

# AZ ENERGETIKA FEJLŐDÉSÉNEK ÁLTALÁNOS HELYZETKÉPE ÉS PERSPEKTÍVÁJA\*

LÉVAI ANDRÁS\*\*

AKADÉMIKUS

A tanulmány az energetika fejlődését az energiahordozók készlete, az igények nagysága és a társadalom részéről adott egyéb szempontok (pl. környezetvédelem) mint peremfeltételek alapján vázolja fel. A villamosenergia, a komplex felhasználás és a közlekedés energiarendszereit analizálja részletesebben. A villamosenergia rendszerénél a gyorsreaktoroknak kb. 10 év távlatában, a termonukleáris energiának pedig az évszázad végére prognosztizált ipari megjelenése hozhat gyökeres változást. A komplex rendszerben a hidrogénnek mint új energiahordozónak széles körű felhasználása, a közlekedési rendszereknél a villamos hajtású közúti járművek elterjedése lesz a várható fejlődés iránya.

## 1. Bevezetés

Az energetika fejlődése általános helyzetképének felvázolásakor alapvetően tudatában kell lennünk annak, hogy világszinten energiagazdálkodásról beszélni sem ma, sem később — legalább is hosszú ideig — nem lehet. Az azonban általánosan tapasztalható, hogy az energiagazdálkodás fejlődésének és fejlesztésének a Föld legtöbb országában, vagy olyan országok csoportosulásában, mint amilyen például a KGST is, igen nagy fontosságot tulajdonítanak, és ott ahol ez — esetleg — ma még nem történik meg, hamarosan nagy népgazdasági károkat okozó visszahatások jelentkeznek.

Annak ellenére, hogy az egész Földre szóló energetikai összkép a specifikus fejlődésről nem mondhat sokat, vizsgálatainknál módszertanilag mégis azt az utat célszerű követni, hogy előbb az energiahordozók teljes készletét és fajtánkénti összetételét vázoljuk fel. Itt azonban azonnal több nehézséggel kerülünk szembe mind a készletek abszolút mennyisége, mind azok kitermelhetősége, valamint felhasználhatósága tekintetében. Ezen felül a fejlődő társadalmak az energetika irányában támasztott mennyiségi és minőségi igényei műszaki, gazdasági, szociológiai és biológiai tényezőkön keresztül többszörösen összefonódnak a készletekkel és a hasznosítás különböző lehetséges módjaival. Ez még inkább kizárja az egész Földre kiterjesztett egyöntetű prognózis lehetőségét, és inkább csak kvalitatív következtetések levonását engedi meg.

\* Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának 1973. évi május 9–11-i tudományos ülészakán elhangzott előadás.

\*\* Prof. Dr. Lévai András, 1022 Budapest, Fillér u. 56.

Valamivel konkrétan és kisebb hibahatárokkal tudunk vizsgálni akkor, ha a bizonytalan összenyergetikai háttérbe helyezve, az energetika legdinamikusabb fejlődésnek kitett három rendszerén belül próbáljuk felmérni az egyes perspektív irányzatokat. Ilyen rendszerek a villamos-, a komplex hasznosítás ún. integrált és a közlekedés energiarendszerei. Ez a tanulmány súlypontilag az első rendszerrel foglalkozik, de ennél sem tér ki részletesen azokra a témakörökre, amelyeket a mostani tudományos ülészakon más tanulmányok fejtenek ki.

