

# Energia

Fordította: Kiss Károly Miklós

Hamarosan kifogyunk az olajból. Már megint. Ahogy az *E magazine* 2000 júliusában írta:

„Íme a forgatókönyv:

Állandósuló sokk a benzinkutaknál, reggelente megduplázódó árakkal. Hosszú sorok a néhány nyitva tartó kútnál. Durva tábla közli megakasztva a bejövő forgalmat a zárva lévő kutaknál: »Benzin nincs«. Óriási árleszállítási akciót hirdetnek az »országúti cirkálókra«. Hosszú várakozólista az »ökoautókra«. 1973? 1979? És mi lesz 2007-ben?»

Hallottuk ezt már jó néhányszor korábban, bár talán az utóbbi időben ritkábban. Úgy tűnik azonban, hogy az érvelés nem támaszkodik tényekre. Jó okunk van azt feltételezni, hogy nem állunk semmilyen drasztikus áremelkedés előtt, és hogy valójában képesek leszünk megoldani jövőbeni energiaszükségleteinket.

## CIVILIZÁCIÓNK, AMELY AZ ENERGIÁRA ÉPÜL

Minden egyes tevékenységünk energiát kíván. Saját testünk egy 100 wattos villanykörteinek megfelelő energiát termel, bár az ember már a történelem korai időszakában megpróbált ellenőrzést szerezni több energia felett, elsődlegesen állatok és rabszolgák használatával. Technikai merészségünknek köszönhetően hamarosan megtanultuk kihasználni a

természet energiáit is: a vitorlával éppúgy, mint a szél- és vízimalmokkal. Mindazonáltal csak Watt 1769-es találmánya, a gőzgép tette lehetővé az ember számára, hogy az igényeknek megfelelő, nagy mennyiségű energiát termeljen. A gőzgép lefektette az ipari forradalom alapjait, ami Angliában a következő száz évben alapvetően átalakította a termelést: a szinte kizárólag emberi munkaerőre alapozott termelést felváltotta az elsődlegesen fosszilis energia-hordozókból nyert energiainput.

Ezzel egy időben azonban az is nyilvánvalóvá vált, hogy az energiaellátás nem támaszkodhat hosszú távon a fára. Angliában az erdők rohamosan fogytak. Angliában és az Egyesült Államokban egyre növekvő mértékben áttértek a szén használatára (1. ábra), egyrészt azért, mert a fánál jobb energiaforrásnak bizonyult, másrészt pedig mert jóval nagyobb mennyiségben volt elérhető. Ez a folyamat megismétlődött minden iparosodott országban és megerősítette függőségünket az energiától és annak nem megújuló forrásaitól. Ebben a században a szén felváltotta az olaj, mivel azt könnyebb szállítani, tárolni és felhasználni.

Szén, olaj és földgáz: mind több millió éves növények bomlástermékei, ezért nevezzük ezeket fosszilis energiaforrásoknak. Szénkészleteink nagy része szárazföldi növények maradványa, amelyek 300-400 millió évvel ezelőtt éltek és óriási mocsarakban bomlottak el, először tőzeggé, majd, mikor a megfelelő nyomás és hőmérséklet kisajtolta a maradék vizet, szénné. Az olaj és a földgáz elsősorban planktonokból keletkezett, amelyek 2–140 millió évvel ezelőtt a

tengerfenékre ülepedtek. Az olaj és gáz aránya és minősége a nyomástól és a hőmérséklettől függ – talán meglepő módon a legtöbb gáz ott termelődött, ahol a nyomás a legnagyobb volt. A nyersolaj sokféle kémiai elemből áll, és finomítani kell, mielőtt olyan termékeket nyerhetünk belőle, mint a benzin, dízel-olaj, gázolaj vagy az aszfalt alkotóanyagai.

Ma a civilizációnk igen erősen függ a megfelelő energiakészletektől. Az Egyesült Államokban a tizenkilencedik század végén az ipari termelés 94 százalékát az emberi munkaerő szolgáltatta. Ma mindössze 8 százalékát képezi.

Ha egy pillanatra megkíséreljük mai energiafelhasználásunkat „szolgákban” (azonos munkaerőt képviselő emberek egységében) kifejezni, akkor minden egyes nyugat-európai személy 150 szolgálval rendelkezne, az Egyesült Államokban körülbelül 300-zal, és még Indiában is minden egyes személyt 15 szolgálva segítene mindenben. Igazán kellemetlen elképzelni, hogy milyen lenne az életünk eme segítők nélkül.

## RENDELKE- ZÜNK-E ELÉG ENERGIÁVAL A FOLYTA- TÁSHOZ?

A fő kérdés az, hogy vajon ez a függőséggel jellemezhető állapot mennyiben tartható fenn. A meglepő válasz pedig, hogy előrelátható időtávon belül nem fogunk kifogyni a fosszilis energiaforrásokból.

És mi lesz hosszú távon? Hiszen jelenlegi energiaellátásunk a sok millió éven keresztül kialakuló szénen és olajon alapul. Sokan hangsúlyozzák ezt a nyilvánvaló problémát: civilizációnk fenntartása érdekében évmilliók felhalmozott erőforrásait fogyasztjuk el mindössze néhány száz év alatt. Talán megfontol-

tabb módon kellene felhasználnunk eme erőforrásokat, úgy, hogy fogyasztásunk ne korlátozza a jövő generációk lehetőségét, hogy ugyanúgy hasznosíthassák azokat. Bár ez az érvelés ésszerűen hangzik, valójában lehetetlen a korlátozott, nem megújuló energiaforrásokat úgy hasznosítanunk, hogy ezáltal biztosított legyen minden jövő generáció számára elérhetőségük. Még ha a világ olajfogyasztása csak egy hordónyi lenne is évente, minden későbbi generáció számára akkor sem maradhatna elegendő olaj.

maradhatna elegendő olaj.

Akárhogy is, ez a fajta kérdésfeltevés túlzottan leegyszerűsíti a problémát. A Nobel-díjas közgazdász, Robert Solow szerint azon kérdés, hogy mennyire engedhetjük meg magunknak ennek vagy annak az erőforrásnak, ásványkészletnek a felhasználását, „károsan szűk módja a kérdés felvetésének”. A küldetésünk nem az, hogy őrizzünk meg minden különleges készletet minden jövő generáció számára – hisz ez valóban lehetetlen –, hanem hogy olyan megfelelő tudást és tőkét hagyjunk a későbbi generációk számára, aminek segítségével mindent egybevéve legalább ugyanazt az életminőséget tudják megteremteni maguknak, mint a mienk.

Ez valójában roppant fontos felismerés. Nézzük meg mindezt az olaj összefüggésében! Előbb-utóbb nem lesz már kifizetődő olajat használni elsődleges energiafor-

rásként. Az olaj ára végül emelkedni fog, miközben más energiaforrások ára csökken. De a társadalmak szükséglete nem az olajra irányul, hanem az energiára, amit az olaj szolgáltat. Következésképp nem az a kérdés, hogy olyan társadalmat hagyunk-e magunk után a következő nemzedékek számára, amely rendelkezik több-kevesebb olajjal, hanem az, hogy az utókorra hagyományozott társadalomban vajon olcsón vagy drágán tudják-e megtermelni az energiát.

Ennek a könyvnek az ötlete Los Angelesben, egy könyvesboltban született meg 1997 februárjában. Állva lapozgattam a *Wired Magazine*-t és beleolvastam egy interjúba, amely az amerikai közgazdással, Julian Simonnal (University of Maryland) készült. Azt állította, hogy a környezetről szerzett hagyományos tudásunk főleg preconcepciókra épül és kevésbé statisztikákra; hogy a természeti környezetre vonatkozó katasztrófavizióink hamisak. Azt hangsúlyozta, hogy állítása igazolására kizárólag olyan hivatalos statisztikai adatokra hivatkozik, amelyek bárki számára hozzáférhetők és felhasználhatók.

Provokálva lettem. Régi balos Greenpeace-tag vagyok, aki régóta foglalkozik környezeti problémákkal. Ugyanakkor statisztikát tanítok, ennél fogva Simon forrásainak az ellenőrzése nem okozhatott nehézséget számomra. Ráadásul a diákjaimnak mindig hangsúlyozom, hogy a statisztika az egyik legjobb tudományos módszer annak kiderítésére, hogy vajon mélyen tisztelt társadalmi hiedelmeink kiállják-e a próbát, vagy mítoszoknak bizonyulnak. Mégsem kérdeztem rá soha korábban a pusztuló természetről alkotott saját hiedelmeimre – és most ott volt Simon, aki azt mondta nekem, hogy tegyem saját meggyőződéseimet a statisztika mikroszkópja alá.

1997 őszén kialakítottam egy csoportot a legélesebb eszű tíz diákból, hogy megpróbáljunk alaposan Simon körmére nézni. Őszintén azt vártuk, hogy Simon mondandójának javáról megmutatjuk, hogy csak egyszerű jobboldali propaganda. És valóban, nem volt minden állítása helyes, de – várakozásainkkal ellentétben – kiderült, hogy mondandójának meglepően nagy része kiállta a próbát és ellentmondott mindannak, amit mi tudni véltünk. A légszennyezés a fejlett világban csökken és nem nő; a fejlődő országokban nem nő az éhezés, inkább csökken; és így tovább.

Megkérdeztem magamtól, hogy miért voltam teljes mértékben meggyőződve arról, hogy a természeti környezet romokban hever és egyre pusztul. És ha én tévesen vélekedtem a környezet állapotáról, valószínűleg nem vagyok ezzel egyedül. Ezért felvettem a kapcsolatot az egyik vezető dán újsággal, a *Guardian*-ra emlékeztető *Politikennel*, és felajánlottam nekik, hogy írok néhány újságcikket a különböző környezeti problémákkal kapcsolatos felfogásunkról. Négy cikk kerekedett belőle, kiváltva

Fogalmazzuk ezt meg még egyszerűbben! Ha a mi társadalmunk – miközben felhasználjuk az olaj- és szénkészleteket – egyidejűleg bámulatos mennyiségű technikai eszközt, tudást és tőkét halmoz fel, ami lehetővé teszi, hogy más energiaforrásokat olcsóbban hasznosíthassunk, akkor ez *jobb* társadalom annál, mint ha hagynánk a földben fosszilis energiahordozókat, de közben a társadalom fejlődését elhanyagolnánk.

Az, hogy hosszú távon kifognak-e az olajkészletek, fölöttébb sajátos kérdés. Természetesen hosszú távon kétségtelenül támaszkodni fogunk más erőforrásokra. Amiért e kérdés mégis megborzongat minket, az az, hogy az energiaválság és a gazdasági hanyatlás képeit bővíli elénk. Látni fogjuk, hogy rendelkezünk hosszú távra elegendő készletekkel, és hogy jó okunk van úgy vélni, hogy amikor a változás végül végbemegy, akkor azért fog megtörténni, mert nagyobb anyagi jóléteket eredményez számunkra.

