

A 21. században a világ energiahelyzetében jelentős szerkezeti átalakulások várhatók. Talán a legfontosabb a felhasználás regionális átrendeződése, aminek következtében az energiapolitika súlypontja a fejlődő világra helyeződik át. Jelenleg a fejlődő világra jut az összes energiafelhasználás harmada, ez az arány néhány évtizeden belül meg fogja haladni az 50%-ot, és a régió növekvő, majd meghatározó szerephez jut a világ energiaviszonyainak alakításában.

A fejlett világ energiafelhasználásának évenkénti növekedése a következő évtizedekben az energiatudatos szemlélet, az energiatakarékosságra való törekvés, valamint a magas energiaárak hatására 1% körül, vagy az alatt fog alakulni. Ugyanakkor a fejlődő világban több körülmény lényegesen gyorsabb növekedést kényszerít ki. Ezek egyike a népszaporulat. Az ENSZ demográfiai prognózisa szerint a világ népessége a jelenlegi 6,5 milliárdról a század közepére megközelíti a 10 milliárdot, a növekedés jóformán teljes mértékben a fejlődő világban következik be, mindenekelőtt a nagy megapoliszokban. A Föld minden új lakosát táplálni és ruházni kell, fedél is kell a feje fölé, szerény igénye még iparcikkekre is lehet, mindez többlet-energiafelhasználással jár.

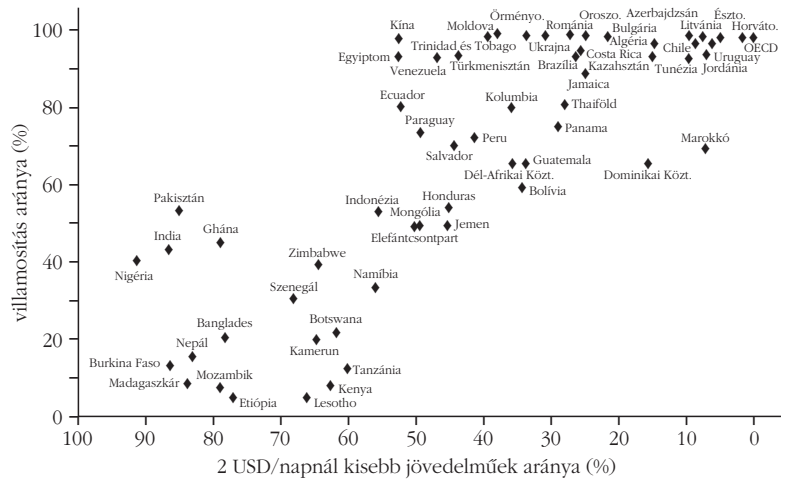
Egy másik kényszerítő körülmény az elmaradottságot és mostoha életkörülményeket okozó gazdasági leszakadás, ami nem független az energia rendelkezésre állásától. Az IEA (International Energy Agency, Nemzetközi Energiaügynökség) vizsgálata (1. ábra) például korrelációt mutat a villamosítás mértéke és a szegénység aránya között – szegénynek tekintve a napi 2 USD-nél kevesebből élőket (a nagyon szegények jövedelme napi 1 USD-nél is kevesebb). Jelenleg az emberiségnek mintegy negyede él a fejlődő világ olyan térségében, ahová nem jut el a villany. Ennek súlyos következményei vannak, például villany nélkül nem alakítható ki megfelelő infrastruktúra, többek között nem biztosítható jó minőségű ivóvíz, és bénák az egészségi ellátáshoz szükséges eszközök. Villany nélkül nem lehet hírközlést és informatikát létrehozni, ezek nélkül az emberek el vannak zárva a külvilágtól, tájékoztatlanok a világ fejlődéséről, az új lehetőségekről, mindez visszahat az oktatásra és a szakmai képzésre is. Villamosság nélkül nincs ipartelepítés, ami nemcsak technikai elmaradást konzervál, hanem jelenti munkahelyek és jövedelem-szerzési lehetőségek hiányát is.

