad megfeledezni a fémtartalom és az egyéb ásványokról sem, hiszen azok készletei szintén végesek. Különösen nagy súlyt kell fektetni a fémek újrahasznosítására.

⁴ Kr. e. a harmadik évezredben az Egyiptomi Óbirodalom idejében egyesült ország a fáraók korlátlan uralma alá került. A görögök és egyéb fiatalabb kultúrák az egyiptomit tekintették mintaképűnek. A Kr. e. 3. században a külső támadások és a belső harcok miatt szétesett kínai birodalmat újjászervezték, megerősítve a központi hatalmat, szigorú törvényeket hozva. Ugyanekkor szervezték egységre az indiai birodalmat is.

⁵ A népeség-növekedés jelenlegi ütemének tarthatatlanságát jellemzi az az abszurditás, amely szerint, ha az ütem nem változna, 780 év múlva a Föld minden szárazföldi négyzetméterére jutna egy ember. A. Bartlett, a Coloradói Egyetem emeritus professzora (fizika): <http://youtube.com/watch?v=RdOk521m9WA>. <http://en.wikipedia.org/wiki/Overpopulation>.

⁶ Az ipari forradalom előtt az embereknek kevesebb mint 10–20%-a élt városokban. Az arány 2008 óta több mint 50%. A városi ember fajlagos energiefelhasználása nagyobb, mint a vidéken élő. (ISN / Ecosystems. 22. July, 2009.)

⁷ OECD, IEA = Organisation for Economic Co-operation and Development. International Energy Agency



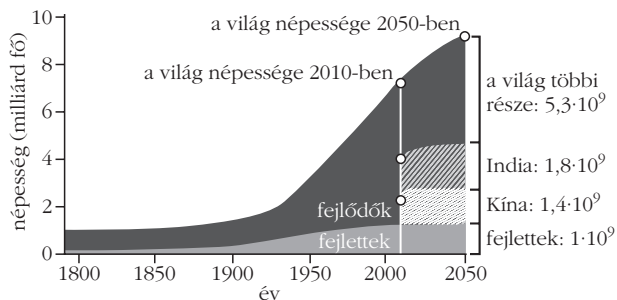
1. ábra. 15 globális kihívás. Forrás: www.millennium-project.org

nem jut villamos energiához,⁸ az ENSZ pedig 15 – egymással is kölcsönhatásban levő – globális kihívást tart számon (1. ábra). Így napjainkra merőben új helyzet alakult ki. Ezért bizonyossággal állítható, hogy új típusú (nemzetközi) együttműködésre, új intézmény- és új értékrendszerre van szükség. Ha nem tudunk megoldást találni a seregnyi kihívásra, akkor képtelenek leszünk a szegény országok számának növekedését megállítani, de még az erősebb államok is a szakadék szélére kerülhetnek. Ráadásul, egy-egy probléma remélt megoldása nem elegendő. Ha minden más válságjelenség enyhülne is, csak az energetikáé nem oldódna meg, az önmagában is súlyos következményekkel járna. E miatt elfogadhatatlan, hogy a jelenlegi válsághelyzetből való kilábalási esélyek interpretálásában súlyához viszonyítva kevés szó esik az energetikáról.

Az ipari és mezőgazdasági forradalmak jó példák az energiefelhasználás más területekre gyakorolt hatásának illusztrálására. Közülük az első szerepe az energia (a szén) felhasználása révén közismert, a másodiké kevésbé. Ez utóbbi egyik következménye – az egyre energiagigényesebbé vált, gépesített és kemizált mezőgazdaság élelmiszertermelésének bővülésével párhuzamosan – a 20. század elejétől robbanásszerűen szaporodó népesség⁹ (2. ábra). Növekedési üteme – akárcsak az

⁸ Az Európa Parlament 2010. októberi ülésén *Ban Ki Mun* főtítokár arra emlékeztetett: „Naponta egymilliárd ember tér éhesen nyugovóra, idén pedig 64 millió ember él szélsőségesen szegény körülmények között. Itt az ideje a gyakorlatba átültetni a millenniumi fejlesztési célokkal és a szegénység elleni küzdelemmel foglalkozó New York-i csúcstalálkozó tette kötelezettségvállalásokat.”

