

AZ ENERGIÁKÉRDÉS MA – A FIZIKUS SZEMÉVEL

Berényi Dénes
MTA ATOMKI, Debrecen

Az energiáról általában

Az energia fogalma nemhogy a fizikusok, de már az általános iskolások számára is jól ismert. Egyszerű megfogalmazásban azt mondjuk, hogy az energia munkavégző képesség, pontosabban pedig az energia a fizikában munka jellegű mennyiség. Munkáról pedig akkor beszélünk, ha az erő egy bizonyos úton hat egy tárgyra. Egy tárgynak akkor van energiája, ha munkát tud végezni. Az is jól ismeretes, hogy az energiára (pontosabb megfogalmazás szerint: az anyagra és az energiára együttesen) megmaradási törvény érvényes.

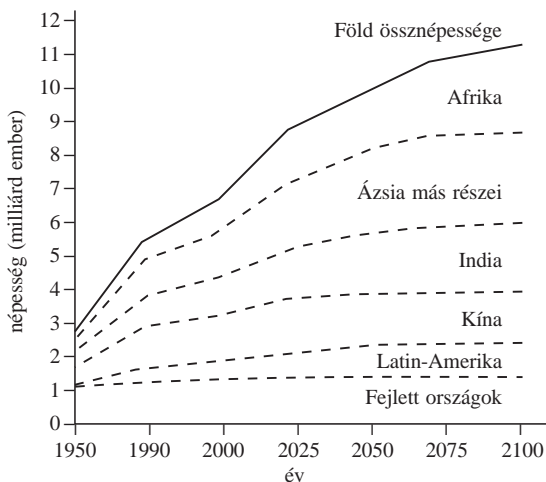
Mindezt azért kellett felidézni, hogy ebbe a képbe illesszük be az olyan mindennap használatos kifejezéseket, mint energiatermelés, energiaveszteség, energiatakarékosság stb. Kérdezhetné ugyanis valaki például, hogy veszhet el az energia, amikor az energiamegmaradás törvénye érvényes. Hasonlóan talán meg lehetne lepődni azon is, hogy hogyan is termelhetjük az energiát és hogyan takarékoskodhatunk vele.

Ezek a „rejtélyek” mindjárt megoldódnak, ha a fenti kifejezésekben nem általános értelemben használjuk az energia fogalmát, hanem úgy értjük, hogy a *számunkra hasznos munkát végző* energiáról van szó.

Az „energiakérdés”

Mindenekelőtt hangsúlyoznunk kell, hogy amikor az energiáról, pontosabban az energiakérdésről beszélünk, akkor mai civilizációnk egyik központi problémájáról van szó. Gondoljuk csak meg, ha nem állna rendelkezésre energia, egész mai, mindennapi életünk, civilizációnk leállna. Nem lenne közlekedés, nem lenne hírközlés, nem lenne világitás, nem termelnének a gyárak, nem működne otthoni háztartásunk.

1. ábra. A népesség számának változása a Földön 1950 és 2100 között [1]



De mit is értünk tulajdonképpen az energiakérdésen. Röviden megfogalmazva: *növekvő népesség* (az előrejelzések szerint 2050-re a Föld lakossága 10 milliárd körül alakul) *és igény, valamint fogyó konvencionális energiaforrások mellett környezetkímélően és minimális kockázattal látni el energiával a társadalmat.*

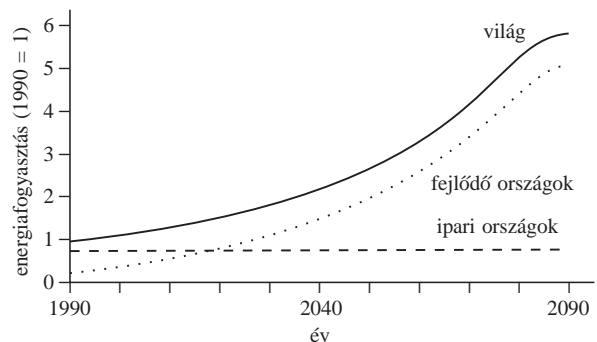
A növekvő népességet az idő függvényében az 1. ábra mutatja, az energiafogyasztás alakulását pedig a 2. ábra. Láthatjuk, hogy a növekedés elsősorban a fejlődő országok régióiban jelentkezik, amely viszont a Föld népességének 3/4-ét – 4/5-ét jelenti. Ugyanakkor az energiafogyasztás a fejlett országokban már alig nő (de azért ott is nő kis mértékben), de az igazi növekedés a fejlődő országokban következik be, hiszen természetesen nekik is megvan az igényük arra, hogy hasonló életszínvonalon éljenek, mint a mai fejlett országokban. Hogy ez mennyi problémát jelent, és hogy valójában a fejlett országok igényeinek csökkentésére volna szükség a Föld és az emberiség jövője érdekében, arra most itt nem tudunk kitérni, az egy másik külön tanulmányt igényelne.

