

A MEGÚJULÓ ENERGIAFAJTÁK VÁRHATÓ ARÁNYAI AZ ENERGIAIGÉNYEK KIELÉGÍTÉSÉBEN

Kovács Ferenc

egyetemi tanár, az MTA rendes tagja
Miskolci Egyetem Bányászati és Geotechnikai Tanszék
MTA Műszaki Földtudományi Kutatócsoport
bgtkf@gold.uni-miskolc.hu

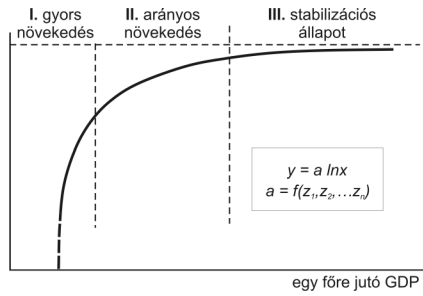
A társadalom anyagi jólétét, életszínvonalát, kultúráját más hatások mellett az energiafelhasználás színvonala is döntő módon meghatározza. Az egyes országok természeti adottságai is jelentős mértékben befolyásolják a gazdasági jellemzőket. A világ gazdaság nyitottá válásával azonban más tényezők is meghatározó szerephez jutnak. Svájc szerényebb ásványi nyersanyagai, hátrányos mezőgazdasági lehetőségei, Svédország acélipari visszaesése ellenére biztosít magának kiemelkedően magas életszínvonalat. Mindezek mellett azt állíthatjuk, hogy az ásványi nyersanyagtermelés, az energiaigények biztosítása a gazdaság és az életszínvonal emelésének egyik alapvető pillére. Az energiapolitika alapvető kérdéseivel, az energiaellátás jelen és jövőbeli feladataival két újabb könyvében minden részletre kiterjedően foglalkozik Vajda György akadémikus. (Vajda, 2001, 2004) Könyvei a témakör teljességét átfogják, cikkünk kiinduló alapját képezik, tanulmányunk csak a szélesebb szakmai közvélemény részére ismerteti az energiahordozófajták között várható arányokat.

Várható energiaigények a 21. században

Az emberiség energiaigénye, a rendelkezésre álló avagy a felhasznált energia mennyisége nem csupán a szoros értelemben vett műszaki-technikai színvonalat (gépek-berendezések üzemeltetése, gyártási folyamatok, közlekedés, fűtés, világítás stb.) jellemzi, hanem az emberi létezés egyéb formáit is, a kulturális szintet, tágabb értelemben az életszínvonalat. Az egyes országok (földrészek) fejlettségét, az életszínvonalat szokás a fajlagos energiafogyasztással is jellemezni. Míg például Észak-Amerikában a fajlagos primér tüzelőanyag-felhasználás 1994-ben 325 GJ/fő/év, Ausztrália-Óceániában 205 GJ/fő/év, Nyugat-Európában 136 GJ/fő/év volt, addig Közép- és Dél-Amerikában 35 GJ/fő/év, Ázsiában 24 GJ/fő/év, Afrikában 13 GJ/fő/év. ([11] 29. old.) Az egy évre eső fejenkénti végső energiafelhasználás relatív arányai az egységnyi (1,00) világlátlaghoz viszonyítva: Egyesült Államok 4,10; Nyugat-Európa 2,20; Magyarország 1,50; Kína 0,33; India 0,11 és Fekete-Afrika 0,01. (Vajda, 2001, 30.) Az energiafelhasználás mér-

téke természetesen az éghajlati viszonyoktól is függ.

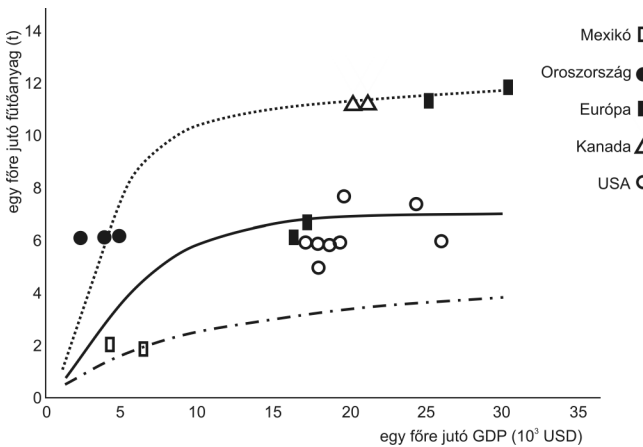
Az 1. ábra azt mutatja, hogy a társadalom/gazdaság különböző fejlettségi szintjeihez a hasznosásvány-felhasználás milyen mértékű változása-növekedése kapcsolódik. (Puchkov, 2005, 9. ábra) Alacsonyabb fejlettségi szinten a gyors növekedéshez nagyobb fajlagos felhasználás tartozik, közepes fejlettségi szinthez egy arányos növekedés, majd magasabb fejlettségi szinten stabilizálódik az igény növekedése. A 2. ábra adatai (USA, Európa, Kanada, Oroszország, Mexikó) azt mutatják, hogy kisebb nemzeti jövedelemértékek – alacsonyabb fejlettségi szint – mellett azonos mértékű egységnyi nemzeti jövedelemnövekedéshez nagyobb/több fajlagos fűtőanyagfelhasználás igényeltetik. (Puchkov, 2005, 7. ábra) Magasabb felhasználási szint mellett már egységnyi fajlagos fűtőanyag- (nyersanyag) felhasználás nagyobb mértékű GDP-növekedést eredményez. Úgy tűnik, hogy az éghajlati tényezők következtében közel azonos GDP-értékhez tartozóan Oroszország, Észak-Európa és Kanada több energiahordozót „használ”, mint Mexikó, Közép-Európa és az



