

Vajda György

Energiaigények

Az olajkrízis óta a gazdaságpolitika egyik kulcskérdése az energiaigények prognózisa. A tapasztalatok szerint egy ország energiaigényét a demográfiai viszonyok, a gazdaság helyzete, az életszínvonal, az energiaárak és a klíma szabja meg. A korábbi korrekció a nemzeti jövedelem és az energiafelhasználás között megdőlt, új összefüggések tekintetében útkeresés jellemzi a világot. A hazai társadalmi és gazdasági szerkezet átalakulása tovább nehezíti a hazai energiaprognózisok készítését. Sok zavar forrása az energetikai hatékonyság (gazdasági kategória) és az energetika hatások (műszaki kategória) fogalmainak összetévesztése. Energetikai hatékonyságunk a fejlett országokénak fele vagy harmada, az elmaradás felszámolása alapvetően a gazdasági hatékonyság javulásán múlik, a hatásokjavítás csak viszonylag kisebb hányadot képes ledolgozni.

Jóformán nincsen olyan tevékenységünk, amihez ne lenne szükség energiára. Maga az élet is energiafogyasztással jár, a táplálékkal bejutó szén és hidrogén égése fedezi az anyagcsere során a biológiai folyamatok energiaellátását. Az emberi táplálkozás átlagosan napi 10–13 MJ energia felvételét biztosítja, ennek nagy része a testhőmérsékletet és a szervezet belső funkcióinak működését fedezi, fizikai munkavégzésre pedig csak mintegy 25%-a hasznosítható. Az emberi izomerő meglehetősen szerény teljesítményt reprezentál, átlagértéke 100 W körül mozog, és csak rövid ideig képes ennek többszörösére. A fizikai munkavégzés egynapi lehetősége mintegy 3 MJ, egy év alatt ez 2 000 munkaóra figyelembevételével 720 MJ-ra tehető, ami alig teszi ki 17 liter benzin hőegyenértékét. A technika fejlődése ennek az emberi munkaerőalapnak a helyettesítését és megsokszorozódását eredményezte. A természeti erőforrások kiaknázásából nyert energia a fejlett világban nemcsak mentesítette az emberiséget a közvetlen fizikai munkavégzés nagy része alól, hanem az emberi

izommunkával megvalósíthatatlan feladatok számára is megnyitotta az utat. Ahogy a fejlődés során bővült az energetikai potenciál kiaknázhatósága, úgy vált mind könnyebbé az ember elemi létszükségleteinek biztosítása, majd idővel az életet könnyebbé és kellemesebbé tevő további létszükségletek kielégítésére nyitott teret.

Az embereknek tulajdonképp nem energiára, hanem az energia nyújtotta szolgáltatásokra van szüksége: hőre, fényre, mechanikai munkára, anyagok kémiai és fizikai átalakítására, szállításra, információkra, szórakozásra stb. — ez az energia végső hasznosítása. E hatások egyrészt életkörülményeink közvetlen alakításában játszanak szerepet, másrészt a civilizált élethez szükséges termékek — használati cikkek, termelőeszközök, járművek stb. — és szolgáltatások létrehozásában. A végső hasznosítás energia egyenértéke elvileg szám-szerűsíthető (pl. légterek melegítése, kémiai átalakítások reakcióhője, halmaz-állapot-változtatások rejtett hője, megmunkálás deformációs munkája), de sokszor nehezen értelmezhető a gyakorlatban (mi az indokolt fűtési hőmértéklet, megvilágítás, utazási sebesség, mennyi információ szükséges egy technológiai folyamatnál). Ezért általában megelégszünk a fogyasztóknak szolgáltatott energiahordozók megfigyelésével, a statisztikai számbavételnek és a kereskedelmi elszámolásnak is ez a végső felhasználás az alapja.

A fogyasztók általában többféle energiahordozót (tűzelőanyagok, motorhajtó üzemanyagok, villamos energia, vezetékes gáz, távhő stb.) hasznosítanak többféle rendeltetéssel. Ezek forgalmának áttekintésére hasznos eszközök az energiamérlegek. Ezekben többnyire táblázatos formában állítják szembe az energiaforrásokat a felhasználással. Összetett kérdés az alkalmazott mértékegység megválasztása. A legegyszerűbb a közvetlenül mérhető természetes mértékegységek (t, m³, kWh stb.) alkalmazása, azonban ilyenkor gondot okoz a különféle energiahordozók közös kezelése. A tűzelőanyagokat gyakran olajegyenértékre (oe), vagy régebben szénegyenértékben mért egyezményes tűzelőanyagra (ETA) számítják át, a nemzetközi gyakorlat a joule-ban (J) mért hőérték irányába tart, de más mértékegységek is használatosak (ezek átszámításáról^a az 1. táblázat ad áttekintést).

1. táblázat

Az energiagazdálkodásban alkalmazott mértékegységek

mértékegység	megnevezés	egyenérték joule-ban
kpm	kilopondméter	9,81 J
kcal	kilokalória	4,19 kJ
kWh	kilowattóra	3,6 MJ
GWa	gigawattév	31,54 PJ
t oe	tonna olajegyenérték	42 GJ
t ETA	tonna egyezményes tűzelőanyag	29,3 GJ
BTU	British Thermal Unit (angol)	1,055 kJ
Quad	kvad (10 ¹⁵ BTU, amerikai)	1,055 EJ
termie	termi (francia)	4,19 MJ

^a A nemzetközi Mértékegységrendszer előtagjainak: k(kilo)=10³, M(mega)=10⁶, G(giga) = 10⁹, T(tera)=10¹², P(peta)=10¹⁵, E(eta)=10¹⁸ használatával

Külön probléma a villamos energia számbavétele a mérlegekben. A végső felhasználásnál a fizikai hőegyenértéket (1 kWh=3,6 MJ) figyelembe véve összegzik a különféle egyéb energiatípusokkal. A primer energiamérlegekben viszont a hőerőművek átlagos fajlagos hőfogyasztásából számítható tüzelőanyag hőértékével veszik figyelembe, ami a technikai színvonal függvénye. A villamos energiarendszer fajlagos hőfelhasználásnak az idő függvényében csökkenő értéke helyett újabban 10 MJ átlagos egyenértéket alkalmaznak. Hasonló egyenértéket használnak a vízerőműveknél, atomerőműveknél és az importált villamos energiánál is, bár ilyenkor ennek nincs tényleges fizikai tartalma. Vagyis a vízerőművekben fejlesztett villamos energia mintegy háromszor annyit ér a tüzelőanyag mérlegben, mint az elosztási mérlegben.

Az *energiamérlegek* alkalmas eszközök az energiagazdálkodás módjának és hatékonyságának elemzésére, segítenek a veszteségek feltárásában, hozzájárulnak a gazdálkodás optimalizálásához, és sok egyéb célra is alkalmazhatók. Sokféle bontásban (például területek, felhasználói szektorok, ágazatok, energiatípusok, technológiák) és különféle időtartamokra készülnek, a felhasználás igényétől és az adatszolgáltatás gyakoriságától függően. A 2. táblázat példaként

2. táblázat

Magyarország energiamérlege 1997-ben

Források, PJ		Elosztás, PJ	
primer energiahordozó termelés	523,5	közvetlen felhasználás	775,7
behozatal	630,9	(anyagjellegű és nem energetikai)	(65,3)
készletcsökkenés	0,1	átalakítási veszteségek	183,3
halmozatlan források	1 154,5	halmozott nettó felhasználás	959,0
		vesztességhasznosítás	10,5
		halmozatlan nettó felhasználás	948,5
		átosztási veszteség	104,5
		halmozatlan bruttó felhasználás	1 053,0
		kivétel	78,2
		készletnövelés	23,3
		halmozatlan végső felhasználás (elosztás)	1 154,5

az országos energiamérleg nagyon leegyszerűsített formáját mutatja. Forrásoldala az energiatermelők és importálók statisztikai adatszolgáltatására épül. Mivel csak a nagyfogyasztók vannak adatszolgáltatásra kötelezve, az energiafelhasználás jelentős részét reprezentatív felmérésekre és számításokra alapozva határozzák meg. A forrásoknál a termelésen és az importon kívül figyelembe kell venni a készletek csökkenését is, a végső felhasználás is kiegészül az exporttal és a készletek feltöltésével.

Primer energiaigények

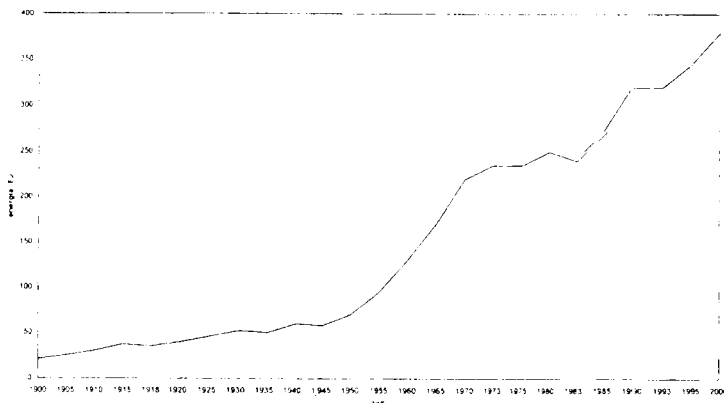
A természet energiaforrásaitól — a primer (elsődleges) energiáktól — hosszú, számottevő veszteséggel járó előkészítési, átalakítási, szállítási, tárolási műveletek sorozatain keresztül vezet az út a végső felhasználáshoz. Ebben a primer energiáknak csak kis hányadát (egyes szénfeleségeket és néhány megújuló energiatípusokat) hasznosítják eredeti formájukban, legnagyobb részüket különféle technológiai műveletekkel teszik a fogyasztók számára könnyebben felhasznál-

hatóvá (még a földgáz is szeparálásra és nyomásváltoztatásra szorul). A primer legnagyobb részéből átalakító művekben (erőművek, fűtőművek, kőolaj-finomítók, szénfeldolgozók, nagy ipari kazánok) szekunder (másodlagos) energiahordozókat villamos energiát, hőhordozókat, kőolajtermékeket, kokszot stb. állítanak elő. Az átalakító művek kétarcú felhasználók, egyrészt fogyasztói a primer, másrészt forrásai a kibocsátott szekunder energiahordozóknak. Eltekintve a geotermikus energia hőhordozóitól, a szekunder energiahordozók közvetlenül hasznosítható formában nem fordulnak elő a természetben. A végső felhasználóknál többnyire újabb energiaátalakítás biztosítja a végső hasznosítást, rendszerint további jelentős veszteség árán.