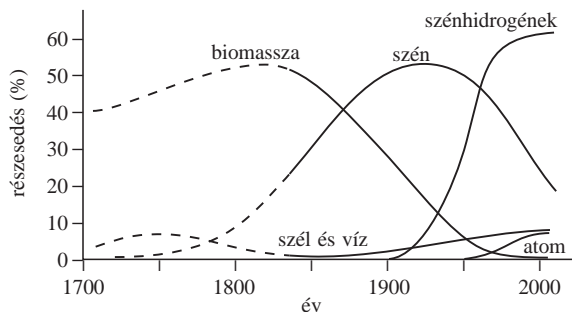
Visszatérve viszont az energiakérdésre, a lényeg megfogalmazásán túlmenően egy egész sor részletprobléma vár ezen belül megoldásra. Így – a teljesség igénye nélkül – az energiatermelés kérdései: az energiaforrások megválasztása, a termelés optimalizálása stb., továbbá a veszteségmentes vagy kisveszteségű energiaátvitel megvalósítása, az energiaelosztás változatai, az energia tárolásának problematikája, az energiaátalakítás módjai, az energiatakarékosság különböző formái stb.

Ez a rövid felsorolás is mutatja, ha belegondol az ember, hogy mindezek mögött a kérdések mögött hatalmas kutatási feladatok vannak, amelyek nélkül ezek a problémák nem oldhatók meg.

Mindenesetre azt is hangsúlyozni kell, hogy a megoldásokhoz általában interdiszciplináris megközelítésre van szükség. Tudniillik a kérdések egy része *műszaki-termesztudományos jellegű*, de nem elég, hogy valami műszakilag, természettudományos alapon megoldható-e, mert meg kell vizsgálni azt is, hogy *gazdaságos-e ez a bizonyos megoldás*, s ennek a vizsgálata pedig gazdaságtudományi kérdés. Mindezekon túlmenően felmerül az is,

2. ábra. Az energiafogyasztás változása a Földön 1990 és 2090 között [1]





3. ábra. A különböző energiahordozók felhasználásának aránya 1700 és 2000 között (C. Marchetti nyomán [1])

hogy a szóban forgó megoldást elfogadja-e majd a társadalom, sőt azt a kérdést is fel lehet tenni, hogy ha elfogadja, miért fogadja el, és ha nem fogadja el, miért nem, továbbá mit lehet tenni egy műszaki–természettudományosan megalapozott és gazdaságos megoldás társadalmi elfogadtatása érdekében. Így kifejezetten a *társadalomtudományok* közreműködésére is szükség van.

Jelenlegi energiaforrásaink

Osztályozásuk

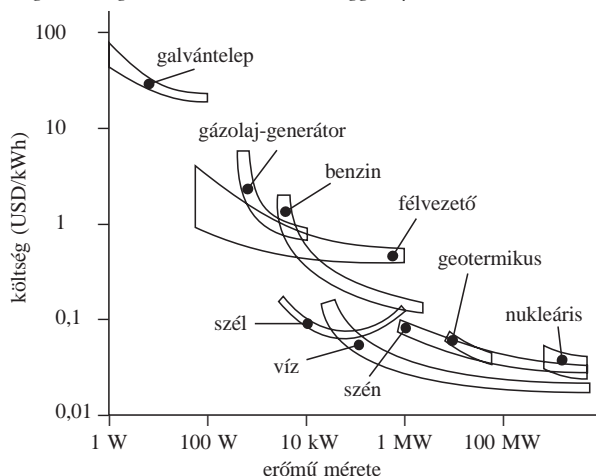
Jelenlegi energiaforrásaink döntő részben fosszilis (konvencionális) energiahordozók felhasználásából kerülnek ki (lásd a 3. ábrát), ezek a kőolaj, a földgáz és a szén. A nukleáris energia is, éspedig a hasadási nukleáris energia, viszonylag jelentős szerepet tölt be, különösen a villamos energiatermelésben, a fúziós energiatermelés még csak a jövő reménye.

A megújuló energiaforrások listája nagyon hosszú: hidroeletromos, szél, napsugárzás, árapály, hullámmás, biomassa, geotermikus, de ezek közül jelenleg jelentős szerepe csak a hidroeletromos erőműveknek van.