1. ábra • Az ásványianyag-felhasználás és a GDP alakulása

USA. A fejlett (gazdag) országok azonos fajlagos energiafelhasználás mellett nagyobb szellemi tartalmú „termékeket” állítanak elő.

A Föld lakosságának hosszabb távú (30–50–100 év) energiaigényeit alapvetően az emberiség létszáma és a fajlagos energiafogyasztás, az ellátási szint határozza meg. Fenti adatok azt mutatják, hogy korunkban az ellátási szint, a fajlagos energiafogyasztás a világ országaiban igen eltérő, nagyságrendi – több mint tízszeres – különbségek jelentkeznek. Az összes energiaigény meghatározása azonban két okból sem egyszerű. Egyrészt a népességszaporulat a földrészeken – részben éppen fejlettségi színvonaluk miatt – más és más, másrészt a fajlagos



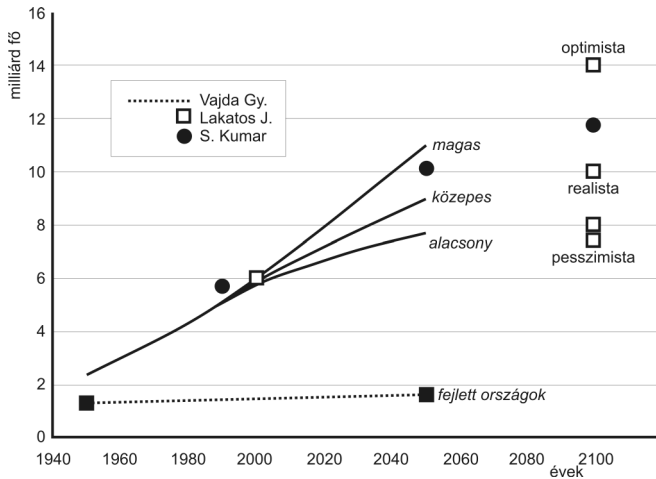
2. ábra • Az energia- (fűtőanyag) fogyasztás és a nemzeti jövedelem kapcsolata

igények növekedése a mai ellátottsági szinttől is nagymértékben függ. Mivel az emberiség létszámnövekedése minden bizonnyal a „fejlődő” országokban jelenik meg, ahol az alacsonyabb szintről való felemelkedés, az életszínvonal-növekedés nagyobb fajlagos energia- (tüzelő és nyersanyag) felhasználás mellett valósulhat meg, a világ teljes energiaigény- (növekedés-) prognózisa csak jelentős bizonytalan-

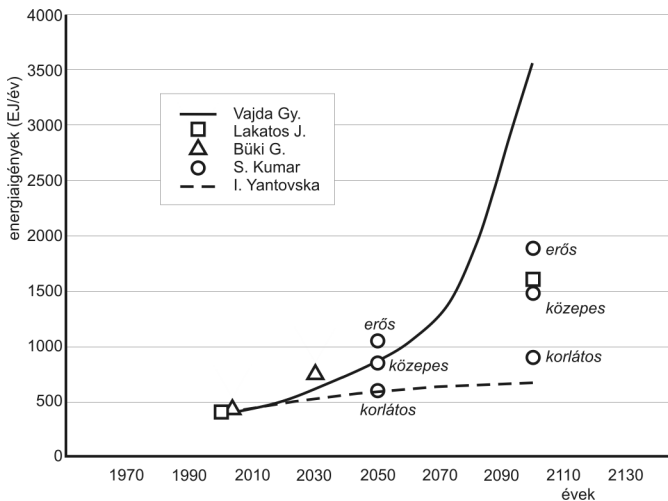
sággal lehetséges. Mindezek ellenére irodalmi források adatai alapján vizsgáljuk a kérdést.

A világ teljes energiaigényét az emberiség létszámának prognosztizálásához kapcsolja Vajda György (Vajda, 2001, 59., 107.). A világ összes energiaigénye „mérsékelt növekedési ütem feltételezésével” 2100-ben 3600 EJ/év.