## 2. Energiahordozó készletek

Az energiahordozó készletek középértékét, az 1970. évi többé-kevésbé elfogadottnak tekintett, különböző forrásokból származó felmérések összeállítása alapján, néhány saját számítási eredménnyel kiegészítve, az I. táblázat tünteti fel.\*

I. táblázat  
Energiahordozó készletek (1970)

Üzemanyag	Kitermelhető (feltárt + valószínű)			Kémiai tüzelőanyagok arányában			
	term. egység	10 <sup>12</sup> t et					
<b>I. Kémiai</b>							
a) szén	7,6 · 10 <sup>12</sup> t et	7,6			0,79		
b) olaj, o. pala	1,2 · 10 <sup>12</sup> t	1,6			0,17		
c) gáz	330 · 10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>	0,4			0,04		
I. összesen:	—	9,6			1		
<b>II. Nukleáris</b>							
a) fission		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
U-Th ércben(4)	9 · 10 <sup>6</sup> t	0,11	1,4	18	0,012	0,14	1,9
tengervízben(5)	40 · 10 <sup>6</sup> t	0,48	6	80	0,05	0,62	8,4
földkéregben(6)	300 · 10 <sup>6</sup> t	3,6	45	600	0,38	4,7	62
b) fúziós (D)(7)	4 · 10 <sup>10</sup> t	240 000 <sup>(8)</sup>			25 000		
<b>III. Regenerálódó(9)</b>							
a) vízenergia(10)	8200 TWh/év	0,1			0,01		
b) napenergia(11)	10 <sup>5</sup> TWh/év	1,2			0,13		
III. összesen:		1,3			0,14		

- (1) Mai termikus reaktorokkal (0,45% anyaghatásfok).
- (2) mai gyors tenyészt. reakt. (5,5% anyaghatásfok).
- (3) fejlett gyors tenyészt. reakt. vegyes rendszerben (75% anyaghatásfok).
- (4) 60-\$/kg U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> termelési költség alatt, (Wigner-becslés)
- (5) 3 · 10<sup>-3</sup> g U/t, 1% összkizozatal, (Mandel-becslés)
- (6) 12 g U/t, 3 · 10<sup>-6</sup> összkizozatal, (Mandel-becslés)
- (7) 33 g D/t, 0,1% összkizozatal,
- (8) 50% anyaghatásfok,
- (9) 100 évre számítva
- (10) 25% kihasználás
- (11) 0,24 kW/m<sup>2</sup> átlag, 0,04% kihasználás

\* A választott mértékegység 10<sup>12</sup> t egyezményes, tehát 7000 kcal/kg névleges fűtőértékű szénre átszámított tüzelőanyag.

### 2.1. Fosszilis energiahordozók

A fosszilis származású, tehát kémiaiilag kötött és kémiai átalakítás (első-sorban égés) után hasznosítható energiahordozóknak a táblázatba foglalt adatai mindenütt a feltárt és a potenciálisan várható készletek összeadásából származnak, figyelembe véve az egyes energiahordozóknál a nemzetközi viszonylatban valószínűnek tartott kitermelhetőségi tényezőket is. Így adódik összesen az I. táblázatban jelzett 9,6 billió tonna egyezményes tüzelőanyag-készlet.

### 2.2. Nukleáris energiahordozók

A kémiai energiahordozókhoz képest több nagyságrenddel nagyobb bizonytalansággal állunk szemben, ha a nukleáris üzemanyagokat és ezeken belül a ma ismert fissziós eljárással hasznosítható energiahordozók készletét tekintjük. Az ismert, nyilvántartott, úgynevezett jóminőségű ércek (urán, és tórium együttvéve) mintegy 4 millió tonna uránoxidot tartalmaznak. (Ennél a meghatározásnál jó minőségűnek azokat az érceket nevezik, amelyekből az  $U_3O_8$  kitermelési költsége kg-ként nem haladja meg a 30 \$-t.) A 20 \$/kg-nál olcsóbban kitermelhető uránkészlet 1970 évi adat szerint csak 925 000 t  $U_3O_8$ . A közepes minőségű — 30 ÷ 60 \$/kg  $U_3O_8$  kitermelési költségű — nyilvántartott ércek mennyisége kb. 5–6 millió tonna, így szerepel az I. táblázatban összesen 9 millió tonna urán + tórium.[1]. Nyilvánvaló azonban, hogy a feltárt ércek jelentős részét be sem jelentik. Tudjuk, hogy a tengerek vizében levő urán mennyisége kb. 4000 millió tonna, s ennek kitermelési költsége ma már 100 ÷ 200 \$/kg között van. A földkéreg külső rétegében — elsősorban pedig a bazaltokban és gránitokban — még ennek a horribilis mennyiségnek kb. ezerszerese van jelen. Igaz, hogy az ilyen készleteket a ma elfogadhatónak tartottnál csak kb. 10 ÷ 20-szoros költséggel lehet kitermelni, de nyilvánvalóan ez a technológia is idővel olcsóbbodni fog. Táblázatunkba nemzetközi adatok alapján a tengervízben levő urán 1%-ának, a földkéregben levőnek 3 milliomod részének kihozatalával adódó mennyiségeket állítottuk be [2].

