

Vajda György

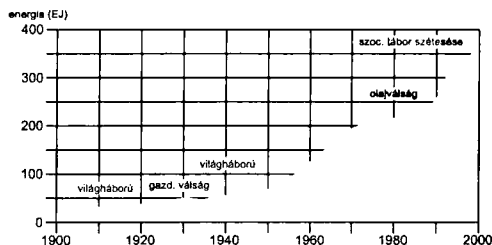
EGY ENERGIÁRA (IS) ÉHES VILÁG JÖVŐKÉPE

Erőltetett menet

Minden emberi tevékenységhez energiára van szükség. Az energiaellátás úgy szövi át a társadalmat, ahogy az érhálózat az emberi testet, biztosítva a vérben szállított anyagokkal a sejtek működését. Az energia folyamatos és lehetőleg olcsó rendelkezésre állása a fejlett társadalmak működéskéességének és a személyes élet-szükségletek kielégítésének elengedhetetlen feltétele. Ezek biztosításához a múltban szinte folyamatosan nőtt az energiaigény, napjainkra az emberiség energiaszükséglete hatalmas mértéket ért el, a világ primer energiafelhasználása 2000-ben kerekén 4×10^{20} J volt. Az igények fedezésére az előző évben 3,4 milliárd tonna kőolajat, 4,5 milliárd tonna szén, 2500 milliárd m^3 földgázt kellett kitermelni, a víz- és atomenergia-ból fejlesztett villamos energia is megfelelt az energiamérlegben 1,2 milliárd tonna kőolajnak [1]. A megújuló energiaforrások a szükségletek tízegynéhány százalékát fedezték, 1,2–1,5 milliárd tonna olajjal egyenértékű $50\text{--}65 \times 10^{18}$ J értékben, amiből 25×10^{18} J-t a vízenergia, $25\text{--}40 \times 10^{18}$ J-t a bioenergia – legnagyobbbrészt tűzifa – tett ki. A reményteljesnek tekintett egyéb energiatípusok (nap-, szél-, geotermikus, tengeri stb. energia) 1×10^{18} J-t (24 millió tonna kőolaj-egyenérték) sem értek el. A megújuló energia hasznosításának számbavételét nehezíti, hogy egyes energiahordozók (pl. tűzifa, mezőgazdasági hulladékok) hasznosítását csak becsülni lehet, mivel számottevő hányaduk nem kerül kereskedelmi forgalomba, valamint az egyéb megújuló energiák kis léptékű helyi hasznosítására sem terjed ki a statisztikai adatgyűjtés.

A múltban az emberiség energiaszükségletének szinte folyamatos növekedésében csak nagyon súlyos krízisek – pl. háborúk, gazdasági válságok – okoztak átmeneti visszaesést vagy stagnálást (1. ábra). Az 1970-es évek olajválsága felerősítette az energiatakarékos szemléletet, ennek hatására lényegesen lassult az energiafelhasználás növekedési üteme. Feltételezhető, hogy ez a 21. század energiaszükségletének az alakulásában is érvényesül, és jóval lassabban nő a világ energiafelhasználása, mint a 20.

században. Fele akkora növekedési ütemmel a 2100-as szükséglet „csak” néhány száz 10^{21} J lesz, de ez a „szerény” energiamennyiség a szárazföldre jutó napsugárzás mintegy fél százalékának felel meg. Az emberiség energiaszükséglete a 21. század végén körülbelül annyi lesz, amennyi a fotoszintézissel a biológiai élet fenntartásához kell a Földön.

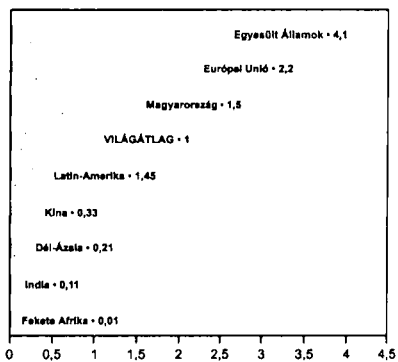


1. ábra • A világ összesített energiaszükségletének alakulása a 20. században

A 20. században az energiaszükséglet a fejlett országokban növekedett a leggyorsabban, a 21. században a fejlődő világ fogja a főszerepet játszani, a növekmény 80 %-át ott várják [2]. Egy ilyen növekedés elkerülhetetlenségét több körülmény támasztja alá. A demográfusok szerint a Föld lakossága a jelenlegi 6 milliárdról 2050-ig mintegy 8–10 milliárdra nő, 50 év múlva számos fejlődő ország (Brazília, Indonézia, Nigéria, Pakisztán, a 1,5 milliárdos Kínáról és Indiáról nem is beszélve) népessége külön-külön is meg fogja haladni az Európai Unió vagy az Egyesült Államok lakosságának a számát. Ez óhatatlanul maga után vonja az energiafelhasználás növekedését is, hiszen Földünk minden új lakosának életszükségeit csak energiabefektetés árán lehet kielégíteni. Tovább növeli a szükségletet, hogy az emberiség egyre nagyobb hányada választja a városi életmódot, az urbanizációval együtt jár a köz-művek, a közlekedés, az áruellátás, a lakásviszonyok fokozott energiaigénye.