Készletek

Az egyes energiaforrások értékelésénél nagyon fontos, hogy milyen készletek állnak rendelkezésünkre. Az alábbiakban nagyon durva, nagyságrendi becslést adunk arra

4. ábra. Az egyes energiahordozók felhasználásával termelt villamos energia költsége az erőmű méretének függvényében [1]



1. táblázat

Az energiahordozók készleteire vonatkozó nagyságrendi becslések		
energiahordozó		hány évre áll rendelkezésre
fosszilis	kőolaj, földgáz	~ 10 év
	szén	~ 100 év
nukleáris	hasadási fúziós	~ 100 év gyakorlatilag kimeríthetetlen
megújuló		kimeríthetetlen

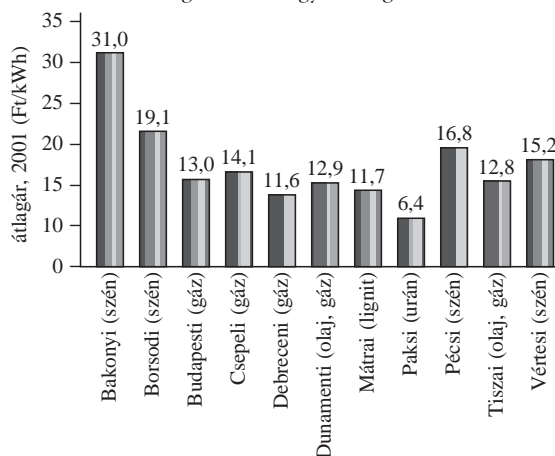
vonatkozólag, hogy a jelenlegi egyes energiaforrások milyen időtávra elegendők. Ezek a becslések nagyon durva, tájékoztató jellegűek, hiszen a konkrét körülményektől, hogy például a nukleáris erőművek milyen típusúak, vagy milyen hasadó anyagot használnak fel, attól nagyon sok függ, bizonyos esetekben nagyságrendi változások is előfordulhatnak (1. táblázat).

Itt kell megemlítenünk, hogy az egyes energiahordozó készleteknél nemcsak arról van szó, hogy mikor merülnek ki, hanem arról is, hogy akkor, amikor még ugyan nem merülnek ki, kitermelésük egyre drágább, és amint fogyatkoznak, egyre elkeseredettebb a küzdelem a lelőhelyek birtoklásáért. Mindennek már tanúi vagyunk napjainkban is, amikor egyre feljebb kúszik a kőolaj ára, és véres háborúk okai között is jelentős szerepet játszik. Ismeretes ugyanis, hogy mint a Föld más kincsei, a kőolaj sem egyenletesen oszlik el a Földön, hanem nagyon is koncentráltan található, fő lelőhelyei a Közel-Keleten vannak.

Gazdaságosság

Amit a készletekre vonatkozóan elmondtunk, legalább annyira érvényes arra is, hogy az egyes energiaforrásokból milyen költséggel nyerhetünk energiát. A konkrét körülményektől – tehát például, hogy milyen a szén fajtája vagy az erőmű technikai megoldása, mérete stb. – nagyon sok függ (4. ábra). Általában azt lehet mondani, hogy – legalább is jelenleg – a megújuló források drágábbak, sőt egyes esetekben jelentősen drágábbak. A hazai helyzetet a különböző erőművek esetében az 5. ábra mutatja.

5. ábra. A villamosenergia-árak a magyarországi erőművek esetében [3]



Az elektromos energiatermelés járulékos költségei (eurocent/kWh)* [4]

ország	szén, lignit	kőolaj	nukleáris	hidroelektromos	fotoelektromos	szél
Belgium	4–15		0,5			
Németország	3–6	5–8	0,2		0,6	0,05
Dánia	4–7					0,1
Franciaország	7–10	8–11	0,3	1		
Görögország	5–8	3–5		1		0,25
Hollandia	3–4		0,7			
Portugália	4–7			0,03		
Svédország	2–4			0–0,7		
Egyesült Királyság	4–7	3–5	0,25			0,15

* Közegészségügyi, foglalkozási ártalmak, károsodások a környezeti anyagokban, klímaváltozás stb.

Az árak kiszámításánál általában csak a közvetlen költségekkel szoktak foglalkozni, de a közegészségügyi, foglalkozási ártalmakat, a környezeti anyagokban jelentkező károsodást, a klímaváltozást stb. nem veszik figyelembe, pedig ezek is megfogalmazhatók a gazdaság nyelvén. Erre vonatkozólag lásd a 2. táblázatot.

Technikai megfontolások

Részletes tárgyalásra nem törekedhetünk itt, csak utalunk arra, hogy a technika állandóan változik, fejlődik, és konkrét döntésnél az adott helyen rendelkezésre álló technikai színvonalat kell figyelembe venni. Ide számíthatók például az olyan körülmények, hogy az adott helyen vagy annak közelében (az adott országban) milyen minőségű szén áll rendelkezésre.