Egy további – az emberiség harmadát érintő – példa az energiahelyzet és a szegénység kapcsolatára (2. ábra), hogy ahol az emberek nem jutnak hozzá kereskedelembe for-

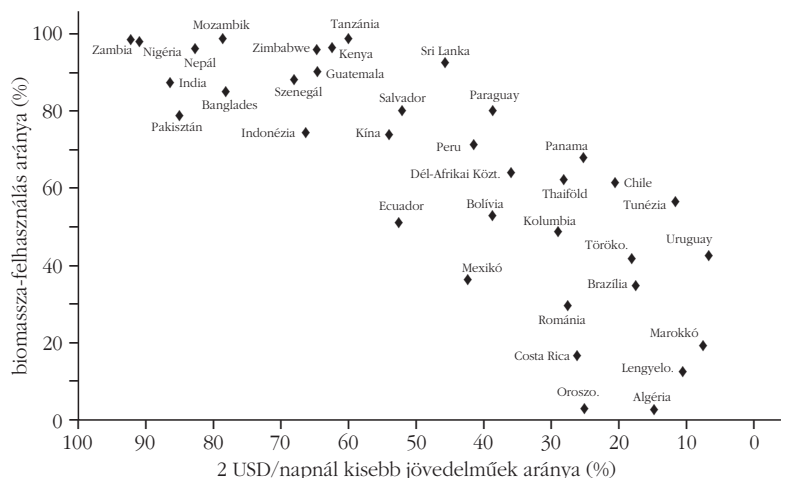
galmozott energiahordozókhoz, ott a környezetükben található éghető anyagokkal főznek, fűtenek, melegítenek. Ez is az elmaradottságot konzerválja, akadályozva az ipar és a közlekedés kívánatos mértékű fejlesztését.

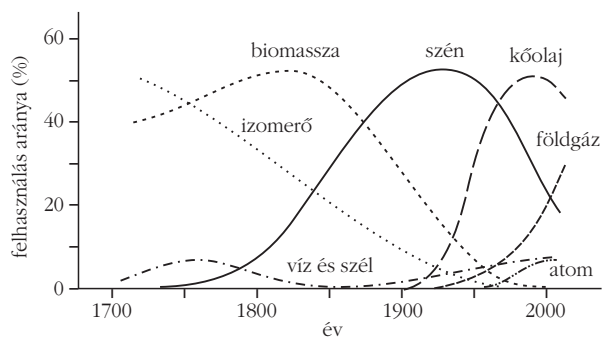
Az elmaradottság csökkentése a fejlett világnak is érdeke, mert az a melegágya a gazdasági migrációnak, az etnikai konfliktusoknak, a fundamentalizmusnak, a terrorizmusnak, vagyis mindazon jelenségeknek, amelyekről a fejlett országok rettegnek. A fejlődő világ jó néhány országa már elindult a felzárkózás irányába. Kína évente 8–9%-kal növeli energiafelhasználását, India 3–4%-kal, és számos más országban (Brazília, Indonézia, Pakisztán, Mexikó, a kistigrisek, egyes olajországok stb.) a világtátlagnál sokkal gyorsabb a fejlődés. Módosul a gépipari termékek piaca is, már a következő öt évben is a fejlődő világba irányul a világ energetikai gépgyártási termékeinek harmada. Az átrendeződésnek lehetnek előre nem látható következményei is. Például az energiaellátás exportrelációinak módosulása, a világ olajellátásában a 2004. évi zavar egyik oka a kínai és indiai import gyors növekedése

1. ábra. Kapcsolat a szegénység és a villamosítás között



2. ábra. Kapcsolat a szegénység és a lakosság biomassza-felhasználása között





3. ábra. Az energiafelhasználás szerkezete

volt (Kína olajimportja 2003-ban 38%-kal nőtt). Az üvegházhatás mérséklésével kapcsolatos politikát is befolyásolhatja, hogy Kína és India hatalmas szénvagyonának gyorsított kitermelésével kívánja energiagondjait enyhíteni, és őket nem terheli kötelezettség a szén-dioxid-kibocsátás mérséklésére.

Ugyancsak jelentős átrendeződés várható az energia-szerkezetben. A 3. ábra sematikusan mutatja, hogy az idő folyamán hogyan adták tovább a stafétabotot a különböző energiahordozók az emberiség energiaszükségletének kielégítése érdekében. Ennek során egyes energiahordozók nem azért szorultak háttérbe, mert a forrásaik elapadtak, hanem felhasználhatóvá vált egy előnyösebb műszaki és gazdasági tulajdonságokkal jellemezhető másik energiahordozó. A változásoknak tetemes időigénye volt, ahogy az alapvető energetikai létesítmények hosszú élettartama az átrendeződést lehetővé tette.

Az energiaszerkezet átalakulása a világ energiaigényének folyamatos növekedése közben zajlott. Ez a növekedés a 21. században tovább fog folytatódni, valószínűleg a korábbinál lassabban. De a kisebb növekedési ütem is hatalmas energiafelhasználást jelent, olajjegyentékben mérve a század száz éve alatt jó néhány billió tonnát. E hatalmas energiaéhség kielégítése nem ígérkezik könnyű feladatnak.