A kereskedelembe forgalmazott primer energiahordozók világfelhasználásának időbeli alakulását a 1. ábra szemlélteti [1,2]. Ez nem tükrözi a teljes képet, mivel a felhasznált energia egy része (10–15%) nem kerül kereskedelmi forgalomba. A biomassa és a megújulólok lokális hasznosításának jelentős hányadára csak becslések vannak. Az energiaviszonyok számbavételében az is

1. ábra

A világ energiafelhasználása



némi bizonytalanságot okoz, hogy az ásványi tüzelőanyagok fűtőértéke lelőhelyek szerint eltérő, és az átszámítás gyakorlata egyezményes tüzelőanyagokra nem egységes. Az évszázadot átfogó ábrán a folyamatos fejlődést csak átmenetileg törik meg nagy horderejű fejlemények (világháborúk, gazdasági világválság, olajsokk, a szocialista világrendszer összeomlása), stagnálást vagy néhány százalékos visszaesést okozva.

Megbecsülve a nem kereskedelmi forgalomból származó energiahordozókat is, a világ teljes primer energiafelhasználása 1998-ban kerekén 400 EJ volt. A Föld 6 millárdnyi lakosát figyelembe véve az egy főre eső átlag mintegy 70 GJ/fő,év. A szállítási és átalakítási veszteségek miatt a fogyasztókhöz ennek kb. 70%-a jut el, így a végső felhasználás világátlaga 50 GJ/fő,év (az emberi munkavégző képességnek kerekén 70-szerese). A végső hasznosítás energia-egyenértéke ennek felére becsülhető.

Egy régió energiaigényének alakulását elsősorban a demográfiai helyzet, a gazdasági aktivitás, az életszínvonal és az energiaárak színvonala befolyásolja. A lakosság gyors szaporodása óhatatlanul maga után vonja az energiafelhasz-

nálás növekedését is, hiszen minden új lakos életszükségleteit csak energia-befektetés árán lehet kielégíteni. A népszaporulat főleg a fejlődő országokban jelent kényszert az energiabázis jelentős növelésére. A legnagyobb növekedést Dél-Ázsiában várják, egy ENSZ-tanulmány szerint [3] fél évszázadon belül Kína és India népessége egyenként meg fogja haladni a 1,5 milliárdot, 250 milliónál több lakosa lesz Braziliának, Indonéziának, Nigériának, Pakisztánnak stb. A jövőbeli magyar energiaszükségletet a demográfiai viszonyok alig befolyásolják, a népesség lassú fogyásának hatása másodlagos.

A Világbank és a Nemzetközi Valutaalap prognózisai szerint a világgazdaság fellendülése — néha megtorpanásokkal — tovább tart, ami szintén az energiafelhasználás bővítését teszi szükségessé, hiszen minden új szervezet, minden új vagy bővülő tevékenység fogyasztásnövekedést is jelent. A gazdasági növekedés is a fejlődő országokban lesz a leggyorsabb, és vásárlóerőben (PPP^b) számított részesedésük a világgazdaságban 1—2 évtized alatt 30%-ról 50%-ra nő. A leggyorsabb fejlődést Kínában várják, amit Kelet-Ázsia növekedési üteme követ.

A 20. század első hét évtizedében, elég nagy időszakaszokat átfogva, a t idő függvényében az országok egy főre eső (e) energiafelhasználásának értékeihez jó korrelációval illeszthető egy

$$\log e = a + b \cdot t \quad (1)$$

alakú lineáris regressziós egyenes, ahol a és b állandók. Ez a gyakran alkalmazott képlet az energiafelhasználás monoton és exponenciális növekedését sugallja. Ez a következtetés félrevezető, mert a logaritmikus lépték elfedi az értékek szórását és a trendek időnkénti módosulását, ezért az 1. képlet csak a tendenciák jellemzésére szolgál. Hasonló jellegű függvényeket lehet az egy főre eső n nemzeti jövedelemre is szerkeszteni, így kézenfekvő a két jellemző összekapcsolása

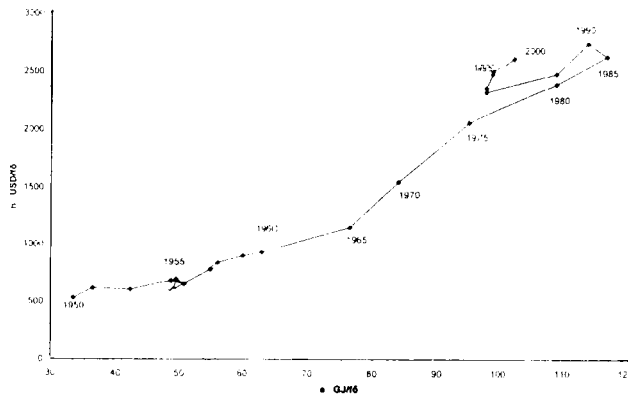
$$\log e = c + d \cdot \log(n) \quad (2)$$

kifejezéssel (c és d szintén állandók). A kétszer logaritmikus ábrázolás végleg elfedi a részleteket, téves következtetéseket is előidézve. Például egyesek nemzetközi összehasonlításokra is ajánlják, mivel a különböző országok ilyen típusú görbéi közel párhuzamosak egymással. E szerint, ha egy ország nemzeti jövedelme utoléri egy fejlettebbét, energiafelhasználása is hasonlóképp fog alakulni. E következtetés figyelmen kívül hagyja, hogy az egy főre eső energiafelhasználás azonos gazdasági fejlettség esetében lényegesen eltérő lehet, mivel azt befolyásolja a nemzetgazdaság szerkezete, az energiaigényes iparágak szerepe, a műszaki fejlettség, a termékek és szolgáltatások fajlagos energiatartalma, a fogyasztói szokások, a szállítási igényesség, az energiatakarékos szemlélet stb. Azonos bruttó nemzeti terméket is nagyon eltérő gazdasági szerkezetekkel lehet elérni, például azonos GDP-vel egy jelentős nehéziparral rendelkező ország fajlagos energiafelhasználása elérheti egy mezőgazdasági ország mutatójának a kétszeresét is.

^b Purchasing Power Parities, egyenértékű vásárlóerő

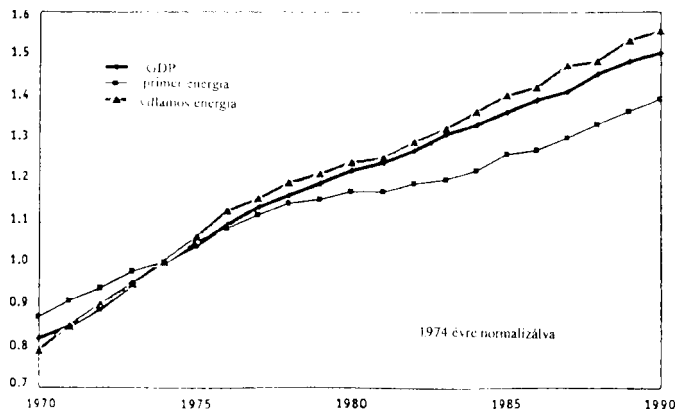
2. ábra

Az energiateljesítmény és a GDP alakulása Magyarországon



3. ábra

Fejlődés az OECD országokban



A 2. ábra a magyar nemzeti jövedelem és energiateljesítmény fajlagos mutatóinak alakulását szemlélteti századunk második felében. Érzékelteti, hogy a globális növekedési tendencia érvényesülése mellett a gazdasági struktúra változása időnként visszaeséseket, irányváltásokat is előidéz, például az 50-es évek második felében vagy a 90-es évtizedben. Jó néhány országban az olajkrisis következtében is megromlott a korreláció a GDP és az energiateljesítmény növekedési üteme között. Az erőteljes energiatakarékosság hatására egyes időszakokban stagnáló vagy egyenesen csökkenő energiateljesítmény mellett is erőteljes gazdasági növekedést produkált a fejlett országok egy része. Ez azonban csak átmeneti hatásnak bizonyult, idővel a fejlődési tendencia helyreállt, de kisebb ütemmel. Alátámasztja ezt az OECD^c országok összesített értékeit feltüntető 3. ábra [4], mely szerint a primer energiateljesítmény lassabban, a villamosenergia-igény gyorsabban nőtt, mint a GDP.