Lakatos István a Föld népességének alakulását 2100-ben optimista becslés szerint 14



3. ábra • Prognózisok a világ népességének alakulására



4. ábra • Prognózisok a világ energiaigényeinek alakulására

Mrd főnek, realista becslés szerint 10 Mrd főnek, pesszimista becslés szerint 7,5 Mrd főnek jelöli meg. (Lakatos, 2005, 18. ábra) A Kovács Ferenc által tartott előadás (Kovács, 2004) és Lakatos István-féle tanulmány (Lakatos, 2005) azonos adatai szerint 2000-ben a 6 Mrd fő emberiség 0,5–0,6-os életminőség, 60 GJ/fő/év fajlagos energiafogyasztás mellett 387 EJ/év energiát fogyasztott. Becslések szerint 2100-ban 8 Mrd fő népességgel, az életszínvonal emelkedése eredményeként 0,8-as életminőség mellett 200 GJ/fő/év fajlagos energiafogyasztással 1600 EJ/év energiát igényel.

Büki Gergely szerint a 21. század az energia százada lesz. (Büki, 2006) Nézete szerint az energiaellátás gondjainak, ellentéteinek, feszültségeinek fokozódására, esetenként robbanásokra számíthatunk. Megjegyzi továbbá, hogy az energiaellátás várható fejlődése és problémái természetesen bizonytalansággal ítélhetők meg. Utal a fajlagos energiafogyasztás egyenlőtlen voltára, miszerint az az USA-

ban 295,6 GJ/fő/év, Afrikában 16,5 GJ/fő/év. Közlése szerint a világ energiafogyasztása 2003-ban 442 EJ volt, 2030-ban várhatólag 758 EJ/év lesz, ami évi 2 %-os növekedést jelent.

A világ 2002. évi összenergia-fogyasztását Shashi Kumar 9505×10^6 toe (olaj egyenérték, 42 MJ/kg olaj fűtőértékkel) 399 EJ/év-nek adja meg, benne a széntermelést $4,7 \times 10^9$ tonnának. (Kumar, 2003) A jövő energiaigények várható alakulásánál különböző forgatókönyvekkel számol. A népesség, az évi energiaigény növekedése alapján az energiaszükségletet kőolaj egyenérték tonnában (toe) és joule-ban becsüli meg. A három változat: erős, évi 1,72 %-os (A), közepes, évi 1,34 %-os (B) és ökológiai szempontok miatt korlátozott, 0,74 %-os (C) igénynövekedéssel számol. (1. táblázat)

A bemutatott irodalmi források a távoli jövő (2030, 2050, 2100) vonatkozásában jelentősen eltérő prognózisokat adnak. A Föld népességét 2050-ben 7,5–9–12 Mrd főnek, 2100-ban 7,5–10–15 Mrd főnek becsülik. (3.

Év	Jellemző	Energiaigény-növekedés		
		Erős évi 1,72 % (A)	Közepes évi 1,34 % (B)	Ökológiai korlátos 0,74 % (C)
1990	Népesség 10^9 fő	5,3	5,3	5,3
	Primér energiaigény 10^9 t kőolaj egyenérték	9	9	9
	Energiaigény EJ (10^{18} J)	378	378	378
2050	Népesség 10^9 fő	10,1	10,1	10,1
	Primér energiaigény 10^9 t kőolaj egyenérték	25	20	14
	Energiaigény EJ (10^{18} J)	1050	840	588
2100	Népesség 10^9 fő	11,7	11,7	11,7
	Primér energiaigény 10^9 t kőolaj egyenérték	45	35	21
	Energiaigény EJ (10^{18} J)	1890	1470	882

1. táblázat • A várható energiaigények 2050-ben és 2100-ban (Kumar, 2003)

ábra) A teljes energiaigényt a 2000–2004 közötti 370–445 EJ/év értékből kiindulva 2030-ban 750–800 EJ/év-nek, 2050-ben 600–1000 EJ/év-nek, 2100-ban – a fejlődési változatok és az ökológiai korlátoktól függően – 900–3600 EJ/év (10^{18} J)-nek becsülik. A változatok közötti maximális arány az időben előrehaladva növekszik, a 2100-as adatokban kereken négyszeres. (4. ábra)

Az egyes primer energiahordozó-igények, illetőleg az energiahordozó-fajták (fosszilis, megújuló, atom) közötti várható arányok becslésénél valamilyen átlaggal, avagy több változattal lehet/kell dolgozni. Közelítő/átlagos primér energiaigényként 2050-ben talán 1000–1200 EJ/év, 2100-ban 1500–2000 EJ/év értékkel lehet számolni. (Vajda György [Vajda, 2001] „mérsékelt növekedési ütem” mellett is 3600 EJ/év igényt ad 2100-ra!)

Az egyes energiafajták használatba vétele az emberiség története során

A technika fejlődésének, az emberiség történetének jelentős része az égés során felszabaduló hő hasznosításának krónikája. A kezdet a növényi, állati és házi hulladékok elégetésével nyert hő hasznosítása volt. A szerszámok fejlődése lehetővé tette a fa, a tűzifa kitermelését, hosszú ideig ez volt a fejlett országok legfontosabb tüzelőanyaga.