A hasadóanyag készletek nagyságában mutatkozó bizonytalansághoz járul a kitermelt hasadóanyag hasznosítási fokában rejlő bizonytalanság is. A ma ismert és egyre növekvő mértékben alkalmazott termikus reaktorokkal rendelkező atomerőművekben a hasadóanyagban rejlő elméleti energiatartalomnak kb. csak 1/2%-át alakítják át nemesített energiahordozóvá. Nagyjából felvázolhatók, és a mostani tudományos ülésszak foglalkozik is ezzel a kérdéssel, azok az utak, amelyeken járva az elméleti hasadóanyag tartalom belátható időn belül a jelenleginél kb. tízszer, később, az évszázad vége felé talán, mintegy 150-szer jobb hatásfokkal lesz hasznosítható.

A készletadatokban, valamint a hasznosítás fokában rejlő nagyfokú bizonytalanságokkal magyarázható, hogy a hasadóképes ércek energiatar-

talma mintegy 100 milliárd tonna és néhány százbillió tonna egyezményes tüzelőanyag értékhatárok közé becsülhető. Ez arra is rávilágít, hogy amíg a nyilvántartott és valószínűsített jó és közepes urán- és tóriumérccek energiatartalma a mai technológiával alig haladja meg a kémiai energiahordozók energiatartalmának 1%-át, addig a potenciálisan lehetséges készletek a mai-nál lényegesen korszerűbb hasznosítási technikával, a kémiai energiahordozók mennyiségének akár több-tízszeresét is elérhetik.

A nukleáris energiahordozó készlethez kell számítani a fúziós energiatermelés útján kitermelhető készleteket is. Ezek alapanyaga tudvalevően a minden vízben — így a tengervízben is — kb. 1 : 5000 térfogatarányban található nehézvíz, amelynek mennyisége kb. 190 billió tonnára becsülhető. Ebben kb. 1/5 rész deutérium van. Ebből kb. 1/100 nagyságrendűre becsüljük az ismert technológiával, ma kb. 300 \$/kg költséggel kitermelhető deutérium mennyiségét (kb. 40 milliárd tonna).

Mint ahogy erről a későbbiekben még szó lesz, a termonukleáris reakción alapuló fúziós energiatermelésnek ma még csak körvonalai rajzolódnak ki, de azt már ki lehet számítani, hogy amennyiben az eljárás gyakorlatilag alkalmazható lesz, úgy kitermelhető deutérium készleteink potenciális energiatartalma kb. 240 trillió tonna egyezményes tüzelőanyag, azaz kb. 25 000-szer nagyobb, mint a kémiai energiahordozóké.

### 2.3 Regenerálódó energiakészletek

A teljesség kedvéért a véges energiakészletek mellett meg kell említeni a regenerálódó készleteket, és ezek között első helyen a gazdaságosan kiépíthetőnek tartott vízerő-készleteket is. A potenciális készletek 25%-át hasznosíthatónak felvéve, ezek évenként kb. 1 milliárd tonna egyezményes tüzelőanyagnak megfelelő energiát képviselnek. A Föld felületét érő napsugárzásnak becslésszerűen energiatermelésre hasznosítható része (a Föld felületének 4 tízezredrészén) kb. 10 milliárd tonna egyezményes tüzelőanyagnak felel meg évente. Utóbbi kettőt együttevve és egy önkényesen felvett 100 éves időszak fogyasztását összegezve, kb. 1,3 billió tonna energiahordozó készletet kapunk, kb. tizedannyit, mint a kémiai energiahordozók energiatartalma. (A regenerálódó készletek között lehetne említeni a geotermikus energiát is, amelynek nagyléptekű kihasználásáról azonban még elképzeléseink sincsenek. Lokális jelleük miatt elhagytuk az ár-apály erőműveket is [3].)