⁹ Terjedelmi okok miatt nem tárgyalhatjuk az emberiség korai történetének tűz-, víz- és szélenergia-forrásait, jóllehet civilizációk már akkor is léteztek. Az ipari forradalommal a korábbiakhoz képest összetettebb korszak kezdődött a fosszilis energia, először a szén felhasználása révén. A gőzgép produktívabbá tette a termelést, megszabadítva azt a munkaerő biológiai korlátaitól. A modern vegyipar először a kőszén bázisán alakult ki, de látványos fellendülése a kőolaj- és földgáz-nyersanyagra történt áttérésének tulajdonítható. A kőolaj 20. századi felhasználása elősegítette a közlekedés és a kereskedelem nagyarányú bővítését is. Ezen a leegyszerűsített fejlődési íven haladva jutott el a nyugati típusú civilizáció a mai állapotáig, amely immár az informatikai forradalommal gazdagodik.



2. ábra. A világ népességének várható alakulása. Forrás: www.fas.org/man/eprint/joe2010.pdf

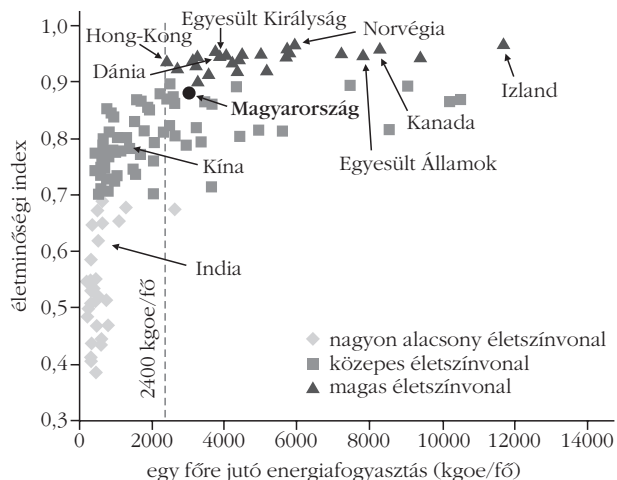
energiafelhasználás – már mintegy negyed százada meghaladja a gabonatermelését. (Nagyrészt ezért ma jogosabban beszélhetünk túlnépesedésről, mint *Thomas Malthus*¹⁰ idejében.) A fejlett országok lakosai sem mondhatják el, hogy őket nem érinti – például – az afrikai országok éhezőinek problémája, hiszen ha nem lesz mit enniük, ez utóbbiak el fogják árasztani az előbbi országokat.¹¹ Kőolajszármazékok híján megbénulna a jelenlegi közlekedési és szállítási rendszer, földgáz nélkül pedig százmilliók maradnának fűtés nélkül a világon. A gondot az jelenti, hogy e két, az életminőségünket meghatározó energiafélése közül a kőolaj globális termelése a tetőzés környezetében van.

Az életminőség, az energia és az állami szerep

Egyre nyilvánvalóbb, hogy az élet minősége nem fejezhető ki egyszerűen a fajlagos GDP mutatóval. Az ENSZ által újabban kimunkált HDI (Human Development Index) figyelembe veszi a várható élettartamot, az oktatási színvonalat, a jövedelmet, a környezetvédelem helyzetét és az energiafelhasználást is. Ez utóbbival kapcsolatban a nemzetközi összehasonlítások azt mutatják, hogy az energiafelhasználás évi 2,6 toe/fő (toe = tonna olajegyenérték; 1 toe = 41,868 GJ) „határérték” alatt jelentősen növeli az életminőséget, felette azonban egyre inkább az említett egyéb tényezőknek jut szerep. A HDI értéke optimálisan: 1 (a fejlett országokban általában 0,9 felett van). Magyarország mutatója a 2005. évi adatok alapján 0,88 volt (amit a 3. ábrán a fekete kör jelez). Figyelembe véve az említett határhoz közel eső egy főre jutó energiafelhasználásunkat, országunkban a racionálisabb, a komparatív előnyöket realizáló (vagy ígérő) termelési szerkezet (mezőgazdaság, élelmiszeripar, információtechnológia, egészségturizmus stb.) kialakítása mellett egyre nagyobb szerepet kell kapniuk az egészségügyi, oktatási, kulturális, kutatási stb. területeknek. Az

¹⁰ Malthus túlnépesedés veszélyére vonatkozó egykori (1798) figyelmeztetése (akkor a világ teljes népessége nem volt több, mint ma a fejlődő világ éhezőinek létszáma) mára egyre időszerűbbek.