Ahogy Sheik Yamani, Szaúd-Arábia korábbi olajminisztere és az OPEC egyik alapítója hangsúlyozta: „a kőkorszak vége nem azért jött el, mert kifogytak a kőből, hasonlóképp az olajkorszak is lezárul egyszer, de nem az olaj hiánya miatt”. Felhagytunk a kő használatával, mert a bronz és a vas jobb anyagnak bizonyult, és hasonlóképp felhagytunk az olaj használatával, amikor más energiatechnológiák nagyobb előnyt nyújtanak.

## AZ OLAJVÁLSÁG

**M**i történt valójában az olajválság idején? Annyit mondogatták, hogy az olajkészletek egyre fognak, és *most* végül elfogytak. De nem ez történt. Az olaj-

válság azért tört ki, mert az 1970-es években és a nyolcvanas évek elején az OPEC országok vissza tudták fogni a termelésüket és ezzel felszűrték az árakat. De ez nem a tényleges szűkösség tünete volt. Elegendő olaj volt akkor, és van ma is. Mégis, amióta függünk az olajtól, egyfolytában azon aggódunk, hogy kimerülnek a készleteink. Sokak számára az 1973-as olajválság a készletek szűkösségének ékes bizonyítéka volt.

Egy évvel előtte megjelent egy roppant népszerű-

vé és befolyásosabbá váló könyv – *A növekedés határai* (Meadows, D. H.–Meadows, D. L.–Randers, J.–Behrens, W. W.: *Limits to Growth*, 1992). A rendszer-elemzés és számítógépes szimuláció új fogalomrendszerét használva a könyv gyújtópontja lett a túlfogyasztás és egyéb olyan folyamatok elemzésének, amelyek a hetvenes évek katasztrófájához vezettek. A könyv a végtelennek tűnő számítógépes adatkeze-cek elemzéséből többféle forgatókönyvet mutat be, amelyek mind katasztrófa-hoz és összeomláshoz vezetnek. A könyv két egyszerű és alapvető érvre támaszkodik, amelyek a mai napig gyakran kiindulópontjai az erőforrásokkal és egyéb készletekkel kapcsolatos elemzéseknek. Mindkét érv Malthusra és a mezőgazdasági termelés kérdéskörére nyúlik vissza, de megfogalmazhatók általánosabban is. Az első érv azt feltételezi, hogy a társadalmi expan-

zió során számos folyamat növekvő tendenciát mutat; a második érv pedig felteszi, hogy ennek a növekedésnek vannak korlátai.

Ha egyetlen baktériumot elhelyezünk egy tápoldattal teli csészében, gyorsan megdöbbszöröződik. Tegyük fel, hogy óránként megduplázódik. Egy óra múlva a csésze 2 baktériumot tartalmaz, két óra múlva 4 lesz, aztán 8, 16, 32 stb. Az exponenciális növekedés tipikus példája. Minden időintervallumban le-

az egyik leghevesebb dániai vitát, amely tovagyűrűzött minden újságra, jóval több, mint 400 cikket, kommentárt és kritikát eredményezve. Később megpróbáltam a vitát egy könyvben összefoglalni, jóval szélesebb területet lefedve, és kísérletet tettem az összes fontosabb aggodalmunk kivizsgálására.

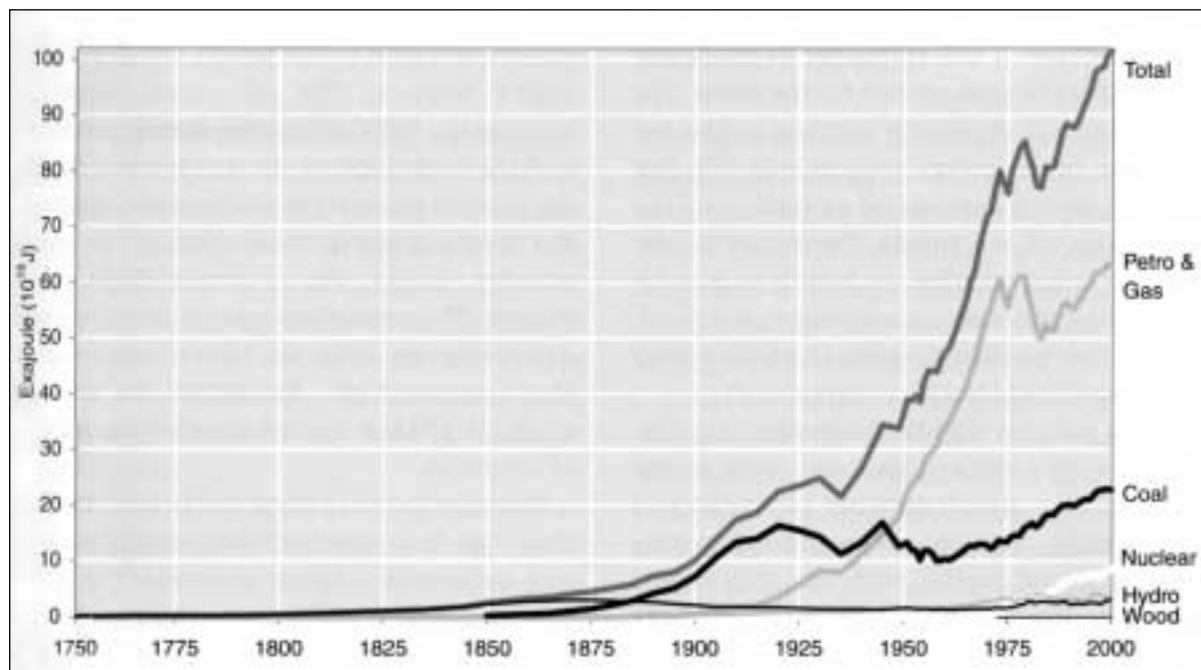
Mindamellett ez a vita még nem zárult le. Először is meglepett, hogy a környezetvédő csoportok részéről kizárólag a teljes elutasítás zsigeri reakciójával találkoztam. Természetesen a kezdetekben nekem is ez volt az első válaszom, de azt gondoltam volna, hogy a vita előrehaladtával a visszautasítás helyett fontolóra veszik a bemutatott adatok masszív tömegét, és ez a környezettel kapcsolatos szemléletmódunk őszinte ártértékeléséhez vezet. Megdöbbentő módon azonban sok olyan emberrel találkoztam, még a közeli barátaim közt is, akik csak a kritikákat olvasták el és levonták a következtetést, hogy bizonyára tévedek. Így aztán kényelmesen hihetünk továbbra is a közelgő itéletnapban. Mindez azt sugallja, hogy e világvége-vízió igen mélyen gyökerezik a gondolkodásunkban.

(...)

De a körültekintően alkalmazott statisztikák a legjobb forrásai a világunkról szóló információknak. Miért? Mert barátainkkal és ismerőseinkkel a világnak csak egy igen kis részletén osztozunk és a médiában is ritkán láthatunk kiegyensúlyozott képet a világról. Több oknak köszönhetően barátaink és ismerőseink sokkal jobban hasonlítanak hozzánk, mint az átlagnépesség. Ezért egyedül a barátainkkal megosztott benyomásainkra támaszkodva túlzottan egyoldalú lesz a nézőpontunk. Hasonlóképp a televízióban gyakran hallunk különféle technikákkal eltorzított és eltúlzott történeteket. (...)

E könyv alap gondolata az, hogy nem kéne kizárólag a környezetvédő szervezetekre, üzleti lobbistákra vagy a médiára hagyunk az igazságnak és a súlypontoknak a megjelenítését. Inkább a környezeti viták gondos demokratikus ellenőrzésére kellene törekednünk a világ valós állapotáról szerzett ismeretek birtokában – a világunk lényeges területeivel kapcsolatos legfontosabb tényeket és összefüggéseket feltárva. Reményeim szerint ez a könyv hozzásegít az effajta megértéshez.

(részlet a könyv bevezetőjéből)



1. ábra: Az Egyesült Államok teljes energiafogyasztása, és azon belül a fából (wood), szénből (coal), olajból és gázból (petro and gas) nyert energia, valamint a vízenergia (hydro) és atomenergia (nuclear) mértéke exajoule-ban ( $10^{18}$  joule, ami körülbelül 167 millió hordó olaj vagy 37 millió tonna szén energiataralma).

zajlik egy megduplázódás. Ez az exponenciális növekedés alkotja az első feltevést. Sok emberi jelenség rendelkezik ezzel a tulajdonsággal. Rajzoljuk meg a világ népességének grafikonját az idő függvényében, és látni fogjuk, hogy exponenciális alakot vesz fel. A bankban 5 százalékos kamatlábbal lekötött pénzmenyiség exponenciálisan növekszik, tizennégy évente megduplázódik. Tulajdonképpen *minden*, ami stabil növekedési rátával rendelkezik, exponenciális növekedést mutat: a gazdaság, a GDP, a felhalmozott tőke, a javak kereslete stb.

A korlátok alkotják a második feltevést. Földünk korlátozott mennyiségben tartalmaz nyersanyagokat és energiahordozókat, ami igazán nyilvánvaló következménye annak, hogy a Föld véges gömb. Ezért olyan megigéző ez a gondolat. Egyszerűen minden korlátos, amit a Föld tartalmazhat. Ha ezekből a készletekből valamennyit elhasználunk, nyilvánvalóan kevesebb marad belőlük jövőre, és előbb-utóbb kifognak. A fogyasztásnak valóban vannak korlátai.

Az exponenciális növekedés és a korlátos készletek feltételezésével könnyen eljuthatunk a világvége-jóslathoz. Az exponenciális növekedés azt jelenti, hogy a fogyasztás egyre gyorsuló ütemben csak nő és nő, miközben a korlátozott készletek igen erős felső határt szabnak a kínálat növekedésének. A *Növekedés korlátai* bemutatja nekünk, hogy az olajkészletek, számos egyéb készlettel együtt, 1992-re el fog-

nak fogyni. De mint tudjuk, nem ez történt. Ehrlich azt állította 1987-ben, hogy az olajválság meg fog ismétlődni az 1990-es években. De ez sem történt meg.

Azt gondolhatnánk, hogy ez a történet bölcsebbé tett bennünket. Mégis 1992-ben megjelent a *Növekedés határai* átdolgozott kiadása, a *Határokon túl* (Meadows, D. H.–Meadows, D. L.–Randers, J: *Beyond the Limits*, 1992). Íme, újra azt mondják nekünk, hogy készleteink hamarosan ki fognak merülni. Meglehet, az első kiadás tartalmazott néhány tévedést a készletek kimerülésének pontos évét előrejelző jóslat tekintetében, de *most* már hamarosan látni fogjuk e problémák megjelenését. A *Határokon túl* újra megjósolja nekünk, hogy elfognak az olaj- (2031-re) és a gázkészletek (2050-re). Némileg talán késleltethetjük a bajt, de a gázfogyasztás 3,5 százalékkal nő évente, vagyis a fogyasztás 20 évente megduplázódik. Így minden huszadik évben találunk kell annyi új gázkészletet, amennyi az egész addigi kumulált fogyasztásunk. „Ez az exponenciális növekedés természete” – mondja e könyv.