^c Organization for Economic Cooperation and Development, Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet

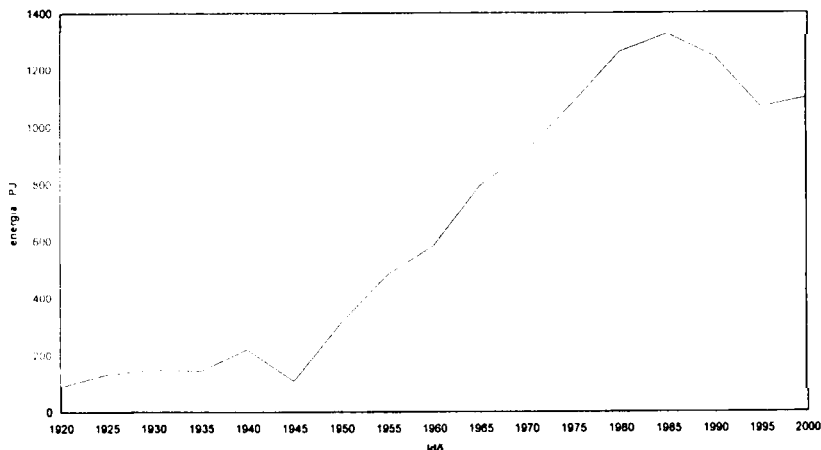
A fejlett országok a jövőben is hatékony, környezetkímélő, energiatakarékos energiagazdálkodásra fognak törekedni, hogy a gazdasági fejlődés ne követelje az energiabázis erős növelését. De e célok következetes érvényesítésével sem lehet a gazdasági fejlődést tartósan az energiateljesítés növekedése nélkül biztosítani. A fejlődőket — különösen a sűrűn lakottakat — extenzív és energiaigényes gazdasági fejlődésre kényszeríti a népszaporulat, valamint az életszínvonal-növelés szándéka. Enyhíti a feszültséget, hogy a fejlődő országok nagy része mentesül a fűtés terhe alól, ami a mérsékelt égöv országaiban az energiateljesítés 30—40%-át teszi ki.

Magyarország köztes helyzetben van, a felzárkózás szándéka gyors gazdasági fejlődést kíván, de a kedvezőtlen energiahelyzet miatt fokozott energiatakarékosra van szükség. Az 4. ábra a magyar primer energiaigények alakulását mutatja be 1920-tól [5]. Jól érzékelhető a 2. világháború utáni erős visszaesés. Ugyancsak jelentős a csökkenés a rendszerváltást követő években, a gazdasági visszaesés és az energiaigényes ágazatok (kohászatok, építőanyag-gyártás, nehézipar) leépülése következtében. A 90-es évek második felében az energiateljesítés enyhe ingadozásokkal lényegében stagnált, amit befolyásolt az időjárás és az áremelkedés ösztönözte energiatakarékosra. A gazdasági fejlődést alapvetően a kevésbé energiaigényes feldolgozóipar biztosította, aminek bővülő energiaigényét a technikai innováció ellentételezte. A magyar primer energiateljesítés 1998-ban kerekén 1,1 EJ-t tett ki, ami fajlagosan 104 GJ/fő,év-et jelent, a végső felhasználás mutatója pedig mintegy 75 GJ/fő,év.

Természetesen az életkörülmények javításához is energiára van szükség. Az életszínvonal energiavonzatát egyrészt a lakosság közvetlen felhasználása képviseli, másrészt az igénybe vett termékekben és szolgáltatásokban megtestesült közvetett felhasználás. A fajlagos energiateljesítésben rendkívül nagy különbségek vannak az országok között, és az egyes országokon belül a társadalom rétegei között. A legszegényebb rétegek természetes gazdálkodása alig, vagy csak kis mértékben igényel kereskedelmi forgalomban kapható energiateljesítést. Bizonyos határok között az energiateljesítés arányos a személyi

4. ábra

A magyar energiateljesítés alakulása



jövedelemmel, egészen nagy jövedelemnél a közvetlen energiafelhasználás felhalmozódás felé tart, de nő a közvetett felhasználás. Az életszínvonal további növekedését prognosztizálják a fejlett országokban, az elmaradottak többségében azonban csak lassan tud nőni a nagy népszaporulat miatt. Magyarország fajlagos energiafelhasználása a világ középmezőnyében helyezkedik el. Figyelmet érdemel, hogy a magyar lakosság összesített közvetlen energiafelhasználása a 90-es évek nagy recessziójának időszakában is nőtt (annak ellenére, hogy az energiaárak erősen nőttek és jelentős rétegek elszegényedtek). Magyarországon nagyon erős a vágy és a szándék a nyugati életszínvonal utolérésére, a következő évtizedekben ez lesz az egyik fő hajtóereje az energiaigények növelésének, törekvés komfortosabb lakások, nagyobb mobilitás, igényesebb fogyasztási cikkek, jobb munkakörülmények elérésére.

A fejlődés teremtette lehetőségekből a Föld lakói nagyon egyenetlenül részesültek (3. táblázat). Míg a legfejlettebb régiókban a fajlagos felhasználás a világátlag többszöröse, a szegényebbeket annak tört része jellemzi a Föld lakosainak 80%-át képviselő „fejlődő” országokra a primer energia felhasználásának csupán 20%-a esik. A fejlett világhoz viszonyított nagyságrendi különbség a katasztrofális elmaradást tükrözi életszínvonalban, gazdasági fejlettségben, életkörülményekben. A végső energiafelhasználás a legszegényebb országokban az emberi fizikai teljesítőképesség tört része, ami a biológiai lét határán történő tengődéshez is alig elég.

3. táblázat

Egy évre eső fejenkénti végső energiafelhasználás relatív arányai [6]

Országok	relatív mutató
Egyesült Államok	4,10
Nyugat-Európa	2,20
Magyarország	1,50
világátlag	1
Kína	0,33
India	0,11
feketeféle Afrika	0,01

A 3. táblázat arányai mögött óriási morális és politikai feszültségek húzódnak meg, az egyenlőtlenség nem csak a természeti és gazdasági adottságokon múlik, hanem a gyarmati sors történelmi öröksége is. A gazdasági színvonalban mutatkozó hatalmas elmaradás csökkentése nemcsak az elmaradt országok elemi érdeke, hanem a fejlettek saját stabilitásának megőrzése is ezt követeli. Enyhébb formában egy feljűk irányuló nagymértékű migráció mérséklésére, távlatilag egy nyílt konfrontáció veszélyének elkerülésére, aminek csirái a fundamentalizmus leple alatt, valamint a regionális konfliktusok formájában már megjelentek. A Világ jövőjének egyik legnagyobb dilemmája, sikerül-e végigjárni az elmaradottak felzárkózásának keserves folyamatát egy nagy világégés elkerülésével. A gazdasági és a politikai feszültségek enyhítéséhez az elmaradt országok energiagazdaságának minél gyorsabb fejlődésére is szükség van. Néhány „fejlődő”-nek már sikerült a fejlődés útjára lépni, de a zöm még várat magára.

Az energiaárak minden termék és szolgáltatás költségét befolyásolják, így visszahatnak a gazdaság fejlődésére és versenyképességére. Versenyképességének javítására az Európai Unió stratégiai feladatának tekinti az energiaárak

leszorítását, mindenekelőtt piaci módszerek kialakításával az energiaellátás minden területén. Ez fog érvényesülni csatlakozásunk után a mi viszonyainkban is, ha sikerül addig kiegyenlíteni az árszínvonalakat, mindenekelőtt a vezetékes ellátási módoknál. Addig azonban a fogyasztói energiaáraink lényeges növekedését fogja kikényszeríteni a dereguláció és az energiaiparok szükségszerű korszerűsítése. Az energiaárak számottevően befolyásolják az életszínvonalat is. A tapasztalatok szerint a háztartások energiafogyasztását kis áremelkedés csak átmenetileg mérsékli, tartós fogyasztáscsökkenést csak jelentős árnövelés idéz elő.

Az energiaárak prognózisa meglehetősen bizonytalan, azokat a kereslet és kínálat alakulásán kívül más tényezők (monopóliumok — például OPEC, geopolitikai körülmények, állami politika, társadalmi közhangulat stb.) is befolyásolják. A világpiacon reálárakat az ásványi energiahordozók kedvezőtlenebb lelőhelyeinek fokozatos termelésbe vétele, valamint a környezetvédelmi és egyéb társadalmi követelmények költsége enyhén felfelé hajtja. De amíg a világ politikai és katonai egyensúlya nem bomlik meg, az olajkrízishez hasonló drámai árváltozásokat nem lehet feltételezni.

Energiaprognózisok

A 70-es évek olajkrízise nyomán az országok gazdaságpolitikájának alapvető kérdésévé vált az energiaigényének prognózisa. Az energiaigények előrejelzésére két megközelítés használatos. A *globális eljárás* egy átfogó gazdasági jellemző — többnyire a bruttó nemzeti termék (GDP) — és az energiateljesítmény kapcsolatára alapul. A módszer lényege a korábbi trendek extrapolálása, némileg figyelembe véve a viszonyokat befolyásoló fontosabb hatásokat (például politikai és társadalmi változások, energiaárak mozgása, környezetvédelmi követelmények). Ez a megközelítés figyelmen kívül hagyja, hogy az energiaigényeket a gazdasági fejlődésen kívül sok más tényező is lényegesen befolyásolja, ezért a globális eljárás csak tendenciák jelzésére alkalmazható, eredményei hosszabb időtávra félrevezetőek.