¹¹ Egy kalória növényi protein iparszerű előállításához körülbelül 2, állatihoz (marha) 25 kalóriára van szükség. Jellemző, hogy az USA-ban az élelmiszerek a termelőhelytől az étkezésszalig átlagosan 1600 mérföldet tesznek meg. A teljes élelmiszerlánc energiaigénye teszi ki az USA energiafelhasználásának közel ötödét, ami egy főre vetítve 400 gallon olajegyenértéket jelent.



3. ábra. Életminőség és energiafelhasználás. Forrás: <http://forum.prisonplanet.com/index.php?topic=150270.0>

államnak – a világ jelenségeire való jobb rálátási lehetőségére tekintettel – a sok kihívással való szembenézésben azért is növekvő szerepet kell kapnia,¹² mert azt betölteni a jobbra csak a gazdasági társaságok partikuláris érdekeiket szolgáló neoliberais piaci szemlélettel¹³ (néhány korábbi évtized eredményeket is hozó, de vitatható gyakorlatával szemben) már nem lehetséges. Amikor annak filozófiai előzményét, a „laissez-faire” elméletet¹⁴ kialakították, merőben mások voltak a technikai, a közgazdasági és a demográfiai körülmények. Be kell látni, hogy az előttünk tornyosuló problémahalmaz megoldása – benne az energiáé – az egész világot érintő, távolról sem csak piaci ügy.¹⁵ Márpedig amennyiben nem helyesen reagálunk a globálissá vált kihívásokra, kaotikus helyzet alakulhat ki, amelyben – az embert játékszerévé téve – majd maga a természet „dönt”. A kaotikus helyzet elkerülése érdekében paradigmaváltásra van szükség energetikai vonatkozásban is, amelyet nyilvánvalóan csak a kormányoknak van esélyük levezényelni.

A környezeti problémák jellemzése

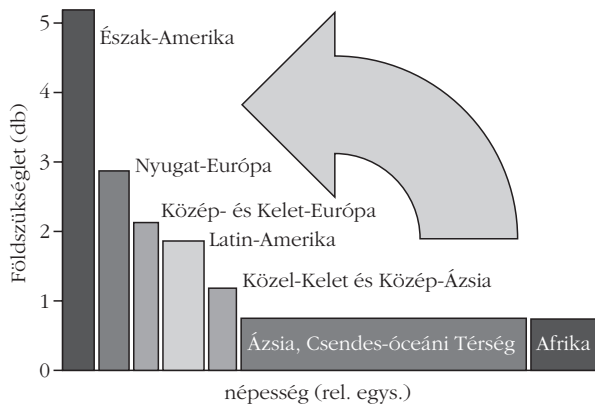
Hangsúlyosan kell szót ejteni az energiafelhasználással is összefüggő, a civilizációnkat egyre jobban fenyegető környezetszennyezésről. Mérséklésében –

¹² 2030-ra Kína és India elérheti a világ energiafelhasználásának a 27, illetve 12%-át.

¹³ Hozzáteesszük, hogy a sokasodó problémák támasztotta feladatokati mindezeket túl a piac önmagában már azért sem tudja megoldani, mert az csak arra képes, hogy forgalomba hozza a reálszféra eredményeit.

¹⁴ A legenda szerint 1680-ban *Colbert* francia pénzügyminiszter üzletemberekkel tárgyalt arról, hogy az állam miként tudná támogatni a kereskedelmet. Ekkor egy bizonyos *Le Gendre* kijelentette: „Laissez-nous faire” (hagyjon minket cselekedni). Ezt a filozófiát később a következő kifejezéssel népszerűsítették: *Laissez faire et laissez passer* (hagyjon minket cselekedni, és a dolgok menni fognak). (<http://en.wikipedia.org/wiki/Laissez-faire>)

¹⁵ Könnyebb lenne a piac mindent megold szemléletet egy darabig még fenntartani, ha rendelkezésre állna egy századra, de legalábbis hosszú évtizedekre elegendő kőolajvagyon. De már bizonyosan nincs annyi.