A különböző régiók egy főre eső energiafelhasználását a 2. ábra mutatja be. Egyes térségek alacsony energiafelhasználása tükrözi

azok katasztrofális elmaradását gazdasági fejlettségben, életkörülményekben, életszínvonalban. A fajlagos energiafelhasználás a legszegényebb országokban az emberi fizikai teljesítőképesség tört része, ami a biológiai lét határán történő tengődéshez is alig elég, és amiből még az élet minimális feltételeit sem sikerül biztosítani. Jelenleg a Föld lakosságának harmada él olyan térségben, ahol nincs villany, és ahol nem hozzáférhetőek korszerű energiahordozók. Tüzelőszükségletüket ősi módszerekkel fedezik biomasszából, előidézve azt a veszélyt, hogy a növényzet kiirtása idővel lakhelyük elsvatagosodásához vagy elkarsztosodásához vezet. A hatalmas elmaradás csökkentése nemcsak az érintett országok elemi érdeke, hanem a fejlett országok saját stabilitásának megőrzése is ezt követeli. Enyhébb formában egy felénk irányuló nagymértékű migráció mérséklésére, távlatilag egy nyílt konfrontáció – akár egy nagy világégés – veszélyének elkerülésére, aminek csírái a fundamentalizmus leple alatt, valamint a regionális konfliktusok formájában már megjelentek. Mementő egy arról beszámoló újsághír, hogy a Csendes-óceán egyik kis szigetének éhes lakossága átevezett a szomszédos szigetre, ott mindenkit legyilkoltak, hogy élelmiszerhez jussanak. A gazdasági és a politikai feszültségek enyhítéséhez az elmaradt országok energiagazdaságának minél gyorsabb fejlődésére is szükség van, ami jó néhány térségben (pl. Kínában, Indiában) már meg is indult az átlagos növekedési ütem többszörösét kitevő sebességgel.



2. ábra • Régiók egy főre eső energiafelhasználásának aránya [3]

A 21. század 100 évre kumulált energiafelhasználása 10^{23} J nagyságrendűre becsülhető, ami 2,5–3 billió tonna olaj energiaértékének felel meg. Fedezni lehet-e ezt az iszonyatosan nagy energiaszükségletet – még hozzá a fenntartható fejlődés követelményének szem előtt tartásával? A Brundtland-bizottság megfogalmazása [4] szerint a jelen indokolt szükségleteit úgy kell kielégíteni, hogy ne korlátozzuk az utánunk jövő nemzedékek lehetőségeit. Az energiaellátás kulcsszerepet játszik e követelmény teljesítésében, hiszen ehhez a tevékenységhez kell a legtöbb természeti erőforrást igénybe venni, és ez jár a legtöbb környezetszennyezéssel. Az erőforrások tekintetében a fenntartható fejlődés elve megkívánja, hogy az energiaellátás ne vezessen a kimerülő energiaforrások tényleges elfogyásához, és ne korlátozza a megújulókat újratermelődését. A környezetszennyezés minimalizálása pedig az energiagazdálkodás meghatározó követelményévé vált.

Jelenleg az igények mintegy 85 %-át fosszilis ásványi tüzelőanyagokkal, kőolajjal, földgázzal, szénnel fedezzük. A világ 100 évre kumulált szüksége 2,5-3-szor annyi, amennyit a jelenleg művealóként* nyilvántartott kőolaj-, földgáz- és szénvagyon összesítve fedezni tudna. Az ásványi tüzelőanyagok közeli kimerülésétől tartva azért még nem kell a haragokat félrevernünk, mostanában a művealó vagyon gyorsabban nő, mint a felhasználás. Bővítik a vagyont a földtani kutatás által feltárt új lelőhelyek, és sok még a megkutatatlan ígéretes medence. A termelési technológia fejlődése is növeli a hozzáférhetőséget, pl. több ezer méter mély tengerek alól is tudunk már olajat és földgázt kitermelni. Növeli a kiaknázásra érdemes vagyont a gazdaságosság határköltségének az emelkedése is. Ennek tudható be, hogy az ellátottság** kőolajból a sok évtizeden keresztül érvényesülő 30 év körüli értékről 45 évre nőtt, földgázból pedig 40 évről 62 évre.