A *szintetikus módszer* az energiateljesítményt leginkább befolyásoló természetes tényezők várható alakulásából építi fel az energiaprognozt. A számítástechnikai lehetőségek kiszélesedése hatásos eszközt adott a tervezők kezébe. Rangos intézmények (IEA^d, EC^e, IASA^f, World Bank, MIT^g, WEC^h, DoEⁱ stb.) számos modellt fejlesztettek ki az igények becslésére. A modellek gyakran alkalmasak lineáris programozás segítségével energiaigény, költség, energiaszerkezet, szállítási munka stb. optimumának meghatározására. A háztartásoknál az életvitel változásából és az urbanizáció hatásából indulnak ki, a lakásszámból és azok komfortfokozatából (alapterület, fűtési mód, gépesítettség). Az iparnál a termelés volumenét, a fejlesztést befolyásoló körülményeket

^d International Energy Agency. Nemzetközi Energia Ügynökség (OECD-szervezet)

^e European Commission. Európai Bizottság (az Európai Unió kormánya)

^f International Institute of Applied System Analysis. Alkalmazott Rendszerelmzés Nemzetközi Intézete

^g Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts állam Műszaki Egyeteme

^h World Energy Council. Világ Energia Tanács

ⁱ Department of Energy. Energiaügyi Minisztérium (USA)

és a technológiai fejlődését prognosztizálva, a fajlagos energiafelhasználás jövőre becsült mutatóinak számításba vételével szintetizálható a felhasználók igénye, különös tekintettel az energiaigényes iparágakra. A közlekedésnél a szállítási teljesítményből és annak a szállítási módok közötti megoszlásából, a motorizáció mértékéből, és hasonló jellemzőkből vezetik le az energiaszükségletet. E munkaigényes megközelítés megbízhatósága csak látszólag nagyobb, mint a globális megközelítésé, hiszen a részfolyamatok jellemzőinek előre becslését sem terheli kisebb bizonytalanság, mint egy globális mutatóét.

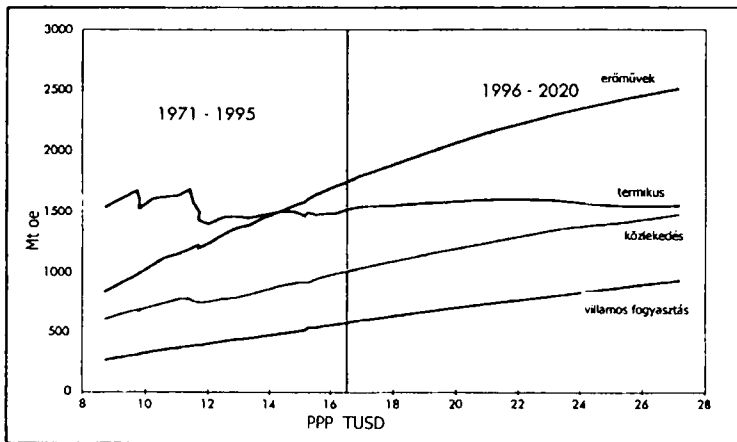
A legtöbb modell csak az energiafolyamokat követi, de vannak összetett modellrendszerek az energiaellátást lényegesen befolyásoló külső hatások figyelembevételére, valamint a szükséges erőforrások felmérésére. A legtöbb erőforrás a természetből származik (primer energiaforrások, nyersanyagok, terület, víz), ugyanakkor az energetika kibocsátásaival, hulladékaival és az ásványvagyron felélésével korlátozza is a lehetőségeket. A gazdasági szféra biztosítja a működéshez és fejlődéshez szükséges tőkét, infrastruktúrát, ipari termékeket, az energetika pedig megrendeléseivel és áraival befolyásolja a gazdaság lehetőségeit. Más kölcsönhatások is figyelmet érdemelnek, az állami szabályozás és a költségvetési jövedelmek hatása, a társadalom elvárásai, a munkaerőkérdések (foglalkoztatás, szakképzés, településfejlesztés).

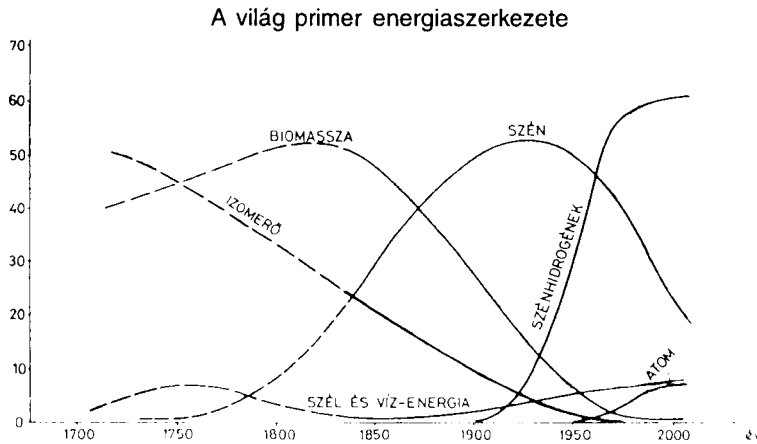
Mind a globális, mind a szintetikus megközelítést terheli a jövőre vonatkozó becslések bizonytalansága, akár a természetes folyamatokról, akár a GDP-ről van szó. Ennek csökkentésére a hosszabb időtávra egyetlen prognózis helyett a legfontosabb paraméterek változatainak megfelelően több forgatókönyvet (szcenáriót) vizsgálnak. Ugyancsak a bizonytalanság csökkentésére időszakonként felülvizsgálják a prognózist, az energiapiac tényleges alakulását figyelembe véve. Az IEA például háromévente teszi közzé részletes elemzését, melynek legutóbbi változata [4] átmenetet képvisel a kétféle megközelítés között (5. ábra).

Az 5. ábrán a szükségleteket jellemző görbék közül három (villamosenergia-felhasználás, közlekedés, erőművek tüzelőanyag-igénye) monotonon nő, a lényegében fűtést és ipari felhasználást jelentő termikus fogyasztás az OECD-ben

5. ábra

Az OECD országok energiaigénye





stagnál, azon kívüli térségekben azonban ez is nő a PPP-ben mért GDP függvényében (PPP=purchasing power parities=egyenértékű vásárlóerő).

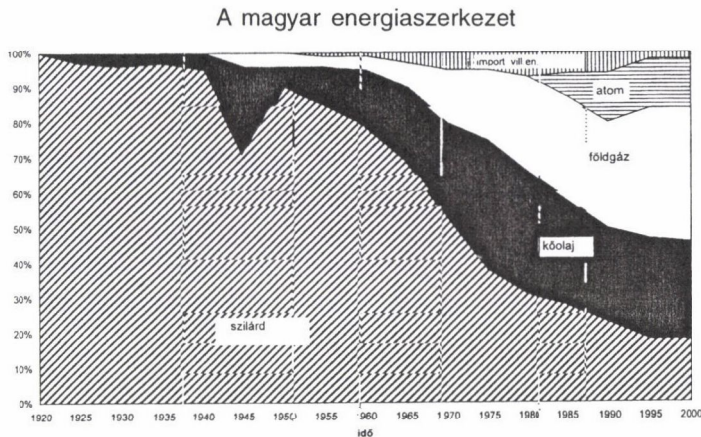
A világ energiaszükséglete az elmúlt századunk második felében megfordultak, a világ energiafelhasználása 50 év alatt 4,5-szeresre nőtt, de a fejletteknel csupán fele akkora arányt tapasztaltak. Századunk első felében a világ primer energiafelhasználásának növekedési üteme átlagosan 2–2,2%/év volt, a 2. világháborút követő három konjunkturális évtizedben az ütem 5%/év-re gyorsult, a 70-es évek tranziensei után 2% körüli ütem stabilizálódott és az előrebecslések is hasonló növekedési ütem körül mozognak. (Mivel a világ lakossága is gyorsan nő, az egy főre vetített növekedési ütemek kb. fele akkorák). A jövőre készített nagyszámú prognózis eredményei között jelentősek az eltérések, de valamennyi elkerülhetetlennek tartja az energiafelhasználás további növekedését. A korábbi előrejelzések meglehetősen ambiciózusak voltak, a tényleges fejlemények a mérsékeltőbb előirányzatokat támasztották alá. A következő két évtizedre a prognózisok a világ primer energiaigényének 50–60%-os növekedését tételezik fel, aminek kétharmada a fejlődő világban (különösen Kínában és Indiában) várható.

Több igénybecslés készült a várható magyar energiaszükségletre is. Az Országgyűlés számára 1997-ben készült globális prognózis a gazdaság 1 és 3% közötti növekedési üteméből indul ki, és a következő 10–15 évre a primer energiafelhasználás évenkénti növekményére minimum 0,5% és maximum 1,5% ütemet valószínűsít, amihez ugyanilyen mértékű energetikai hatékonyságjavulást tételez fel. Ezen ütemekkel a primer energiaigény 2010-re 1,1–1,25 EJ/évre nőne, a 2020-ra becsülhető érték 1,4–1,6 EJ. A gazdasági növekedés felgyorsulása az értékeket felfele növelné, ugyanakkor visszafogó hatások (gazdasági szerkezetváltás, technológiák korszerűsítése, energiatakarékosság, energiahordozók drágulása, népesség fogyása) is érvényesülnek. Valószínűleg egy stagnáló, vagy csak enyhén növekvő szakasz után következne be az energiafelhasználás jelentősebb növekménye. Szintetikus módszerrel hazai igénybecslések az utóbbi években nem készültek.