Jelenleg a világ energiaszükségletének mintegy 80%-át ásványi tüzelőanyagokkal – kőolajjal, földgázzal, szénnel – fedezik. E tüzelőanyagok dominanciája még hosszú ideig megmarad, de szerepük az energiamérlegben módosulni fog. Ha a gazdasági szempontokat figyelmen kívül hagyva összegezzük a világ művelelő és reménybeli ásványi eredetű tüzelőanyag-vagyonát, akkor az összevethető a 21. század kumulált szükségletével. Megalapozottnak tűnnek a prognózisok e tüzelőanyagok termelésének bővülésére a következő évtizedekben, bár vannak előrejelzések a kőolaj- és a földgáztermelés beszűkülésére néhány évtizeden belül. A világ kőolajtermelésének 2–3 évtizeden belüli tetőzését feltételező jóslatok arra alapulnak, hogy csökkent egyrészt a földtani kutatások találati valószínűsége, másrészt a legnagyobb olajmezők hozama. A feltételezést kétségesse teszi, hogy hasonló prognózisok szinte végigkísérték a 20. századot, miközben a világtermelés a század eleji néhány millió tonnáról a századvég néhány milliárdos termelésére nőtt. A század utolsó évtizedeiben pedig a vagyon egyenesen gyorsabban nőtt a termelésnél, nem kis mértékben a mélytengeri előfordulá-

sok kiaknázhatóvá válásának köszönhetően (a Mexikói-öbölben már 3 km mély tenger alól folyik termelés).

Ha mégis beszűkülne a kőolajellátás, vannak lehetőségek – nem olcsón – a közlekedés üzemanyag-ellátásának megoldására. A nem konvencionális olajelőfordulások (bitumenes homok, olajpala) vagyona meghaladja a hagyományost. Ilyen kőzetekből – melyekben a folyékony fázis erősebben kötődik a szilárdhoz – a kinyerhető nehézőlaj termelése Kanadában és Venezuelában folyik. Vannak eljárások a szén cseppfolyósítására, így gyártott műbenzint Németország és Japán a második világháború idején, valamint a Dél-Afrikai Köztársaság az apartheid miatti embargó évtizedeiben. Ugyancsak előállítható folyékony üzemanyag földgázból, és üzemanyagként használható PB-gáz is. Nagy cukor-, illetve keményítőtartalmú biomasszából alkoholok (pl. etanol, metanol), olajos magvakból észterek (pl. biodízel) állíthatók elő. Az Európai Unió a biomasszából gyártott üzemanyagok arányát az évtized végéig 3,75%-ra kívánja növelni. Brazília egy nagyléptékű program segítségével etanol használatára térítette át gépkocsiforgalmának jelentős részét. Több országban forgalmaznak benzín-etanol keveréket, a második világháborúban motalkol néven árusították Magyarországon is. És a háttérben ott van a hidrogén ígérete, ami az energiabázist nem bővíti ugyan, hiszen vegyületekből (víz, szénhidrogének) kell kinyerni, több energia befektetésével, mint amennyi az égésénél felszabadul. De átalakíthatja az energiaellátást, ha például atomenergiával állítják elő tengervízből, vagy ha háttérbe szorítja a belső égésű motorokat a tüzelőanyag-cellák révén. Van mód a földgáz pótlására is, nem konvencionális előfordulásokból (szénlencsék metántartalma, geonyomásos zónák, hideg tengerek metán-klatrátai), szénből szintetizált földgázzal (SNG), vagy hidrogénnel.

Az ásványi tüzelőanyagok háttérbe szorulása már megindult. A 3. ábrán látható, hogy a szén részaránya évtizedek óta csökken, ahogy hasznosítása az erőművekre és a kohászatra szorul vissza, mert azok a nagy létesítmények könnyebben elviselik a környezetszennyezést csökkentő járulékos költségeket. A szénbányászat pozíciójának megőrzésére jelentős erőfeszítéseket tesz („tisztá szén” programok). A füstgázból szennyezők (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, pernye) kivonása, illetve egyesek megkötése a tüzelésnél (fluid tüzelés) már ipari gyakorlat. A szén-elgázosításra alapuló technikák („tisztá gáz” tüzelés, elgázosításra alapuló kombinált gáz-gőz körfolyamat) most kezdenek terjedni. Meghonosodóban van az erőművi körfolyamat szuperkritikus gőzparaméterekkel, a jobb hatásfok fajlagosan csökkenti a CO<sub>2</sub> kibocsátást. Kutatják, hogyan lehet a szén-dioxidot kivonni a füstgázból és tárolni (tengervízben, leművelt szénhidrogénmezőkben, akviferekben stb.). A kőolaj részarányának mérséklődése is megindult, ahogy a magas árak miatt a kőolajtermékek kiszorultak a tüzelőberendezésekből. A legelőnyösebb tüzelőanyag, a földgáz részaránya még növekvőben van.