Másrészt nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy például a szél, a napsugárzás stb. intenzitása földrajzilag és helyi adottságoknak megfelelően változó, ugyanakkor időleges, mert a szeles helyeken sincs állandóan szél, és a napsugárzás is változik, nemcsak földrajzi tényezők és az évszakok változásának megfelelően, de az aktuális meteorológiai helyzet következtében is. Viszont a nukleáris erőművek állandó terhelést kívánnak, tehát gondoskodni kell arról, hogy a változó fogyasztás valamiképpen kiegyenlítésre kerüljön.

Kockázatok, környezetszennyezés

Az energiaforrások értékelésénél nagyon fontos szempont, hogy felhasználásuk a természeti környezetre és az emberi társadalomra nézve milyen káros hatással, illetve milyen kockázatokkal jár.

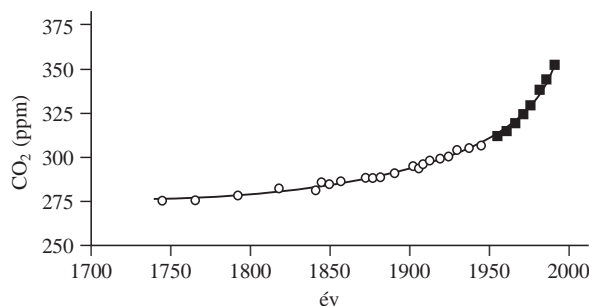
A fosszilis energiahordozók esetében a legnagyobb probléma a szén-dioxid keletkezése, amely a 6. ábra szerint állandóan növekszik a Föld légkörében, és ez ismeretesen melegbírással jár a Földre nézve, melynek következtében jelentős változások következhetnek be például a tengerszint emelkedésében, a földi klíma megváltozásában stb. Ennek mértéke – és egyes szakértők szerint egyáltalán a hatás jelentkezése is – vitatott. A szóban forgó energiahordozók ugyanakkor káros kén- és nitrogénvegyületeket is bocsátanak ki a légkörbe, amelyeknek megkötése az erőművekben nagyon nehéz és

költséges. Az viszont alig kerülhető el, hogy ezeknek az erőműveknek (szénerőművek!) a salakanyagai ne vigyenek jelentős mennyiségű, de általában nem mindig könnyen kimutatható rákkeltő anyagokat, nehéz fémeket a környezetbe. Fontos megemlíteni azt is, hogy számos szénfajta esetében jelentős radioaktivitás is kerül a környezetbe. Az egyes szénfajták között itt több tízszeres vagy akár százszoros különbség is lehet.

A nukleáris (hasadási) energiatermelés esetében a legnagyobb problémát a kiégett fűtőelemek, a keletkező radioaktív hulladék jelenti. Szakemberek szerint ez a kérdés tulajdonképpen megoldott, mert megfelelő geológiai rétegekbe helyezve a földtörténeti tapasztalatok szerint akár hosszú évmilliókig is annak veszélye nélkül tárolhatók a radioaktív hulladékok, hogy a természet körforgásába kerüljenek. Tény viszont, hogy ezen anyagok egy részének lebomlása valóban évmilliókig eltarthat. Ezért folynak a kísérletek olyan nukleáris berendezésekkel kapcsolatban, amelyekben a hosszú radioaktív felezési idejű hulladék rövid felezési idejűvé alakítható át, és így a hosszú idejű raktározás nem jelent már problémát.

A nukleáris erőművek esetében a társadalmi félelmek másik oka a nukleáris balesetek előfordulása. Csernobil után ez érthető, de tudni kell, hogy a csernobili erőmű olyan típusú volt, hogy a fejlett nyugati országokban ezt a típust, pláne védőburok nélkül nem is engedték volna üzembe helyezni. Továbbá, a szóban forgó baleset óta igen nagy mértékben tovább nőtt a nukleáris erőművek biztonsága.