Az ércek feldolgozása, a kohászat nagy tömegben fát, faszenet használt (a bányászat fa biztosítószerkezeteket), mígnem megjelent (először Angliában és Hollandiában) az erdők „kipusztításának” veszélye, környezetvédelmi (oxigéntermelési) szempontok miatt a vasgyártás az akkor még fában bővelkedő Svédországba és Oroszországba került át. (Ma a világ első „nyersvasgyártó” országa Brazília évi 120 Mt-val, ahol még vannak őserdők, ámbar a nyersvasgyártás koksszal történik.) Az ipari forrada-

lom véget vetett a tűzifa mint fő tüzelőanyag dominanciájának, nem volt elfogadható az erdők mértéktelen kivágása sem, a szén mint fő energiahordozó vette át a szerepet, az első ipari forradalom fő hajtóerejévé vált. Szinte kizárólagos volt a szerepe a termelésben. A vízenergia hasznosítását is a villamosság megjelenése hozta előtérbe. (A 19. század végén, a gőzgépek (kazánok), majd a villamosenergia-ellátásnál a tatabányai szén biztosította a magyar főváros szinte teljes energiaigényét, ugrásszerű fejlődését.)

A belsőégésű motorok térhódítása során a kőolaj, illetve termékei kaptak fontos szerepet a közlekedésben, a vegyiparban és a tüzeléstechnika különféle alkalmazásaiban. A 20. század derekán a földgáz felhasználása kapott jelentős szerepet – a szén és olaj mellett –, majd vele közel egyidőben az atomenergia.

A szénhidrogének, mindenekelőtt a motorhajtóanyagok (elsősorban a dízelolaj) helyettesítése során korunk slágertémája a bioüzemanyag. Ennek előállítására értékes mezőgazdasági termékeket (olajos magvak, kukorica) és termőterületeket igényel, ami néhány százalékban behatárolja az elterjedését (a hazai dízelfogyasztáshoz a szántóföldek háromnegyedén kellene repcét termelni), másrészt a művelés dízeligénye, a műtrágya földgázigénye, az üzemenyaggá történő átalakítás energiaigénye igen nagymennyiségű szénhidrogént használ fel. Amíg az olaj esetében a kitermelés, átalakítás energiafelhasználása a benne levő energia 15 %-át igényli, addig a kukoricaetanol esetében ez az arány 80 %. (Varró, 2007)

A bioenergia-, az energia-(fű-) ültetvényeket favorizáló szakemberek elhallgatják azt, hogy a növényi fűtőanyag előállítás, a szántás–vetés–aratás–szállítás–előkészítés a növény által hordozott hőtartalom 80–90 %-át fel emészt, villamos energia formájában a nö-

vény karbontartalmának (C) csak 8–12 %-a hasznosul. Az erdők faanyagának e célú felhasználása addig gazdaságos, amíg az erdő nemzeti vagyonként ingyen rendelkezésre áll, a megtermelés költsége nem, legfeljebb a kitermelésé jelentkezik. Esetlegesen még az előállított villamos energia dotációiban is részesül.

A 2. táblázat az egyes tüzelő- (energiahordozók) anyagok fűtőérték (fajlagos energiataralom) jellemzőit mutatja. A táblázat mintegy a különböző energiahordozó fajták alkalmazásba vételének, térhódításának időrendjét is mutatja. Az általános tendencia az, hogy az emberiség – növekvő létszámának, fajlagos és abszolút energiaigényének kielégítése céljából (érdekében) az egyre nagyobb fajlagos energiataralmú anyagokat vette hasznosításba. A fa mint tüzelőanyag (energiahordozó) az ókor és középkor meghatározó energiaforrása volt, most egy aktuális divat, a környezeti hatásokra való hivatkozás – nem mintha a

fa széntartalma (C) nem szén-dioxidra (CO_2) oxidálna, égne el – ígéretként, a szén-, illetve atomalapú villamos energiával szemben többszörös állami (adófizetői) dotáció (árkiegészítés) mellett indulhat hódító útjára? Éppen azok támogatásával, akik másik szavukkal az oxigéntermelő erdők védelmében, az erdőirtások árvízveszélyt növelő hatása ellen szólnak.

A bioenergia alapvető forrása a napsugárzás energiája. A földi fotoszintézis energiaszükséglete $3,2 \times 10^{21}$ J/év, amiből 30–30 % az óceánok, a trópusi-szubtrópusi erdők, illetve a szárazföldi lét fennmaradásának igénye. A szárazföldi lét 1×10^{21} J/év igényéből 2,5 % a mező- és erdőgazdaság igénye, illetve szükséglete, ebből 1×10^{19} J/év a táplálék energiaigénye. Vajda György (Vajda, 2001) a biomasszából nyerhető potenciális energia mennyiségét 230 EJ/év-re teszi, ami az általa 2100-ra becsült 3600 EJ/év összes igény 6,4 %-a, de az 1600

Tüzelőanyag	Fűtőérték kJ/kg	MJ/kg
1. Lignit (természetes állapotban)	3500–10 000	3,5–10
2. Tőzeg	6500–17 000	6,5–17
3. Fa	9000–17 000	9–17
4. Barnaszén	21 000–25 000	21–25
5. Faszén	31 000	31
6. Koks	25 000–31 500	25–31,5
7. Feketeszén	25 000–33 500	25–33,5
8. Antracit	34 500–35 500	34,5–35,5
9. Pakura	38 000	38
10. Földgáz	18 000–40 000	18–40
11. Fűtőolaj	41 000–42 000	41–42
12. Tüzelőolaj	42 000	42 000
13. PB gáz	45 000–47 000	45–47
14. Természetes uránérc	500 000 000	500 000
15. 235-ös U izotóp	80 000 000 000	80 000 000
16. Fúzió (D, T)	400 000 000 000	400 000 000

2. táblázat • A villamosenergia-termelésre alkalmas fontosabb tüzelőanyagok fűtőértéke

EJ/év igénynek is csak 14 %-a. Kérdés természetesen, hogy a potenciális lehetőség milyen arányban (mértékben) realizálható.