## MENNYI OLAJ MARADT?

A történelem folyamán a petróleumot általában lenézték mint ragacsos, undorító szagú anyagot. Ismeretes ugyan néhány korai felhasználása, köztük a le-

gendás Babel Tornya, ahol a 90 méter magas épület tégláihoz nyersolajból készített bitument használtak kötőanyagként. De kátrányt használtak például impregnálásra a Noé bárkájához hasonló hajókhoz is.

A tizenkilencedik század közepéig a kenő- és világítóanyagok iránti szükségleteket növényi és állati eredetű olajokkal elégítették ki, főleg bálnaolajjal. De a különféle desztillálási folyamatok kifejlesztése következtében a kőolaj egyszerre az érdeklődés középpontjába került. A következő 50 évben az olaj kereskedelmi kitermelése gyorsan növekedett és az első nagy olajleletek – a huszadik század első felében történt közel-keleti felfedezések – után a II. világháborút robbanásszerű termelésnövekedés követte.

Manapság a világkereskedelemben az olaj a legfontosabb és legnagyobb értékben forgó árucikk, amit az is tükröz, hogy az olaj adja az egész világ GDP-jének 1,6%-át. Olaj sokféle található a világban, de a legnagyobb készletek a Közel-Keleten vannak, becslések szerint a világ olajtartalékának 50–65 százaléka. Következésképp e régióknak a békéje alapvető fontosságú a jövőbeni energiaszükségletek biztosítása szempontjából.

A három legfontosabb fosszilis energiahordozó közül az olaj a legsokoldalúbb. Az olajnak nagy az energiatartalma, viszonylag szilárd és könnyű szállítani. Ezzel szemben a szén nehezebb, terjedelmesebb és jobban szennyez. A gáz ugyan tisztább, de még terjedelmesebb és a szállításához csővezetékekre van szükség. Mindez tükröződik a relatív árakban is, amint azt a 2. ábra mutatja: az olaj esetében a legdrágább egy energiaegység, míg a szén esetében a legolcsóbb. Az, hogy a gáz jobban drágult, mint a szén, annak köszönhető, hogy egyre több országban építettek ki csővezetékeket e tisztább energiahordozó hasznosítására.

Hosszú ideje halljuk már, hogy hamarosan kifogyunk az olajból. 1914-ben az amerikai Bányászati Hivatal úgy becsülte, hogy már csak tízévnnyi fogyasztást fedező olaj maradt. 1939-ben a Belügyminisztérium azt jósolta, hogy az olajkészletek már csak 13 évig tartanak ki, majd megint, 1951-ben újra azt állították, hogy 13 év múlva elfogy az olaj. Ahogy Frank Notestein princetoni professzor mondta utolsó éveiben: „Az olaj kislútkorom óta kifogyóban van.”

De hogyan mérjük a szűköséget? Ha kifogyánk is az olajból, az nem azt jelentené, hogy nincs olaj, hanem azt, hogy túl drága a kitermelése. Az olajkészletek csökkenését az árának emelkedése kell, hogy tükrözze. Ha azt akarjuk megvizsgálni, hogy az olaj valóban egyre fogy-e, akkor először is azt kellene

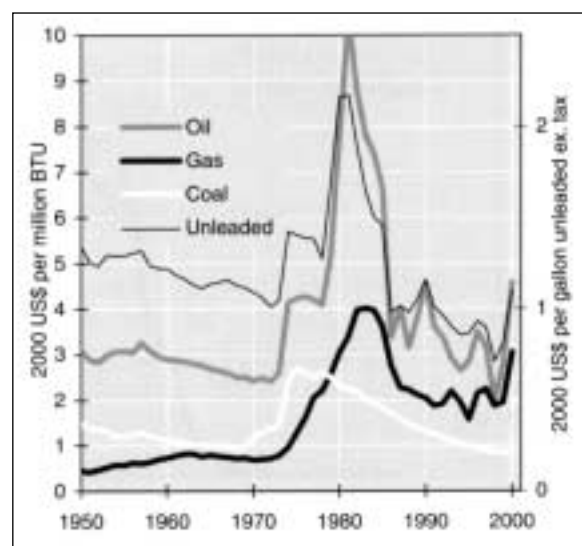
megnéznünk, hogy vajon egyre drágábbá vált-e. A 3. ábra mutatja, hogy az olaj ára hosszú távon nem mutat emelkedő tendenciát.

Az olajárak emelkedését 1973-tól a nyolcvanas évek közepéig egy mesterséges szűköség okozta, amit az OPEC teremtett a termelés következetes visszafogásával. Hasonlóképp a 2000-es áremelkedés is annak köszönhető, hogy az OPEC szilárdan tartott azon ígérete mellett, hogy a kilencvenes évek végén csökkenti a termelést. Tehát várható, hogy 2020-ig az olajárak vissza fognak csúszni 27 dollárról 20 dollárra. Ez a becslés épp a közepén helyezkedik el a nyolc másik nemzetközi előrejelzés által jósolt 17–30 dolláros tartománynak.

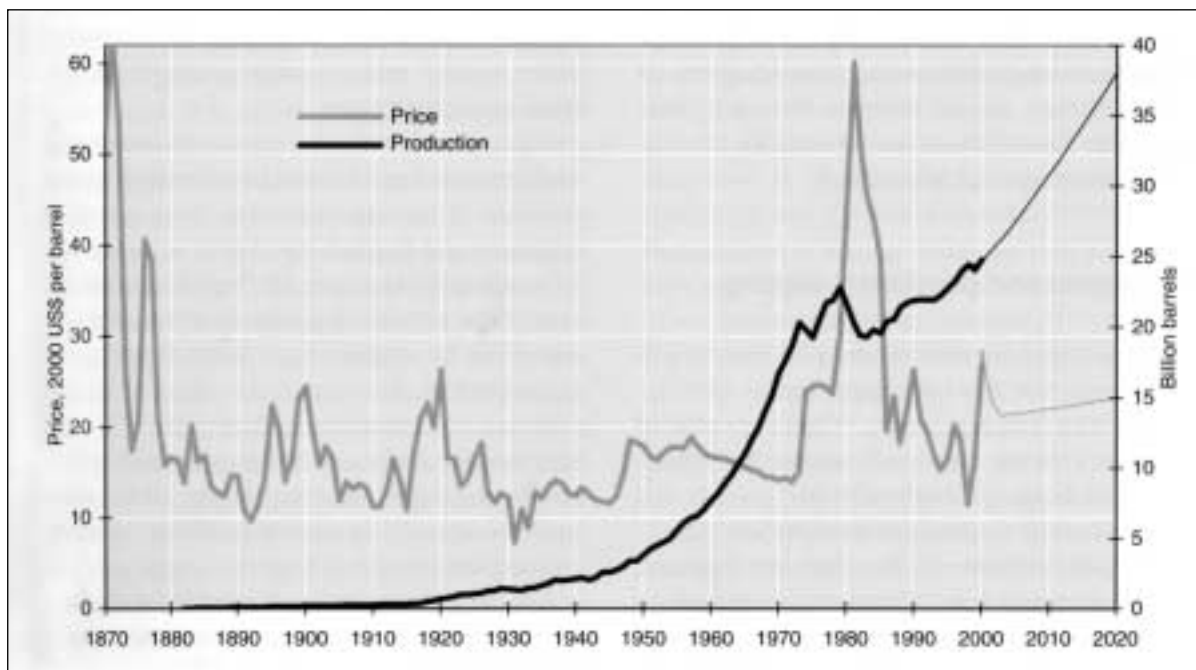
Azért nem várható, hogy a hosszú távú trend jelentősen eltérne ettől az ártól, mert a magas árak egyik oldalról visszafogják a fogyasztást, másik oldalról pedig ösztönzik az olaj egyéb forrásainak és a nem olaj alapú energiahordozóknak a kutatását. Hasonlóképp, a tartósan alacsony árak éppen ezzel ellentétes hatást gyakorolnak.

Valójában, ha megnézzük a kutaknál az olajnak a benzinadót is tartalmazó árát (a fogyasztói árát), láthatjuk, hogy az az olajválság előtti legalacsonyabb ár környékén van (2. ábra). Ez annak köszönhető, hogy a benzin árának jelentős része a finomításból és a szállításból adódik, amely területeken óriási hatékonyságnövekedést lehetett megfigyelni.

Ugyanakkor a 4. ábrán azt is láthatjuk, hogy jelenleg nagyobb olajkészlettel rendelkezünk, mint vala-



2. ábra: Az olajból (oil), gázból (gas), szénből (coal) nyert egy energiaegység ára, valamint egy gallon benzin ára a benzinkutaknál (az átlagos ólmozatlan benzin ára adók nélkül) az Egyesült Államokban (a 2000-es év dollárjában számítva). (Egy millió BTU [energiaegység] körülbelül 30 liter [8 gallon] olajnak fele meg.)



3. ábra: Az olaj ára (price) 1871 és 2020 között (a 2000-es év dollárjában számítva), valamint a világ olajtermelése (production) 1882-től 2020-ig milliárd hordóban (billion barells). (A 2001–2020-as időszak adatai – a US Energy Information Agency előrejelzése)

ha. Ez igazán meglepő. A józan ész azt sugallná, hogy ha 1955-ben 35 év fogyasztását fedező olajkészlettel rendelkezünk, akkor a következő évben már csak 34 évnnyi olaj marad. Sőt, valójában inkább 33 évnnyi készletnek kellett volna maradnia, mivel 1956-ban több olajat használtunk fel, mint 1955-ben. De a 4. ábra mutatja, hogy 1956-ban – a józan ész sugallatával ellentétben – nagyobb éves fogyasztás mellett is több évnnyi olajkészlettel rendelkezünk. A későbbi évek készleteinek alakulását megnézve sem tűnik úgy, hogy az olaj fogyóban lenne.

A 3. ábra jól mutatja az olajfogyasztás kitartó növekedését (az 1970-es év kivételével), aminek alapján a vészjóslók azt kiáltják: a fogyasztás az összeomlás felé vezet. De tekintsünk az 5. ábrára, ahol a kereslet az ismert, feltárt készletekkel egy ábrában található. Itt világosan láthatjuk, hogy a készletek növekedése jelentősen felülmúlja a kereslet növekedését.