A feltételezett és reménybeli előfordulások figyelembevételével elvileg az ásványi tüzelőanyagokkal fedezhető a 21. század szükséglete

*a földtanilag részletesen megkutatott, és a jelenlegi technológiával gazdaságosan kitermelhető előfordulásokat minősítik művealónak

** a művealó vagyon és a jelenlegi termelési szint hányadosa

[5]. Ehhez azonban a kőolaj- és földgáz- vagyon maximális kitermelése mellett a meglehetősen költséges nem konvencionális lehetőségek kiaknázására is át kellene térni. A kőolaj pótlására az olajpalák és bitumenes homokok kitermelése, valamint a szén cseppfolyósítása jöhet számításba. A földgáz helyettesítésére a szénlencsékben található metán, valamint a geonómásos zónákhoz és más földtani formációkhoz kötött földgáz kiaknázása, a szén elgázosításával szintetikus földgáz gyártása, esetleg a hideg tengerekben található metánklatrátok (jégkristályszerkezetbe ágyazott metánhidrátok) hasznosítása jöhet szóba. A nagy szénvagon közvetlen kiaknázásának feltétele a kutató-fejlesztő munka sikere a környezetet nem szennyező, „tisza szén” technológiák kialakítására.

Fenntartható-e a fenntartható fejlődés?

Az erőltetett menet az ásványi tüzelőanyagok kiaknázására aligha egyeztethető össze a fenntartható fejlődés követelményével. Nem vitatható, hogy ez a tüzelőanyag-vagyon véges, és annak felélése – különösen a szénhidrogéneké – értékes és nehezen pótolható vegyipari alapanyagoktól fosztja meg utódainkat. Az intés az önmérsékletre azonban jámbor óhaj marad, ha kemény gazdasági kényszer nem támasztja alá. A gátlástalan kitermelést két körülmény fogja korlátozni, az egyik a tüzelőanyagok fokozatos drágulása, ahogy a legkedvezőbb lelőhelyek kimerülésével a drágább előfordulásokat kell termelésbe venni. A különféle olajtermelési lehetőségeket összehasonlító 1. táblázatból kitűnik, hogy a változatok önköltsége között nagyságrendi különbségek is vannak. A másik korlátot a környezetszennyezés, kivált a légszennyező égéstermékek és a szilárd hulladékok hatása okozza. A védekezés ma már nem a fejlett világ luxusa, a környezetkárosítás különféle következményei már a szegény országokat is elérték, a környezetszennyezés egészségi ártalmai tömegesen szedik áldozataikat a fejlődő világban is. A nagy megapoliszok katasztrofális egészségi helyzetéért nagyban felelős az energetika lég- és vízszennyezése, Indiában a legtöbb halálos légzőszervi megbetegedés a beltéri tüzelések miatt lép fel, Dél-Ázsiában a kéndioxid-kibocsátás okozta gyakori savas esők már a természet hozamokat veszélyeztetik. A legtöbb

légszennyező kibocsátásának korlátozására vannak bevált módszerek, a víztisztításra is vannak kiforrott eljárások, és a szilárd hulladékok szakszerű kezelése is megoldható [5]. Mindez természetesen jelentős többletköltséggel jár, tovább drágítva a tüzelőanyagok használatát. Nagy kérdés, hogy a fejlődő országok szerény anyagi lehetőségeiből mennyire tudják vállalni a környezetvédelem költségtöbbletét, különösen a széntermelés erős növelését tervező országok (Kína, India), amikor a szén a legnagyobb környezetszennyező. Jelenleg a legnagyobb aggodalmat a klímaváltozással fenyegető üvegházgázok – mindenekelőtt a széndioxid – kibocsátása okozza a füstgázban. A CO₂ leválasztására és közömbösítésére vannak ugyan elképzelések [6], de ezek távol vannak a realizálhatóságtól és a gazdaságilag elviselhető költségektől. Ha az üvegházhatás feltételezett következményei beigazolódnak – amit egyre több ismeret valószínűsít – akkor az a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásának nagyon erős korlátjává válik. Ennek érvényesítésére gazdasági eszközök (pl. széndioxid-adó, bírságok) és adminisztratív beavatkozások (kontingensek, engedélyezés) egyaránt szerephez juthatnak.

olajforrás	relatív önköltség
Perzsa-öböl, Észak-Afrika	1
Nigéria	3
Venezuela	6
Egyesült Államok	9
Alaska, Északi-tenger, Szibéria	12
olajpala, bitumenes homok	24
szén cseppfolyósítása	36

1. táblázat • Néhány olajforrás önköltségének becslült aránya

A szükségletek fedezésére a fenntartható fejlődés követelményeinek jobban megfelelő, vonzó lehetőséget képviselnek a megújuló energiák. Jelenleg nagy léptékben hasznosítják a vízenergiát és a tűzifát, és sok fejlődő országban a szerves hulladékot is, a többi megújuló energiafajta szerepe egyelőre marginális. A megújuló energia hasznosítása nehezen tör utat, mert versenyképességét rontja a viszonylag nagy fajlagos beruházási költség. Ez jórészt azon múlik, hogy a megújuló energiák teljesítménysűrűsége kicsi (2.