A „megújuló” primér energiahordozók „használatának” korlátai, káros környezeti hatásai

A MEGÚJULÓ primér energiahordozók hasznosításának hangos támogatói jó szándékú, sok esetben azonban laikus módon csak és kizárólagosan a környezeti hatáselemeket hangsúlyozzák a fosszilis és nukleáris energiahordozók használatával szemben, mindenek fölé helyezve a szén, az olaj és gáz esetében a szén-dioxid-képződés és annak részben valós, részben csak eltúlzott hatásait, az atomenergia használatának kockázatait, nem említve (elhallgatva) az ún. tiszta energiák használatának **hátrányait**, a felhasználás **problémáit**. Nevezetesen, nem szólnak arról, hogy primér állapotban a napenergia, a geotermikus energia, a szélenergia nem szállítható, a bioanyagok és vízenergia is csak kérdéses gazdaságossággal. Nem szólnak arról, hogy a napjainkban – a közlekedés folyékony és gáznemű üzemanyag-igényét nem számítva – a döntő energiaforma a villamos energia, számottevő „mennyiségben” nem tárolható. Nem szólnak arról, hogy a nap- és szélenergia csak időszakosan áll rendelkezésre, hiányuk esetén hagyományos erőműveknek kell pótolni a meteorológiai változások (napfény, szél) miatt előre nem is láthatóan jelentkező kapacitáshiányokat, többletkapacitásokat „melegen” tartva. Nem szólnak arról, hogy a megújuló energiefajták viszonylag kis energiasűrűséget hordoznak, nagy mennyiségben (darabszám, felület, tömeg) kell kezelni őket. Nem szólnak arról, hogy ma még a kis energiasűrűség, az alacsony átalakítási hatások miatt a villamos energia előállítási költsége ezeknél 1,5–3,5-szerese a

hagyományos (fosszilis és atom) primér energiahordozókból előállított fajlagos költségeknek. Nem szólnak arról, hogy a megújuló „tiszta” energiák használatának is vannak környezetkárosító hatásai. A napelemek gyártása, majd selejtezése kémiai-toxikus anyagokat igényel, a geotermikus energia használata során az ásványi anyagokat (sókat) tartalmazó langyos víz a vízi környezetet károsíthatja, az esetleges-kívánatos visszajuttatás több energiát igényelhet, mint amit kinyerni lehet a „meleg” vízből. A bioanyagok használata, a faanyag felhasználása az „oxigényártól” fosztja meg a természetet, valamint a bioanyagok szén (C), a biodízel szénhidrogéntartalma a hasznosítás során szintén szén-dioxiddá ég el.

A bioüzemanyag egyik alapanyagát, például pálmaolajat kell importálni, mindenekelőtt Indonéziából, amely „ráállt” a palmaültetésre-olajtermelésre és nagyrészt ennek következtében az USA és Kína után a Föld harmadik legnagyobb károsanyag-kibocsátója lett. Hatalmas tözezes területeket szárítottak ki, hogy pálmákat telepítsenek oda. A tözezből az abban tárolt szén, szén-dioxid és metán formájában irtózatossá váló káros anyag kerül(t) a levegőbe. (Gyulai, 2007)

A biodízel növényi olajból történő előállítása során az észterezés például kénsavval történik, majd a sav mészkőtejes semlegesítésekor keletkező maradék anyag igen magas hőmérsékleten történő elégetése során dioxin és más mérgező anyagok keletkeznek.

Az ún. *tiszta energiák* fokozott mértékű használata civil harcosainak bizonyos kiállásai már anakronisztikus jelleget öltenek. Vészhangot kongatnak Budapest légszennyezettsége és zajterhelése ügyében, ugyanakkor mindent megtesznek az autópálya-környűré létrehozása ellen. A településeken körbehordozott bértüntetők tiltakoznak a korszerű hulladék-

tárolók és -égetők építése ellen, míg a települések, erdők, utak környezetét országosan elborítja a szemét. Környezetvédő szervezetek rázák az atomerőmű kerítését, maguknak vindikálva az erőmű biztonságának megítélését, ugyanakkor mindent megtesznek a szinte abszolút tiszta vízierőművek építése ellen. A Dunán például összesen ötvenöt vízierőmű működik, a 220 km-es osztrák szakaszon tíz, a magyar szakaszon tudjuk hány, holott az „osztrák normatíva” szerint csupán a Pozsony–Komárom szakaszon kettő is lehetne.

A megújuló energiák várható igénybevételeinek lehetőségeivel, jelenleg még meglévő korlátaival kapcsolatban érdemes idézni két, széles körben elismert szaktekintély, másrészt autonóm személyiség könyvéből, illetőleg tanulmányából.