## 3. Az energetikával szemben támasztott társadalmi követelmények

Mint hogy a társadalomban minden anyagi termelésnek és fejlődésnek az alapja elegendő mennyiségű — és minőségű — energiahordozó rendelkezésre állása, kétségtelen és immár több mint 100 év adataival bizonyított, hogy

az energiaigények állandóan növekednek, a fogyasztókat energiával el kell látni, méghozzá gazdaságosan. Ez az egyik követelmény. A legutóbbi évek szomorú tapasztalatai alapján azonban egyre inkább megfogalmazódik a második követelmény is: az energiahordozók felhasználásával kapcsolatban elkerülhetetlenül keletkező káros környezetszennyezők mennyiségét az ésszerűség határán belül csökkenteni kell, és azokat olyan formában kell a természetbe mint recipiensbe juttatni, hogy azok a természetes egyensúlyt ne bontsák meg. Két, egymásnak sok tekintetben ellentmondó, nehéz feladat.

### *3.1 Az igények kielégítése*

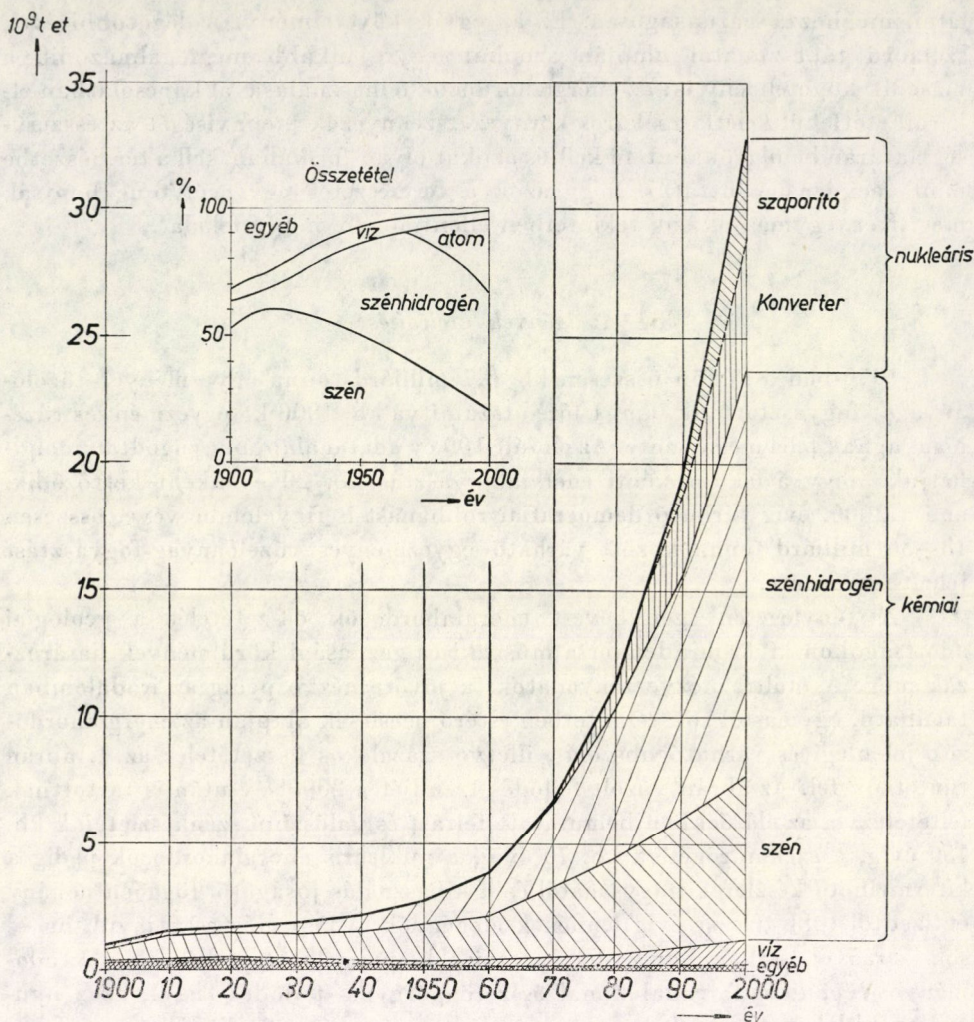
1970-ben a földön összesen kb. 6,7 milliárd tonna egyezményes tüzelőanyagot fogyasztottunk, ami 1 főre átszámítva kb. 1800 kg egyezményes tüzelőanyagnak felel meg évente. Az elmúlt 100 év adatai alapján nyugodtan mondhatjuk, hogy a lakosonkénti energiafogyasztás kb. 20 évenként kettőzödik, ami a 2000. évig várható demográfiai robbanást is figyelembe véve, összesen 18–36 milliárd tonna között várható egyezményes tüzelőanyag-fogyasztást jelenthet évente.