táblázat). Ezért viszonylag nagy méretű, sok anyagot igénylő berendezésekkel kell az energiát összegyűjteni. Tovább növeli a beruházási terhet az időszakos rendelkezésre állás, nagy léptékű hasznosítás esetén energiátárolót, vagy más energiára támaszkodó háttérkapacitást kell létesíteni azokra az időszakokra, amikor nem süt a nap, nem fúj a szél, kevés a vízhozam stb. A tüzelőanyagok drágulása javítani fogja a megújuló energiák versenyképességét, addig is fejlesztésüket és hasznosításukat ösztönözni és támogatni kell, hogy minél jobban tehermentesítsék a tüzelőanyag-használatot. E tekintetben lehetőségeink – a közhiedelemmel ellentétben – nem korlátlannak, mert a megújuló energiáknak csak egy kis hányadát lehet az energiaellátásra elvonni. Az üvegházhatás, az ózonlyuk, a savas eső, a szmog tanúsította, hogy viszonylag kis emberi beavatkozásokkal is súlyos zavarokat lehet előidézni a természeti folyamatokban, és a megújuló energiák hasznosításánál ezt is figyelembe kell venni. A napsugárzás például hőt és fényt biztosít bolygónknak, fenntartja az élet alapját jelentő fotoszintézist, működteti az időjárást, előidézi a víz körforgását stb.; vajon mennyire szabad e funkciókat mérsékelni az energiaellátás érdekében? A megújuló energiák összességének hasznosítható hányada a világ jelenlegi energiaszükségletét bizonyosan meghaladja, de a 21. század végi igény fedezésére valószínűleg már nem lenne elegendő [3]. Az átalakítási hatások jelentős javítása is elengedhetetlen, ugyanis az – a víz-erőművek kivételével – nagyon alacsony, ezért azonos szolgáltatáshoz sokkal több energiára van szükség megújuló forrásokból, mint tüzelőanyagokból. A környezetszennyezéstől a megújuló energiák sem szabadítanak meg teljesen, specifikus hatásai is vannak, de a perdöntőek az emissziók a szükséges nagymennyiségű szerkezeti anyag gyártása miatt.

energiaforrás területigény m²/kW

hőerőmű (bánya nélkül)	1-4
vízierőmű	10-30
termikus erőmű, napelem	20-60
szélerőmű telep	50-150
energiaültetvény	4000-6000

2. táblázat • A villamos energia fejlesztésének fajlagos területigénye

Atomenergia: lehet-e nélküle?

Minél távolabbi jövőt vizsgálunk, annál valószínűbb, hogy az atomenergia hasznosítása nélkül nem lehet megoldani a világ energiaellátását. A termikus reaktorokra alapuló jelenlegi atomerőmű-technikával azonban nem megyünk sokra, mert így a világ művevaló uránvagyonának energetikai potenciálja alig haladja meg a művevaló kőolajét. Ezek az erőművek alapvetően az urán 235-ös izotópjának hasadását hasznosítják, amely izotóp aránya a természetes uránban csupán 0,72 %. Bár az energetikai potenciál növelésére a jelenlegi technikában is vannak lehetőségek (pl. a ²³⁵U nagyobb mértékű kinyerése az ércből, vagy annak nagyobb arányú kihasználása a reaktorban), a perspektívát két másik út jelenti. Az egyik az urán több mint 99 %-át kitevő 238-as izotóp átalakítása neutronbesugárással hasadóképes 239-es plutóniummá (tenyésztés), amivel az uránvagon energetikai potenciálja 70–80-szorosára nő. Ennek a technológiának a megvalósíthatóságát több szaporító reaktoros erőműben sikeresen igazolták. Az ilyen erőművek létesítése azonban lekerült a napirendről, egyrészt az urán iránti alacsony kereslet, másrészt a magas beruházási költség, és az erős társadalmi ellenállás miatt. A másik út az uránvagyont jóval meghaladó tóriumércék hasznosítása, mivel neutronbesugárással a 232-es tóriumizotóp átalakítható hasadóképes 233-as uránná. A tóriumbázisú reaktorok fejlesztés alatt állnak, nagy előnyük, hogy a magreakciók során nem keletkezik veszélyes és fegyvergyártásra alkalmas plutónium. Ezekkel a lehetőségekkel az atomenergia potenciálja nagyságrenddel haladja meg a fosszilis és a megújuló energiaforrásokét. A még nagyobb lehetőséget a fűző jelentené, aminek üzemanyaga a vízben lévő deutérium, valamint a másik hidrogénizotóp, a trícium lehetne. Sajnos ez egyelőre nagyon távoli remény, még a lehetőséget demonstráló kutatások sikere is várta magára, az ipari megvalósítás pedig sok évtizedes további kutatást igényelne.