## OPTIMISTÁK ÉS PESSZIMISTÁK VITÁJA

**M**iért hisszük azt folyamatosan, hogy az olajkészletek kimerülnek, miközben nem ez történik?

1865-ben Stanley Jevons, a legmegbecsültebb európai tudósok egyike, írt egy könyvet Anglia szénfel-

használásáról. Elemzésében rámutat, hogy az ipari forradalmat a szén iránti szükséglet könyörtelen növekedése jellemezte, ami az angliai szénkészletek elkerülhetetlen kimerüléséhez fog vezetni és megakasztja az ipar működését: „Látni fogjuk, hogy nincs ésszerű remény az ipar fő tényezője iránti jövőbeni szükséglet béklyójától való megszabadulásra.” Az érvei nem különböznek a *Növekedés korlátaiban* kifejtettektől. Azonban azt nem ismerte fel, hogy amint a szén ára növekedni kezd, ez egyben növeli az ösztönzést arra, hogy keressék a szén hatékonyabb felhasználási módjait, hogy új szénlelőhelyek után kutassanak, hogy olcsóbb szállítási módokat találjanak ki, és hogy olyan más energiaforrásokat keressenek, mint például az olaj. Jevons válsága soha nem következett be.

Az emberi leleményességnek köszönhetően az erőforrásokat és ásványkincseket hatékonyabban hasznosítjuk, és egyre többet fedezünk fel belőlük. Igaz, a Föld gömbölyű és korlátos, de ez nem szükségszerűen jelent releváns korlátot. A problémát inkább úgy fogalmazhatjuk meg, hogy mekkorák azon készletek, amelyek ténylegesen hozzáférhetőek a kitermelés számára. Ezek a készletek korlátosnak tűnhetnek, de amint az ár emelkedik, ez egyre jobban ösztönzi új készletek kutatását és olyan technológiák kifejlesztését, amelyekkel hatékonyabban termelhetőek ki eme készletek. Következésképp az ár növekedése

kiváltja a készletek növekedését, ami aztán újra lenyomja az árat.

Összefoglalva: a kérdést, hogy a készletek vajon egyre fogynak-e, vagy inkább nőnek, két szemléletmód sajátítja ki. A vészjóskok azt hangsúlyozzák, hogy a készletek fizikailag korlátozottak és így szükségszerűen egyre fogynak, míg a bőségszaru-hívek az emberi leleményességre és az adatok empirikus bizonyítékára hivatkoznak. Hogy melyiknek higgyünk, az valójában empirikus kérdés.

## EGYRE TÖBB HOZZÁFÉRHETŐ OLAJ

A<sub>3</sub>. ábrán tisztán látható, hogy az olaj ára nem mutat hosszú távú növekedést, és hogy az olaj nem vált szűkösebbé. A 4. ábra is mutatja, hogy egyre nagyobb olajkészlettel rendelkezünk és nem egyre kevesebbel. De ez mégiscsak különös. Hogyan lehet, hogy miközben egyre több olajat használunk, mégis egyre több marad?

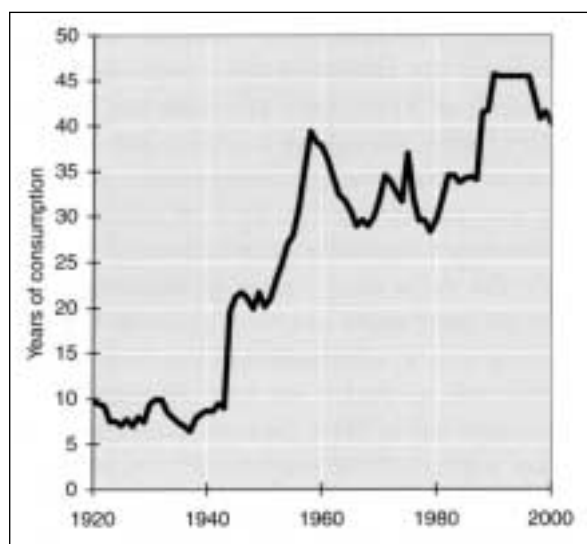
A válasz a korlátos források szemléletével szembeni három központi érvre mutat rá.

1. Az „ismert készletek” nem egy lezárt entitás. Nem arról van szó, hogy ismerjük az összes olajlelőhelyet és már csak ki kell szivattyúznunk a földből. Újabb területeken kutatunk és új olajkészleteket találunk. Mivel azonban a kutatás költséges, az új kutatások nem szaladnak nagyon elébe a termelés igényeinek. Következésképp az új olajmezők úgy növekednek, ahogy

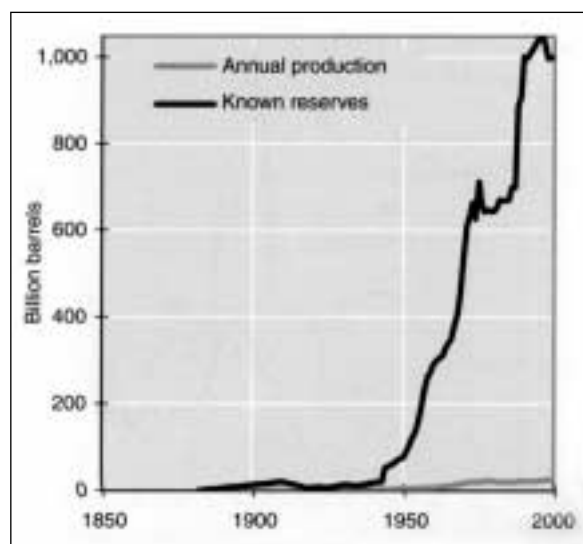
a kereslet nő. Ez az egyik oka annak, hogy a fogyasztás éveiben kifejezett olajkészlet nő és nem csökken.

Valójában elég különös azt gondolni, hogy az ismert készletek jól tükröznék, hogy mennyi olaj maradt, és így előrevetítenék kimerülésük szörnyű problémáit. Ez egy kicsit olyan, mintha bepillantva a hűtőszekrényembe felkiáltanának: „De hisz önnek csak három napra elegendő élelme van! Négy nap múlva éhen fog halni!” Nem, holnapután lemegyek a boltba és veszek ennivalót. Az olajat nemcsak a már ismert forrásokból fogjuk kitermelni, hanem még sok nem ismert egyéb forrásból. Az Egyesült Államokban rendszeresen végzett földtani felmérések (US Geological Survey) rendszeresen tartalmaznak becsléseket a még fel nem fedezett olaj- és gázkészletekre vonatkozóan, és 2000 márciusában a következőt állították: „1981 óta a legutóbbi négy becslés enyhe növekedést mutat az ismert és nem ismert készletek együttes mennyiségét illetően.”

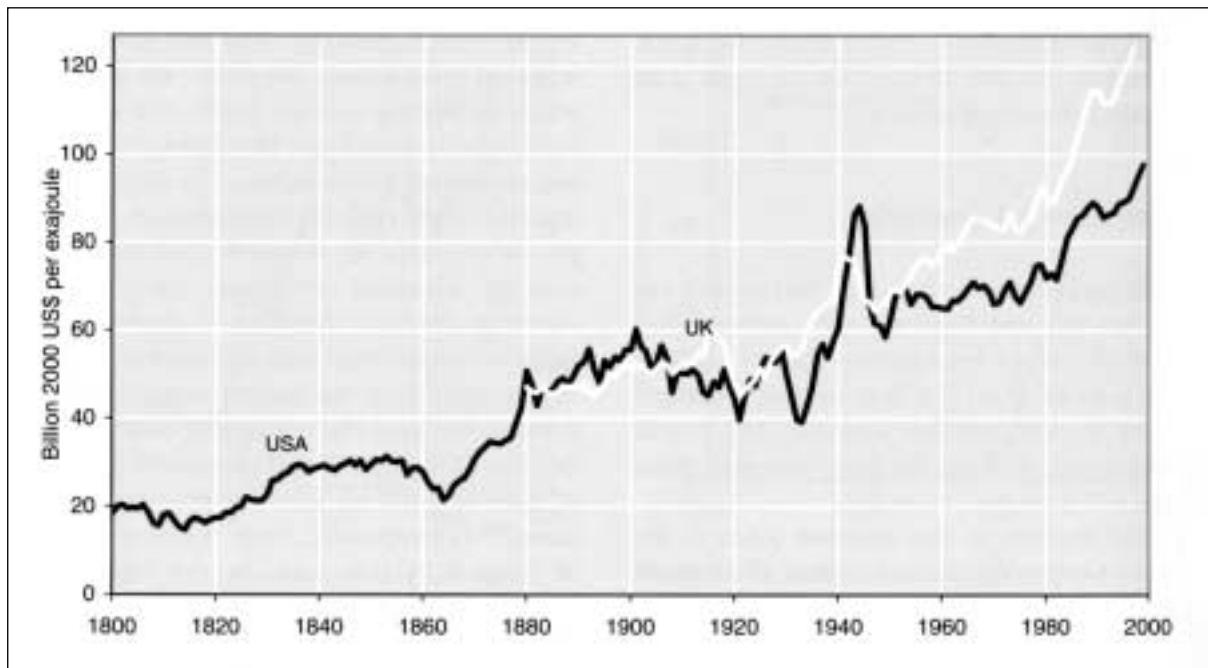
2. Egyre hatékonyabbak vagyunk a készletek hasznosításában. Új technológiákat használunk, amelyekkel több olajat tudunk kitermelni a már ismert olajmezőkből, egyre hatékonyabbak vagyunk az új lelőhelyek kutatásában, és ki tudunk termelni olyan olajmezőket is, amelyek hasznosítását korábban túl nehéznek és költségesnek ítélték. A kezdetekben egy fúró mindössze az olaj 20 százalékát tudta kitermelni az adott gyűjtőterületről. Még manapság, a fejlett technológiákkal is – vizet, gőzt, vagy egyéb vegyi anyagokat használva az elárasztáshoz, hogy minél több olajat préseljünk ki – a készletek több mint fele a földben marad kiaknázatlanul. Becslések szerint



4. ábra: Hány évnyi fogyasztás (Years of consumption): A világ olajkészletei az éves fogyasztás tükrében (hány évnyi fogyasztást fedeznek) 1920–2000 között.



5. ábra: A világ ismert olajkészletei (known reserves) és az éves olajkitermelés (annual production) 1920–2000 között, milliárd hordóban (billion barrels).



6. ábra: Az energiahasznosítás hatékonysága az Egyesült Államokban 1800 és 1999 között, valamint Angliában 1880 és 1997 között. (Az ábra mutatja, hogy 1800-ban egy exajoule energiával 19 milliárd dollárnyi értéket tudtak megtermelni [2000-es év dollárjában], míg ugyanennyi energiával 1999-ben 90 milliárd dollárnyit.)

az Egyesült Államok területén a tíz legnagyobb olajmező a kitermelés lezárásakor még mindig az eredeti készlet 63 százalékát fogja tartalmazni. Vagyis van még keresnivaló ezen a területen. A legutóbbi US Geological Survey szerint olyan technológiai fejlődés várható, amelynek következtében a feltárt készletek több mint 50 százaléka kinyerhetővé válik.