6. ábra. A szén-dioxid mennyisége a légkörben az 1700-as évektől 2000-ig [1]



3. táblázat	
Különböző nukleáris cselekedetek révén szétszórt radioaktivitásból származó, az emberiséget ért/érő sugárdózisok (1000 sievert/fő) [5]	
1945 Hiroshima, atombomba	1
1961 Novaja Zemlja, légköri hidrogénbomba-kísérlet	1000
1969 Harrisburg, atomerőmű-üzemzavar	0,04
1986 Csernobil, atomerőmű-baleset	600
1945–1980 összes légköri atombomba-kísérlet	30000
repülőutazások	évente 10
orvosi sugárdiagnosztika	évente 1600
orvosi izotópdiagnosztika	évente 160
orvosi sugárterápia	évente 1500
szénipar	évente 110
atomipar lakosságot érő dózisa	évente 10
atomipari dolgozók dózisa	évente 20
természetes háttérsugárzás	évente 7000

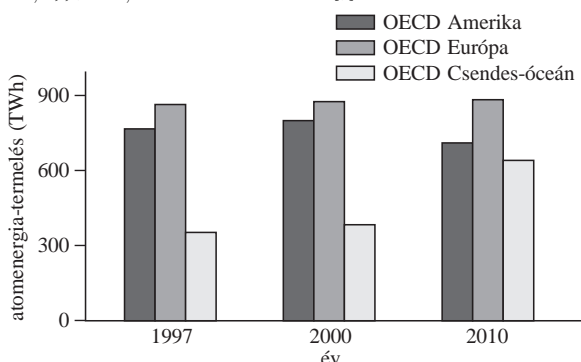
Végül meg kell jegyezni, hogy a nukleáris erőművek esetében a levegőszennyezés teljesen elhanyagolható (különösen, viszonyítva a fosszilis energiahordozókkal működő erőművekhez, és ez a szennyeződés, tudniillik a radioaktivitás könnyen mérhető, ellenőrizhető).

A 3. táblázatban az ENSZ adatai alapján mutatjuk be, hogy az atomerőművi balesetek, illetve különböző emberi tevékenységek következtében az emberiség mekkora sugárdózist kapott. Vannak arra vonatkozó számítások is, hogy a különböző energiahordozók segítségével folytatott energiatermelés milyen halálozás/év kockázattal jár (lásd a 4. táblázatot).

Társadalmi elfogadottság

Társadalmunkban közkeletű egy olyan hiedelem, hogy a fejlett országok elutasítják a nukleáris energiát. Ez még Európára sem teljesen igaz, hiszen Franciaországban a villamos energiaellátás mintegy 80%-át nukleáris erőművek szolgáltatják, és semmiféle jelentős, ez ellen tiltakozó mozgalomról nem lehet hallani, Finnországban pedig most is épül nukleáris erőmű. Egyébként azok az országok is, mint Svédország vagy Németország, amelyek

7. ábra. Energiatermelés nukleáris erőművekkel az OECD három régiójában, 1997-ben, 2000-ben és 2010-ben [7]



4. táblázat		
Halálozás/év 1000 MW-ra és 75%-os terhelésre számítva [6]		
szén	kőolaj	nukleáris
0,47–2,13	0,1–1,28	0,05–0,43

konkrét dátumot tűztek ki a nukleáris erőművek felszámolására, bajban vannak, keresik a megoldást, mert egyelőre nem látszik tényleges lehetőség az így kieső energiaszolgáltatás pótlására.

A nukleáris energia még inkább előtérben van a Távol-Keleten, hiszen Japánnak gyakorlatilag semmilyen más energiaforrása nincs, és Kínában is feltétlenül szükség van a nukleáris energia felhasználására (lásd a 7. ábrát).

A különböző energiaforrások alkalmazásával kapcsolatban vannak, és feltétlenül kell is, hogy legyenek racionális megfontolások a környezeti károkról és a társadalom fenyegető különböző veszélyekre vonatkozólag. A helyzet azonban az, hogy sok esetben az irracionális félelmek sokkal inkább befolyásolják az emberek magatartását. Helyesen állapította meg *Maurice Tubiana*: „A mindennapi magatartást elsődlegesen a szokás, a hiedelmek, a félelmek és a mítoszok befolyásolják, nem az információk adatszerűségeinek logikája.”

Egyébként is a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatban – amelyek különben nélkülözhetetlenek, és minden bizonnyal még többet kellene, hogy áldozzon a társadalom ezek kutatására és fejlesztésére – sok megalapozatlan optimizmust táplál a közvélemény. Ezzel kapcsolatban érdemes idézni *Vajda Györgyöt*, egyik legkitűnőbb energetikai szakemberünket. „A megújuló energiafajták közvetlenül alig szennyezik a levegőt, de a közvetett szennyezés jelentős, elsősorban a nagymennyiségű szerkezeti anyagszükséglet miatt (egy naperőmű például fajlagosan hatszor annyi betont és 30–150-szer annyi fémot igényelne, mint egy hagyományos hőerőmű).” „... fajlagosan a legtöbb veszélyes hulladék a napelemek anyagából kerül ki, de a szénbamu is tartalmaz néhány száz t/GW-a veszélyes nehézfém-vegyületet.”