Az atomenergia alkalmazásának legnagyobb akadálya a társadalmi ellenszenv. Hiroshima, Nagaszaki, a hidegháború, a csernobili katasztrófa mély félelmet ébresztett az emberek jelentős részében az atomenergiától. Az ellenérzés jó néhány országban az atomenergiát eluta-

sító politikai döntésre vezetett, sőt néhol a kedvező tapasztalatok ellenére a működő atomerőművek leszerelését is kezdeményezték. E negatív döntések nem érdemi elemzéseken alapulnak, hanem politikai szavazatokra konvertálható érzelmekre és indulatokra. Jó néhány – főleg energetikai önellátásra képtelen ország – azért kitart atomprogramja mellett, energetikai ellátásának biztonságáért érdekelében.

Az atomenergia hasznosítása nem szándék vagy ízlés kérdése, hanem szükségszerűség, aminek felismerése csupán idő kérdése, ahogy a gazdasági és környezeti körülmények ezt kikényszerítik. Bár sokan vitatják, ez jól megfelel a fenntartható fejlődés követelményeinek is. A szerencsére zsugorodó katonai igényektől eltekintve a hasadóanyagok energetikán kívüli polgári hasznosítása jelentéktelen, ezért kiaknázásuk utódaink mozgásterét nem befolyásolja. Környezetszennyezése is csekély, a nem radioaktív kibocsátások mértéke még a megújuló energiahasznosításénál is kisebb a szükséges szerkezeti anyagok volumenének megfelelően. A radioaktív emisszió is jelentéktelen, egyedül a súlyos atomerőművi baleseteknél kerülhet ki jelentősebb mennyiségű radioaktív anyag a környezetbe, ami a csemobili katasztrófa miatt az ellenzést fő oka.

Részben e katasztrófa tapasztalatai alapján a legtöbb üzemelő atomerőmű biztonságát oly mértékben megnövelték, hogy környezetében az egészségi kockázat nem nagyobb, mint más ipari létesítményeké. Ennél kisebb a biztonsági szint két régi szovjet erőműtípusnál (VVR 230 és RBMK), de a korszerűsítések hatására ezeknél is kizárható a nagyon súlyos katasztrófák lehetősége, ennek ellenére indokolt a mielőbbi leállításuk, hogy kisebb kibocsátással járó üzemzavarokat se idézhessenek elő. Az atomerőművek következő generációjával szemben pedig követelmény, hogy lehetőleg inherens tulajdonságaik zárják ki a környezet veszélyeztetését.

A másik, ellenzést kiváltó kérdés a radioaktív hulladékok sorsa. A kis és közepes aktivitású hulladékok végleges elhelyezése ma már rutinfeladat, több mint 100 erre alkalmas létesítmény működik a világon (Magyarországon Püspökszilágyiban). A nagy aktivitású hulladékok végleges elhelyezése stabil geológiai formációkban biztonságos megoldásnak ígérkezik. Bár maga

a természet igazolta ennek realitását (Gabonban egy a földtörténeti ókorban zajlott spontán láncreakció termékeit a transzportfolyamatok nem hordták szét), a hosszú felezési idejű hulladékok – mindenekelőtt a kiégett fűtőelemek – esetében a társadalom szkeptikus az elszigetelés hosszú időigénye miatt. Ezért az átmeneti tárolás honosodott meg 50–100 évre, haladékok adva a társadalom megnyerésének. Újabb nagy reményeket fűznek a hosszú felezési idejű izotópokat neutronbesugárással rövid felezési idejű vagy stabil izotópokká alakító transzmutációhoz.

Természetesen az atomenergia csak gazdasági versenyképesség esetén hódíthat teret, ami alapvetően a fajlagos beruházási költségek csökkentésén múlik. Erre sok lehetőség kínálkozik, a tipizálástól az önellenőrző intelligens berendezések alkalmazásán keresztül az építési technológia egyszerűsítéséig.

Energia és világpolitika

A világpolitika és a világgazdaság nagy horderejű fejleményei gyakran jártak lényeges energetikai következményekkel is. A hidegháború a saját energiaforrásokra támaszkodó önellátást ösztönözte. Az ezt követő enyhülési időszak kedvező feltételeket teremtett az energiahordozók külkereskedelmének, ami együtt járt az árszínvonal csökkenésével. A közel-keleti olajországok háborúskodásai megingatták a régió stabilitásába vetett bizalmat, és a beszerzési források diverzifikálására ösztönöztek. A Szovjetunió összeomlása kiszámíthatatlanná tette az egyik legnagyobb energiaexportőr magatartását. Az energiapiacok liberalizálására világszerte megindult privatizációs és deregulációs hullám átszabja a vezetőkes energiaellátási rendszerek struktúráját és működési módját, az ellátási felelősséggel terhelt szolgáltatásból nyereségorientált kereskedelmi tevékenység válik. A külvilág változásai úgy évtizedenként a magyar energiapolitika radikális átrendezését kényszerítették ki. Ez ellen csak a több lábra támaszkodó, rugalmas energiapolitikával lehet védekezni, mely minden reális energiaforrást figyelembe vesz.

