

kai eszközök segítségével le is írhatjuk a fehérjék elektronvezetési mechanizmusát. A mai elképzelésünk szerint mind a fehérjéken belül, mind a fehérjék között az elektron különböző erősségű és fajtájú kémiai kötések mentén mozog. Mozgását jelentős mértékben meghatározza (segíti) a fehérje szerkezete és fluktuációja. A fehérjén belüli és fehérjék közötti elektronmozgás minimális energiavesztéssel jár. A fehérjék elektronvezetési mechanizmusa nagyon jól mutatja, milyen takarékosan bánik a természet a fotoszintézis során megszerzett energiával.

Összefoglalás

„A fehérjék, bizonyos körülmények között, elektromosan vezetőek lehetnek.” – állította Szent-Györgyi Albert már 1941-ben. A fehérjék elektronvezetési mechanizmusát azonban csak napjainkban sikerül teljes mélységében megértenünk és leírunk. A leírásban fontos szerepet kapnak (1) a fehérjék szerkezeti (másodlagos és harmadlagos szerkezeti) sajátosságai, (2) a fehérje állandó, „pulzáló” mozgását jellemző rezgések, és (3) az a tény, hogy az elektrontranszfer (ET) lépést időben követi egy lassúbb, az egész molekulára kiterjedő „átrendeződési” lépés, amelynek eredményeként a fehérje ismét dinamikus egyensúlyba kerül a környezetével. A kísérletek és elméleti megfontolások tanulsága szerint a fehérjékben az elektronok a különböző erősségű és

jellegű kémiai kötések mentén mozognak a kvantummechanikából ismert „alagúteffektus” (tunneling) és „töltésugrás” (hopping) segítségével.

Irodalom

1. http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1937/: „...for his discoveries in connection with the biological combustion processes, with special reference to vitamin C and the catalysis of fumaric acid...”
2. Szent-Györgyi A.: *Bioelectronics: A Study on Cellular Regulation, Defense and Cancer*. Academic Press, New York, 1968.
3. Szent-Györgyi A.: *Válogatott Tanulmányok*. (szerk. Elődi Pál), Gondolat Kiadó, Budapest, 1983.
4. Ladik J.: *Kvantumkémia*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
5. Rácz Z.: Fizika a kémiában. *Fizikai Szemle* 46 (1996) 93–94.
6. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/fermi.html>
7. Somogyi B., Welch G.R., Damjanovich S.: The dynamic basis of energy transduction in enzymes – *Biochim. Biophys. Acta* 768 (1984) 81–112.
8. http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1992/marcus-lecture.pdf
9. Moser C.C., Dutton P.L.: Outline of theory of protein electron transfer. In: *Protein Electron Transfer* (ed. D.S. Bendall), BIOS Sci. Publ., Oxford, UK, 1996. 1–21.
10. Gray H.B., Winkler J.R.: Electron tunneling through proteins. *Quart. Rev. Biophys.* 36 (2003) 341–372.
11. Skourtis S.S., Balabin I.A., Kawatsu, T., Beratan D.N.: Protein dynamics and electron transfer: Electronic decoherence and non-Condon effects. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102 (2005) 3552–3557.
12. Curry W.B., Grabe M.D., Kurnikov I.V., Skourtis S.S., Beratan D.N., Regan J.J., Aquino A.J.A., Beroza P., Onuchic J.N.: Pathways, pathway tubes, pathway docking, and propagation in electron transfer proteins. *J. Bioenerg. Biomemb.* 27 (1995) 285–293.

A KOLLEKTÍV ELŐKÉSZÍTÉS, AZ OKTATÁS, A TUDOMÁNY ÉS A TECHNOLÓGIAFEJLESZTÉS SZEREPE AZ ENERGIAPOLITIKÁKBAN

Szergényi István
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Az energia szó (ενεργεια) az ógörögben „isteni tett”-et vagy „bűvös cselekedet”-et jelentett, *Arisztotelész* később „ténykedés, művelet, megvalósultság” értelemben használta. Mára azonban már messze vagyunk attól, hogy az energia szót csak a klasszikus, filozófiai értelemben használnánk. Az a mai élet nélkülözhetetlen, gyakorlati feltétele, de lehet háborúk okozója, sőt a kimenetelüket eldöntő tényező is. Rendelkezésre állását egyre inkább csak átgondolt energiapolitika segítségével lehet biztosítani. De milyen is legyen az? Az alábbiakban a szerző több szervezet és energetikai szakértő véleményét, továbbá saját tapasztalatait összevetve és integrálva adja közre a témával kapcsolatos véleményét, némely vonatkozásban három Nobel-díjas gondolatával is nyomatékosítva.

Szergényi István PhD, a BME tiszteletbeli tanára, az Egyesült Nemzetek Szervezete Európai Gazdasági Bizottsága (ENSZ EGB) Energia Bizottságának volt elnöke

A világ mind bonyolultabbá válásával párhuzamosan az energiakérdés is egyre összetettebb lett. Ezt alátámasztandó a vele kapcsolatban megfogalmazott számos kívánalomból elég csak a legfontosabbakat említeni: egyrészt garantálni kell a jövő biztonságos energiaellátását, másrészt el kell érni az energiafelhasználással is terhelt környezet megkímélését, miközben szem előtt kell tartani a fejlődő országoknak az életszínvonal felzárkóztatására irányuló törekvését. Hogyan biztosítható mindez, amikor a világ tele van konfliktusokkal, és a versengő országok mindegyike keresi a maga javát, amit pedig – ha elég erős – már rendszerint csak mások rovására tud elérni. Egyelőre nem ismert annak a megoldása, hogy miként egyeztethető össze a globalizáció az egyes államok szuverenitásának megőrzésével egy olyan stratégiai szektorban, mint az energetika. Tovább nehezíti a feladat megvalósítását az energiaforrások egyenlőtlen földrajzi eloszlása, nem utolsósorban pedig az, hogy a világ

energetikáját jelenleg legjobban befolyásoló kőolaj vonatkozásában tekintélyes geológusok hangsúlyozzák a termelés tetőzésének közeledtét. Az sem könnyíti meg a tisztánlátást, hogy az olajvagyonok adatai sokszor jelentősen manipuláltak.