Az ásványi tüzelőanyagok háttérbe szorulását több körülmény idézi elő. Első helyen említendő óhatatlan drágulásuk, ahogy a legelőnyösebb előfordulások kiapadása miatt kedvezőlenebb és ezért drágábban kitermel-

hető vagyonekat kell művelésbe vonni. Jelentős a környezetvédelem szerepe, a szigorodó követelményeknek eleget tenni mind nehezebb és mind költségesebb. Közrejátszik, hogy a fenntartható fejlődés igénye erősödik az energiapolitikai állásfoglalásokban, valamint a települések döntéseiben (pl. hogy a területükre milyen létesítményeket fogadnak be). Az erőforrások kímélését, az eredeti környezet megóvását nem az ásványi tüzelőanyag termelésére és hasznosítására találták ki.

A fenntartható fejlődésnek leginkább a megújuló energiák felelnek meg, környezetszennyezésük kicsi, mivel a természetet csak a berendezések gyártása és hulladékai terhelik. Ezért támogatást érdemelnek, amire rá is szorulnak, mert ritkán versenyképesek. Ez elsősorban a magas fajlagos beruházási költségen múlik, aminek legfőbb oka, hogy ezek az energifajták diszperzek, térbeli teljesítménysűrűségük kicsi, ezért az energiát nagy felületről kell összegyűjteni, sok anyagot igénylő, nagyméretű és költséges berendezésekkel. Tovább növeli a költségeket időszakos (intermittens) jellegük. Mivel akkor is szükség van energiára, amikor nem süt a Nap, nem fúj a szél, kicsi a vízhozam vagy a terméshozam, az ilyen időszakok áthidalására vagy energiáról berendezésre, vagy más energifajttával működő tartalékkapacitásra van szükség. Az is rontja a versenyképességet, hogy – a vízerőművek kivételével – kicsi az átalakítási hatások, ezért például villany, hő, mechanikai munka szolgáltatásához energiaértékben többször annyi megújuló energia szükséges, mint tüzelőanyag.

A műszaki fejlesztés csökkenteni fogja ezeket a hátrányokat, a tüzelőanyagok drágulása is növeli a versenyképességüket, így a megújuló energia hasznosítása terjedni fog, de az illúzió, hogy kizárólag azzal megoldható az emberiség energiaproblémája. A reális lehetőségek összege sem elegendő az emberiség jelenlegi energiaszükségletének a fedezésére, még ha mellőzik is a gazdasági szempontokat. A hidrológusok szerint a Föld kihasználatlan vízfolyásaira még 2–3 TW erőműkapacitás telepíthető – ha a zöldek nem elleneznék. Ez még egy évtizedre sem fedezné a világ szükségletét új erőművekre, amik az igénynövekedés fedezetére, valamint a leselejtezésre kerülő erőművek pótlására kellenek. Hasonló potenciálra lehet számítani a szélenergiánál is. Ugyan a légtömegekben tárolt energia hatalmas, gyakorlati hasznosításra annak legfeljebb a talajszint feletti 100–200 m-es rétegre eső kicsi töredéke jöhet számításba. Erőműveket a felszínnek csak egy kis hányadára lehet telepíteni, kiesnek a terület mintegy háromnegyedét kitevő nehezen megközelíthető térségek – magas hegyek, őserdők, sivatagok (de a sekély tengerek 20–30 km-es partmenti övezete számításba jöhet), a civilizált régiókban pedig sok területet vesznek igénybe más célokra – mezőgazdasági művelésre, városok, ipartelepek, közlekedési útvonalak helyfoglalására –, a zavartatás miatt még az információátvitel csatornáit is figyelembe kell venni.