Energiaszerkezet

Természetesen a globális energiaigények semmitmondóak, a fogyasztók által igényelt konkrét energiafajtákból kell az ellátást biztosítani. A felhasznált primer energiafajták egymás közötti aránya — az energiahordozó-szerkezet — az idő során folyamatosan változott, és ez várható a jövőben is. A 7. ábra szemlélteti, hogy a különféle primer energiahordozók milyen arányt képviseltek az idő függvényében a világ energiaellátásában. Természetesen az ábra nagy része csupán kvalitatív becslés, mivel adatokkal csak az utolsó 1—1,5 évszázadra

7. ábra



rendelkezünk, azokat is sok bizonytalanság terheli. Az ábrán „izomerő” az emberi és állati munkavégzést jellemzi, a „biomassza” tűzifát és éghető hulladékokat takar, a „szénhidrogén” görbe együtt mutatja a kőolaj és földgáz felhasználását. Az energiastruktúra változását sohasem a korábban hasznosított energiaforrások kimerülése idézte elő, hanem az előtérbe került energiafajták előnyösebb gazdasági és műszaki jellemzői.

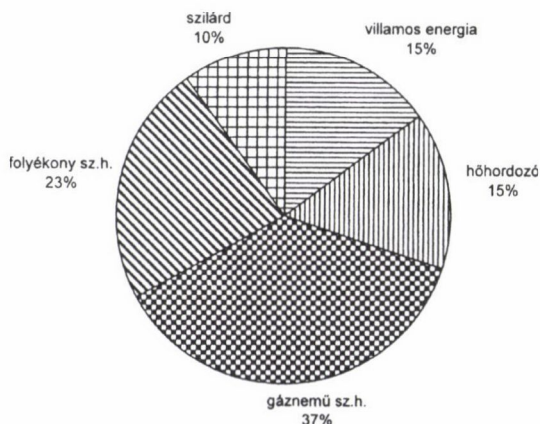
A világ jelenlegi primer energiaszerkezetét a villamosenergetika struktúrájával együtt a 4. táblázat mutatja be. Az energiaszerkezet csak lassan módosul, mert egyrészt stabilizálólag hat az energetikai létesítmények hosszú élettartama. Az energetika alapvető létesítményeinek (bányák, átalakító művek, szállító rendszerek) élettartama 4—5 évtized, nem sokkal rövidebb a nagy ipari energiafogyasztóké (például nagy kazánok és kemencék), a kisebb erőgépek, technológiai berendezések és a háztartási készülékek is megélik 2—3 évtizedet, hamarabb használódnak el a gépjárművek, a leggyorsabb a termékváltás az elektronikus eszközöknél (7—10 év). Másrészt az új követelményeket támastó fogyasztóberendezések piaci elterjedése is időigényes és tőkeigényes folyamat. Mivel az új megoldások csak fokozatosan hódítják meg a piacot, az energiatermelő berendezések teljes generációcseréjére átlagosan 30 évet, az energiafogyasztókéra 10 évet szokás feltételezni, az új termelő technológiák széles körű bevezetése pedig 10—15 évet igényel.

A világ energiaszerkezete		
energiahordozó	megoszlás a primer energia mérlegében, %	megoszlás a villamos energia fejlesztésében, %
szén	31	39
kőolaj	34	10
földgáz	22	15
nukleáris	6	17
víz és egyéb	7	19

A kőolaj változatlanul a legfontosabb energiahordozó marad, felhasználása a jelenlegi 3,3 Gt-ról 20 év alatt 5,2 Gt körüli értékre nő, de részaránya a mérlegben csökken. A fejlett országokban alapvetően a közlekedés szabja meg a kőolajigényt, a fejlődő világban főleg ott bővül a más célú hasznosítása — beleértve a villamos energiatermelést is — ahol más energiabázis kevésbé áll rendelkezésre. A legdinamikusabban a világ földgázhasznosítása nő, 2,5 Tm³ körüli termelése megduplázódik. Különösen erősen nő az eróművi felhasználás, a korszerű gázturbinákkal lehet a legolcsóbban kielégíteni a fejlesztési igényeket. Más szektorokban is erős növekedés várható, ahol biztosíthatók a szállítási lehetőségek. A szilárd tüzelőanyagok 5 Gt-nyi termelése 7 Gt körüli értékre nő, aminek több mint fele eróművekbe kerül. A szilárd tüzelőanyagok 70%-ot meghaladó hányada kőszén, a lignit és barnaszén részesedése 12%, 15% pedig biomassza. Különösen a nagy szénvagyonnal rendelkező fejlődő országokban nő a szénfelhasználás, a legnagyobb mértékben Kínában és Indiában. A nukleáris energia hasznosításának gyors felfutását stagnálás követte, az évenkénti 2,3 TWh-nyi villamos energiatermelés szintjén. Ha nem módosul az atomenergetika megítélése a nyugati országokban, az időszak vége felé az atomeróművi kapacitás csökkenése is bekövetkezik, ahogy az életidejüket betöltő eróműveket leszerelik, amit a Távol-Keleten épülő új nukleáris kapacitások nem ellensúlyoznak.

8. ábra

Végző felhasználás energiatípusai szerint (1997)



A megújuló energiák kiaknázása nő, a jelenleg főleg víz-erő és tűzifa hasznosításból származó 800 Mt olajat helyettesítő mennyiségről 1300 Mt-nyira, de ez még mindig csak kis hányadát jelenti a mérlegnek.

A magyar primer energia szerkezetének alakulását a 8. ábra mutatja. A szénbányászat dominanciáját a világháborús visszaesést követő fellendülés után fokozatosan visszaszorította a kőolajhasználat, amit a földgáz előretörése követett, csökkentve az olaj részesedését. A 80-as évektől megjelent a nukleáris energia, a villamosenergia-import szerepe az 50-es évek kö-

zépétől fokozatosan nőtt, majd a 90-es években visszaesett. A következő 1—2 évtizedre vonatkozó hazai prognózis szerint a primer energiahordozók közül fokozatosan csökkenni fog a mélyműveléses barnaszén felhasználása, a külfejtéses lignité viszont némiképp nő, esetleg feketeszén-importra is sor fog kerülni. A kőolaj-felhasználás enyhén fog nőni, miközben részaránya csökken, erőteljesen bővül a földgázfogyasztás, és valószínűleg változatlan marad az atomenergia hasznosítáának szintje. A megújuló energiafajták aránya kismértékben nőni fog az energiamérlegben, a hazai adottságok elsősorban a biomassza hasznosításának kedveznek.

5. táblázat

A magyar energiamérleg primer energiaforrásai 1997-ben

energia-hordozó	hazai termelés		import		összesen		arány, %	
	PJ	%	PJ	%	PJ	%	hazai	import
szilárd	152,8	13,2	35,4	3,0	188,2	16,3	81,2	18,8
folyékony	66,3	5,7	299,7	26,0	366,0	31,7	18,1	81,9
gáznemű	140,7	12,2	274,2	23,8	414,9	35,9	33,9	66,1
atom			139,7	12,1	139,7	12,1	-	100,0
egyéb	21,9	1,9	21,5 ¹	1,8	43,4	3,7	50,5	49,5
összesen	383,9	33,3	770,5	66,7	1154,4	100,0	33,3	66,7

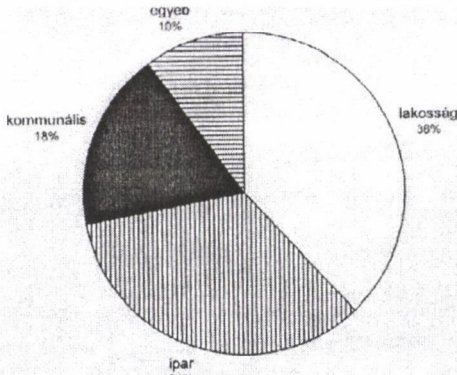
¹ villamosenergia

Az 5. táblázat az egyes energiahordozó típusok súlyát és különösen az import nagy szerepét érzékelteti az 1997 évi magyar primer energiamérlegben. Megfelelő hazai források híján az import jelenlegi kétharmados aránya a jövőben tovább fog nőni. Tagságunk az Európai Unióban csak némileg növeli ellátásbiztonságunkat, mivel maga az EU is nagymértékben energiaimportra szorul. A prognózisok szerint 2020-ban az EU ellátásának kétharmada fog a közösségen kívülről származni, jó részt meglehetősen labilis térségekből (Közél-Kelet, FÁK).

A végső felhasználás szintjén értelmezett felhasználói szekunder energiaszerkezet is folyamatosan változik. A világ szekunder energiaszerkezetében a szilárd tüzelőanyagok relatív részaránya csökkenőben van, egyrészt versenyképességük romlása, másrészt alkalmazásuk munkaigényes és környezetszennyező jellege miatt. A kőolajfrakciók részesedése stagnál, vagy enyhén nő, főleg a közlekedés fejlődésétől függően. Mivel a vezetékes energiaellátás számos előnnyel jár (kényelmes, jól szabályozható, tiszta, környezetbarát stb.), részarányuk a szekunder energiamérlegben folyamatosan nő. Különösen gyorsan nő a villamos energia felhasználás, a prognózisok a világ 2020-as összesített fogyasztására 22—24 PWh-t becsülnék, a jelenlegi 13 PWh-val szemben, az erőművi kapacitás 3,2 PW-ról 6 PW-ra bővül. A villamosenergia a világ végső felhasználásának mintegy 15%-át reprezentálja, aminek fejlesztésére jelenleg a primer energia közel 40%-át fordítják. Hasonló ütemben bővül a földgázfelhasználás is. A vezetékes távhőszolgáltatás versenyben van más fűtési módokkal, jövője erősen függ az energiaárak alakulásától, ezért elsősorban a villamos energiatermeléssel kapcsolt hőszolgáltatást tartják ígéretesnek, mert jelentős primer energia megtakarítást tesz lehetővé.