Az ember és a természet sokszorosan összetett kapcsolatának változásával folyamatosan módosul a Föld természeti kincseinek az a köre is, amely az ember által felhasználható vagyonnak tekinthető. Vagyis a mindenkori vagyont csak az emberi társadalom fejlődésének egy-egy szakaszában szabad a termelés számára lehetséges nyersanyagként kezelni. Független szakértőkből, főként geológusokból álló szövetségek (ASPO, ODAC¹) felhívják a figyelmet, hogy a véges fosszilis energiahordozó-vagyonból elsőként az energiapolitikákra különösen nagy hatást gyakorló kőolajkészletek fogyatkozása várható, méghozzá a nem túl távoli jövőben, és már most olyan politikát kell folytatni, hogy lehetővé váljon az elkerülhetetlen kimerüléshez való alkalmazkodás. Nyilvánvaló, hogy ha fel is fedezzünk újabb lelőhelyeket, azok nem a készletek végső állapotát, legfeljebb volumenük nagyságát befolyásolják, illetve a termelés tetőzésének valamivel későbbre tolódását okozzák. Ezzel kapcsolatban viszont a nagy társaságok és a politikusok egy része azt hangoztatja, hogy ez a pesszimista szakmai vélekedés egyoldalú, és a piaci erők, valamint a technológia fejlődése mindent idejében megoldanak majd. Viszonylag optimista véleményt képvisel a CERA² is, amely társaság 2030-ra teszi az olajtermelés körülbelül két évtizedig tartó tetőzésének a kezdetét, majd azt követő csökkenését, igaz, hogy a nem hagyományos olajok hasznosításával is számol, és figyelmen kívül hagyja ezek kitermelésének környezetkárosító hatásait. Valójában azonban az általa prognosztizált időpont sem túl távoli.

Az emberiség növekvő igényeinek a források végső kihasználásáig történő kielégítése – tetézve azt a környezet egyensúlyának megbomlásával – beláthatatlan következményekkel járhat. E mellett a világ országainak többségében a feszült világgazdasági helyzet miatt máris fokozódik az energiaellátás sebezhetősége. A nukleáris energia programjai számos országban megtorpantak – és a közvélemény meglehetősen széles körű ellenállása miatt ezen nem könnyű változtatni –, bár folytatásuk (a még meglévő problémáinak megoldásával együtt) egyre inkább elkerülhetetlennek látszik. Nem csekély gond továbbá az energetika területén megjelenő terrorizmus veszélyeit elhárítani vagy legalább mérsékelni. További nehézséget okoz a globális felmérés hiánya arra vonatkozóan, hogy a megújuló energiaforrások milyen mértékben és milyen következményeket maguk után vonva tudják majd helyettesíteni a hagyományos energiaforrásokat. Különösen fontos kérdés annak a tisztázása, hogy a biomassza energetikai hasznosításával összefüggésben meddig terjednek

a lehetőségek, figyelembe véve a globális termőföld nagyságát, illetve a világelelmezés biztonságát.

Utalni kell arra a lehetőségre is, hogy amennyiben nem sikerül kellő mennyiségű olcsó helyettesítő üzemanyagot előállítani vagy más technikai megoldást találni, az olajárak növekedése miatt nagy kihívás előtt áll a gépkocsiipar. Ugyanis az üzemanyag-igényes szállítási problémák megoldásának sikerétől hosszabb távon sok függ majd, mert kudarc esetén a *kereskedelmi globalizáció* válsága is beköszönhet, legalábbis bizonyos árukörökben (nagy volumenű élelmiszer-szállítások³, egyéb termékek). Ezekben az esetekben előtérbe kerülhet a relokalizáció, azaz az említett termékcsoportok helyben történő megtermelése. A változások – ha bekövetkeznek – szinte mindenkit érinthetnek. A következményeket (háborúk az energiahordozókért, éhínségek stb.) nehéz előrevetíteni.

Ha csupán ezeket a problémákat tekintjük, már akkor sem csoda, hogy az energiapolitikáknak általában nincs egységes szemlélete. Másként értelmezik azt az energiahordozó-vagyonnal rendelkező, valamint az azt nélkülöző országok, és ugyancsak másként a kormányzati tisztviselők, az energetikai társaságokat képviselők és az egyszerű fogyasztó. Természetes, hogy az egymástól eltérő véleményeket az egyes szereplők különböző helyzete befolyásolja. Mégis, milyen lenne az ideális energiapolitika?

Mindenekelőtt célszerű tudatosítani, hogy az energiapolitika a tendenciák felismerését, az irányok kijelölését, a stratégiai feladatokat hivatott meghatározni, és – még ha ezt egyesek hiányolják is – nem vész el a mégoly fontos részletkérdésekben (azok megoldását az egyes részprogramokra hagyja, amelyek beindításához viszont megadja a főbb szempontokat). Az energiapolitikát tehát ne terhelje meg a számok tömkelege, de a legfontosabb adatokat (pl. az importfüggőség, az egy főre jutó felhasználás, az energiahatékonyság stb.) tartalmaznia kell. Ezek a mutatók ugyanis azt a célt szolgálják, hogy az adott ország számára tájékozási lehetőséget nyújtsanak a nemzetközi trendekhez való viszonyban és külkapcsolatai építésében. Egy túldefiniált energiapolitika a jövő megfelelő ismeretének hamis benyomását keltheti, amikor is nem várt módon felbukkanó eseményre nem kell számítani. Kiemelt célja az energiapolitikának az, hogy birtokában a felelős szereplők magatartása, döntéseik, valamint – akár váratlan helyzetben is

¹ ASPO: Association for the Study of Peak Oil & Gas; ODAC: Oil Depletion Analysis Centre