A Földön található biomassa 80%-át az erdők faállománya tartalmazza. Ésszerű erdőgazdálkodással a világon kitermelhető tűzifa energiaértéke ~100 EJ, a mezőgazdasági hulladékokból ~30 EJ nyerhető, vagyis a hasznosít-

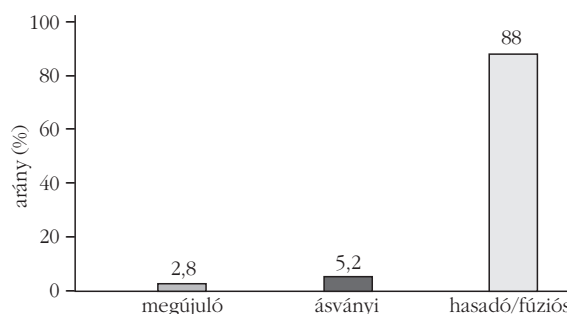
ható biomassa potenciál az emberiség jelenlegi ásványi tüzelőanyag felhasználásának a harmada. A legnehezebb a napenergia-hasznosítás lehetőségét felmérni. Az üvegházhatás, ózonlyuk, savas esők, szmogok, élővizek kipusztulása és hasonló jelenségek kapcsán megtapasztaltuk, hogy viszonylag kis emberi beavatkozással alaposan meg lehet zavarni a természet egyensúlyát. A talajszintre érő napsugárzás 1%-e szolgál a minden földi életet fenntartó fotoszintézis fedezésére, talán ugyanennyit el lehet vonni energetikai célokra is, a napenergia sokirányú szerepének sérelme nélkül. A szárazföldeket érő napsugárzás 22 PW, annak 1%-e 22 TW, a területkihasználás lehetősége körülbelül megegyezik a szélenergiáéval (bár a tengerek parti övezete elesik, viszont az épületek külső felületének egy része számításba jöhet). Ha figyelembe vesszük a napi és az évszaki szezonalitást, valamint az alacsony átalakítási hatásfokot, a napenergia hasznosítható potenciálja a világ jelenlegi energiateljesítményének csak töredékét teszi ki.

A tengerekben rejlő hatalmas potenciálok (hullámzás, áramlások, trópusi tengerek függőleges hőfokkülönbsége, folyótorkolatoknál a sókoncentráció különbsége) hasznosítására vannak kísérletek, de a technikai nehézségek miatt a siker kérdéses. Egyedül az árapályt sikerült kiaknázni, de annak összesített lehetősége nem nagy.

Biztos megoldás híján tovább kell keresni az energiabázis kibővítésének lehetőségét, így jön a képbe az atomenergia. A jelenlegi technológia nem ígér tartós megoldást, alkalmazásával a műrevaló uránvagyomból nyerhető energia a világ műrevaló olajvagyonának a harmadát sem éri el. A jelenlegi reaktorok a  $^{235}\text{U}$  izotóp láncreakciójára alapulnak. Ezen izotóp koncentrációja a természetes uránban csak 0,7%, és azt a keveset is rossz hatásfokkal hasznosítják. Szerencsére van kiút: neutronbesugárzással tenyésztanyagokból hasadóanyagok nyerhetők, így az urán 99,3%-át kitevő  $^{238}\text{U}$ -ból és a  $^{232}\text{Th}$ -ból. Ezzel hatalmas energetikai potenciál hasznosítása előtt nyílik út, ami nagyságrenddel meghaladja a 21. század szükségletét. Az atomenergetika nagy ígérete a fúzió hasznosítása, annak energetikai kihatásai felmérhetetlenek, hiszen a vízben minden 6700-ik hidrogénatom deutérium, ami a fúzió legfontosabb üzemanyaga. De a legoptimistábbak sem tétélezik fel, hogy fél évszázadnál hamarabb megteremtethető egy fúziós erőmű feltételei.

A 4. ábrán látható becslés mutatja, hogyan aránylik a 21. század energiaszükségletéhez a megújuló energiák, az ásványi tüzelőanyagok, és a hasadó anyagok reálisan

4. ábra. A 21. század energiaszükségletének kielégíthetősége



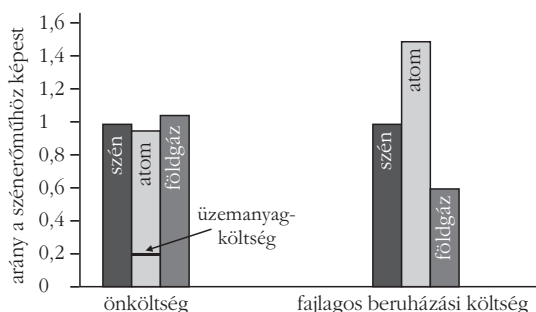
1. táblázat			
Az atomenergia-ellenesség okai és a biztonság fokozása			
	2. generáció	3. generáció	4. generáció
nukleáris biztonság	elfogadható	fokozott	inherens
radioaktív hulladékok	geológiai elhelyezés	geológiai elhelyezés (újrafeldolgozás)	transzmutáció
prolifерáció	atomsorompó és járulékos megállapodások		visszacirkulálás

figyelembe vehető potenciálja. Az ábra azt sugallja, hogy mennél messzebb tekintünk az időben, annál valószínűbb, hogy atomenergia nélkül nem oldható meg a világ energiaellátása. Ennek azonban feltétele egyrészt a társadalmi elfogadtatás, másrészt a gazdasági versenyképesség.