Etikai megfontolások, felelős döntések

Amikor egy-egy energiaforrás felhasználásával kapcsolatban döntést hozunk, soha nemcsak a pillanatnyi igényeket és veszélyeket kell számba venni, hanem azt is, hogy ezek mit jelentenek a jövő szempontjából, milyen károkat, veszélyeket okoznak a jövő nemzedékeknek.

Mindenesetre, mint már az előbbieken többször is céloztunk erre, mindig figyelembe kell venni az adott lokális feltételeket, például, hogy egyáltalán milyen energiaforrások állnak rendelkezésre az adott környezetben. Van-e például elegendő széles nap, és elég erős-e ez a szél, vagy ha szén áll rendelkezésre, akkor az milyen szén, milyen szennyezések – például mennyi benne a radioaktivitás – kerülnek végül is a környezetbe. Egyáltalán figyelembe kell venni, hogy ki tudjuk-e elégíteni a társadalom jogos energiaigényeit az adott környezetben. És ebben a vonatkozásban világosnak látszik, hogy a nukleáris energiát aligha nélkülözheti a társadalom.

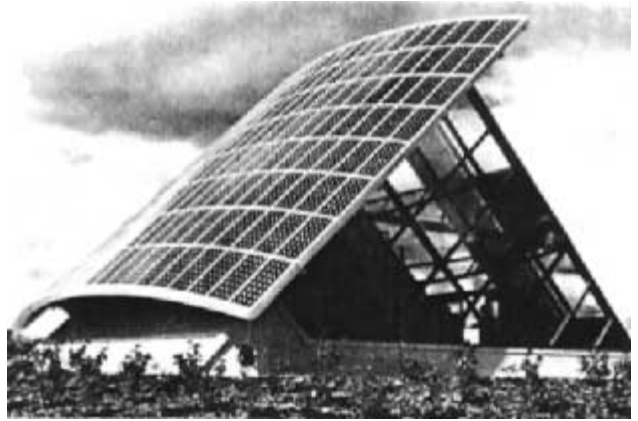


10. ábra. Naperómű White Cliffsben (New South Wales, Ausztrália) [8]

felhasználó források tekintetében nem várható már a Földön komoly bővülés, mert az ilyen irányú lehetőségek gyakorlatilag már most is felhasználásra kerülnek.

A napenergia használatát illetően mindenekelőtt azt jegyezzük meg, hogy ez meglehetősen „híg” forrás, 1 négyzetkilométerre átlagosan 1,6 Watt jut a Föld felszínre, aminek nyilvánvaló következménye a nagyterületek építése. Mindenesetre a felhasználásnak két fő formája van, az egyik a gyűjtőtükrökkel a fókuszba összegyűjtött hőenergia és ennek további felhasználása. Ilyen példát lehet említeni Franciaországban (Odeillo), ahol 1000 kW-os erőmű működik. A 10. ábránk egy másik ilyen naperóművet mutat, amelyik Ausztráliában épült fel. A másik út a fotoelektromos cellák alkalmazása. Egy ilyennek fényképét láthatjuk a 11. ábrán. Nem térhetünk itt ki a különböző megoldásoknál jelentkező összes előnyre és hátrányra, csak annyit jegyezzünk meg, hogy például a gyűjtőtükrös megoldásnál a hatalmas tükrök felszerelése sok problémával, balesettel jár, továbbá a tükrök egy idő után lemattulnak, és ezek újracsiszolása nem kis problémát jelent. A fotoelektromos cellák pedig egyelőre meglehetősen drágák, előállításuk pedig jelentős környezetszennyezéssel és relatíve nagy energiabefektetéssel jár. Érdekességképpen bemutatunk egy debreceni újságban megjelent hirdetést (12. ábra), amely egy olyan céget reklámoz, amelyik Debrecenben székel, és a napenergia felhasználását vállalja meglévő biztosságra és fűtési kiegészítésre.

12. ábra. Egy debreceni cég hirdetése a napenergia felhasználására



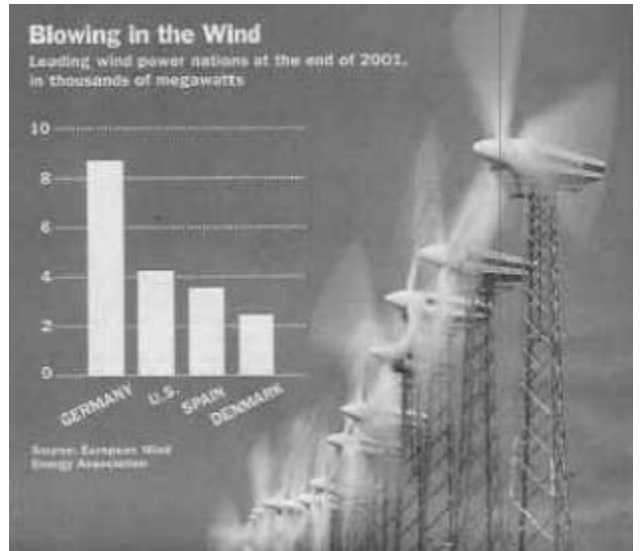
11. ábra. Fotoelektromos cellák egy birminghami épület tetején [9]