² CERA: Cambridge Energy Research Associates

³ A mezőgazdaságban a kőolajszármazékokat felhasználó gépesített talajművelés és a műtrágyázás, valamint a vegyszeres növényvédelem, az öntözés stb. (zöld forradalom) nagymértékben hozzájárult ahhoz, hogy 1950 és 1984 között a világ gabonatermelése 250%-kal, az emberiség lélekszáma pedig 1960 és 2000 között 3 milliárdról 6 milliárdra nőtt. A szektor energiaigényességét jelzi az USA példája: ma az Egyesült Államokban a mezőgazdasági termelés – állattenyésztés – feldolgozás – tartósítás – szállítás – étkező asztalra kerülés láncolata tízszer annyi energiát igényel, mint amennyit az elfogyasztott étel tartalmaz. Ebből csak a szállításra jellemző, hogy az élelmiszer a termelőhelytől a fogyasztóig átlagosan 1600 mérföldet tesz meg. Az adatok további részletezése nélkül is belátható, hogy az energiahiány a világelelmezés szempontjából milyen katasztrofális következményekkel járna.

szükséges – megnyilvánulásuk helyes és megalapozott legyen. Ebből következően nemcsak az ilyen értelemben elkészített energiapolitikára, hanem annak felelős képviselőjére is szükség van.

A jó energiapolitikák megalkotásának feltétele, hogy az emberi társadalmak felé a legkülönbözőbb területeken mutatkozó jövővel kapcsolatos kihívásokból kiválassza az energetikát érintő legfontosabbakat. További feltétel, hogy kijelölje azokat a szempontokat, amelyek az *energiapolitikák állandó elemeként* közösek a különböző lehetséges jövőképekhez vezető forgatókönyvekben (az energiahatékonyság és -takarékoság fokozása, az emberek tájékozódásának elősegítése mindennek szükségességéről, az oktatás, a tudomány és a technológia fejlesztése, a környezet védelme, valamint a nemzetközi együttműködés alakítása, hatékonyságának javítása stb.). A stratégiai tennivalókat ezek nagymértékben befolyásolják. A lehetséges jövőképek felvázolásához a jó energiapolitika figyelembe veszi a független szakértők széles körének ajánlásait, hiszen az energetikus jobbára csak a saját területén tudja hitelesen valószínűsíteni a fejlődést, holott az energiafelhasználást szinte minden befolyásolja. A „végső”⁴ megfogalmazásnak tehát a lehető legkiválóbb szakértők véleményének a lehető legjobb szintézisét kell tartalmaznia.

A sikeres energiapolitikára példaként elsősorban a *de Gaulle*-i felfogás értelmében kifejlesztett francia atomprogramot lehet felhozni, ami Franciaország számára mind a mai napig meglehetősen nagy energetikai függetlenséget biztosít. Szintén különösen bölcs és példamutató energiapolitikai előrelátásnak minősíthető a dán kormányának az az egy-két évtizeddel korábbi elhatározása is, amely milliárd dolláros nagyságrendű összeggel támogatta az energiatakarékosságot. E döntések lehetővé tették, egyrészt, hogy Franciaország – elsősorban nukleáris fejlesztései révén – Európa legstabilabb energiaellátásával rendelkezzen, másrészt, hogy Európában Dánia energiahatékonysága ma a legjobb. Szintén figyelemre méltó előrelátásról tanúskodott az akkor még a világ legnagyobb olajtermelőjének, az Egyesült Államoknak közvetlenül a II. világháború után megtett azon lépése, amit a jaltai konferenciáról hazatérőben *Roosevelt* alapozott meg Szaúd-Arábia királyával történt találkozásánál. Ezen elkötelezte az Egyesült Államokat a mára legnagyobb olajtermelővé vált Szaúd-Arábiával való barátságáról és támogatásáról hosszú távú olajszállítások fejében. Részben ennek következtében az Egyesült Államok – az 1971 óta csökkenő olajtermelése dacára – egyelőre nem szenvedett hiányt (leszámítva az első olajválság alatti öt hónapot) az olajellátásban. A jelenlegi energiapolitikáját azonban már sok kritika éri.

Az első olajválság alatt a világ országai többsége számára súlyos problémát okozott az energiapolitika

⁴ Valójában nincs végső megfogalmazás. Az energiapolitikákat a körülmények alakulásától függően folyamatosan „karban kell tartani”. Ebből a szempontból hasznos, ha az országok rendelkeznek egy állandó energiapolitikai tanáccsal.

hiánya. A 1970-es évek első felében az országok megismerhették az olajbirtokosok kezében levő úgynevezett olajfegyvert, ami rámutatott arra, hogy az olaj mennyire képes befolyásolni egy-egy országot, sőt országocsoport gazdasági és társadalmi helyzetét mind közvetlen, mind pedig közvetett módon.

Bár a gyakorlatban felmerülő igazi energiapolitikai döntések száma nem túl nagy, az azokat megalapozó ismert és váratlanul felbukkanó tényezőké, jelenségeké viszont igen. *Energiapolitikai jelentősége van:*

- az importfüggő országokban/országocsoportokban a potenciális szállító/tranzitáló országokkal való kapcsolatok alakításának,

- a diverzifikáció értelmezésének (mind a források, mind a szállítási útvonalak szerint). Az energiapolitikus készítse fel a professzionális politikát (természetesen a külpolitikát is), hogy az a nemzetközi tárgyalásokon kellő információval rendelkezzen.

- Ugyancsak energiapolitikai kérdés a villamos energia előállításának mikéntje (nukleáris-fosszilis-megújuló),

- az új energiatermelési távlatok megnyitása érdekében a kutatási-fejlesztési források kellő mértékének biztosítása,

- az energetikai társaságok tulajdonlásának meghatározása,

- a környezet védelme és a helyi energiaforrások/megújulók fokozott hasznosítása.

- Fontos energiapolitikai feladat a hatékonyság növeléséhez és az elengedhetetlen energiatakarékosság javításához szükséges források rendelkezésre bocsátása.