Az elmúlt évtizedekben a társadalom viszonya az atomenergiához ellentmondásos volt. Sok ember érezte úgy, hogy az egy kiszámíthatatlan, uralhatatlan veszélyforrás, amit mihamarabb ki kellene iktatni az emberiség életéből. Azok az országok, amelyekben ilyen nézetek uralták a közhangulatot, le is mondtak az atomenergia alkalmazásáról, egyesekben még a kifogástalanul működő atomerőművek idő előtti leszerelése is napirendre került.

Az utóbbi időben az antinukleáris álláspontok lazulása következett be. Erre utal, hogy változott az antinukleáris és pronukleáris államok között lavírozó nemzetközi szervezetek (pl. Európai Unió Bizottsága, OECD) magatartása. Korábbi óvatos távolságtartásukat („az atomenergia alkalmazása az országok belügye”) felváltotta az atomerőművek előnyeinek az elismerése, elsősorban a környezetvédelem és az ellátásbiztonság területén. A szemléltetést az energetika területén jelentkező nyomasztó gondok (olajár hatása, importfüggés növekedése, ellátásbiztonság lazulása, kytóti vállalások teljesítésének nehezülése stb.) kényszerítették ki. A korábbi antinukleáris felfogás enyhülése is tapasztalható némely országban. A legnagyobb változás az Egyesült Államokban következett be, ahol a Three Mile Island erőmű üzemzavara óta (1979) az atomerőművek megtúrt létesítményekké váltak, újak építésére senki sem mert gondolni. Pár éve viszont az atomenergetika az állami energiapolitika egyik pillérévé lépett elő, és ami még fontosabb, a lakosság túlnyomó többsége még új atomerőművek építését is támogatja. A

5. ábra. Alaperőművek relatív gazdasági mutatói



közvélemény ilyen alakulását a társadalmat sokkoló fejlemények idézték elő: az energiainport nagy aránya, az olajpiac zavarai, villamosenergia-rendszerek összeomlása, energiaszolgáltató vállalatok csődje stb.

Az atomerőművekkel kapcsolatos ellenérzéseket és félelmeket főleg három kifogás gerjeszti:

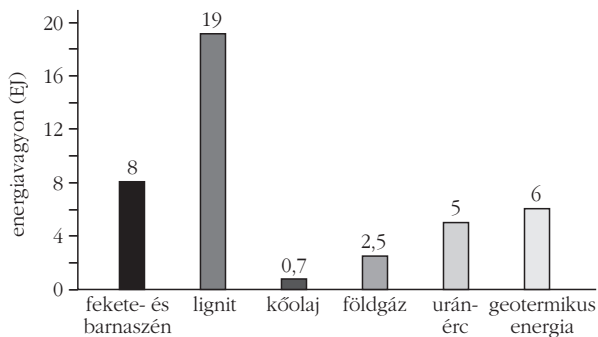
1. az atomerőművek nem elég biztonságosak,
2. a radioaktív hulladékok veszélyessége uralhatatlan,
3. az atomerőművek előmozdítják az atomfegyverek elterjedését.

Ezek a kérdések a jelenlegi – második generációsnak tekintett – atomerőművek esetében is uralhatók, amit a gyakorlati tapasztalatok is alátámasztanak (1. táblázat). Időközben kifejlesztették a harmadik generációs atomerőműveket, lényegesen kedvezőbb biztonsági és gazdasági mutatókkal. Már jó néhány ország (Finnország, Franciaország, Japán, Kína, Dél-Afrikai Köztársaság) eldöntötte ezek létesítését, az USA-ban hat konzorcium alakult ilyenek megvalósítására, a megvalósíthatósági vizsgálatok költségeinek a felét az amerikai kormány vállalta magára. Célröröző kutatás is indult olyan teljesen új elveken alapuló rendszerek kifejlesztésére, melyek okafogyottá teszik az ellenérveket. Az országok szinte sorban állnak, hogy csatlakozzanak e IV. generációs amerikai programhoz, az MTA vizsgálja részvételünk célszerűségét és lehetőségét.