4. ábra. Hány Föld kellene? Forrás: Jay Kimball.

következésképpen – az energetikának és a vele összefüggő rendszereknek nagy lehetőségük van. Várhatóan „könnyebb” lesz visszafogni a szennyezést, ha az koncentráltan jelenik meg (például az erőművekben), és nem a diszperz kibocsátóknál (például a benzinüzemű közlekedés).

A bioszféra a talaj, a víz és a légkör több százmillió év fejlődése után nyerte el jelenlegi minőségét. Valóságos csoda, hogy hőmérséklete a biogén hőmérsékleti zóna határain belül maradt, és a tapasztalható kilengések amplitúdója nem haladta meg az élet fennmaradását lehetővé tevő szintet, miközben a belsejében izzó állapotban levő bolygónk évmilliók óta a fagyos világűrben száguld. Ez valószínű annak a dinamikus egyensúlynak köszönhető, amelyet ebben az összetett kéregben az energia, a szerves és szervetlen anyag alig átlátható visszacsatolásos rendszere biztosít. Ha azonban az ember kibillentí ebből az egyensúlyból a bioszférát, azt nehéz lesz visszaállítani. A klímaváltozás a legfenyegetőbb környezeti következmény. A témával foglalkozók nagy része¹⁶ (korántsem egésze) fogadja azt a feltételezést, hogy az antropogén emissziók (főleg a CO₂ és a metán) közrejátszanak a bioszféra hőmérsékletének emelkedésében. Ma még nem tudható, hogy az ökológiai rendszer miként és meddig viseli majd el a terhelésnövekedést. Az inercia ugyan még a megszokott mederben tartja a természet rendszereit, de a klíma-rendszer változása elindult, és ha igazán belelendül, nagyon nehéz lesz megállítani.

A globális környezetszennyezés mértékének jellemzésére – tehát nem csupán az energia által okozottra – munkálták ki az „ökológiai lábnyom” mutatószámot. Ez a természetbe történő emberi beavatkozás hatását összegző jelzőszám. Azt fejezi ki, hogy az adott népesség mekkora területről fedezi a fogyasztásához szükséges erőforrásokat (ha/fő). Egyesíti a művelésbe vont területek nagyságát, az infrastruktúrával lefedett területnagyságot és a szennyezőanyag-kibocsátás semlegesítéséhez szükséges földmennyiséget. Ez *W. Rees* és *M. Wackernagel* szerint – a fenntartha-

tóságához – a Föld egy lakójára átlagosan 2,3 hektárnyi terület. A magyar mutató ennek körülbelül kétszerese, az USA-é közel tízszerese. A túllépésre jellemző, hogy az észak-amerikai életvitel globális kiterjesztése több mint öt, az európai három Földet igényelne (4. ábra). Csak az ázsiai és afrikai alacsony terhelési szint teszi lehetővé, hogy a Föld egészére „csupán” 30%-os többletterhelés jellemző,¹⁷ és egyelőre nem érzékelünk túlságosan nagy környezeti katasztrófát.

Téveszmék, valamint az energia befolyása az erőgyensúlyra

„Az optimisták úgy számítanak a technikára, mint gyermek a Mikulásra.”

(*Jean Laberrere*¹⁸)

„A kultúra az ember legősibb és legkorszerűbb, szükségszerű tevékenysége. Sorvadása, megszűnése az ember, az emberiség és a Föld globális pusztulását vonná maga után.”

(*David C. Korten*¹⁹)