Az energiahelyzet vissza is hat a politika és a gazdaság alakulására. A kőolajforrások birtoklása jó néhány háború indítékai között szerepelt.

Az olajárak eszkalációja a 70-es években alapjaiban rázta meg a világgazdaságot. A csernobili atomerőmű katasztrófájának lélektani és politikai hatása még ma is érvényesül, nem beszélve az atomenergetika diszkreditálásáról. A tengeri szénhidrogén-termelés kifejlődése visszarendezte az olajárakat, s ez visszavetette az alternatív megoldások versenyképességét. Az olaj újabb drágulása megkérdőjelezi az energiapolitikai elképzelések stabilitását, például a földgáztermelőkkel kapcsolatos elfőriát.

Magyarországon a rendszerváltással együtt járó gazdasági visszaesés és átrendeződés a 90-es évek első felében 25 %-os csökkenést idézett elő az energiafelhasználásban. Az évtized közepén a gazdaság hanyatlása stagnálásba, majd növekedésbe ment át. Gyakran hangzik el, hogy a növekedéshez nem lesz szükség az energiaforrások bővítésére, mert energetikai hatékonyságunk* a fejlett országokénak mintegy harmada, elég tehát a hatalmas veszteségek felszámolása a szükséges energiabázis megteremtésére. Ez a nézet a hatékonyság és a hatások fogalmainak félreértéséből fakad, mert elmaradásunknak csak kis hányadáért felelős az energetikai berendezések hatásfoka, a nagy tétel az ország nemzetijövedelem-teremtő képessége, amiben a fejlett országok utoléréséhez évtizedek kellene. Ezért tartósan kizárólag energiatakarékosságból nem lehet megélni. A gazdaságilag megtérülő energiatakarékosság természetesen energiapolitikánk legfontosabb célkitűzése, ami nemcsak gazdasági megtakarítással jár, hanem javítja a fizetési mérleget, mérsékli a környezetszennyezést, a tőkeshükségletet, sőt még a társadalmi konfliktusokat is.

A magyar energiapotenciál nem ad alapot derűlátásra. Szénelőfordulásaink nem jelentéktelenek, de gazdaságtalanságuk miatt folyik a mélyműveléses szénbányák bezárása; egyedül a külfejtéses lignit ígér versenyképességet. Az uránbányászatot is be kellett fejezni a termelés magas költsége miatt. Kőolaj- és földgáztermelésünk a hazai szükséglet 20, illetve 40 %-át fedezi, a csekély vagyon azonban 1-2 évtizeden belül kimerül, és a geológusok nem reménykednek újabb jelentős szénhidrogén-előfordulá-

sok felderítésében. Megújuló energialehetőségeink is szerények, a napenergia, a biomassa és lokálisan a geotermikus energia hasznosítását érdemes ösztönözni, támogatásokkal segítve át a versenyképesség küszöbén. Ilyen körülmények között különösen fontos, hogy figyeljük az energetika nemzetközi fejlődését, és időben honosítsunk meg minden számunkra előnyös új megoldást. Az energetika magyar tudósai és mérnökei mindig aktív szerepet játszottak a nemzetközi szakmai közéletben, sok új ismerettel és konstrukcióval járultak hozzá a fejlődéshez és a hazai ipari szakmákultúra magas színvonalához. Szellemi tőkénk egyben belépő is abba az új világba, melyben elmosódnak a nemzeti határok és az ismeretek és tevékenységek is nemzetközivé válnak. Nem véletlen, hogy a privatizáció első hullámában a multinacionális vállalkozások a magyar energiaszolgáltató, valamint az energetikai berendezéseket gyártó ipar vállalatainak a megszerzésére törekedtek.

Az energiaellátás a globalizálódás egyik úttörője. A villamos energia és a szénhidrogének szállítóvezetékei sűrűn behálózják a fejlett országokat, átlépték az országhatárokat és kontinenseket átszövő rendszereké fejlődtek. Az ásványi tüzelőanyagok szállítása meghaladja az összes áruforgalom felét mind a kontinenseken, mind a világtengereken. A villany eljut minden szervezetbe, intézménybe, lakásba, sok területen hasonló a helyzet a földgázzal is. Alig van olyan település, amelyikben ne lenne üzemanyagtöltő állomás. Az energiaellátás különféle formáit nagyléptékű, jól szervezett vállalatok biztosítják, melyek képviselői jóformán minden településen megtalálhatók. Nem véletlen, hogy a világ tíz legnagyobb multinacionális vállalatából hét a kőolajiparban működik, és további kettő tevékenysége ezekhez kapcsolódik. Befolyásuk növelésére megindult az olajmultik fúziója (Exxon+ Mobil, BP+Amoco, Chevron+Texaco stb.), és tevékenységük kiszélesítése nemcsak az energiatermelés és -szolgáltatás más területein, hanem más hálózatszerű infrastrukturális szolgáltatásokban (víz, csatorna, informatika stb.) is. Hazai energiaellátó vállalataink új tulajdonosai „csak” Európa legnagyobbjai közé tartoznak (pl. a Veba+Viag konglomerátumnak a világranglista 38. helyével