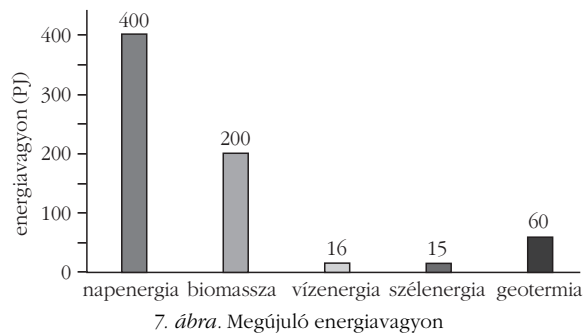
Az inherens biztonság a működési elv révén zár ki számottevő radioaktivitás kijutásával járó üzemzavarokat. A transzmutáció a hosszú felezési idejű izotópokat besugárással alakítja át rövid felezési idejű, vagy stabil izotóppokká, ezzel elenyészik a kiégett fűtőelemek tárolásával kapcsolatos gond. Az aktinidákat visszacirkuláltatva vagy energiatermelésre hasznosítják, vagy transzmutálják, így az üzemanyagciklusból nem kerül ki fegyvergyártásra használható anyag.

Az 5. ábra a német szén-, atom- és kombinált ciklusú földgáz-erőművek gazdasági mutatóit szemlélteti. A termelt villamos energia önköltsége között nincs nagy különbség, a sorrend a földgáz áráról függ. Az atomerőmű fajlagos beruházási költsége azonban kiugróan magas, annak csökkentése a versenyképesség fontos feltétele. Erre sok lehetőség és elképzelés van: tipizálás, előgyártás, védelmek és irányítástechnikai rendszerek digitalizálása, önellenőrző berendezések, passzív beavatkozó rendszerek, számítástechnika alkalmazása, nyitott tetős építés stb. A versenyképességet az élettartam hosszabbítása is növeli. Üzemelő erőműveknél erre az ad módot, hogy a fő berendezések jóval lassabban öregednek a korábban feltételezettnél, így a működtetés meghosszabbítható a biztonság veszélyeztetése nélkül.

Elvértve már előfordult atomerőművek élettartamának meghosszabbítása, de ez tömegessé az Egyesült Államokban vált. Az ott üzemelő 104 nagy blokk legtöbbször erre törekszik, több mint harmaduk már meg is kapta az engedélyt, hogy az eredetileg engedélyezett 40 éven felül további 20 évig üzemben maradhassanak. Mivel ezek az erőművek eredeti élettartamuk során az alapterhelés tőkeköltségeit (az önköltség 60–70%-a) már leírták, a hosszabbított időszakban az önköltség domináns része a fűtőelemek ára (15–20%), amihez hasonló mértékű üze-



6. ábra. Magyar ellátottság ásványi energiáhozódozókból



7. ábra. Megújuló energiavagyon

meltetési és karbantartási költség járul. Vagyis ebben az időszakban olcsóbban termelik a villamos energiát minden más erőműtípusnál. Ettől nagyon megnőtt az ázió-juk, a legtöbb atomerőművet már felvásárolták olyan társaságok, melyek a régi telephelyeken új blokkokat is szándékoznak létesíteni.

Az eddigi vizsgálatok szerint a Paksi Atomerőmű élet-tartamának mintegy 20 éves hosszabbítása műszakilag megoldható, megvalósítása a szükséges társadalmi és politikai háttér megeremtésén múlik. Ez a magyar energiapolitika kulcskérdése, mivel energetikai ellátásbiztonságunk erősítésének jóformán ez az egyetlen eszköze. Az atomerőműnek tartósan stabilizáló hatása van, mivel a fűtőelemeket 4–5 év alatt „égetik” ki, és további évekre is egyszerűen tárolhatók friss fűtőelemek. Az energiáhozódozó helyettesíthetősége révén ez az energiaellátás többi területét is befolyásolja. Az élettartam hosszabbításnak az ellátásbiztonság előmozdítása mellett más hatásai is vannak: hozzájárul a szén-dioxid kibocsátásának csökkentéséhez, előmozdítja a fogyasztói tarifa mérséklését, szerepe van a beruházási feszültség csökkentésében, katalizálja a műszaki fejlesztést. A következő évtizedben már a jelenlegi blokkok pótlására vonatkozó elképzelések kialakítását is napirendre kell tűzni.