- Azokban az országokban, ahol az energiahatékonyság gyenge, az energiapolitikusoknak kell felhívniuk a figyelmet arra, hogy a gazdaságfejlesztésért felelős politikusok a kis energiaigényű tevékenységek fejlesztésével segítsék a gazdaság növekedését. Ez az energetika, a gazdaság, a külpolitika, a kereskedelem, a közlekedéspolitikai/szállítás fejlesztésének együttes kezelését igényli.

- Ugyancsak fontos energiapolitikai feladat az energiatakarékos társadalmi tudat alakítása, és az energetikai fejlesztések terveinek nyilvános kezelése.

Az energiapolitika keretében azt is alaposan vizsgálni szükséges, hogy milyen tényezők befolyásolják a jövő energiafelhasználását.⁵ Ezeket figyelembe véve a jövő bizonytalanságát több lehetséges jövőkép felrajzolásával csupán változatokban és tendencijelleggel lehet figyelembe venni. Azonban még a tendenciákat is csak változatokban célszerű prognosztizálni: a politikai helyzet, a gazdasági és technológiai fejlődés, valamint a környezet követelményeinek a függvényében. Amennyiben a tendenciák változnak, legyen mód a közöttük való átmenetre. Tehát az ener-

⁵ Például a népesség növekedése, a természeti erőforrások kimerülése, a technológiai fejlődés előre meg nem jósolható volta, az ivóvízhez és a táplálékhoz való hozzájutás növekvő nehézségei, a környezet szennyezése, a természeti katasztrófák, az anyagi javak egyenlőtlen földrajzi és társadalmi elosztása miatt a társadalmi és a politikai – akár háborúkba is torkolló – feszültségek éleződése.

giapolitika rugalmasságának lehetővé kell tennie a változékony jövőhöz való alkalmazkodást, és arra – amiről a későbbiekben még szólnunk – a társadalmat is alkalmassá kell tennie.

Speciális helyet foglalnak el az energiapolitikából következő egyes programok. Ezek jellegzetes képviselői közé tartoznak azok, amelyek az energiahatékonysággal, illetve az energiával való takarékosággal foglalkoznak. Az energiaigény-prognózisok alternatíváinak becslésére célszerű figyelembe venni az összenergia-hatékonyság javulásának kívánatos ütemét, hiszen az a GDP növekedésénél nagyobb befolyást gyakorol az igényekre. Ráadásul abban összevontan leképeződik a termelési szerkezet változásának, a technológiai fejlődésnek, valamint az energiatakarékoság alakulásának a hatása.

Kormányzati szinten szükséges és célszerű szabályozni az országokon belüli *árak* alakítását, továbbá megalkotni az egyes, az energetikához kapcsolódó *jogszabályokat*. A külkereskedelmi árak a kereslet-kínálati viszonyoktól függenek (ezen belül a kínálatot például nagymértékben befolyásolja az első olajválság alatt az embargón túl megismert – az árakat nagymértékben növelő – a már említett *olajfegyver* is). A belső árakat ezen kívül nagymértékben befolyásolja az adópolitika. A jövővel kapcsolatos várható áralakulásokkal kapcsolatban azt is figyelembe kell venni, hogy nemcsak az energiainportra szoruló országoknak, hanem az energiabirtokosoknak is megvannak a saját energiapolitikáik. Ezek minden bizonnyal arra irányulnak, hogy az olajból és a gázból származó bevételeiket a nemzetközi kereskedelmi árakon keresztül minél hosszabb ideig élvezhessék. Ez pedig természetesen növelően hat a világgiazi árakra. A *jogszabályalkotásról* viszont azt kell tudni, hogy az csupán eszköze az energiapolitikák érvényesítésének, nem pedig maga az energiapolitika. Jelentősége mégis nagy, nélküle az energiakérdés ma már nem kezelhető.

A felsorolt szempontok alapján fel kell vázolni a lehetséges jövőbe vezető alternatív utakat, majd ezeket figyelembe véve célszerű elkészíteni az energetikai fejlesztések előirányzatait. Ezek után belátható, hogy az energiapolitika kialakítása bonyolult, igazi intellektuális művelet, sikere pedig nem annyira az alkotók eredetiségében, mint a mások ismeretei és gondolatai iránti fogékonyságban, azok feldolgozásában, azaz a befogadóképességben, a világban zajló eseményekre való rálátásban rejlik.

Mindezeket túl, *Lester R. Brown*, az Earth Policy Institute (Washington) intézet alapítójára hivatkozva a szerző szerint is indokolt lenne, ha egy – az Energia Világtanács vagy az ENSZ által menedzselte – nemzetközi keretek között kidolgozott (akár globális?) energiapolitika tartalmazná egy új gazdasági alapokon nyugvó, eljövendő világ előkészítését. Azt egy ma még hiányzó úgynevezett vészforgatókönyv („B-terv”) írná le, amelyben a megújuló és a hulladékenergia, valamint az újrahasznosítható anyagok stb. felhasználása dominálna. Sokak szerint ez már a futurológia témakör-

rébe vág, de a váratlan események sokasodása miatt indokolt az előretétekintés. Ennek a cikknek nem célja eme eshetőségek részleteibe bocsátkozni, csupán utalunk *R. Duncannak* és *M. Simmons*nak, a világ egyik legnagyobb energetikai befektetési társasága elnökének ez irányú kiterjedt kutatásaira. Ha az energiapolitikus nem, akkor vajon ki gondol a távolabbi jövő energiaellátását megalapozó mai teendőkre? Ezzel kapcsolatban kell felhívni a figyelmet néhány olyan kérdésre, mint az oktatás, a kutatás és a technológiák fejlesztése. Az előrelátó kormányok részt vállalnak abban a kollektív feladatnak az előkészítésében és végrehajtásában, amelyiknek a fosszilis energiákat felváltó új energiafajták ipari méretű elterjesztése és a környezeti katasztrófák megelőzése a célja.