* a GDP és az ország energiafelhasználásának hányadosa

kell megelégednie, az RWE az 53. helyet foglalja el, de fúzióval már megelőzte a 36.-at). Hatalmas anyagi és szellemi erővel, valamint sokévtizedes érdekérvényesítési gyakorlattal rendelkeznek, tőkájük és éves bevételük a magyar nemzeti jövedelem nagyságrendjében mozog. Nagy dilemma, mire fog vezetni az energiapiac liberalizálását egyengető államunk és a monopólihelyzetre törekvő multik viaskodása. Az állrendszer, a szolgáltatási feltételek és működési körülmények voluntarista torzítása bizonyosan rossz megoldás, sokszor tapasztalhattuk, hogy az súlyosan visszaüt, gyakran pont azokra, akik érdekében történt.

Vajon a globalizáció felment-e bennünket az önálló nemzeti energiapolitika kialakítása alól? Sokan úgy vélik, az energiaellátás alakulását a piac értékítélete automatikusan meghatározza. Kétségtelen, hogy a piac hatékonyan tudja szabályozni az operatív energiagazdálkodást, az ennek érdekében szükséges gazdasági, kereskedelmi, műszaki döntéseket. Az árak és költségek lényeges szerepet játszanak a lehetséges jövőbeni változatok megítélésében is, de hátrányuk, hogy alapvetően csak a jelen viszonyairól tájékoztatnak. A piaci mechanizmus még a legfontosabb gazdasági paraméterek (pl. kamatláb, infláció, olajár) távlati alakulásának becsléséhez sem tud kapaszkodókat kínálni, nem beszélve a gazdaságon kívüli körülményekről. A jövőre vonatkozó döntésekkel egymással kölcsönhatásban levő műszaki, gazdasági, környezeti, társadalmi, stratégiai és politikai követelményeket kell kielégíteni, nemritkán nemzetközi kölcsönhatások figyelembevételével, amire a piaci mechanizmusok önmagukban elégtelenek.

Az állam szerepe

Stratégiai jelentősége miatt az energiapolitika alakításában jelentős feladat hárul az államra, de ennek hazai gyakorlata még nem igazán alakult ki. Az energiapolitika sikere azon múlik, hogyan lehet összehangolni az állami szerepvállalást a piaci mechanizmussal. A korábbi állami funkciók jelentős része, az energetika irányítása, finanszírozása, fejlesztésének meghatározása, a tulajdonosi szerep zöme megszűnt, a piacgazdaságban az ilyen típusú döntések legnagyobb részét vállalati hatáskörbe tartoznak. Az új körülmények között az állam

szerepében a társadalmi érdekek képviselete vált elsődlegessé. Ennek csupán egy része a működési feltételek meghatározása jogszabályokkal és a felügyeletet gyakorló független hatóságok működtetése a fogyasztói érdekvédelem, a minőségellenőrzés, az élet és vagyonvédelem, a munkavédelem, az árelőellenőrzés, a közszolgáltatásnál az ármeghatározás és hasonló feladatok érdekében. Állami feladat marad az energiapolitika fő irányainak meghatározása, a geopolitikai adottságok figyelembevételével, az energiaszerkezet optimális alakítása, a távlati célok meghatározása, a környezetvédelem követelményeinek érvényesítése. Gondoskodni kell a nem energetikai nemzeti prioritások (honvédelem, iparpolitika, szociálpolitika, területfejlesztés stb.) figyelembevételéről is az energetikai döntéseknél. Mindez hosszú időre előre tekintve kell teljesíteni, figyelemmel az alapvető létesítmények több évtizedes élettartamára és a berendezések generációváltásának ugyancsak nagy időállandójára.

Kritikus kérdés az energetikai ellátásbiztonság megeremtetése, mert a költségek és beruházások csökkentésére szorító piaci hatások nem mindig mozdítják ezt elő. Hazánk ellátásbiztonsága különösen sérülékeny, mert egyrészt energiaszükségletünk közel 70 %-át importtal fedezzük, és ez az arány tovább fog nőni, másrészt az energiaszállítási útvonalak bizonytalan térségeken (FÁK, Balkán) keresztül vezetnek. Újabban olyan nézetek is megjelentek, hogy ellátásbiztonságunkat nem nemzeti keretekben kell megítélni, hanem az Európai Unió léptékében. Nem az a leglényegesebb, hogy erre a megközelítésre alapunk sincs, hiszen felvételünk az Unióba még jó néhány évbe telik. Fontosabb szempont, hogy az Unió energiahelyzete is sebezhető, mivel két évtizeden belül importfüggése 70 % fölé nő, és behozatala nagyrészt labilis térségekből származik. Ráadásul a piaci viszonyok megkövetelésén túlmenően az Uniónak nincs egységes energiapolitikája, a tagállamok nagyon eltérő felfogást képviselnek. Vannak lelkes atomerőmű-pártiak és vannak szenvedélyes ellenzői, egyesek a ráfizetéses szénbányászat leépítését szorgalmazzák, mások jelentős dotációval annak fenntartását, a vízerőművek tekintetében is megoszlanak a vélemények, és a szénhidrogén import relációs megoszlásában