Mindezzel párhuzamosan egyre hatékonyabban hasznosítunk minden liter olajat. Egy átlagos amerikai autó kilométerköltsége 60 százalékkal csökkent 1973 óta. Hasonlóképp a fűtés hatékonysága Európában 24 százalékkal, az Egyesült Államokban pedig 43 százalékkal javult. A legtöbb berendezés sokkal hatékonyabb lett – a mosogatógépek és mosógépek energiafogyasztása 50 százalékkal csökkent.

És még korántsem aknáztuk ki teljesen a hatékonyság növelésének lehetőségeit. Becslések szerint az amerikai energiafogyasztás 43 százaléka pocsékba megy. Az Egyesült Államok Energia Hivatala becslése azt mutatja, hogy bárhol meg tudnánk takarítani az otthoni energiafogyasztásunk 50–94 százalékát. Ma már tudjuk, hogy lehetséges olyan autót gyártani, amelyek egy liter benzinnel több, mint 50–100 kilométert képesek megtenni. Annak ellenére, hogy az ilyen hatékonyságnövelés gazdagon dokumentált, mégsem hasznosítják ezeket, mert a jelenlegi energiaárak és technológiai szint mellett nem kifizetődőek.

A legtöbb országban valóban egyre hatékonyabban

hasznosítják az energiát: egyre kevesebb energia felhasználásával termelünk meg egy újabb dollárnyi, európai vagy jenyi nemzeti terméket. A 6. ábra mutatja, hogy az Egyesült Államokban hogyan nőtt 1800 óta az ugyanannyi energia-felhasználással megtermelt javak értéke, és ugyanez igaz Angliára, az EU-ra vagy Japánra is. Az egész világra vetítve, 1992-ben egy energiaegység által megtermelt érték majdnem kétszer akkora volt, mint 1971-ben. Ugyanebben az időszakban Dánia még továbbment, és „szétoszlatta” a »nagyobb GDP – nagyobb energiafelhasználás« összefüggést: annak ellenére, hogy Dániában összességében kevesebb energiát használtak 1989-ben, mint 1970-ben, ugyanezen időszakban a GDP 48 százalékkal nőtt.

3. Helyettesíthetőség. Szükségletünk nem magára az olajra irányul, hanem azokra a szolgáltatásokra, amelyeket ez biztosít. Amire leggyakrabban szükségünk van, az a fűtés, az üzemanyag és az energia, amelyeket más forrásokból is tudunk biztosítani. Tehát helyettesíthetjük az olajat más energiaforrásokkal, ha azok jobbnak vagy olcsóbbnak bizonyulnak. Angliában az 1600-as évek körül a fa egyre drágábbá vált (a helyi erdőirtás és a rossz infrastruktúra miatt) és ez ösztönözte a szénre való fokozatos áttérést, ugyanúgy, mint az Egyesült Államokban, amit a 1. ábrán láthattunk. A tizenkilencedik század második felében hasonló áttrendeződés zajlott a szén és olaj között.



Rövid távon az olaj legkézenfekvőbb az egyéb, általánosan fosszilisnek nevezett energiahordozókkal helyettesíthető, mint például a szén és gáz. Hosszabb távon pedig az energiafogyasztásunk jelentős részét valószínűleg nukleáris energia, szél- és vízenergia, valamint biomasszából és palaolajból nyert energia fogja fedezni.

## EGYÉB FOSSZILIS ENERGIAFORRÁSOK

A gáz tiszta és olcsó energiaforrás, de átfogó csővezeték elosztórendszert igényel. Az összes fosszilis energiahordozó közül a gáz felhasználása nőtt a legjobban a II. világháború után – a termelése több mint tizenkétszeresére nőtt 1950 óta. Míg 1950-ben a gáz a globális energiatermelés közel 10 százalékát adta, mára már 23 százalékát. A gáz használatakor az egy energiaegységre jutó széndioxid-kibocsátás jóval kisebb, mint a többi fosszilis energiahordozó esetében – ebből a szempontból a szén a legrosszabb.

A termelés drámai növekedése ellenére a rendelkezésre álló gázkészlet egyre bővült, éppúgy, mint az olaj esetében. De a korábban bemutatott érvek ismeretében ez nem meglepő. A mai gázkészlet több mint kétszerese az 1973-asnak. Annak ellenére, hogy az egyes években egyre több gázt fogyasztunk, mégis egyre több évre elegendő gáztartalékkal rendelkezünk. 1973-ban 47 évre elegendő gázkészletet ismertünk, az 1973-as év fogyasztásában mérve. 1999-ben pedig 60 évre elegendő gáztartalék volt, annak ellenére, hogy az éves fogyasztás több mint 90 százalékkal nőtt.

Történetileg a szén volt a legfontosabb fosszilis energiaforrás, de a háború utáni időszakban az olaj kezdte kiszorítani. Csak az 1970-es évekbeli energiaválság keltette fel újra az érdeklődést a szén iránt. Azonban a szén nehéz, alaktalan, következőképp a szállítása költséges. Emiatt a szenet jórészt a lelőhelyéhez közel használják fel – az összes szén mindössze 10 százalékát exportálják, míg az olajnak 60 százalékát. Dániában az 1973-as olajsokk kezdete után olajfogyasztásunk jelentős részét váltottuk ki újra szénrel, és a szenet csak lassan kezdte kiszorítani a gáz. Ez a tendencia széles körben jellemző Európában, mivel a gáz tisztább és a helyi szénkitermelés Németországban és Angliában túl drága lett.

A szén jellemzően igen szennyező, bár a fejlett gazdaságokban átálltak az alacsony kéntartalmú szénfajtára, és a gáztisztító és egyéb légszennyező

ellenőrző berendezésekkel a kén-dioxid és nitrogén-dioxid jelentős részét ma már ki tudják szűrni. Ennek ellenére a szén még mindig jelentős környezet-szennyező globális szinten, becslések szerint több mint 10 000 ember hal meg évente a szén miatt, részben a környezetszennyezés következtében, részben pedig amiatt, hogy a szén kitermelése még mindig igen veszélyes.

De a szén még hosszú időre el tud látni minket energiával. Ahogy az olaj- és gáz-, úgy a szénkészletek is folyamatosan nőttek az idő során. 1975 óta 38 százalékkal nőttek a széntartalékok. Az 1975-ös szénkészlet elegendő volt 218 évnyi fogyasztás fedezésére (1975-ös szinten) és annak ellenére, hogy a fogyasztás azóta 31 százalékkal nőtt, az 1999-es széntartalékok elegendőek voltak 230 évre. Az éves szénkitermelés azért nem nőtt nagyobb mértékben, mert az ára viszonylag alacsony. Az összes szénkészletet ennél jóval nagyobbának vélik – a becslések szerint jóval több mint 1500 évre elegendő szén van. A kitermelés közel tízszeresére nőtt az elmúlt száz évben, de ez nem okozott tartós árnövekedést (az olajválság kilengését kivéve). A szén ára 1999-ben tulajdonképpen a korábbi 1969-es igen alacsony szintjét közelítette.

Ugyanakkor történt néhány olyan felfedezés, amely jelentős mértékben kibővítette a fosszilis energiaforrásokat. Először is képesekké váltunk arra, hogy hasznosítsuk a szénmedencékben található metángázt. Korábban a bányászok rettegtek a metángáztól, mert robbanást és bányaomlást okozhatott. Ma már ez a gáz kitermelhető. A szénmedencékből kinyerhető metángáz pontos mennyisége nem ismert, de jelentősen meghaladja a jelenlegi földgázkészletek nagyságát, akár kétszerese is lehet annak. Ez a felfedezés önmagában legalább 60 évre elegendő gázt biztosít számunkra.

Egyre nagyobb figyelem irányul a kátrányhomokra és palaolajra is. Mindkettő tartalmaz olajat, de sajnálatos módon jóval nehezebb kinyerni belőlük, ami igen költségessé teszi a kitermelést. Kanadában már 1978 óta termelnek ki olajat kátrányhomokból, és itt ennek az olajnak a hordónkénti költsége lecsökkent 28 dollárról 11 dollárra. Összehasonlításul: egy hordó kőolaj világszintű ára 27 dollár volt 2000-ben.

Az Egyesült Államok Energiaipari Információs Iroda becslése szerint kátrányhomokból és palaolajból 30 dolláros hordónkénti ár alatt ma körülbelül 550 milliárd hordónyi olajat tudunk kinyerni, ami a jelenlegi olajkészleteket 50 százalékkal növelheti. És úgy becslik, hogy 25 éven belül a világ mai olajkészletének kétszeresét tudjuk gazdaságosan kitermelni

e forrásokból. Emelkedjék az olaj ára 40 dollárra, és feltehetően a mai készletek ötszörösét leszünk képesek e forrásokból kitermelni gazdaságosan. A palaolaj teljes mennyisége elég dermesztő. A Földön található összes palaolaj mennyiségét a hagyományos kőolajforrások méretének 242-szeresére becslik. A palaolajkészletek nyolcszor annyi energiát biztosítanak, mint az összes többi fosszilis energiaforrás együttvéve – a kőolaj, gáz, szén, tőzeg és kátrányhomok. Ez a meghökkentő mennyiségű energia a mai összes energiafogyasztásunknak több mint 5000 éves nagyságával egyenlő.

Következésképp nincs okunk aggódni a fosszilis energiaforrások közeli kimerülése miatt. A fosszilis energiaforrások egy része azonban csak magasabb áron hozzáférhető. Mégis, jó okunk van azt feltételezni – még akkor is, ha továbbra is kizárólag a fosszilis energiaforrásokra hagyatkozunk –, hogy az energia-kiadások teljes költségvetésünk csökkenő hányadát fogják kitenni. Ma a világ GDP-jének 2 százalékát teszi ki az összes energiafelhasználás költsége, és még ha csak mérsékelt GDP-növekedést feltételezünk is, ez a hányad minden valószínűség szerint tovább fog csökkenni. Még ha 2030-ra az energia igazán drámai, 100 százalékos áremelkedését feltételezzük is, a jövődelem energiára költött hányada akkor is kis mértékben csökkenni fog.

## ATOMENERGIA

A nukleáris energia a világ energiatermelésének 6 százalékát adja, míg azon országokban, amelyek rendelkeznek atomerőművel, a 20 százalékát. Az ázsiai bővülés ellenére e szektor stagnálni fog 2010-ig, majd utána gyenge visszaesés következik. E recesszió a csernobili és Three Mile Island-i balesetek miatt fokozódó biztonsági félelmeknek köszönhető, amely balesetek sok ember bizalmát aláásták.