Az oktatás, a kutatás és a technológiafejlesztés jelentősége

Az előzőekből is következik, hogy az energiapolitikák megalkotása, egyáltalán a jövő „tervezése” során az emberi tényezőt a tudósok és a tömegember szempontjából egyaránt figyelembe kell venni. A előbbiekkel kapcsolatban meg kell említeni, hogy a technológiai fejlődés előre meg nem jósolható volta miatt a legnagyobb lángelmék jövőre irányuló tudása is fogyatékos. Ezt példázza, hogy 1933-ban az atommag felfedezője, *Rutherford* is annak a nézetnek adott hangot, hogy az atomi folyamatok „nagyon szegényesek és hatástalanok az energia előállítására, és bárki, aki erőforrást keres az atomátalakításban, csak üres szavakat zeng”.⁶ A tudósok időnkénti saját tévedéseikkel maguk is tisztában vannak. Ezt legjobban *Davy* a róla elnevezett bányalámpa és sok más találmány felfedezőjének a véleménye fejezi ki: „felfedezéseim közül a legjelentősebbeket tévedéseim sugallták”. A gyors eredmények esetleges elmaradása tehát nem indokolhatja a tudomány támogatásának megkurtítását, a közvetlen hasznot nem azonnal hozó intézmények felszámolását. A tudomány útja göröngyös, és az eredményekre általában sokat kell várni. A kormányok költségvetéseit készítőknél legalább ennyit tudniuk kellene, és ahol felelős kormányzás van, ott tisztában is vannak ezzel.

⁶ Tévedésével *Rutherford* nem állt egyedül. 1937-ben *Eddington* azt állította a Harvard Egyetem háromszáz éves centenáriumának ünneplésén, hogy „a szubatomi energiának praktikus mértékben való kihasználása utópisztikus álom, és úgy látszik, valószínűen az is marad”. 1938 vége felé pedig még *Einstein* is tévedett, amikor szemléletes képet rajzolt a *The New York Times* tudományos riportérének arról a végtelen kicsi esélyről, hogy valaha feltárjuk az atom energiáját: „Nem csak gyenge céllovók vagyunk, hanem sötétben lövöldözünk madarakra egy olyan vidéken, ahol nagyon kevés madár van.” Néhány hónappal később, 1939 februárjában *Fermi* mondta ugyanannak a riporternek, hogy egy atombomba, még ha elméletileg kivihetőnek is bizonyul, legálább 25–50 évnire van. Kétségtelen, hogy ma már inkább van fogalmunk a technológiai fejlődés gyorsulásáról, de a jövőre vonatkozó bizonytalanságok sok más okból kifolyólag mégis megmaradtak. A jövő kellő ismeretének hiánya miatt illúzió volna azt hinni, hogy a tévedések teljességgel kiküszöbölhetők.

Ezek után jogos feltenni a kérdést: mit tud az átlagember? Hiszen viselkedésétől sok függ. Sajnos, sok minden egyéb mellett az energiáról sem eleget. A civilizáció nagy valószínűséggel csak akkor marad fenntartható, ha a széles tömegek, az egész emberi társadalom is képes lesz alkalmazkodni a globális kihívásokhoz. Súlyos hibát követ el az a kormányzat, amelyik ezt figyelmen kívül hagyja, és nem hozza létre, illetve nem tartja fenn mind az egyéni, mind pedig a társadalmi alkalmazkodóképesség kialakításának feltételeit, többek között az igényes közművelődés és közoktatás (továbbá az előbbieket értelmében a kutatás) kellő támogatásának kereteit. Az ebből a szempontból magára hagyott egyén – sodródva, tulajdon természetétől hajtván – óhatatlanul is társadalmi veszély forrása. Ezen pedig az oktatással és a minden szinten történő felvilágosítással lehet és kell is javítani. Ahhoz, hogy az egyes ember ne pazaroljon, azaz ne használjon fel az ésszerűség határait meghaladó mennyiségű energiánál többet, az szükséges, hogy az oktatás ne kizárólag az ismeretközlést, a nevelés pedig ne csupán a gyakorlatias magatartást, hanem az etikai normákat is szolgálja.

A tapasztalatok szerint a gazdag társadalmak számottevő hányada nem tud ellenállni a piaci növekedést mozgó erőknek, így – ha megteheti – enged a túlzott kényelemre és a pazarlásra való hajlamának. Ehhez saját alaptermészetén kívül hozzásegíti az az eluralkodott piaci szemlélet is, amelyik számára jobbra csak a *most* és a közeljövő az irányadó. Ez a felfogás azonban nem számol a nyersanyagvagyonok végességével, tehát nélkülözi a jövő generációk iránti felelős gondolkodást. Túlzás nélkül állítható, hogy a válságok elsődlegesen szellemi természetűek, a máris érzékelhető környezeti, és az egyre inkább fenyegető nyersanyagválság pedig jórészt ezek következményei. Sokban egyet lehet érteni a *Britannica Hungarica* azon megfogalmazásával, amely szerint „a piac mindent megold” túlságosan liberális felfogása elavult.⁷ De ezt vallja *Joseph E. Stiglitz* Nobel-díjas is: „Az a régi hiedelem, hogy a szabad piacok mindig növelik a hatékonyságot, egyszerűen téves.” Különösen igaz ez a társadalom számára létfontosságú energetika területén. Az emberi társadalmak életének, civilizációjának fenntarthatósága érdekében ugyanis stabil energiaellátásra van szükség, amit a piac spontaneitása nem feltétlenül képes megalapozni, és ezt a már bekövetkezett blackoutok bizonyítják is.

⁷ Laissez-faire: („hadd menjen a maga útján” – a francia laissez faire, laisser passer mondanásból alakult ki), a gazdasági liberalizmus jelszava. Ennek a gazdaságpolitikának a lényege, hogy az állam csak minimális mértékben avatkozzék be az egyének és a társadalom gazdasági ügyeibe. A kifejezést a 18. század második felében tevékenykedő francia közgazdászoktól származtatják. Az elmélet szerint az egyén azzal teszi a legtöbbet és a legjobbat annak a társadalomnak, melyhez tartozik, ha saját egyéni céljait követi. Az államnak az a dolga, hogy fenntartsa a rendet és a biztonságot, s ne avatkozzék bele az egyén kezdeményezéseibe, melyekkel saját céljai felé tör. Ez a filozófia 1870 táján érte el népszerűsége csúcspontját. Ez után az ipari növekedés és a tömegtermelési módszerek bevezetése által okozott drámai változások világossá tették, hogy a laissez-faire elmélet nem alkalmas a korszak új problémáinak orvoslására. Bár az eredeti elképzelés híveinek nagy része új elméletekhez pártolt, a filozófia fő vonalainak még mindig vannak követői.