is. De a legfontosabb tapasztalat, hogy krízis esetében minden ország a saját problémájának megoldását preferálja, és csak ezt követően lehet szó kisegítésről. Az ellátásbiztonságot növelik a belföldi források, a mi esetünkben a lignitvagyon és a megújuló energiák. Erősen stabilizáló hatása van az atomenergiának is, mivel a fűtőelemeket 3–4 év alatt „égetik ki” a reaktorban és könnyen tárolható üzemanyag további évekre is.

A prognózisok

Az előretétekintés legkockázatosabb része a műszaki fejlődés prognosztizálása. Csak az biztos, hogy a jövő nem úgy fog alakulni, ahogy ma elképzeljük. Meglepetések különösen az interdiszciplináris területekről érhetnek, ahogy ezt a múltban is tapasztaltuk. Például a fizika és a félvezető-technika eddig is számos új lehetőséget tárt fel, többek között a napelemek vagy a tüzelőanyag-cellák területén, a számítástechnika szinte minden területre behatolt, a geofizikai vizsgálatoktól a szénhidrogén-termelésen és tüzeléstechnikán keresztül a vezetékes energiahálózatok üzemviteléig; a műholdak forradalmasították a nyersanyagkutatókat; az űrhajózás számos közvetlen energiaátalakítási lehetőséggel ajándékozott meg, és a NASA, valamint a japán MITI már tervezi a geostacionális pályán az űrbe kihelyezett nagy naperműveket, amelyekből az energiát mikrohullámon sugározzák le a talajszintre.

A következő évtizedekben az energiapolitika meghatározó követelménye lesz a környezetvédelem, mindenekelőtt az üvegházhatás mérséklése. A horizonton felsejlik egy új kihívás

is, bolygónk termikus egyensúlyának megbomlása. Az üvegházhatás csak átrendezi a hőmértéklet-eloszlást a felszín és a troposzféra között, bár feltételezett hatásai, a klímaváltozás, a tengerek szintemelkedése, a jégsapkák olvadása stb. rendkívül súlyos következményekkel fenyegeti az életfeltételeket. Az új probléma abból származik, hogy az energiafelhasználás minden módja végső fokon hőt termel. Ez melegíti a Földet, növeli az entrópiáját. Nem tudjuk, mi tolerálható, meddig lehet növelni a Föld hőmértékletét, mikor következnek be irreverzibilis változások, mindenestre jó lenne lassítani ezt a folyamatot. A tudomány interdiszciplináris megközelítéssel már szolgáltatott néhány lehetőséget arra, hogyan lehet a korábbinál nagyságrenddel kevesebb energiával teljesíteni az energetikától várt szolgáltatásokat. Egyes fémeket az ércekből baktériumokkal is ki lehet nyerni energiafaló bányászati és kohászati eljárások helyett, a hasznosítványok hozama és ellenállóképessége a kártevőkkel szemben géntechnikai módszerekkel is növelhető energiaigényes kémikáliák nélkül, az információkat továbbítani lehet műholdakról mikrohullámokkal, és nem kell kiépíteni sok anyagot és ezen keresztül energiát felhasználó távközlési hálózatokat, az internet helyettesíthet közlekedési és szállítási tevékenységeket, és említhetők az elektronika és mikrotechnika világát átalakító fejleményei is. Ha nem is ilyen látványos, de nagyon hasznos az energetikai hatásfokot javító aprómunka, amiben mindenki részt tud venni a saját működési területén. Az energiatudatos szemlélet kialakítása nemcsak gazdasági hasznot ígér, hanem része az emberiség önvédelmének is.

IRODALOM:

BP AMOCO Statistical Review of World Energy (<http://www.bpamoco.com/worldenergy>); London, 2000
International Energy Agency; World Energy Outlook; OECD, Paris, 1998
Vajda Gy.: *Energiapolitika*, MTA, Bp., 2001
World Commission on Environment and Development. Our Common Future (Report of

the Bruntland Commission), Oxford University Press, 1987
World Energy Council. Energy for Tomorrows World. (<http://www.worldenergy.org/wec>), London, 2000
Vajda Gy.: *Új kihívás az energetikában: az üvegházhatás és fékezésének módszerei*. Magyar Kémikusok Lapja, 48. (10–11) 430, 1993.