Elsősorban: ejtsünk szót egy téveszméről. A világot érintő jelenlegi pénzügyi válsághelyzetből való kilábalási esélyek interpretálásakor háttérbe szorul az, hogy az energia fenyegető hiánya a többi kihívástól függetlenül is súlyos következménnyel járhat az emberiség számára. Ezzel összefüggésben a nyugati országok vezető politikusainak és közigazdászainak meglehetősen széles körét az a meggyőződés vezérli, hogy a tudomány és a technológia – miként eddig – a jövőben is megoldja az energiakérdést. Ezt a vélekedést örömmel veszi át a laikus média közvetítésével a széles közvélemény is. Még a tájékozott ember is, habár tisztában van a takarékoság jelentőségével, azt inkább másra hagyná, hagyatkozva arra a struccpolitikára, mi szerint a problémák eddig is megoldódtak és ezután is így lesz. Az energiaváltások nehézségeit, főleg azok rövidülő periódusai miatt, jobbra csak a természettudományok képviselői látják. Ezért fel kell világosítani az embereket arról, hogy a fogyatkozó kőolajvagyon miatt szükségszerűen közelgő energiaváltás nem pottyanhat az égből. A szénhidrogének előbb-utóbb elkerülhetetlen pótlása, vagy új villamosenergia-termelési rendszerek tömeges bevezetése jelenleg nem teljesen iparérett, ilyen kész technológiák alkalmazása többnyire még kutatást igényel. A siker viszont, mint mindig, bizonytalan.²⁰ A gyakor-

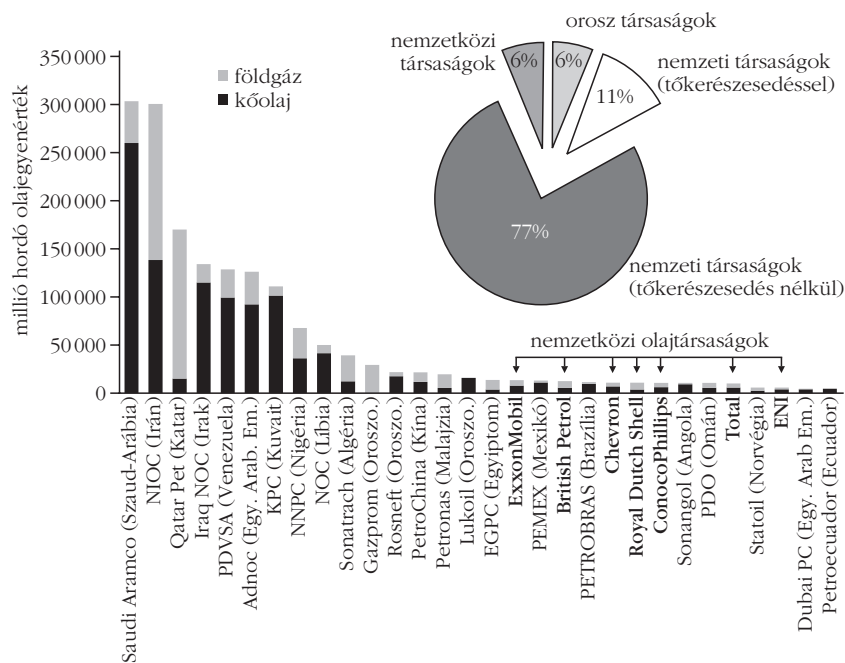
¹⁷ http://anubis.keel.hu/pdf/bscoko/Footprint_lev_a.pdf

¹⁸ *Jean Laberrere*, a TOTAL vezető geológusa volt, ma az ASPO (Association for the Study of Peak Oil and Gas) tanácsadója.

¹⁹ *David C. Korten* a The People-Centered Development Forum alapítója, *A tőkés társadalmak világuralma* című könyv szerzője. Ebben a műben hívja fel a figyelmet egyéb (elsősorban közigazdasági) téveszmékre.

²⁰ A technológiai fejlődés előre meg nem jósolható voltával leginkább maguk a tudósok vannak tisztában. Ezt *Davynek*, a róla elnevezett bányalámpa és sok más találmány tulajdonosának véleménye szemlélteti: „felfedezéseim közül a legjelentősebbeket tévedéseim sugallták”.

¹⁶ A klímakutatók túlnyomó része, az olajkutatókénak pedig körülbelül a fele hisz az klímaváltozás okának antropogén voltában. Több tudós elveti ezt az elméletet. (*Doran et al. Eos. Vol. 90/3 20. January 2009. 22.*)



5. ábra. A szénhidrogén vagyonok birtoklása. Forrás: www.ndu.edu/inss/docUploaded/Energy_VerrastroPPT.pdf

latba történő átültetés pedig még eredményesség esetén is jelentős időt igényel a kiépült infrastruktúrák és a meglévő eszközállomány méretei miatt.²¹ Ezért tudatváltozásnak kellene végbemennie, meghozzá nemcsak a politikusok és médiaszemélyiségek, hanem az átlagemberek milliárdjainak – ez utóbbiak ebben csak a takarékoság követelményének szükségszerű tudomásulvételével tudnak részt venni – a fejében is, meghozzá gyorsan. (Nem reménytelen-e ez a feladat?)