9. ábra

Végso felhasználás szektorok szerint

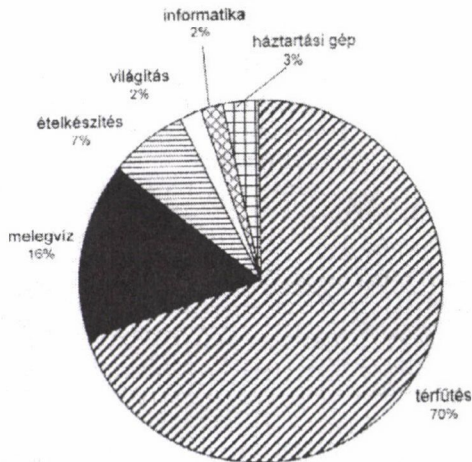


Az 1997. évi végső felhasználás magyarországi szerkezetét energiahor- dozók szerint a 8. ábra mutatja. A szilárd tüzelőanyagok a végső felhasználásból nálunk is fokozatosan vissza- szorulnak. A hazai viszonyokat is a villamos energia felhasználási részará- nyának további növekedése jellemzi, a jelenlegi bruttó villamosenergia- igény 36 TWh, a távlati tervek 1–2%- os növekedési ütemet feltételezve 2010-re 39–49 TWh, 2020-ra 50-60 TWh fogyasztást várnak. Erőteljesen nő a földgázfelhasználás is (2010-re 15–17 Gm³ a várt érték), de ennek egyre kisebb hányada származik hazai földgázmezőkről.

A 9. ábra a hazai végső felhasználás fogyasztói szektorok szerinti megoszlását mutatja. A lakossági fogyasztás részesedése növekvő, ami az életvitel alakulásától függ. Az életszínvonal javulása új igények megjelenésével párosul, nagyobb gépkocsiforgalom, több hétféle ház növeli az energiafelhasználást, több energiával jár az igény a nagyobb komfortra, a nagyobb alapterületű lakások fűtése, takarítása, az egyenletesebb hőmérséklet-eloszlás biztosítása, az átmeneti időszakok pötfűtése, a nyári légkondicionálás, nagyteljesítményű háztartási gépek (automata mosógép, szárító, mosogatógép) használata, másodkészülékek (TV, rádió, számítógép) beállítása stb. Az életszínvonal romlása is gerjeszthet többlet energiaszükségletet, pl. a közösségi szolgáltatások (üzemélelmezés, mo- sodák, gyermekintézmények) visszaszorulása, vagy az élelmezés háztartáson belül ellátandó funkcióinak bővülése (mert drágulnak a félkész ételek, konzervek, vendéglők) miatt. A háztar- tások végső hasznosításának átlagos megoszlását a 10. ábra szemlélteti, ebben nem szerepel a gépkocsik üzemanyaga, ami hozzávetőlegesen a fűtés energiaigényével azonos. A kommunális szektor (közigazgatás, pénzintézetek, szociális, egész- ségügyi, oktatási, kulturális intézmé- nyek, kereskedelem, vendéglátóipar stb.), energiafelhasználása a lakos- sági felhasználás harmada körül mo- zog, a szolgáltatások szerepének nö- vekedése erősen növeli a kommuná- lis energiaigényeket. Az ipar energia- felhasználása csökkenő, egyrészt visszaszorulnak az erősen energia- igényes ágazatok, másrészt a betele- pülő multinacionális vállalatok (au-

10. ábra

Háztartások átlagos felhasználása



tógyártás, elektronika, vegyipar) korszerű, energiatakarékos technológiát hoznak magukkal.

Az energiaciklusban a végső felhasználást a fogyasztó berendezések előtt, a végső hasznosítást pedig azok után kell meghatározni, ahol már nem következnek be további műszaki energiaátalakítások. A végső hasznosításra nem állnak rendelkezésre átfogó statisztikák, e tekintetben csak reprezentatív vizsgálatokra és becslésekre lehet támaszkodni. A mérsékelt égöv országokban a hasznosítás 60–70%-ának célja hőfejlesztés, 20–30% a mechanikai munka részesedése, a világítás és az információtechnika alig ér el néhány százalékot. A hőhasznosításnak több mint fele a fűtés, mintegy 10% az életkörülmények kialakításához (melegvíz készítés, tisztálkodás, ételkészítés, ruhakarbantartás) szükséges, a többi termelési technológiai célokat szolgál, ~80%-ban az ipar területén. A mechanikai munkavégzést a legnagyobb mértékben a közlekedés jellege és mértéke befolyásolja. A majdnem teljes egészében világításra szolgáló elektromágneses sugárzások gerjesztése 2–3%-nak felel meg. Valószínűleg 1–2% alatt van, de gyorsan bővül az információtechnika energiaigénye. Jelenkéntelen hányadot képvisel a főleg gyógyászati célokat szolgáló közvetlen biológiai hasznosítás (például fizioterápia, nukleáris medicina). A kémiai reakciók köréből az országos energiamérlegek csak az elektrolízist és a tüzelőanyagok égésén alapuló folyamatokat veszik tekintetbe, más energia felszabadulással járó exoterm reakciók az országos energiamérlegeknek nem tárgyai, de jelentős szerepük van a technológiai energiamérlegekben.

Energiatakarékosság

Az energiatkarékosság minden ország energiapolitikájának elsődleges célkitűzése, de természetesen követelmény, hogy az energetika racionalizálása ne korlátozza indokolt egyéni vagy társadalmi szükségletek kielégítését. A 70-es évek olajárrobbanásai világszerte nagy lökést adtak az energiatkarékosságnak, az utóbbi években végrehajtott hazai áremeléseknek is volt hatása, elsősorban azon tevékenységekre, melyeknél az energia jelentős tétele a költségeknek. A piaci viszonyok nem mindig biztosítják az energiatkarékosság érdekében eszközölt ráfordítások gyors megtérülését, ilyenkor állami preferenciákkal (kedvezményes hitelek, adókedvezmények, gyorsított leírás stb.) lehet a veszteségcsökkentés vonzerejét növelni. Az állami szerepvállalást indokolhatja egyrészt a közösségi érdek (például ellátásbiztonság, honvédelem, gazdaságpolitika, fizetési mérleg egyensúlya), másrészt a piac érzéketlensége a társadalmi terhek (például egyes környezeti hatások, egészségi ártalmak, szociális kiadások) iránt.

Magyarországon jelenleg az érdekeltség az energiatkarékosságban nehezen tud kibontakozni. Az energiatkarékosság kulcskérdése a veszteségcsökkentéshez, illetve technológiakorszerűsítéshez szükséges tőke olyan gyors megtérülése, hogy az ügylet versenyképes legyen más jellegű befektetési lehetőségekkel. A vállalatoknak nagyobb jövedelmet és gyorsabb megtérülést ígérő más befektetési lehetőségek (piacbővítés, termékváltás, bér- és anyagköltségek visszaszorítása) gyakran háttérbe szorítják az energiatkarékosságot növelő beruházásokat.

Gyakran tapasztalható vélemény, hogy a gazdaság energiaigényének növekedését az energetikai hatásfok javításával kell ellentételezni. Egyesek Magyar-

országokon különösen szükségtelennek tartják az energiabázis bővítését, mivel fajlagos energiafelhasználásunk az élenjáró országok hasonló mutatóinak többszöröse, és inkább a *hatásfokjavításban* rejlő óriási lehetőségek kiaknázására kellene törekedni. A hatásfokjavítás nagyon vonzó irányzat, a ráfordítások csökkentésén túl sok más problémát is enyhít (csökken a környezetszennyezés, mérséklődik az erőforrások terhelése, az energetika kevesebb tőkét von el más feladatoktól, csökken a fizetési mérleg terhelése, mérséklődnek a társadalmi feszültségek stb.), de sajnos az energetika jövőjének teljes körű megoldására nem elegendő. Néhány év múltán azokban a fejlett országokban is visszaállt az energiaigények növekvő trendje, amelyeknek az olajárrobbanások hatására sikerült átmenetileg csökkenő vagy stagnáló energiafelhasználás mellett biztosítani a gazdasági fejlődést. A könnyebben megvalósítható veszteségcsökkentési megoldások gyors kiaknázását követően a további lehetőségek realizálása egyre nehezebbé és költségesebbé válik. A reális lehetőségeket félreismerő vélemények hátterében többnyire az energetikai hatásfok és az energetikai hatékonyság fogalmainak nem megfelelő értelmezése áll, figyelmen kívül hagyva, hogy a hatásfok műszaki, a hatékonyság gazdasági kategória.

Az energetikai hatásfok egy szerkezetből, rendszerből kinyert és az abba bevezetett energia hányadosa, aminek értéke nem haladhatja meg a 100%-ot. A hatásfok az energiaátalakítás minőségét jellemzi, tükrözi az energiaveszteségek mértékét, ettől függ, hogy a termékek és szolgáltatások egységnyi mennyiségének előállításához mennyi energiát használunk fel. A hatásfok tekintetében átlagos elmaradásunk a fejlett országokhoz viszonyítva nem haladja meg a 15–20%-ot, amit tükröz a naturáliákban mért energiaigényesség összehasonlítása. Természetesen előfordulnak az átlagosnál sokkal rosszabb és sokkal jobb hatásfokú tevékenységek is.