A hagyományos atomerőművek az uránium-235 molekula hasadását kísérő hőenergiát hasznosítják. Egy gramm uránium-235 részecskéből származó energia majdnem három tonna szén energiataralmával egyenlő. Az atomenergia is igen tiszta energiaforrás, ami, normál működés esetén, szinte egyáltalán nem szennyez. Nem termel szén-dioxidot és a radioaktív sugárzás *kiseb*b, mint a széntüzelésű erőművek esetében.

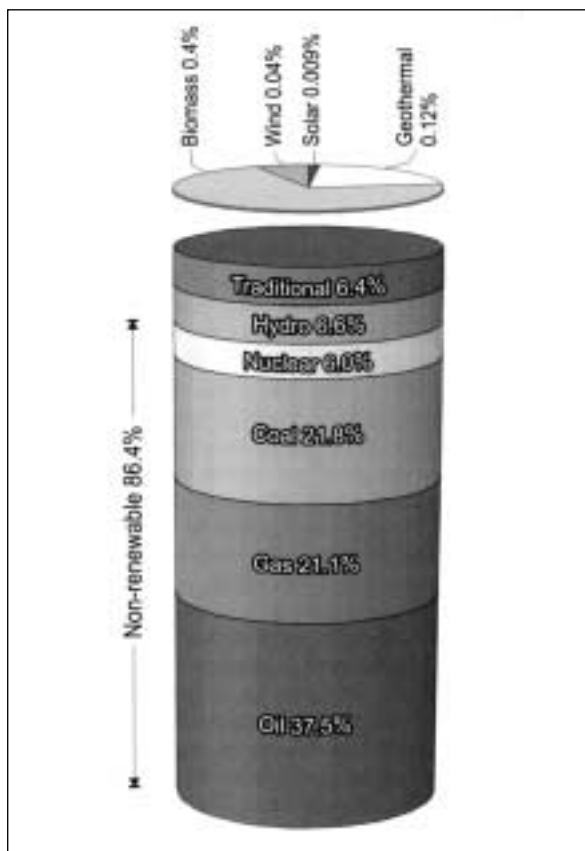
Ugyanakkor az atomerőművek is termelnek hulladékot, amelyek hosszú évekre radioaktívak marad-

nak (néhányik több mint 100 000 évig). Ez nagy politikai vitákat vált ki a hulladék elhelyezéséről és arról, hogy méltányos-e ilyen örökséget hagyni a későbbi nemzedékek számára. Ráadásul a polgári célú atomreaktorok hulladékából atomfegyverekhez szükséges plutónium állítható elő. Ezért az atomenergia használata sok országban potenciális biztonsági problémákat vet fel.

Jelenleg 100 évre elegendő uránium-235 izotóppal rendelkezünk. Igaz, egy különleges reaktorajtában – az úgynevezett *gyors tenyészreaktorban* – használható a sokkal közönségesebb uránium-238, amely az összes urániumkészlet 99 százalékát teszi ki. Az alapötlet az, hogy bár az uránium-238 nem használható közvetlenül energiatermelésre, de betehetjük az uránium-235-tel együtt egy reaktormagba. Az uránium-235 ugyanúgy energiát termel, mint egy hagyományos reaktorban, és ez a sugárzás átalakítja az uránium-238 részecskéket plutónium-239-é, amely már használható fűtőanyagként a reaktorban. Kicsit úgy hangzik, mintha csak búvészkednénk, de valójában a gyors tenyészreaktorok több energiát termelnek, mint amennyit felhasználnak. A becslések szerint ezekkel a reaktorokkal az urániumkészlet 14 000 évre elegendő. Sajnos ezek a reaktorok technológiailag sebezhetőbbek és nagy mennyiségű plutóniumot termelnek, amelyből nukleáris fegyverek is készíthetők, ami komoly, a biztonságot érintő kétélyekkel terheli ezt a lehetőséget.

Mindemellett az atomenergia nem kifizetődő módja az energiatermelésnek, és valószínűleg ez a legfőbb oka annak, hogy nem terjedt el szélesebb körben. Nehéz egyértelmű becslést adni a költségekre, mert sok olyan változó van, amit figyelembe vehetünk a számításnál, de 1999-ben egy kilowattóra (kWh) ára 11-13 cent körül mozgott. Összehasonlításképpen, a fosszilis energiaforrásokból nyert energia ára átlagosan 6,23 cent volt ugyanebben az időszakban.

Hosszú távon a központi figyelem a maghasadásból származó energiáról át fog tevődni a fúziós energiára. Ez a technológia két hidrogénatom egyetlen héliumatomná való egyesülésén alapul. Ennek a fűtőanyagának egyetlen grammja annyi energiát fejleszt, mint 45 hordónyi olaj. Ez a fűtőanyag alapvetően közönséges tengervízből származik, vagyis gyakorlatilag kimeríthetetlen. Ráadásul a folyamat nagyon kevés radioaktív hulladék és sugárzás kíséri. Azonban a fúzió csillagászati hőmérsékletet igényel, és a több mint 20 milliárd dolláros beruházás ellenére is csak az energiatermeléshez szükséges lézer erősségének 10 százalékát sikerült elérnünk.



7. ábra: A teljes energiatermelés megoszlása az egyes források között 1998-ban (összesen 428 exajoule).

(Olaj – oil, gáz – gas, szén – coal, atomenergia – nuclear, vízenergia – hydro, hagyományos tüzelőanyagok – traditional, biomassa – biomass, szélenergia – wind, napenergia – solar, geotermikus energia – geothermal, nem megújuló energiaforrások – non-renewable.)

Vagyis a fúziós energiát gazdaságosan hasznosítani várhatóan csak 2030 után leszünk képesek, vagy talán csak a huszonkettedik században.

## MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK

A megújuló energiaforrások azok, amelyeket, ellentétben a fosszilis fűtőanyagokkal, anélkül hasznosíthatunk, hogy elhasználnák őket. Ezek jellemzően olyan források, mint a Nap, a szél, a víz vagy a föld belső hője. Egészen a közelmúltig ezekről az energiaforrásokról úgy vélekedtek, mint valamiféle „alternatív” lehetőségekről – dédelgetett projektjei „szandálos-szakállas vegetáriánusoknak”, ahogy a *The Economist* megfogalmazta. De ez a kép jelentősen kezd megváltozni.

Számottevő előnye van a megújuló energiaforrá-

sok hasznosításának. Kevésbé szennyeznek, az ország kevésbé van kiszolgáltatva az importált energiahordozóknak, kevesebb külföldi devizára van szükség és szinte egyáltalán nincs széndioxid-kibocsátás. Ráadásul számos technológia olcsó, könnyű a karbantartásuk és szállításuk, remekül használhatók a fejlődő országokban és az elmaradott területeken.

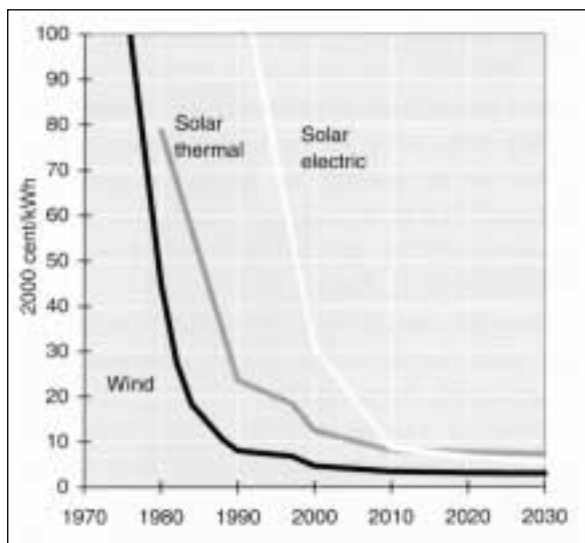
A 7. ábrára tekintve láthatjuk, hogy a megújuló energiaforrások a világ energiatermelésének csak a 13,6 százalékát adják. A két legfontosabb közülük a vízenergia és a hagyományos tüzelőanyagok. A víz-erőművek nyújtják a világ energiatermelésének 6,6 százalékát. A hagyományos tüzelőanyagok közé tartoznak a fa, faszén, bagasse (a cukornád kipréselt maradványa), valamint egyéb állati és növényi hulladékok. Ezek adják a világ energiatermelésének 6,4 százalékát, a fejlődő országokban pedig az energiaszükséglet több mint 25 százalékát.

A többi jól ismert megújuló energiaforrás, mint a biomassa, geotermikus energia, szél- és napenergia csak a világ energiatermelésének maradék 0,6 százalékát biztosítják – a 7. ábra tetején lévő vékony szelet. Ennek a szeletnek a nagyobbik részét (0,4 százalék) a biomasszából nyert energia adja – fa- és mezőgazdasági hulladék vagy éppen a városi hulladék elégetésével. A maradék 0,2 százalékot főleg geotermikus, a föld belső hőjének hasznosításából származó energia adja.

A legismertebb megújuló energiaforrások, a szél- és napenergia 1998-ban a teljes energiatermelés 0,05 százalékát tették ki, túlsúlyban a szél hasznosításával (0,04 százalék). Ha csak önmagában az elektromos áram termelését tekintjük, akkor a szélenergia hozzájárulása 0,09 százalék, a napenergiáé pedig 0,02 százalék. Az e szempontból progresszív Európai Unióban az energiaszükségletnek 5,6 százalékát biztosítják megújuló forrásokból, elsősorban biomasszából (3,7 százalék) és vízenergiából (1,8 százalék), míg a szélenergia részesedése csak 0,04 százalék és a napenergiáé 0,02 százalék.

Lester Brown szinte minden évben felngyítja azt a tényt, hogy a megújuló energiaforrások felhasználása jóval gyorsabban nő, mint az olajé:

„A korábbi években az energiával kapcsolatos viták középpontjában az a kérdés állt, hogy milyen lesz az újjgazdaság? Mára már láthatjuk. Látható a japán és német háztetők napelemein, a spanyol és iowai szélfarmokon és a különféle energiaforrások növekedési rátájának jelentős eltéréseiben. Míg a szél hasznosítása évente 22 százalékkal bővült 1990 és 1998 között, a napenergiáé pedig 16 százalékkal, ad-



8. ábra: Különböző megújuló energiaforrásokból származó egy kWh elektromos energia ára 1975 és 2030 között. (Wind – szél, solar thermal – napenergia hőjének hasznosításával, solar electric – napenergia elektromos energiává alakításával.)

dig az olaj felhasználása kevesebb, mint 2 százalékkal, a szén esetében pedig semmilyen növekedés nem volt.”