Másodsorban: már most érzékelhető, hogy a különböző régiók (civilizációk/kultúrák) energiaigényének és energiavagyon-ellátottságának földrajzi elkülönülése lappangó feszültség forrása. Ez rárakódik arra a tényre, hogy a fejlődő országok zömének kulturális hagyományai jelentősen különböznek a nyugatitól. Bár közzismert a Nyugat felől terjedő modernizáció és az iparosodás többi civilizációra gyakorolt hatása, az – a fokozatos technológiai felzárkózás dacára – nem (vagy alig) érinti a civilizációjukba mélyen beágyazódott kulturális gyökereket. Jó példa erre az olajban és/vagy földgázban gazdag, egyszeresmind modernizálódó és nagy demográfiai feszítőerővel rendelkező egyes fejlődő országok (iszlamista) újjászületése, de árulkodó az is, hogy a kínaiak hogyan vélekednek a Nyugatról.²² Ezek az országok

²¹ Bár a radioaktivitást az előző századforduló környékén fedezték fel, a maghasadás ipari alkalmazására csak a múlt század közepén került sor. A fúziós energiára vonatkozó szabadalmat több mint fél évszázada jelentették be, de a gyakorlati alkalmazása még ma is kétséges.

²² Egy kínai küldöttség tartózkodott Párizsban, amikor *MacMahon* leverte a Kommünt. Vezetőjük így nyilatkozott: „Fiatalok vagytok, ti nyugatiak, szinte még történelmetek sincsen. De hát így volt ez mindig is: ostrom és kommuné, ez a történelem természetesen menete.” (*Egon Friedell*). A többezer éves kínai mentalitás aligha változott az utóbbi másfél évszázadban. A kínaiak felsőbbrendűség-tudata civilizációjuk több ezer éves teljesítményével magyarázható.

közös gazdasági régiókat (BRIC, SCO²³) hoznak létre, egyelőre azzal a céllal, hogy versenyképesek legyenek a Nyugattal, vagy akár fölébe is kerekedjenek annak. Ehhez azonban energiára van szükségük, amellyel nem mindegyikük rendelkezik elegendő mennyiségben, ami felszínre hozhatja, sőt ki is élezheti az imént említett lappangó feszültséget. A szénhidrogénvagyonnak csak kis része van a nagyfogyasztó Nyugat multinacionális társaságainak a birtokában (5. ábra). A hagyományos kőolaj kínálata legnagyobb részben a fejlődő nemzetállamokban áll rendelkezésre. Ez utóbbiak a vagyonból közel 90%-kal, a kitermelésből pedig körülbelül 70%-kal részesednek. Az energiáért való versengés, az egyes fejlődő és a fejlett régiók energiavagyonában mutatkozó jelentős eltérések alkalmat adhatnak a már meglévő vagy a

még csak lappangó feszültségek konfliktusokká fajulására.²⁴ A civilizációk összecsapásának veszélyét *Huntington* már az energiaprobléma számbavétele nélkül is leírta [3].

A pazarlás összefüggése az energia árának és értékének különbségével

A modern élet kétségtelen velejárója az energia pazarlása. Biztosan állítható, hogy – főleg a nyugati országokban – az „elegendő” energiához képest jóval többet használ fel az ember. A pazarlásba a bőség fals bővületében csúsztak bele a gazdag társadalmak. Pazarlásuk folytatása a sajátjukon kívül a többi civilizációt is veszélyezteti. Azaz a jövőben várható többletigény, netán többletfogyasztás zöméért „felelős”, demográfiailag túlsúlyba kerülő fejlődő világot szintén, főleg ott, ahol egyébként a népességgobbanás gerjeszti az igénynövekedést, de saját energiavagyonon nem található. (Megjegyzendő egyébként, hogy még Szaúd-Arábia is gon-

²³ BRIC: Brazília, Oroszország, India, Kína; SCO: Shanghai Cooperation Organisation: Kína, Kazahsztán, Kirgizisztán, Oroszország, Tádzsikisztán, Üzbegisztán.