Az energiatakarékosság egyik lehetősége a felesleges energiahasználat visszaszorítása, ami nem igényel befektetéseket, csökkentése kizárólag emberi tevékenységeken múlik. Helyiségek túlfűtése, pazarló anyagfelhasználás, berendezések szükségtelen üresjárata, anyagok indokolatlan szállítása, sportos autóvezetési stílus csupán példái az energia sokféle felesleges pocskékolásának. Alapos elemzés sok lehetőséget tud feltárni a termelésben is: felesleges anyagmozgatás, megmunkálás, hőkezelés megszüntetésére; a hulladékok hasznosítására; a folyamatok szabályozásának optimalizálására; a tevékenységek ésszerűsítésére. A pazarlás adminisztratív módszerekkel is csökkenthető, példa erre a közúti sebességkorlátozás, az épületek hőszigetelésének szabványban előírt mértéke, vagy a középületek fűtési hőmérsékletének korlátozása. A pazarlás visszaszorítása „csak” emberek magatartásán múlik, de ez egyben a nehézsége is, mivel a megszokott emberi hozzáállás nehezen módosítható, ha csak nem elég erős a személyes anyagi érdekeltség. Az indokolatlan energiafelhasználás visszaszorítására erős hajtóerő volt az energia jelentős drágulása az olajkrízis időszakában, vagy a tervgazdaságban érvényesített dotációk felszámolása nyomán. A legkönnyebben megvalósítható lehetőségek azonban gyorsan elfogytak, az újak feltárása pedig egyre nehezebbé vált.

Az energiatakarékosság másik irányzata a hatásfok javítása az anyagfelhasználás és az energiaveszteségek csökkentésével (az anyagok energiaigényes termékek, ezért megtakarításuk jelentős energiamegtakarítást jelent). A hatásfokjavítás lehetséges a meglévő konstrukciók és technológiák módosításával,

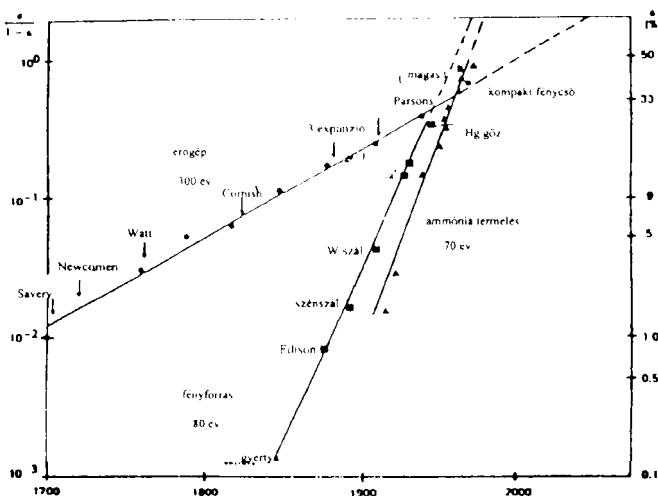
vagy a régebbi termelési eljárás lecserélésével korszerű technológiára. A nemzetgazdaság szintjén hatásfokjavítást eredményez az energiaigényes tevékenységek visszaszorításával járó termelési szerkezetváltás is. A hatásfokjavítás a műszaki fejlesztés állandó feladata, a lehetőségek alkalmazásának feltétele, hogy a hatásfokjavításhoz szükséges jelentős szellemi és anyagi ráfordítás viszonylag gyorsan térüljön meg, és álljon rendelkezésre a szükséges tőke.

Egyes technikai fejlemények — például miniatürizálás, kemizálás, elektro-nizálás — ugyan eredményeznek nagyságrendi csökkenést a fajlagos energiafelhasználásban, de gyakran éppen ezen eljárások hasznosításának gyors elterjedése ellensúlyozza a megtakarítást. Jó példája ennek az információtechnikai eszközök tömeges térhódítása. Hiába csökken az új személyi számítógép konstrukciók energiafelvétele évente néhány százalékkal, ha értékesítésük ennek sokszorosával nő, és tömegesen terjednek még a háztartásokban is. Az általános tendenciára azonban nem az ugrásszerű változások, hanem a kis lépések a jellemzőek. A tapasztalatok szerint a hatásfokjavulás időbeli alakulását a legjobban S alakú logisztikus görbével lehet leírni, ami logaritmikus léptékben egyenes. A 11. ábra három technológiára [7] példázza a folyamat időigényességét (például a gőzerőgépeknél 300 év alatt sikerült a hatásfokot 1%-ról 50%-ra növelni, a fényforrásoknál ehhez 80 évre, az ammóniagyártásnál 70 évre volt szükség).

A hatásfokjavítás legnagyobb lehetőségei a hő hasznosításánál vannak, ezen belül is a fűtésnél és a magas hőmérsékletű technológiáknál tapasztalhatók a legnagyobb veszteségek. Korszerűtlen építményeknél a nyílászárók szerkezetétől, a helyiségeket határoló felületek hőszigetelésétől függően a bevezetett hő 40—50%-a is a környezetet fűti, a hőszigetelés javításával ennek nagy része megtakarítható (a természetes szellőzés csökkenése viszont megnöveli a helyiségek egészségre ártalmas radonkoncentrációját). A hő technológiai hasznosításánál is a hőszigetelés javítása az egyik lehetőség, de ez annál bonyolultabb

11. ábra

A hatásfokjavulás időbeli alakulása



feladat, minél magasabb a hőfokszint. A 100—300°C hőmérséklettartományban a veszteség átlagosan 20—40%, 1000°C felett pedig már 50—60%. A hatásfokjavítás sokoldalú lehetősége a folyamatokból távozók közegek (hűtővíz, füstgáz, hulladék anyag, újrahasználatos tárolóeszközök stb.) hulladék hőjének hasznosítása előmelegítésre, alacsonyabb hőmérsékletű funkciókra, esetleg fűtésre. Főleg vegyipari és fémkohászati folyamatokban keletkeznek éghető hulladékok gázok is, ezek eltüzelésével javítható a technológia hőmérséklete.

A hőerőgépek hatásfoka nagyon alacsony, ami különösen erősen érezteti hatását a közlekedésben és a hőerőművekre alapuló villamos-energetikában. Ennek javítása a konstruktorok megkülönböztetett feladata, az előrehaladás elsősorban a szerkezeti anyagok hőfoktürelésén múlik. Az utóbbi időben új anyagokkal (ötvező acélok, kerámiák) ígéretes fejleményeket értek el, de ezek csak lassan hódítanak teret. A közlekedésben nem ritka, hogy a felhasznált primer energia 75—80%-a veszteséggé válik. Ezen a területen szervezési intézkedésekkel lehet a leggyorsabban csökkenteni a fajlagos energiafelhasználást, a szállítási mód megválasztásával, a forgalom optimalizálásával (sebesség, gyorsítások gyakorisága), az üzemvitel szervezési lépéseivel (szállítási kapacitás kihasználása, üresjáratok kiküszöbölése). A személyautó-közlekedésben jelentős szerepe van a divatnak is. Hiába fejlesztettek ki a gyárak kis fogyasztású gépkocsikat, a kereslet a fejlett országokban nagyrészt mégis a státuszszimbólumnak tekintett nagyfogyasztású járművek felé irányul.

A villamos energetika nagy tehertétele a hőerőművek alacsony hatásfoka, amihez párosul a távvezetési szállítás vesztesége. Hőerőműves rendszerekben jelenleg a felhasznált primer energiának 70—75%-a veszteséggé válik. Ez nagymértékben rontja egy ország eredő energetikai hatásfokát, és fekezi is a hatásfokjavulást, mivel a villamosenergia-fogyasztás gyorsabban nő az összenergia felhasználásnál. A hazai helyzetet az is sújtja, hogy még jó néhány olyan öreg, kis egységteljesítményű erőmű is üzemben van, melyek átalakítási hatásfoka 20% körül mozog. Ezek helyettesítése korszerű berendezésekkel az ország eredő hatásfokában is érzékelhető lesz. A hőerőgépek fejlesztésén túlmenően is történnek erőfeszítések az erőművek hatásfokjavítására (gázturbinák alkalmazása, kombinált ciklusok terjedése, hőhasznosítás fokozása a körfolyamatból elvont hőhordozóval).

A termikus villamos készülékeknek, valamint a jól illesztett és korszerűen szabályozott villamos hajtásoknak kicsi a vesztesége, de a nagy darabszám miatt a hatásfokjavításnak még így is nagy a kihatása. A villamos háztartási készülékek többségénél viszont jelentősek a veszteségszökkentés lehetőségei. A fényforrások vesztesége katasztrofálisan magas, még a kompakt fénycsővek fogyasztásának is 80%-a hőveszteség, a hagyományos izzólámpáknál pedig 95% körül mozog.