De a növekedési ráták ilyen összevetése félrevezető, mivel a szélenergia 0,05 százalékos részesedéséből nem nehéz elérni kétszámjegyű növekedés rátát. 1998-ban az olaj felhasználásának 2 százalékos növekedése a megtermelt energiaegységek abszolút mennyiségében tekintve 323-szor nagyobb volt, mint a szélenergia 22 százalékos növekedése. Még abban a valószínűtlen esetben is, ha a szélenergia hasznosításának növekedési üteme továbbra is következetesen évi 22 százalékos maradna, 46 év kellene ahhoz, hogy a szélenergia felhasználása túlszárnyalja az olajét.

A megújuló energiaforrásoknak a világ energia-termeléséből való alacsony részesedésének az oka az, hogy jelenleg még nem versenyképesek a fosszilis energiaforrásokhoz képest. A megújuló energiaforrások hasznosításával kapcsolatos projekteket eddig csak közösségi támogatással és adókedvezményekkel tudták megvalósítani. Azonban, ahogy a 8. ábrából is látszik, az így előállított energia ára rohamosan csökken és ez a csökkenés várhatóan folytatódik.

A vízenergia igen fontos sok nemzet számára – 63 országban az elektromos energia termelésének több mint felét biztosítja, 23 országban pedig legalább a 90 százalékát. A vízenergia csak a közelmúltban vált versenyképesé, de jól fejlődő terület és Európában megvalósultak az elterjedésének alapvető feltételei. Azonban a vízerőműveknek van árnyoldaluk is: egy-

részt gyakran jelentősen károsítják a környezetet, másrészt a legtöbb gát 20–50 éven belül eliszaposodik. Becslések szerint például az egyiptomi Asszuán Nagy Gát 2025-re legalább félig eltömődik.

A föld belső hőjének megcsapolásából származó geotermikus energia szintén versenyképes lehet, de sajnos a világon csak kevés helyen hasznosítható, például a Fülöp-szigeteken és Indonéziában.

A legígéretesebb megújuló energiaforrás a szélenergia, mivel igen széles körben hasznosítható. Manapság egy kilowattóra ára 5–6,4 cent, ami, annak ellenére, hogy tizede a húsz évvel ezelőtti árának, még mindig drágább, mint a fosszilis üzemanyagokkal megtermelt energia. Bár az ár további csökkenésére lehet számítani, mégis a számítások szerint 2005-ben a szélenergiával termelt elektromos áram 50 százalékkal többbe fog kerülni, mint a gáztüzelésű erőművek esetében, 2020-ban pedig 20 százalékkal.

A legtöbben meglepődnek azon, hogy a megújuló energiaforrások nem olcsóbbak, mint a fosszilis energiaforrások, elvégre az előbbieket ingyen vannak. Ez így is van, de nem ez a lényeg. Először is, magának az energiaforrásnak az ára csak kis részét teszi ki az energia előállításának – 1995-ben az elektromos energia költségének csak a 16 százaléka származott a fosszilis tüzelőanyag árából. Másodsorban, a fosszilis energiaforrásokra érintő kutatások és fejlesztések masszív előnnyel bírnak, mivel sokkal népszerűbbek és jóval nagyobb a részesedésük a nemzeti kutatási költségvetésekből. Végül pedig, a fosszilis energiaforrások felhasználása az idők folyamán sokkal hatékonyabbá vált. A verseny erősödése és a jobb menedzsment azt eredményezte, hogy míg 1982-ben 250 emberre volt szükség a széntüzelésű erőművek működtetéséhez, addig 1995-ben már csak 200-ra. A gáztüzelésű erőművek esetében még nagyobb hatékonyságnövekedést lehetett tapasztalni, 28 százalékkal csökkent a szükséges munkaerő mennyisége ugyanebben az időszakban. Továbbá az olaj, a gáz valamint az elektromos energia piacának deregulációja is olcsóbbá tette a nem megújuló energiaforrásokból nyert energiát.

Mindenesetre érdemes kiemelni azt a tényt, hogy a hagyományos fosszilis tüzelőanyagok és a néhány legolcsóbb megújuló energiaforrás költsége közti eltérés már nem jelentős. Ráadásul ezek a gazdasági költségek nem tartalmazzák a fosszilis energiaforrások hasznosításának környezetre gyakorolt hatásaiból eredő negatív társadalmi költségeket. Egy széntüzelésű erőműben megtermelt energia ugyan 20–50 százalékkal olcsóbb, mint a szélgenerátorok-

kal termelt, de ha a szennyezésnek és a hulladékoknak az emberi és természeti környezetre gyakorolt hatása meghaladja az árkülönbözet mértékét, akkor a társadalomnak a szélenergiát kellene választania.

Az utóbbi időben két átfogó amerikai és egy európai projekt is kísérletet tett az elektromosenergia-termelés összköltségének felmérésére: a szénbányászat kockázatától, a szállítás baleseti kockázatán és a termelés negatív hatásain át – amelyekbe beletartoznak a savas eső, por, kén-dioxid, nitrogén-oxidok, ózon hatása tavakra, mezőgazdasági terményekre, épületekre, gyermekekre, idősekre – egészen az adózási és foglalkoztatásbeli következményekig, és még hosszú-hosszú a listája a hasonló szempontoknak és költségeknek. Eme tanulmányok mind arra az eredményre vezettek, hogy egy új széntüzelésű erőmű társadalmi többletköltségei 0,16–0,59 cent/kilowattóra körül vannak. Azonban a három tanulmány egyike sem számszerűsíti a keletkező szén-dioxidból fakadó költségeket, amelyek valószínűleg további 0,64 cent/kWh többletköltséget jelentenek.

Következésképp a megújuló energiaforrások árainak még csökkennie kell ahhoz, hogy versenyképesek legyenek, és ez akkor is igaz, ha figyelembe vesszük a társadalmi többletköltségeket is. Azonban arra lehet számítani, hogy a megújuló energiaforrások ára gyorsabban fog csökkenni, mint a hagyományos energiaforrásoké. Azt azonban hozzá kell tenni, hogy az efféle árra vonatkozó jóslatok meglehetősen bizonytalanok, a korábbi jóslatok utólag rendszerint túl optimistának bizonyultak – 1991-ben például a Union of Concerned Scientists azt jósolta, hogy a napenergiából termelt elektromos energia ára mára 10 cent/kilowattóra alá fog esni, de sajnos csak 50 cent/kilowattóra körüli értékre csökkent.

Mindezekből az következik, hogy messze nem egyértelmű, hogy kell-e szubvenciókkal és adókedvezményekkel támogatni a megújuló energiaforrások hasznosítását. Dániában a szélenergia támogatásának nagysága 5 cent/kilowattóra, az Egyesült Államokban pedig a szélenergia hasznosítását a becslések szerint 1,5 centtel támogatják kilowattóránként. Ennél sokkal hasznosabb lenne az energiatermelés olyan fajta adóztatása, amely megfelelően tükrözné a termelés és károsanyag-kibocsátás társadalmi költségeit.

Az alapvető érv rendszerint az, hogy azért kell támogatnunk a megújuló energiaforrásokat, mert a piac túl későn fogja felismerni, hogy elfognak a fosszilis készletek. De mint korábban bemutattam, a közeljövőben nem fenyeget a fosszilis készletek kimerülése. Vagyis a piac akkor fog a megfelelő mér-

tékben investálni a megújuló energiaforrásokba, ha az adók a társadalmi költségeket tükrözik.

Mindazonáltal igen fontos, hogy e téma kapcsán ne csak azt hangsúlyozzuk, hogy bőséges készletek vannak fosszilis energiaforrásokból, hanem azt is, hogy a potenciálisan korlátlan megújuló energiaforrások már a gazdaságos elérhetőségen belül vannak.

## NAPENERGIA

Az energiának a Földön messze a legnagyobb része a Naptól származik. Csak egy kis része keletkezik magának a Földnek a radioaktív folyamataiban. A Nap annyi energiát bocsát ki, mintha a Föld minden négyzetméterén folyamatosan égne egy 180 wattos lámpa. Természetesen ez az energia nem oszlik el egyenlően – a trópusokra több mint 250 watt jut, míg a sarkvidéki területek csak körülbelül 100 wattot kapnak.

A beáramló napenergia körülbelül hétezerszer akkora, mint a globális energiafogyasztásunk, vagyis az éves napenergia mennyisége messze meghaladja a többi energiaforrást. Másként megfogalmazva: még a jelenlegi, nem túl hatékony napelemekkel is, a trópusokon egy olyan négyzet alakú területen, amelynek az oldalai 469 km hosszúak – ez a Föld területének 0,15 százalékának felel meg –, a jelenlegi teljes energiafogyasztásunkat ki lehetne elégíteni. Ez a terület elvben lehetne a Szaharában (aminek 2,6 százalékát foglalná el), vagy a tengeren. A valóságban persze nem épülhetne egyetlen központi erőmű, de ez a példa egyrészt megvilágítja, hogy milyen kevés hely szükséges energiafelhasználásunk fedezéséhez, másrészt azt, hogy ezek a területek olyan helyeken is lehetnek, amelyeknek nincs vagy kicsi a biológiai és gazdasági értéke.

A legolcsóbb napelemek hatékonysága háromszorosára nőtt 1978 óta, míg az áruk ötvenedrészére csökkent a hetvenes évek eleje óta. A napelemek még nem igazán versenyképesek, de az ár további csökkenését jósolják és számítások szerint 2030-ra egy kilowattóra ára 5,1 centre fog lelesni. A városoktól távoli területeken, ahol napelemek rácsos hálózatát telepítik, a napenergia hasznosítása már most is gazdaságilag életképes.

A napenergia hasznosítható közvetlenül fűtésre vagy közvetve növények termesztésére, amelyeket elégetve nyerünk energiát (biomassza). Dániában becslések szerint energiafogyasztásunk 10–12 százalékát szolgáltatja a napenergia. Az Egyesült Államok-

ban is a biomassza hasznosításának jelentős fellendülését jósolják. Problémát jelent azonban, hogy a növények elég gyengén hasznosítják a napenergiát. Nem valószínű, hogy a biomasszából nyert energia fedezni tudná energiafogyasztásunk jelentős részét – a szénából és szalmából származó összes mezőgazdasági biomassza, ami a felét teszi ki a világ biomassza termelésének, csak mindössze 65 EJ energiát jelentene, vagyis jelenlegi energiafogyasztásunk 16 százalékát fedezné. A zöld növények a napenergia 1–3 százalékát hasznosítják, míg a napelemek 15–20 százalékot. Így a napelemek harmincadannyi helyet foglalnak el, mint a növények, és nem igényelnek jó termőföldet. Ugyanakkor a biomassza csökkenti a különböző környezetszennyezési problémákat, például kivonva a kén, nikkelt, kadmiumot, ólmot. Bár a biomassza hasznosítása energiatermelésre ma még nem versenyképes, de olcsóbb, mint a napelemek.