²⁴ Kína határáig elkészült az ázsiai szállításokra épített orosz olajvezeték (ESPO). E nemzetközi projekt keretében a kínai fél rész vesz az orosz területen folyó kitermelésben. Kína ugyan a legnagyobb olajtermelők között szerepel, ennek ellenére a világ olajimportjában a második helyet foglalja el. Külpiaci politikájának köszönhetően egy olajválságra Kína jobban felkészült az USA-nál. Néhány kínai (és indiai) állami energetikai társaság olyan országokban is befektetett, ahol más nagy, magánkézben lévő olajtársaságok nem. Utóbbiakra esetleg szankciók vonatkoznak, esetleg saját kormányuk tiltotta meg nekik abban az országban a befektetést, esetleg a célországot sújtó ENSZ szankciók miatt tilos a belépés számukra. Ilyen országok Üzbegisztán, Irán és Szudán is, amely a kínai olajtársaságok egyik jelentős külföldi olajtartalékát jelenti (*Hugyecz Attila*).

dol az olaj utáni korra!)²⁵ Nem megengedhető, hogy az egyre zsúfoltabb és a tartalékait mindinkább felemészítő bolygónkon mindenki – főleg a nyugati polgár – a saját kénye-kedve szerint éljen. A döntéshozók feladata rávezetni a gazdag országokat energiafogyasztásuk önkorlátozására. Természetesen megelőzendő az is, hogy a fejlődő országok – ha lehetőségük nyílna rá – felvegyék a nyugati társadalmak jelenlegi pazarló mintáit. Ennek azonban – ha nem akarnak kényszerítő eszközöket alkalmazni – sürgősen meg kell teremteni a mentális feltételeit, méghozzá ösztársadalmi szinten (az oktatás és a média szerepét figyelembe véve!).

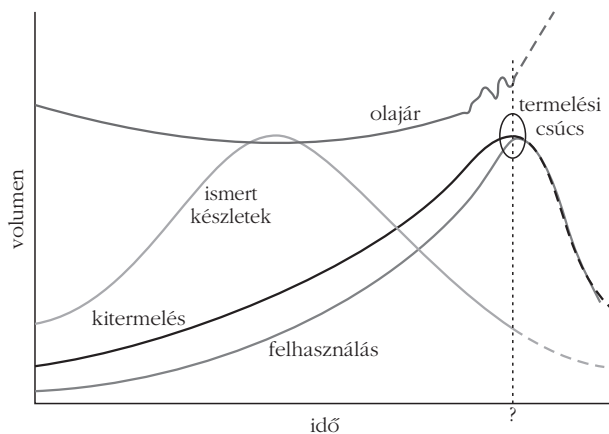
A pazarlás következményei először a kőolajnál válnak kritikussá. Elég utalunk arra, hogy a szállítás/közlekedés több mint 90%-ban a még ma is vezér energiahordozónak tekintendő kőolajtól függ, amelyet a keletkezéséhez viszonyítva 10^5 – 10^6 -szoros sebességgel termelünk ki [4]. De a pazarlás a többi energiára²⁶ is jellemző. A jelenséget különösen szemléletesen mutatja be az a példaszerű összehasonlítás, amely az ember fizikai teljesítőképességét az általa valóságban felhasznált energiával veti egybe. A táplálék (2500–3000 Kcal/nap) körülbelül 0,1 tonna/fő/év olajegyenértéket képvisel. Ezzel a számmal szemben a nyugati civilizáció emberét 2,5–5,0 tonna/fő/év olajegyenérték összes energiafelhasználás jellemzi.²⁷ A tetemes különbség nagy részét a természet véges (fosszilis) energiái, kisebb részét az ugyancsak véges hasadóanyagoké, valamint a megújulóké „adja”. A számoknál maradva ez azt jelenti, hogy a természeti energiák 25–50 (az emberi szervezet körülbelül 30%-os biológiai „hatásfokát” is figyelembe véve)²⁸ – 75–

²⁵ Azzal is tisztában kell lenni, hogy ha a fejlődő világ emberei átvinnék a nyugatiak pazarló beidegződéseit, a Nyugat hiába csökkentené károsanyag-kibocsátását és hiába takarékoskodna. Vagy mindenki csinálja, vagy nem fog menni.