A szemléletesség kedvéért jegyezzük meg, hogy a világ népessége – hat és félmilliárd ember – ma annyi energiát használ fel az évmilliók alatt a természetben felhalmozódott meg nem újuló energiaforrásból, amennyit – csupán fizikai erejükre támaszkodva a valaha élt összes embernél több, azaz – százmilliórdok⁸ tudnának (távrolról sem a mai ember igényeinek megfelelően átalakított formában) előállítani. A legfejlettebb technológiai társadalmak leggazdagabb egyedeinek kényelmét akár 100 „fantom rabszolga” is szolgálhatja, de egy-egy átlagember mögött is 30–40 embererőnek megfelelő természettől elragadott, nagyrészt – az egykor véges mennyiségben keletkezett – fosszilis energia áll. Azt, hogy a természet ilyen mértékű kihasználása mára lehetségessé vált és a civilizáció jelenlegi szintje kialakult, csak a tudomány és a technika, azaz az emberiség által hosszú idő alatt felhalmozott kollektív szellemi energia tette lehetővé. A kőolaj termelésének előbb-utóbb bekövetkező csökkenése miatt azonban ebben a létfontosságú kérdésben meg kell találni a kiegyensúlyozott energiaellátású jövőbe vezető utat. Nyilvánvaló, hogy ez ismét kollektív szellemi erőfeszítést követel, amihez nélkülözhetetlen az oktatás–kutatás–technológiafejlesztés láncolata. A múlttal összevetve azonban azt kell megállapítanunk, hogy ehhez ma már összehasonlíthatatlanul kevesebb idő áll rendelkezésre, hiszen a természet kiuzsorázási folyamata nagymértékben előrehaladt. Ezért fogadjuk el két Nobel-díjas észrevételét: *Szent-Györgyi Albert* írta: „Számos fejezete ellenére a mi oktatásunknak egyetlen tantárgya van: olyan emberek nevelése, akiknek a lábán nem lötyög a felnőtt cipője, és akik képesek egyenesen állni, tekintetüket a szélesebb horizonton hordozva. Ez a feladat – bármely szinten – legfontosabb közintézményünk az iskolát, a legfontosabb közéleti személlyé a tanítót teszi. A holnap olyan lesz, amilyen a ma oktatása.” *John D. Bernal* pedig a következőket írta a *Tudomány és történelem* című könyve 2. kiadásához írott előszavában: „Mostantól kezdve sokkal nagyobb erőfeszítést kell tennünk a tudományos és technológiai kutatás, valamint az ilyen irányú oktatás előbbre vitelére, s az új kor előnyeit csak egy új [...] teljesen kiművelődött népesség veheti birtokába és aknázhatja ki. A tudomány túlságosan fontos és túlságosan veszélyes, semhogy kevesekre bízhatnók.”

Csak röviden, címszavakban és a teljesség igénye nélkül villantunk fel néhány irányt, amelyben különböző előrehaladottsági fokon már folyamatban vannak az új távlatokat megnyitó energetikai *kutatások*: a hideg fúzió, a magas hőmérsékletű szupravezetés, a nanotechnológia energetikai alkalmazása. Kiemelten fontos nemzetközi energiapolitikai döntés volt a közelmúltban – az egyelőre ugyan bizonytalan kimenetelű – a fúziós energiatermelés megvalósítására irányuló, több ország együttes részvételével történő kutatás megindítása. Amennyiben az sikeres lesz, az energiagondok nagy részét – a légi közlekedés és a

⁸ *Jean-Noël Biraben* szerint a kezdetektől összesen körülbelül 80 milliárd ember élt a földön. Ebből mintegy 40 milliárd az utóbbi két évezredben, 15 milliárd pedig az utóbbi két században született.

körülbelül 300 ezer terméket előállító petrokémiai ipar kivételével – feltehetően megoldja, hiszen a villamos energia változatos felhasználása a fosszilis energia kiváltására aránylag széles körben megvalósítható. A fúziós energia ipari elterjedésére azonban a fél évszázados múltra visszatekintő kutatás után még szerencsés esetben is legalább ugyanennyi időt kell várni. Minden bizonnyal ez lehet az eddigi legnagyobb jelentőségű és egyben a leghosszabb időtartamú innovációs ciklus. Ez alatt az idő alatt az átállásra fel lehet és kell készíteni a társadalmakat, valamint ki lehet és kell építeni a szükséges infrastruktúrákat.

A kutatásokon túl, a gyakorlati megoldásokhoz közeli *technológiai fejlesztések* száma nagyobb. Ezek közül ugyancsak címszavakban – és a teljesség nélkül – említjük: a „hagyományos” fissziós nukleárisenergia-termelést, a szénhidrogén-termelések különböző új változatait, a GTL- és CTL-technológiákat,⁹ a megújuló energiaforrások hasznosításának seregét (benne kiemelten a napenergiát), a villamosenergia-tárolást, a széndioxid füstgázokból történő kivonását és „eltemetését”, a hidrogén előállítását, tárolását és szállítását, valamint általában a kapcsolódó fejlesztéseket (például a gépkocsiipar és az információs technológia elterjesztését az energetikán belül).