Vajda György írja: „Ha a természet rendjét nem akarjuk megzavarni, a megújuló energiaforrások csak egy viszonylag kis hányadát szabad az energiaellátáshoz elvonni. Ezzel a hányaddal is lehetne fedezni az energiaszükséglet jelentős részét, ha két körülmény nem fékezné a megújuló energiák térhódítását. Az egyik a magas fajlagos beruházási költség, ami a gazdasági vonzerőt korlátozza. A másik – a vízierőművek kivételével – az alacsony átalakítási hatások, amiért azonos szolgáltatáshoz többször annyi megújuló energia szükséges, mint tüzelőanyag (Vajda, 2004, 25.)

Továbbá ezeket írja Vajda György: „A támogatás eredményeként a megújuló energiahasznosítás teret fog nyerni, a műszaki fejlesztés, a tömeggyártás, valamint a tapasztalatok mérsékelni fogják az alkalmazás akadályait, kedvező körülmények között egyes megoldások már most elértek a versenyképesség küszöbére. Azt azonban a legsikeresebb fejlesztési tevékenység sem tudja megváltoztatni, hogy **reálisan kiaknázható mér-**

tékük nem olyan kimeríthetetlenül nagy, amint azt sokan feltételezik. Ezért illúzió azt várni, hogy az ásványi tüzelőanyagok és atomenergia helyettesítését, illetőleg pótlását kizárólag a megújuló energiákra támaszkodva meg lehet oldani.

Ha minden reális lehetőséget figyelembe veszünk, önmagában a megújuló energiák **összessége** sem tudná fedezni a világ jelenlegi energiaszükségletét, a 21. század végén jelentkező többszörös igénynek pedig csupán a tört részét tudnák kielégíteni. Ezért a megújuló energiák fontos lehetőséget jelentenek, de csupán **hozzájárulást** és nem radikális megoldást képviselnek a világ energiaellátásában.

[...] [a] jelentős forrásigény (beruházási költség) is azt támasztja alá, hogy a **megújuló energiák gyors térhódítása nem tételvezető fel, bár kívánatos volna.**” (Vajda, 2004, 234.)

Csom Gyula tanulmányából: „A megújuló energiahordozók részarányának növekedése egyszerre csökkenti Magyarország importfüggőségét és javítja a fenntartható fejlődés feltételeit, benne a környezet és klímavédelmi célok teljesíthetőségét. Támogatás nélkül azonban a megújuló energiák alkalmazása ma még általában nem gazdaságos, és – különösen a szélenergia – rendszerszabályozási problémákat is okoz. Részben ez utóbbiak figyelmen kívül hagyása miatt a megújuló energiák a **közvélekedésben túlértékelték.** A vázolt előnyök és hátrányok együttes figyelembe vétele azt jelenti, hogy a megújuló energiák alkalmazásával nem célszerű túllépni a támogatások még tolerálható és a rendszerirányítás által még kezelhető szintjét. Reális értékelés szerint a magyarországi megújuló energiafelhasználás részaránya 2030-ig mintegy 10 %-ot érhet el.” (Csom, 2007)

Az energiaellátás kérdésével foglalkozó szakemberek meglátásai után szabad legyen

a ma divatos, nemzetközi politikai szintre (EU) emelt vélemények mellett megfontolásra intó ökológus, Gyulai Iván véleményét is idézni: „A fosszilis energiahordozók részbeni kiváltása bioetanollal és biodízzel egészen durva következményekkel is jár. Magyarországon is úgy vélik a hivatalosságok, hogy a fatüzelés hozhat – részben – megoldást. [...] És kárát láthatja az ország mezőgazdasága, csökkenhet a biodiverzitás, amit egyelőre a kísérleti jelleggel telepített energetikai célú faültetvények okozhatnak, ha megnő a területük.” (Gyulai, 2007)

A megújuló energiahordozók mellett érvelők gyakran hivatkoznak arra is, hogy a fosszilis energiahordozók (szén, kőolaj, földgáz) igénybevétele során – mivel a Földön elvileg korlátozott mennyiségben állnak rendelkezésre – úgymond „spórolni” kell, gondolva a jövő generációkra. Ez a nézet nélkülöz minden racionális megfontolást, illetőleg gazdasági elvet. A gazdasági racionalitás ugyanis azt kívánja, hogy ami ma gazdaságosan-nyereséggel kitermelhető, azt ki kell termelni, el kell adni, fel kell használni. A mai „nyereség” ugyanis a jövő időben kamatozik, minden bizonytalansággal jobban felértékelődik mind az adott vagyon későbbi kitermelése, nem is beszélve arról, hogy a technikai fejlődés, az új anyag- és energifajták használatba vétele következtében a primér ásványi nyersanyagok többségének műrevalósági (gazda-

sági) kritériumai tendencijelleggel (hosszabb távon) szigorodnak, azonos nyersanyagminőség a jövőben – változatlan áron – esetleg kevesebbet ér.