A szélenergiát az emberiség korábban nagymértékben használta (vitorlás hajók, szélmalmok), később azután mintha feledésbe ment volna. Ma ez egyre jobban előtérbe kerül ismét, és a szélenergia világon történő felhasználásának 90%-a Európában történik. Érdemes ezzel kapcsolatban megnézni a 13. ábrát.

Az árapály energiájának felhasználására is történnek kísérletek. Itt azt kell megemlítenünk, hogy az árapály mértéke nagyon különbözik az egyes tengerpartokon: van, ahol csak néhány centiméter, de van, ahol viszont jelentős. Az egyik ilyen kísérleti erőmű 240 MW-os a Rance folyó torkolatánál Franciaországban.

A biomassza, biogáz, bioüzemanyag felhasználása különböző megoldásokat foglal magába. A legősibb a fa eltüzelése. Jelenleg viszont komoly kísérletek folynak, hogy a háztartási hulladékból biogázt termeljenek, és hogy ezt a gázt éppen úgy használják a gyakorlatban, mint a földgázt. További lehetőség, hogy egyenesen olyan növényeket termeljünk, amelyekből azután alkoholt állíthatunk elő, és az alkoholt használjuk mint energiaforrást. E téren is komoly kísérletek, sőt eredmények vannak már. Kérdéses persze, hogy a termőföldből az emberiség mennyit szánhat ilyen célra. Megjegyzem, hogy erre vonatkozó

13. ábra. Egyes országok részvétele a szélenergia kihasználásában [10]



kísérletek már jóval korábban is voltak, ezt az üzemanyagot *motalkónak* nevezték, amely szóban az „alko” jelzi, hogy az üzemanyag egyik alkotórésze alkohol volt.

A *tenger hullámvázásának vagy a geotermikus energiának* a felhasználását is kutatják, de azt mondhatjuk, hogy ezek még eléggé „gyermekcipőben” járnak, bár az utóbbival 1997-ben már 34 TWh elektromos energiát termeltek a Földön [12] és legkézenfekvőbb felhasználása a melegvizet gyógyfürdőkben történik.

Közlekedés

Jelenleg a kőolaj jelentőségét – többek között – az adja meg, hogy szinte kizárólag – nem tekintve a földgáz ilyen jellegű felhasználását – ez használható a közlekedési eszközök energiaforrásként. Éppen ezért manapság nagyon nagy reményeket fűznek a *hidrogénhez mint üzemanyaghoz*, amely oxigénnel egyesülve a környezetre egyáltalán nem káros vizet eredményez mint hulladékot, miközben energiát szolgáltat. Ennek a kérdésnek egyre hatalmasabb irodalma és pozitív kísérleti eredményei vannak. A fűtőanyagcellának is számos típusa, amelyben az a bizonyos energiát szolgáltató hidrogén–oxigén egyesülés megtörténik. Úgy tűnik, hogy jelenleg az ilyen üzemanyaggal hajtott közlekedési eszközök kérdése műszakilag teljesen megoldott, kísérleti példányok rendelkezésre állnak, csupán arra volna szükség, hogy hidrogéntöltő állomások hálózata álljon rendelkezésre az utak mentén. Meg kell azonban említeni, hogy a hidrogén tulajdonképpen másodlagos energiaforrás, amelyet nagy energiabefektetéssel kell előállítani. Ez pedig vagy elektrolízissel, vagy magas hőmérsékleten (>1000 °C) szénhidrogénekből történik, mely utóbbi során hidrogén és szén-dioxid képződik (lásd részletesebben [11]). A hidrogén üzemanyag jelentősége tehát elsősorban az, hogy azokat az energiaforrásokat, amelyeket a közlekedésben nem lehet használni, *transzformálja* a közlekedésben használható energiaforrássá.

Meg kell még említenünk az *elektromos autót*, amely akkumulátorokkal működik, de van „hibrid” változata is, amely részben akkumulátor meghajtású, részben benzint is használ üzemanyagként. A fő probléma itt a megfelelő akkumulátorok megtalálása, amelyek általában nagy térfogatot igényelnek, súlyosak és drágák. Ehhez járul még az a tény, hogy ez is csak másodlagos megoldás, mert az akkumulátorokat fel kell tölteni, és ehhez is hiányzik a feltöltő állomások út menti hálózata.