A távlati energiaigényeknek a – kutatási fázisban vagy még abban sem levő új eljárásokkal történő – kielégíthetősége attól függ, hogy miként sikerült a természet egyre jobb megismerésében előrehaladni, illetve mennyire sikerül szaporodó elméleti tudásunkat a gyakorlat szolgálatába állítani. Remélhetően elmondható *Madách Imrével*: „nehany anyag más-más tulajdonokkal felruházva, miket előbb, hogysen nyilatkozzanak, nem is sejtettél bennök, most vonzza, űzi, és taszítja egymást [...] Az ember ezt, ha egykor ellesi, vegykonyhájában szintén megteszi.” A költő zseniális vízióját azonban csak akkor van esélye a technológiának valóra váltani, ha megfelelő mértékű anyagi eszközök állnak a tudományos kutatásnak is a rendelkezésére. Ebben az államok felelőssége nélkülözhetetlen.

Néhány megjegyzés az európai és a magyar energiapolitikáról

A 27 tagból álló EU-ban él a világ lakosságának 6%-a, az összes energiafelhasználásból azonban 16–17%-kal részesedik, miközben ennek csak tört részét tudja saját termelésből fedezni. Tehát az *Unió* működését nagymértékben befolyásolja a világ energiapiaca. *Energiapolitikájának* három fő célkitűzése a fenntarthatóság, a versenyképesség és az ellátás biztonságának szavatolása. Különösen ez utóbbival kapcsolatban szükséges ismételt hangsúlyozni, hogy az energia nem lehet csupán üzleti kérdés, mivel az a társadalmak létszükséglete. Ezért is fontos, hogy a tagországok ne váljanak egyoldalúan kiszolgáltatottakká a

beszállítókkal szemben. E tekintetben az EU egyes országai eltérő helyzetben vannak. Számokkal alátámasztható, hogy míg a 15-ök függősége több régió irányába oszlik meg, addig az újonnan csatlakozók többsége meglehetősen egyoldalú függőségben van, és pedig Oroszországtól.

Kérdés, hogy mindegyik tagország képes lesz-e elfogadni a közös célkitűzéseket? Le tud-e számolni néhány tabuval, közöttük a nukleáris opció újbóli mérlegelésével? Ha egy tagállam a célok elérése érdekében nem tanúsít megfelelő magatartást, illetve nem ad helyes választ a globális kihívásokra, annak következményei más tagállamokat is érinthetnek. Ezért van szüksége Európának, mint közösségnek olyan energiapolitikára, amit valamennyi tagállam a magáévá tud tenni, és amirehhez tartja is magát. Az egyes országoknak azonban tudniuk kell azt is, hogy a jelenlegi alapszerződés szerint az általános alapelvek (az áruk, a tőke, a szolgáltatások és a személyek szabad mozgása) nem vonatkoznak azokra a tagállami jogszabályokra, amelyeket az energiapolitika érvényesítése miatt a közérdek vagy a közbiztonság érdekében fogad el a jogalkotó.

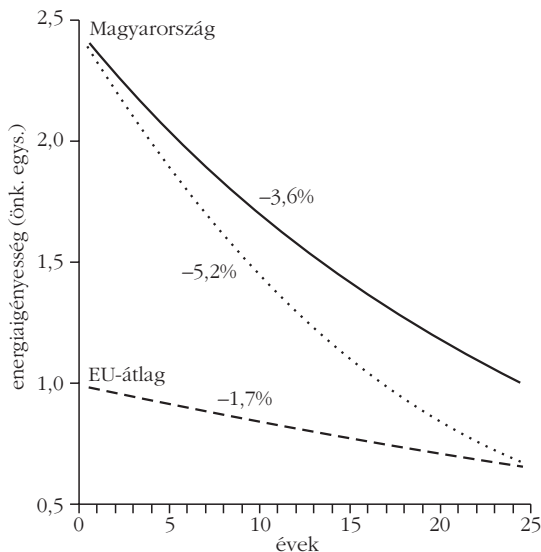
Az uniós energiapolitikának az elmúlt 10 év alatti evolúciója a weben nyomon követhető.¹⁰ Ezért csupán annyit jegyzünk meg, hogy az európai energiapolitikára jellemző a demokratikus megközelítés, aminek keretében az eddigi munkákhoz bármelyik európai polgár hozzászólhatott.

A jelen cikk a *magyar energiapolitikával* sem foglalkozik részletesen. Három dolgot azonban indokoltnak tart megemlíteni:

1) *Az 1993-ban az Országgyűlés által elfogadott energiapolitikai anyagban megfogalmazottak több tekintetben sem teljesültek.* Ezek közül ki kell emelni az energetikai vagyoni befolyásolt tulajdonváltásokat. Az eredeti energiapolitika szerint „Az új energiapolitika [...] eleme egyes részterületeken (a kereskedelmi, szolgáltatói üzletágakban) a nemzeti, más üzletágakban pedig az *állami majoritás melletti részleges privatizáció.*” Továbbá: „A helyi önkormányzatok jelentős szerepet vállalhatnak az energiaszektor irányításában és vagyonának tulajdonlásában. A helyi önkormányzatok vagyonrészese a energiaszolgáltatásban számottevő lehet: a villamosenergia-szolgáltatásban az aránya 25–35%-ot, a földgázszolgáltatásban még ennél nagyobbat is elérhet.” Valamint: „A közszolgáltatási és kereskedelmi tevékenységet végző társaságok (helyi áram- és gázszolgáltatók, tüzelő- és üzemanyag-forgalmazók) többségi vagy kizárólagos önkormányzati tulajdonba is kerülhetnek.” Az 1994. évi kormányváltás után ezzel szemben az Országgyűlés *Az állam tulajdonában lévő vállalkozói vagyon értékesítéséről* című 1995. évi törvénnyel az állami tulajdon piaci alapokon működő magántulajdonba juttatása érdekében lehetővé tette a gáz- és áramszolgáltatók többségi tulajdonának, valamint a MOL-nak, a villamos erőműveknek magánkézbe juttatását az energiapolitikában meghatározott korlátozások nélkül.

⁹ Gázból és szénből történő üzemanyag-előállítás; GTL: Gas to Liquid, CTL: Coal to Liquid

¹⁰ Lásd az irodalomjegyzéket.