A korábban említett 15—20%-os elmaradás felszámolása sok problémát enyhítené, de egy ilyen mértékű javulás nem valósítható meg rövid idő alatt: az emberi megszokás, az eszközállomány visszahúzó hatása, a tőkehiány és a gazdasági követelmények következtében a hatásfokjavulás csak lassan tud utat törni. Távlati energetikai koncepcióink az energiaárak emelésének és a gazdasági szerkezet átalakításának hatására a globális energetikai hatásfok legalább 0,5%-os és legfeljebb 1,5%-os javulását tételezik fel évente. Ez a javulás a végső felhasználás várt növekményének a felét fedezné, így a hatásfokjavulás

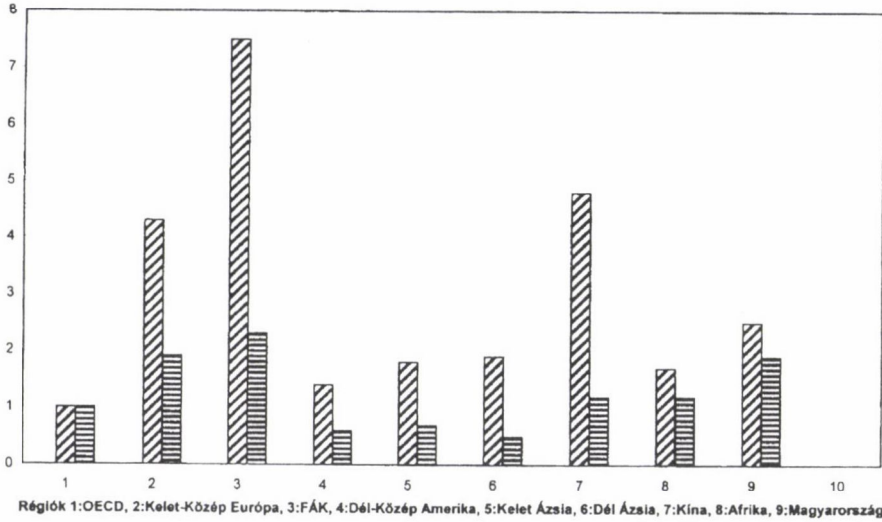
feltételezett mértéke mind gyorsabb, mind lassabb gazdasági fejlődési változatnál számszerűen megegyezik a primer energiaigények növekedésének ütemével. Az egyezést azzal magyarázzák, hogy a hatásfokjavításra fordítható erőforrások ugyan arányosak a gazdaság bővülésével, de az energiafelhasználás növekedése is azzal arányos, méghozzá a megtakarításnál nagyobb mértékben.

A termékek és szolgáltatások energiaigényességének megítéléséhez nem mindig elegendő az a közvetlen energiaráfordítás, ami a végső felhasználás szintjén előállításukhoz meghatározható. A teljes képhez figyelembe kell venni a közvetett energiafelhasználást is, ami a végtermék biztosításához szükséges anyagokban, eszközökben, szolgáltatásokban testesül meg. Adatok híján megbecsülhető az Ágazati Kapcsolatok Mérlegéből (ÁKM). A teljes energiaigény a közvetlen és közvetett energiafelhasználásból tevődik össze, esetenként a közvetett igény lényegesen meg is haladhatja a végső felhasználásban kimutatott közvetlen igényt. A közvetett energiaigény meghökkentően nagy lehet fémes, vagy szerves vegyipari anyagokból készült termékeknél. Előfordulhat, hogy a közvetlen energiafelhasználás alapján energiatakarékosnak minősített helyettesítő termék teljes energiataralma jóval nagyobb, mint a helyettesítetté (például a műanyag csomagolóanyagé a papirénál, vagy üvegénél), különösen ha az újrafeldolgozhatóságot is figyelembe vesszük. Néha még az utóéletre is gondolni kell, a megzavart terület rekonstrukciója, a visszamaradt hulladékok kezelése is energiaigényes lehet. Meglepő, hogy a jelenlegi megoldásokkal az akkumulátorról táplált villamos autó, a sokszoros átalakítási veszteségek miatt, több primer energiahordozót igényel, mint a belsőégésű motorok, ha az akkumulátort hőerőműves villamosenergia-rendszerben töltik. Előfordulnak negatív energiamelegítési energia-átalakító eljárások is, melyeknek az élettartamuk alatt szükséges teljes energiaigényük meghaladja az ugyanezen idő alatt szolgáltatott energia mennyiségét.

Hatékonyság

Az energetikai hatékonysággal az energia befektetés gazdasági hozamát jellemezzük, a mutató értékének elvileg nincs korlátja. A hozam lehet egy termék, illetve szolgáltatás ellenértéke vagy nyeresége, de lehet egy ország GDP-je. Az energetika fejlesztését ellenző nézetek főleg arra alapulnak, hogy az egységnyi primerenergia-befektetéssel előállított magyar bruttó hazai termék harmada, negyede a fejlett országokénak, ami kétségtelenül jelentős elmaradás jele. A különbségnek legfeljebb az említett 15–20%-át lehet kiküszöbölni hatásfokjavítással, a fennmaradó 80–180% okát az energetikán kívül kell keresni. (A furcsa, 180% azt kívánja kifejezni, hogy az energiahatékonyság a fejlett országokban átlagosan 2–3-szorosa (200–300%) a magyarénak, ebből 20%-ot tud ledolgozni az elektronika, a fennmaradó rész a gazdaság leckéje.) Egy kis hányad magyarázható a klíma eltéréseivel is, de a legalapvetőbb világgpiaci megítélésünk. A piaci értékesítés során realizálható árakat termékeink használati értéke, minősége, műszaki fejlettsége, a marketing színvonala, a magyar vállalatok piaci elfogadása szabja meg. A termelés költségét is sok körülmény befolyásolja, a gazdaság szerkezete, a termelékenység, a technológia műszaki színvonala, a munkaerő képzettsége stb. Jelentősen befolyásolja az ország hatékonyságát a gazdaság szerkezete is, különösen az energiaigényes termékek

Energiaigényesség relatív mutatói



részaránya. Jellemzi a helyzetet, hogy gazdaságunkban a hozzáadott érték átlaga a nyugat-európainak ötöde. Az energetikai hatékonyságban mutatkozó elmaradásunk csökkentése alapvetően a gazdaság teljesítőképességén és hatékonyságán múlik. Az energetikusok ehhez is hozzá tudnak járulni az energiaszerkezet korszerűsítésével (például a nem elég gazdaságos tevékenységek leépítésével), de a teendők nagy többsége az energetikán kívül esik.

Az n/e hányadossal értelmezett energiahatékonyság erős függését érzékelteti a gazdasági fejlettségtől, hogy a világátlag napjainkban 30 USD/GJ, a fejlett országok mutatója 60–100 USD/GJ, a volt szocialista országoké 20–30 USD/GJ, és a fejlődő világot ennek tört része jellemzi. Az OECD a jelenlegi 95 USD/GJ átlagértékének 108 USD/GJ-ra történő növekedését várja egy évtizeden belül. A 2. ábra a magyar viszonyokra példázza az $n = f(e)$ függvényt (az infláció kiszűrésére a GDP-t 1988-as dollárértékre számítottuk át). A 60-as évek közepétől az energiahatékonyság nagyobb prioritásának megfelelően lényegesen módosult a jelleggörbe irányultsága, a nagy gazdaságpolitikai fordulatok pedig negatív szakaszokat is létrehozta, így az 50-es évek derekán és főleg a rendszerváltás nyomán.

A feltüntetett fél évszázad alatt az n/e mutató 16 USD/GJ-ról 26 USD/GJ-ra nőtt (62% javulás, éves átlagban 1,24%), a rendszerváltást követő évtizedben a gazdaság alapvető átstrukturálódása is csupán 13%-os javulást eredményezett, ami évenként 1,3%-ot jelent. Az ábrából kitűnik, hogy az energiahatékonyságban sincsenek radikális változások, évente 1–1,5%-nál nagyobb javulás nem fordul elő. Ennek magyarázata, hogy a technológia korszerűsítésére felhasználható anyagi források szűkössége miatt a gazdaság jövedelemtermelő képessége csak lassan növelhető. Következésképpen és nagyon célratörő gazdaságpolitikával néhány évig még bekövetkezhet nálunk fellendülés stagnáló, sőt

enyhén csökkenő primerenergia-felhasználás mellett is. Ebbe az irányba terel a hatékonyságnövelést igénylő piaci verseny, az energiatakarékosságot ösztönző állam, valamint az energiaárak növekvő tendenciája. Nagyobb távon azonban szinte minden területen az energiafelhasználást növelő hatások kerülnek előtérbe. A belső piac élénkülése, a lakosság életszínvonalának emelkedése különösen a villamosenergia-igényeket növeli, ennek jelenlegi fajlagos értékével (2,2 MWh/lakás,év) hazánk az európai rangsor végén helyezkedik el. A szolgáltatások fejlődése is többlet energiát igényel, különösen ha az ország regionális szerepe erősödik, a külföldi tőke befektetései és az ipar exportdinamikája is ebbe az irányba terelnek.

A GDP nemzetközi összehasonlítását zavarja az országok eltérő árrendszere és a valutakulcsok különbözősége, ezért újabban a vásárlóerőt (PPP) is használják az összehasonlításoknál. Az IEA vizsgálata szerint a vásárlóerőre vonatkoztatott fajlagos energiafelhasználás különbségei sokkal kisebbek, mint a valutakulcsok alapján számított GDP-re vetített értékeké (12. ábra), pl. Magyarország e/n mutatójának az OECD átlagához viszonyított aránya a GDP alapján 3, a PPP figyelembevételével 2,5. A statisztikai adatoknak az egész világra összesített feldolgozása alapján az EGB^k egy 25 éves periódusban a PPP-re vetített energiaigényesség évenkénti javulására átlagosan 0,8%-ot mutatott ki [8].

IRODALOM:

- 1 Vajda, Gy: Energetika. Akadémiai Kiadó, Bp. 1981.
- 2 European Commission: Energy in Europe, European Energy to 2020. EC. DG. XVIII. Brussels. 1996.
- 3 United Nations: World Population Projections. UN. New York, NY. 1996.
- 4 International Energy Agency: World Energy Outlook. OECD, Paris, 1998.
- 5 Központi Statisztikai Hivatal: Statisztikai Évkönyvek. KSH, Budapest.
- 6 World Energy Council: Energy Perspectives to 2050. WEC. London, 1995.
- 7 Marchetti, C.: The Dynamics of Energy Systems and the Logistic substitution Model. IIASA RR-79-13. Laxenburg.
- 8 Economic Commission for Europe: Sustainable Energy Developments in Europe and North America. The ECE Energy Series. United Nations, New York, 1991.

^kEurópai Gazdasági Bizottság, ECE = Economic Commission for Europe (ENSZ-szervezet).