Hogyan tovább?

Ha végig tekintjük mindazt, amit az eddigiekben próbáltunk összefoglalni, nem lehet eléggé, és újra és újra hangsúlyozni a kutatás fontosságát mind az alap kutatások, mind az alkalmazott kutatások és a fejlesztések területén az energiakérdés megoldásában. Nem lehetetlen, hogy a megoldás most is, mint oly sokszor az emberiség és a tudomány története folyamán onnan fog jönni, olyan felfedezésekből, amelyeket ma nem is látunk előre. Ugyancsak újra kell hangsúlyozni az egyes döntések során a racionális megfontolásokat, hogy a veszélyeket se le ne becsüljük, se el ne túlozzuk, hanem reálisan vegyük figyelembe.

Végül nagyon fontos, hogy ne pazaroljuk az emberi kreativitást, a kutatási tehetséget és kapacitást. Vagyis ne

6. táblázat

Az energiafogyasztás hatása a Földön „nap” egységekben [13]

10^{-4}	jelenlegi (az egész Földre vonatkoztatva)
10^{-3}	jelenlegi (az USA-ra vonatkoztatva)
10^{-2}	1 °C átlaghőmérséklet-emelkedés a Földön
10^{-1}	testhőmérsékletnek megfelelő az átlagos hőmérséklet
1	a forró víznek megfelelő az átlagos hőmérséklet

felcsigázott luxusigények kielégítésére törekedve pazaroljuk el kutatóintézmények és kutatók értékes energiáit. Még fontosabb, hogy csökkentsük a katonai kutatásokra fordított összegeket a Földön, amelyek végül is nem az építésre, hanem a pusztításra koncentrálnak. Egyébként közgazdászok kimutatták, hogy – a közhiedelemmel ismét csak ellentétben – ha a katonai kutatások végül hasznosulnak is a polgári életben, ezek a polgári problémák megoldása szempontjából nagyon költséges megoldást jelentenek. Ha ugyanezeket az összegeket és kutatási kapacitást közvetlenül a polgári problémák, az emberiséget ténylegesen érintő feladatok megoldására fordítanánk, az sokkal gazdaságosabb volna.

Korlátaink

Nem lehet eléggé hangsúlyozni végül, hogy bármilyen energiaforrást is választunk, távolról sem lehet a végtelenségig növelni az energiafelhasználást a Földön. A 6. táblázatunk mutatja, hogy az egyre nagyobb energiafelhasználás milyen hatással, illetve kockázatokkal jár az emberiség szempontjából. Egységnek itt azt tekintettük, hogy összesen mennyi energia jut bizonyos idő alatt a Föld teljes felületére. Vagyis, ha az egész Földön mindenki annyi energiát fogyasztana, mint az USA-ban, akkor már a Földön az átlag hőmérséklet körülbelül 1 °C-kal emelkedne. Ennek káros, helyenként katasztrofális hatását a CO₂ légköri felgyűlésével kapcsolatosan tanulmányozzák.

Láthatjuk tehát, hogy vannak korlátaink, és igényeinket ezeknek a korlátoknak a figyelembe vételével kell alakítanunk annak tekintetbe vételével, hogy minden embernek egyformán van joga ahhoz, hogy emberhez méltó életet éljen.

Irodalom

1. D.R.O. MORRISON: *World Energy in the Next Century* – 43rd Pugwash Conference, 9–15 June 1993, Rasse-ludden, Sweden, Working paper No. 197
2. BERÉNYI DÉNES – Debreceni Szemle 7(2000) 495
3. MAYER GYÖRGY – Magyar Nemzet, 2001. dec. 10. szám
4. RTD Info-Magazine for European Research No. 35, Oct. 2002
5. MARX GYÖRGY – Debreceni Szemle 5(1997) 163
6. IAEA Bulletin 22/5–6 127
7. NEA Annual Report, Paris, 1997
8. BÜKI GERGELY – magánközlés
9. *Energy, the Environment and Sustainable Development, Key Action 21* alapján
10. J. AUDOUZE – The UNESCO Courier, May 1998, p. 8
11. RTD info, February 2000, p. 33
12. A.R. KATZ – The Wall Street Journal Europe, May 17–19, 2002. p. A12
13. RTD info, August 2004
14. J. AUDOUZE – UNESCO, CIP/BIO/CMECST/Rep. 1, Paris, 19 Dec. 1997
15. KESZTHELYI LAJOS – magánközlés