²⁶ A földgáz a műtrágyagyártás legfontosabb nyersanyaga. Rossz hatásfokú elégetése pazarlás! Magyarország lakásainak energiafelhasználása túlzott, a nagy számú, nagyrészt gázfűtésű panellakás és a régi építésű, rosszul szigetelt lakások miatt.

²⁷ Egy amerikai ember 15–20-szor annyi energiát használ fel, mint egy afrikai vagy indiai.

²⁸ Biológiai energia felhasználásával történik többek között az enzimek, a hormonok és a vér képzése, a sejtek lebontása és újraképzése, az állandó testhőmérséklet, valamint a szervezetben lezajló folyamatok egyensúlyának, működésének fenntartása.



6. ábra. Az olaj árának várható alakulása és a termelési csúcspont kapcsolata.

150) fantom-rabszolgaként szolgálnak ki egy-egy nyugati polgárt. Ha ezt végiggondoljuk – bármily nehéz is ezt leírni –, akkor belátható, hogy a technikai viszonyoknak köszönhetően „olcsón” jutunk hozzá az energiához – változatos minőségi igényeinkhez igazodva – a benzinkútnál, a konnektorból, a gázcsapból stb. Értékeljük-e ezt? Biztosan mondhatjuk, hogy nem.

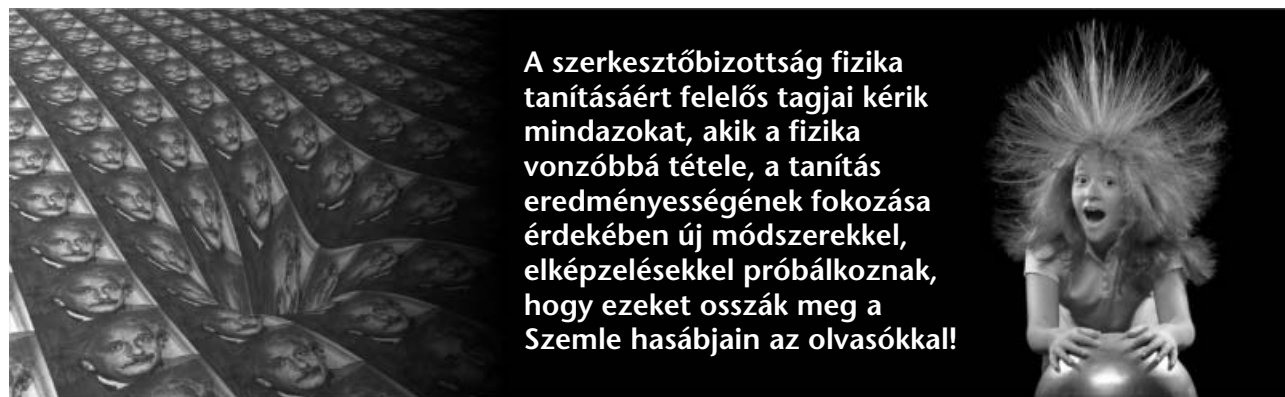
És meddig bírja a természet? Erre a kérdésre viszont nem tudjuk a választ.

A példa alapján annyit minden esetre be kell látnunk, hogy az árak – még ha nőnek is (6. ábra) – nem tükröz(het)ik az energia használati értékét, hiszen az szociális okok miatt gyakorlatilag *megfizethetetlen*. A probléma azért marad neuralgikus, mert a gazdaság, továbbá – kiszolgáltatottá válása miatt – a társadalom még akkor is érzékenyen reagál az árakra, ha azok alatta maradnak a használati értékét kifejező szintnek.

Folytatása következik.

Irodalom

- Howard Van Till: When Faith and Reason Cooperate. *Christian Scholar's Review* 21 (1993) 31–34.
- Berényi Dénes: *Tudomány és kultúra*. Typotex kiadó, 2010.
- Samuel Huntington: *The Clash of Civilizations*. Foreign Affairs, 1993.
- Szergényi István: A kőolaj és a civilizáció. *Magyar Kémikusok Lapja* 2007. 4.



A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kéri mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Szemle hasábjain az olvasókkal!