1. ábra. A magyar energiaigényesség-változás kívánatos üteme az elkövetkező 25 évben. Az EU energiaigényességének prognosztizált változása $-1,7\%$ (szaggatott vonal). Az EU energiaigényessége jelenlegi szintjének eléréséhez szükséges (és az utóbbi évtizedben tartott) $3,6\%$ -os csökkenést mutatja a folytonos vonal. 25 év alatt történő felzárkózáshoz évi $5,2\%$ energiaigényesség-csökkenés lenne szükséges (pontosított vonal).

2) Az energiapolitika csak a gazdaságpolitikával (és amint az az előzőekből kiviláglik a külpolitikával is) összhangban fogalmazható meg. A magyar gazdaság energiaigényessége az EU átlagának a két és félszerese (1. ábra). Ezért versenyképességünk egyik alapvető feltétele a GDP-termelés energiahatékonyságának gyors javítása. Magyarországnak ahhoz, hogy a hatékonyság szempontjából a jelenlegi uniós szintet 2030-ra elérje, az energiaigényesség javításában legalább ugyanazt az (évi $3,6\%$ -os) ütemet kellene fenntartania, amit az utóbbi évtizedben már teljesített, amikor jelentős strukturális változások zajlottak le. Azonban az Unió ugyancsak javuló ütemével elért szinthez (szaggatott vonal) való felzárkózáshoz már évi $5,2\%$ -ra volna szükség (pontosított vonal). Eme kívánatos ütem(ek) teljesülése csak úgy lehetséges, ha a gazdaságpolitikában az energiapolitika a jelenlegi gyakorlattal szemben aktív szerepet kap. Ennek érdekében fel kell hívnia a fi-

gyelmet arra, hogy többé ne engedjünk túkebevonást érvényesülni az energiafalu beruházásokba. Ezzel szemben szorgalmazni kell a gépipari, az informatikai, a (gyógy)turisztikai, a szolgáltatási, a gyógyszeripari, a bio- és nanotechnológiai stb. irányokba történő túkevonást. Az energia- és anyagtakarékosságot, az energia racionális felhasználását a meglévő, illetve a megmaradó energiaigényes (petrolkémiai ipar) kultúrák értéknövelésének maximálását, szellemi erőforrásaink ez irányú latba vetését, az anyagi ösztönzés minden eszközét igénybe kell venni.

3) Végül és nem utolsó sorban fogadjuk el itt is Joseph. E. Stiglitz gondolatát: „Ha egy országban lelassult a gazdasági növekedés, s nő a deficit, akkor sem szabad visszafogni a kutatásra és az infrastruktúra fejlesztésére költött pénzeket.”



Az érdeklődő olvasót az alábbi, bibliográfiászerű irodalomjegyzékkel kívánjuk a téma részleteit érintő további olvasásban segíteni:

- Britannica Hungarica Encyclopedia Britannica. Inc. 2005.
D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers, W.W. Behrens: *The Limits to Growth* (A növekedés korlátai). Universe Books, New York, 1972.
Fodor J.: *A nyersanyagok szerepe az emberiség jövőjében (A kívánt jövőtől a lehetséges jövőig)*. Gondolat, Budapest, 1976.
J.-N. Biraben: L'évolution du nombre des hommes. *Population et Sociétés* n°394, octobre 2003, 1–4.
Jáki Sz.: *The Relevance of Physics*. University Press, Chicago, 1966.
J.D. Bernal: *Science in History*. Watts, London, 1957.
L.R. Brown, az Earth Policy Institute (Washington) intézet alapítója: *Plan b. 2. Rescuing a Planet under Stress and a Civilization in Trouble*.
M. Simmons: *Autopsy of our Energy Crisis*. The Pacific Union Club. San Francisco, California. May 29, 2007.
R. Duncan: *The Olduvai Theory of Industrial Civilization*. <http://www.hubbertpeak.com/duncan/Olduvai.htm>
Szergényi I.: Gondolatok az Európai energiapolitikáról 1–3. *Fizikai Szemle* 49/9 (1999) 325., 50/5 (2000) 145., 51/11 (2001) 347.
Szergényi I.: Az energiafelhasználás-változás a modernizáció függvényében. *Energiagazdálkodás* 1992. febr.
Szergényi I.: A kőolaj és a civilizáció. *Magyar Kémikusok Lapja* 2007. 4.
Chatham House Conference on *The New Politics of Energy, Europe in a Global Context*. 14–15/05/2007
W.I. Beveridge: *The Art of Scientific Investigation*. Norton, New York, 1957.
J.E. Stiglitz: *A globalizáció és visszasságai*. Napvilág Kiadó 2003.
Az európai energiapolitika anyagai a következő webhelyen találhatóak: http://europa.eu/pol/ener/index_hu.htm

TUDÓSOK FASORA

Láng Róbert
Lóczy Lajos Középiskola, Balatonfüred

Balatonfüred. A város nevét hallva sok minden eszünkbe juthat. A magyar tenger, az egymást érő szállodasorok, a hajó kikötő vitorlásai. A parti sétányról gyönyörű kilátás nyílik a tóra, a panoráma a tihanyi apátság épületével feledhetetlen. De van itt valami más is, amihez hasonló lehet, hogy sehol a világon nem található!

Tegyünk egy rövid sétát a sétány melletti parkban, és utazzunk vissza az időben. 1926-ot írunk. 1926. november 1-jén érkezett a balatonfüredi szanatóriumba Rabindranath Tagore, Nobel-díjas hindu költő, hogy

szívbetegségét itt kezeljék. Felépülése után, hálája jeléül, hársfát ültetett a parkban, amit a későbbiek során több indiai politikus – köztük köztársasági elnökök és miniszterek – követett. Indira Gandhi például 1972-ben, Radzsiv Gandhi pedig 1988-ban ültetett itt fát. Ezeket újabb és újabb fák követték: költők (köztük a Nobel-díjas Salvatore Quasimodo), úrhajósok, politikusok emlékfái. 1956-ban egy indiai küldöttség felavatta Tagore bronzszobrát, és 1957-től a korábban Deák Ferencről elnevezett sétány az ő nevét viseli.