Sok fejlődő országban a biomassza-felhasználásnak az élelemtermeléssel kellene versenyeznie a mezőgazdasági földekért. Mégis, a biomassza termelése a világon sokfelé hasznossá válhat, mivel gyenge földeket is hasznosíthatnak hozzá, valamint segítheti az erózió megelőzését és a termékenyebb földek rekreációját.

Az Egyesült Államok Energiaügyi Információs Irodájának becslése szerint a napenergia a teljes amerikai szükséglet több mint háromszorosát fedezhetné. De ennek a megvalósulása még rengeteg leleményességet kíván.

Japánban elkezdtek a napelemeket beépíteni az épületek alkotóelemeibe, hogy a falak és tetők részévé váljanak. Másutt vízálló filmréteggel bevont kerámia napelemeket gyártanak, amelyekkel helyettesítik a hagyományos fűdémányagokat. Egy walesi kísérleti központ például nemcsak azért választotta a napelemeket, hogy az épületet elektromos energia iránti szükségleteit biztosítsák, hanem azért is, mert megtakarítással járt a hagyományos fűdémhez képest.

## SZÉLENERGIA

A széleenergiát évezredek óta hasznosítjuk. Az ősi civilizációk már az ókorban – Kínában, Indiában, Perzsiában – használták a szél erejét gabonaörlésre és víz kiemelésére. A kora középkorban már Európa-szerte ismert technológia volt a szélmalom, és a szélmalom maradt az elsődleges energiaforrás egészen a gőzgép érkezétségéig. Olyan országokban, amelyek nem rendelkeztek szénkészlettel, mint például Dánia, a szélma-

lom továbbra is megőrizte központi szerepét. 1916-ban egyedül Dániában több mint 1300 új szélmalom épült.

Az olajválság újra a szélmalomok felé fordította a kutatói érdeklődést és azóta döbbenetes eredményeket és fejlődést értek el ezen a területen. Az áráriási mértékben, 94 százalékkal zuhant 1975 óta, a termelékenység pedig 1980 óta 5 százalékkal nő évente. Becslések szerint a világ energiafogyasztásának több mint a felét biztosítani lehetne szélmalomokkal, de ehhez körülbelül 100 milliárd szélmalomra lenne szükség. Am még Dániában is, amely világszerte a szélmalomok használatában, az elektromos energiának mindössze körülbelül 9 százalékát termelik szélmalomok, az Egyesült Államokban pedig az elektromos áram termelésének csupán 0,1 százalékát.

De problémák merülhetnek fel, ha egy ország energiaigényének jelentős részét szélmalomokkal akarná megtermelni. A lakott területekhez közel a szélmalomok zaja kellemetlen lehet, továbbá a hatékony működéshez a szélmalomokat nyílt területre kell telepíteni, ami jelentősen elcsúfítja a tájképet. A hosszú távú megoldás az lehet, ha a szélmalomokat messze kihelyezik a tengerre. Nemcsak azért, mert kevesebb esztétikai ártalmat okoznak, hanem azért is, mert itt jellemzően 50 százalékkal hatékonyabbak.

A szélmalomok kritikusai az Egyesült Államokban általában azt hangsúlyozzák, hogy a szélmalomok még mindig nem kifizetődőek, hogy a működésük sok energiát igényel és, hogy sok madarat pusztítanak el. Korábban bemutattam, hogy a szélmalomok még valóban nem igazán versenyképesek, bár legfeljebb 30–50 százalékkal drágábbak, és még kisebb a hátrányuk, ha a fosszilis tüzelőanyagok használatát kísérő társadalmi és környezeti többletköltségeket is tekintetbe vesszük. Hosszabb távon kétségtelenül olcsóbbak és így versenyképesek lesznek.

Azt is el kell ismerni, hogy a szélmalomok előállítása elég sok energiát kíván: vasat kell bányászni, megolvasztani és hengerelni, majd a kész malmot helyére kell szállítani és végül karbantartani. Azonban ha mindezt átszámítjuk energiára, kiderül, hogy egy modern szélmalom a saját előállításához felhasznált energiát három hónapon belül megtermeli.

Az is igaz, hogy a szélmalomok madarakat ölnek meg, de ez a probléma a tengeren kisebb lesz. Dániában a becslések szerint évente 30 000 madár pusztul el szélmalomokkal összeütközve. Az Egyesült Államokban ez a szám 70 000 körül van. Bár ezek nagy számnak tűnnek, valójában jelentéktelenek, ha összevetjük a más okokból történő madárpusztulásokkal. Dániában úgy becslik, hogy egyedül a közúti

közlekedés miatt jóval több, mint 1 millió madár pusztul el évente, Hollandiában pedig körülbelül 2-8 millió. Az Egyesült Államokban az autók évente 57 millió madarat ölnek meg, és több mint 97,5 millió madár pusztul el üvegtábláknak nekirepülve. Angliában a becslések szerint a házimacskák évente közel 200 millió emlőst, 55 millió madarat és 10 millió hullót és kétéltűt ölnek meg.

## A FOGYASZTÁS INGADOZÁSA ÉS AZ ENERGIATÁROLÁS

Mind a napenergia, mind a szélenergia hasznosításának alapvető problémája az időzítés: a nap nem feltétlenül akkor süt és a szél nem feltétlenül akkor fúj, amikor az embereknek leginkább energiára lenne szükségük. Ezért fontos, hogy tárolni lehessen az energiát.

Ha a nap- és szélenergia hálózatokat összekapcsolják gáttakkal, akkor azok tárolhatják az energiát. Lényegében használjuk a szélenergiát, amikor fúj a szél, és közben hagyjuk, hogy a gát mögött felhalmozódjon a víz. Amikor pedig a szél nem fúj, a víz ereje termeli a szükséges elektromos áramot.

Sajnos ez maga után vonja azt is, hogy a szél- és víz-erőműnek egyaránt jelentős többletkapacitással kell rendelkeznie, hogy bármelyik ki tudja elégíteni a csúcsgigényeket is. A megoldás attól függ, hogy mennyire hozzáférhető nagyobb mértékű vízenergia.

Éppen ezért szükség van az energiatermelés nagyobb fokú diverzifikációjának biztosítására. Például a biomassza és a geotermikus energia bármikor hasznosítható. Azonkívül az energiát úgy is tárolhatjuk, hogy segítségével a vizet katalizálva hidrogént készítenek. A hidrogén később felhasználható elektromos áram termelésére vagy helyettesítheti a benzint az autókban. Ennek a költsége ugyan a földgáz felhasználásának kétszerese, de a hidrogén rendkívül környezetbarát üzemanyag, mivel az égéstermék kizárólag víz.

## KÖVETKEZTETÉS

A bizonyítékok világosan megmutatják, hogy nem tartunk semmiféle energiaválság felé. Rengeteg energiaforrás van.

Láthattuk, hogy bár egyre több fosszilis energiát használunk, közben még többet találunk. A készleteink olajból, szénből és gázból – ha az éves fogyasztás nagyságában mérjük is – növekednek. Ma legalább 40 évre elegendő olajjal rendelkezünk a jelenlegi fogyasztásban mérve, míg gázból legalább 60 évnnyi, szénből pedig 230 évnnyi van.

40 dolláros hordónkénti ár mellett (ami a jelenlegi világgpiaci árnál csak egyharmaddal magasabb) a gazdaságosan kitermelhető palaolaj mennyisége 250 év fogyasztását biztosíthatja. Mindent egybevetve az olaj a következő 5 000 év fogyasztását képes fedezni. Elegendő urániummal rendelkezünk a következő 14 000 évre. Jelenleg a világ GDP-jének 2 százalékát költjük energiára, így, ha nagyobb áremelkedés következne be, annak sem lenne jelentősebb jóléti hatása – minden valószínűség szerint az energiára költött összeg aránya csökkenni fog.

Ráadásul ott van a megújuló energiaforrások hasznosításának számtalan lehetősége. Ma még a világ energiatermelésének elenyészően kis részét szolgáltatják, de ez változhat és valószínűleg meg is fog változni. Az utóbbi 20 évben a szél- és napenergia költsége 94-98 százalékkal zuhant, ami egyre közelebb hozza a gazdaságos hasznosítás lehetőségét. A megújuló energiaforrások nagysága szinte felfoghatatlan. A Nap energiafogyasztásunk 7 000 szeresét biztosítja – például ha a Szahara 2,6 százalékát lefednénk napelemekkel, akkor ez fedezné a világ teljes energiafogyasztását. Becslések szerint a szélenergia reálisan az energiafogyasztásunk több mint felét tudná fedezni.

Hangsúlyozom, hogy eme tények egyike sem vitatja, hogy a fosszilis energiahordozók, amelyek ma az energia javát biztosítják, *nem* megújuló források – ha a technológia változatlan maradna és továbbra is csak a fosszilis tüzelőanyagokra alapoznánk, akkor egy nap kifogynánk az energiából. De a lényeg éppen az, hogy a technológia nem állandó és a fosszilis tüzelőanyagok hosszú távon nem az egyetlen és legfontosabb forrásai az energiának. Először is a történelmi bizonyítékok mutatják, hogy egyre hatékonyabbá váltunk új fosszilis készletek felfedezésében, kitermelésében és hasznosításában, hagyva növekvő fogyasztásunkat is. Másodszor tudjuk, hogy a hasznosítható napenergia messze meghaladja energiaszükségletünket, és valószínűleg ötven éven belül versenyképes áron elérhetővé fog válni.

Következésképp meglepő, hogy újra és újra halljuk a történetet, hogy immár hamarosan kifogyunk az energiából. Az adatok azt mutatják, hogy ez nem így van. Ahogy az Egyesült Államok Energiaügyi In-

formációs Irodája az 1999-es Nemzetközi Energia Jelentésében írja: „A világ maradék olajkészletéről festett zord képek az ismert készletek jelenlegi becslésén alapulnak és azok bizonyos (jellemzően teoretikus) értelemben vett csökkenésén. Amikor a még felfedezetlen olajkészleteket, a hatékonyságjavulást, és a nyersolaj nem hagyományos forrásainak kitermelését is számításba vesszük, nehéz nem optimistának lenni az olaj, mint a jövő életképes energiaforrásának hosszú távú kilátásaival kapcsolatban.”

Hosszabb távon valószínűleg energiaszükségletünk fedezésében a fosszilis tüzelőanyagokról át fogunk állni más, olcsóbb energiaforrásokra – talán megújuló energiaforrásokra, talán fúziós energiára, talán egyéb, ma még elképzelhetetlen technológiákra. Vagyis az olaj korszaka is véget ér egyszer, de ahogy a kőkorszak vége sem a kő hiánya miatt jött el, ugyanúgy az olajé sem az olaj hiánya miatt. Sokkal inkább a jobb alternatív források hatékony hozzáférhetősége okán.