Sajnos a magyar energiavagyon nagyon szerény. Ásványi tüzelőanyagokra ezt mutatja EJ-ban a 6. ábra, e nyilvántartott vagyon tényleges felhasználhatóságának a helyzete elszomorító. Zsugorodó kőolaj- és földgázvagyonunkból a szükségleteknek egyre kisebb hányadát lehet csak fedezni. Az uránbányát be kellett zárni, mert a termelés önköltsége a világpiaci ár többszörösére nőtt. Versenyképtelensége miatt mélyműveléses szénbányászatunk leépülése a vége felé tart. Geotermikus energiából nagyhatalom vagyunk, de a legtöbb forrás hőmérséklete csak helyi hasznosításra és alacsony hőfokú igények kielégítésére ad módot. Egyedül a külfejtéssel termelhető lignit ígéretes, a Mátra–Bükk vonulat lábánál található előfordulásra érdemes is lenne ~1 GW-nyi erőművet telepíteni. A másutt található lignitvagyon kiaknázhatósága valószínűtlen, mert aligha lehet a lakosság hozzájárulását elnyerni új külfejtés létesítéséhez.

Nem jobb a helyzet a megújuló energiák terén sem. A 7. ábra az elméleti lehetőségeket szemlélteti. Reálisan a biomassza és a napenergia hasznosítása ígéretes, de megváltani ezek sem fogják a magyar energiagazdálkodást.

Hazai energiapotenciál híján behozatalra szorulunk. 2004-ben energiaszükségletünk 73%-át importból fedez-

tük, ezt az arányt a gazdasági fejlődés és az életszínvonaljavulás tovább fogja növelni (évenkénti összes energiafelhasználásunk valamivel meghaladja az 1 EJ-t). Az import sérülékeny, azt politikai, gazdasági, műszaki, időjárás, szállítási és egyéb kockázatok terhelik. Lehetőségeink a bizonytalanságok ellensúlyozására nem nagyok.

A tüzelőanyag-készletek és erőművi tartalékkapacitások csak átmeneti zavarok ellensúlyozására alkalmasak. Az Adria-vezeték lehetővé teszi kőolaj-behozatalunk forrásának módosítását, más energiáhozódozó importjának diverzifikálása korlátokba ütközik. Szállítóvezeték híján földgázimportunk helyettesítésére, sőt bővítésére sincs mód. Pedig erre szükség lenne, mert a felhasználás gyors felfutása következtében egy kemény télen zavarok is felléphetnek a földgázellátásban. Ilyenkor ugyanis az importvezeték maximálisan le vannak terhelve, és a földalatti tárolók kitáplálása csúcsra jár. Gondok alakulhatnak ki a villamosenergia-ellátásban is. Legnagyobbbrészt előregedő erőműveink pótlására a következő 10–15 évben 5–6 GW-nyi új forrásra lenne szükség, de ennek megvalósulása tisztázatlan. Kis erőművekből mintegy 0,5 GW kapacitásbővülés tetelezhető fel (főleg hőszolgáltatáshoz kapcsolva, illetve a megújuló energiákból). A villamos energia importjának növelhetőségét szomszédaink mögöttes hálózata 0,5–1 GW-ra korlátozza. A többi nagy erőművek építésével kellene fedezni, de erre nem ismeretesek szándékok, mivel hiányzik a gazdasági vonzerő. Az erőműépítés hosszú időbe telik, legfőbb ideje lenne megismerni a jövőre vonatkozó elképzeléseket.

A villamosenergia-ellátást sok bizonytalanság terheli. Ezért több lábra célszerű támaszkodni, hasznosítva minden olyan forrást, amely gazdaságosan és a társadalmi követelményeket kielégítve kiaknázható.

## Irodalom

- BP Statistical Review of World Energy 2004 – <http://www.bp.com/centres/energy>
- IEA: World energy outlook 2004 – OECD/IEA, Paris, 2005.
- M. KING HUBBERT: The energy resources of the earth – Sci. Am. 225 (1971) 61
- Magyar Geológiai Szolgálat: Magyarország Ásványi Nyersanyagvagyona – MGSz. Budapest, 2003.
- VAJDA GY.: Energiapolitika – MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, 2001.
- VAJDA GY.: A nukleáris energetika kilátásai – Fizikai Szemle 52/12 (2002) 326
- VAJDA GY.: Energiaellátás ma és holnap – MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, 2004.
- World Energy Conference: Survey of Energy Resources – WEC London, 2002.