Például az ötven év előtti kőolajárat a dollárinflációval felszorozva a jelenlegi olajár 70–80 USD kellene legyen, holott napjainkban a 40–50–60 dolláros ár is szokásos.

Másrészt például „felesleges” a jövő részére szénkészleteket is több száz, sőt ezer évre elegendők, és az általános tapasztalat szerint – szemben egyes pesszimista prognózisokkal – az újonnan megkutatott készletek meghaladják a kitermelés ütemét.

Harmadrészt pedig: az emberiség története során ezidáig mindig megoldást talált az adott kor aktuális problémáira, a növényi szár után megtalálta a fát, majd a szén, az olajat és a gázt, az atomenergiát, a napeleket, kezdi megtalálni a fúziós energiát. (Avagy ismét kezdi megtalálni a bioenergia-forrásokat?)

A fosszilis energiahordozókkal való „spórolást” aligha indokolja a jelenleg kimutatott készletek nagysága. A mai ismert kőolajkészletek 40–60–80 éves, a földgázkészletek 60–80–120 éves, a szénkészletek 200–1000–3000 éves ellátottságot valószínűsítene. Mértékadó vélemény szerint például: „manapság a vagyon gyorsabban nő a kitermelésnél”. (Vajda, 2001, 108.)

		2004		2030	
	EJ	%	%	%	
Kőolaj	174	37,5		33,0	
Földgáz	107	23,1	86,2	25,0	84,0
Szén	119	25,6		26,0	
Nukleáris	28	6,0		6,0	
Megújuló	36	7,5		10,0	

3. táblázat

Tény- és prognózisadatok a megújuló energiahordozók használatával kapcsolatban

Vajda György adatai szerint a világ primer energiateljesítményének arányai 2000-ben (Vajda, 2001, 2004): kőolaj 34 %, földgáz 22 %, szén 31 %, összes fosszilis 82 %, nukleáris 6 %, összes megújuló 7 %.

Büki Gergely 2004. évi tény- és 2030-as prognózisadatai. (Büki, 2006, 13. 3. ábra):

A prognózisértékek meghatározásánál a fosszilis energiahordozók esetén azonos ütemű növekedéssel, változatlan százalékos aránnyal, az atomenergiánál kisebb, megújulóknál nagyobb ütemű növekedéssel számol a szerző.

Pápay József az Exxon Mobilra hivatkozva (Pápay, 2006, 2.) 2030-ra vonatkozóan prognózisként 37 % kőolaj, 26 % földgáz, 21 % szén, összesen 84 % fosszilis arányt, 5 % nukleáris, 3 % víz, 6 % biomassza és 2 % nap-szél, összesen 11 % megújuló arányt ad meg. Ezek az arányok lényegében azonosak Büki Gergely adataival.

Shashi Kumar (Kumar, 2003) 1990. évi adatokat és 2050-re szóló prognózisadatokat ad meg. (4. táblázat) A különböző változatoknál a kőolaj és a szén csökkenő, a földgáz növekvő aránnyal szerepel 2050-ig. A fosszilis energiahordozók aránya 51 és 73 % közötti becslés, a nukleáris 4 és 12 % közötti arány, a megújulók (vízzel együtt) 22 és 39 % közötti aránnyal. A megújulók aránya az ökológiai korlátos – viszonylag alacsony 14×10^9 toe – változatnál 37–39 %-os.

Az EU célja – lényegében az európai „fejlett” országok – 2010-ig a megújuló energiák arányának növelése 12 %-ra. (Vajda, 2004, 234.) Kérdéses természetesen, hogy ez a 2010-es 12 % világátlagban mit jelenthet. Az európai népesség (1994-ben) a világ 8 %-a, az energiateljesítményének 18,1 %-a.

Az IEA adatai szerint 2000-ben a megújuló energiák aránya 18 % (Vajda, 2001, 105.) Shashi Kumar szerint (1990) 18 %, Büki Gergely szerint 7,5 %, a 2060-ban várható érték 30–40% (IEA).

Vajda György adatai szerint 2100-ban a megújuló energiák maximális potenciális lehetősége $1100 \text{ EJ} : 3600 \text{ EJ} = 30,5 \%$. (Vajda, 2001, 107.) A világ évenként reálisan használható megújuló potenciáljai a teljes energiaigény %-ában 2100-ban a bemutatott relatív arányok szerint $0,8 : (5-6) = 13-16 \%$, azaz maximális potenciális lehetőség (30,5 %) kerekre fele, 50 %-a. (Vajda, 2004, 235. 23. ábra) Ha a 2100-ban várható teljes energiaigényt 1600 EJ/év -nek vesszük, akkor az összes megújuló energia maximális potenciális lehetősége $1100 : 1600 = 0,687 \approx 69 \%$. Az előbbi relatív aránnyal számolva $(1600 : 3600 = 0,44)$, $(13-16\%) : 0,44 = 29-36 \%$ maximális megújuló arány valószínűsíthető 2100-ra.

Az energiaszerkezet 21. századi várható alakulásával foglalkozik Füst Antal és Hargitai Róbert (Füst – Hargitai, 2007) tanulmánya is. A dolgozat 4. ábráján szereplő diagram szerint 2030-ban a kőolaj aránya 39 %, a földgázé 23 %, a szénéé 24 %, az összes fosszilis aránya 86 % lehet, 6 % a nukleáris és 8 % az összes megújuló (geotermikus, nap, víz) forrás. A 2050. évi arányok a tanulmány szerint: kőolaj 26%, földgáz 21%, szén 23%, az összes fosszilis 70 %, 12 % az atomenergia és 18% az összes megújuló. A 21. század második felére már jelentősebb átalakulást prognosztizál a tanulmány: kőolaj 9 %, földgáz 4 %, szén 30 %, összes fosszilis 43 %, 22 % az atom- és 35 % a megújuló energiák.

A bemutatott adatok összesítése alapján a megújuló energiák becsült arányai a 21. századra. (4. táblázat) A bemutatott adatok összegzése alapján a közelebbi jövőre (2030)

vonatkozóan a becslések gyakorlatilag egybevágóak, a fosszilis energiahordozók arányát 84–86 %-ra, az összes megújulóét 10–14 %-ra várják a szerzők. A távolabbi jövőre (2050. év) is „realis” prognózisok szólnak 50–70 %-os fosszilis aránnyal, és a nukleáris elfogadottság 12–18 %-os aránya mellett, 20–40 % közötti összes megújuló aránnyal. A távoli jövő (2100) vonatkozásában már inkább érvényesül az a „nézet”, hogy a kőolaj- és földgázkészletek *hamarosan* kimerülnek, s jóval nagyobb; 30–60 %-os megújuló arányok is megjelennek.

A ma ismert megújuló energiahordozók távoli jövőben várható, „magasnak tűnő” ará-

nyával kapcsolatban indokolt visszautalni arra, hogy a bioanyagok viszonylag alacsony 10–20 %-os kimenő hatásfokú (villamosenergia-, illetve folyékony üzemanyag-előállítás esetén) hasznosítása lehetséges. Továbbá arra is, hogy a bioanyagok (fa, fű, repce, kukorica) nagyságrenddel nagyobb tömegű termelése (mezőgazdasági területeken monokultúrák kialakítása) ökológiai problémákat is felvetethet.

Tanulmányunkban a ma ismert megújuló energ fajfajta várható használatáról szólnunk. Nem említettük a távoli jövő lehetőségeként a fúziós energiatermelés, avagy újabb (mágneses) források esetleges alkalmazását.

Szerző, hivatkozás	2030		2050		2100	
	Fosszilis	Megújuló	Fosszilis	Megújuló	Fosszilis	Megújuló
Büki Gergely (Büki, 2006)	84	10				
Pápay József (Pápay, 2006)	84	11				
Shashi Kumar (Kumar, 2003)			51–73	22–39		
Füst Antal – Hargitai Róbert (Füst – Hargittai, 2007)	86	14	70	30	43	57
IEA (Pápay, 2006) (2060-ban)				30–40		
Vajda György (Vajda, 2001, 2004) (Abszolút maximum)						30
Vajda György (Vajda, 2001, 2004) (Realis, max)						3600 EJ összes igény mellett 13–16 %
						1600 EJ összes igény mellett 29–36 %

4. táblázat • Megújuló energ fajfajta becslt arányai (%) a 21. századra

Kulcsszavak: *energiaigény, fosszilis energiahordozók, megújuló primer energiatípusok, energiaprognózis*

IRODALOM

- Büki Gergely (2006): A jövő és az energia. Mérnök Újság, XIII. II. 12–15.
- Csom Gyula (2007): Energiapolitikai prioritások. Magyar Tudomány. 167. I. 4–10.
- Füst Antal – Hargitai Róbert (2007): A jövő potenciális energiaforrásai. Magyar Tudomány 167. I. 62–72.
- Gyulai Iván (2007): Észak-Magyarország. Február 9. 4.
- Kovács Ferenc (2004): Meddig és mit bányászunk? In: *Mindentudás Egyeteme 3*. Kossuth, Budapest, 69–95.
- Kumar, Shashi (2003): *Global Coal Vision – 2030*. 19th World Mining Congress 1–5 November 2003. New Delhi 137–148.
- Lakatos István (2005): *Perspectives of Oil and Gas Production/Consumption in the XXI. Century*. (Előadás)
- Pápay József (2006): Kőolaj és földgáztermelés a XXI. században. Bányászati és Kohászati Lapok Kőolaj és Földgáz. 139. 3. 1–12.
- Puchkov, Lev A. (2005): *Mineral Consumption and Macroeconomics-Strategie Analysis*. 20th World Mining Congress 2005. 7–11. November 2005. Tehran IRSN „Mining and Sustainable Development” 51–59.
- Vajda György (2001): *Energiapolitika. Magyarország az ezredfordulón*. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián 2001. MTA, Budapest
- Vajda György (2004): *Energiellátás ma és holnap. Magyarország az ezredfordulón*. Stratégiai tanulmányok a Magyar Tudományos Akadémián 2004. MTA Társadalomtudományi Központ
- Varró László (2007): Robbanómotor – még néhány évtizedig tart az olaj korszaka. Mérnök Újság. XIV. I. 13–15.