A ténylegesen igénybevett energiahordozók összetételét a geológiai adottságokon kívül mindenkor a műszaki és gazdasági körülmények határozzák meg. A múltra nézve tényadatok, a jövőre nézve pedig az irodalomban található, egymástól sok tekintetben eltérő becslések alapján az energiahordozók jelenlegi és várható abszolút, illetve százalékos összetételét az 1. ábrán tüntettük fel. Az ábrán vázolt fejlődés trendjét a 2000. év után is tartottnak feltételezve, az előzőekben bemutatott feltárt és valószínű szénkészleteink kb. 150 évig, a szénhidrogének kb. 70 évig, a nukleáris energiahordozók pedig a kitermelhető készletek nagyságától és a kihasználás jóságától függően néhány évtizedtől több tízezer évig lennének elegendők. A kép még csak javul, ha — sok szerzővel összhangban — feltételezzük, hogy a jelenlegi, elsősorban a tudományos-technikai forradalommal összefüggő gyors fejlődés lassul, azaz nyugodtan ki lehet mondani, hogy az energiahiány globálisan a jövőben sem fogja gátolni az emberi társadalom fejlődését.

### *3.2 Környezetvédelem*

Kevésbé lehetünk azonban nyugodtak akkor, ha annak a nagymennyiségű kémiai, termikus vagy nukleáris szennyeződésnek hatására gondolunk, amit a természetes energiahordozók termelésével, szállításával, átalakításával és felhasználásával kapcsolatban a környezetünkbe juttatunk, és amely az atmoszféra és a hidroszféra természetes egyensúlyának megtartását már ma sok területen észrevehetően zavarja.





1. ábra. Évenkénti energiafogyasztás

Mint hogy most nem kívánunk részletesebben kitérni az energetikai környezetszennyezés komplex és egyre égetőbb témakörére, csupán néhány adatot rekapitulálunk az MTA tavalyi, e tárgyban tartott tudományos ülés-zsákán elhangzott előadásunkból [4]. Ma csupán az energiahordozókból évente mintegy 20 milliárd tonna széndioxid kerül a levegőbe, mely szám 2000-ig kb. 60 ÷ 100 milliárd tonnára nő. Ez — a tavaly kifejtett és indokolt munka-

hipotézissel számolva -- a troposzféra természetes széndioxid tartalmának évenként mintegy 0,5%-os növekedését eredményezi, amely pl. 30 évre integrálva kb. 17%, azaz már nem elhanyagolható többletet ad.

A ma legveszélyesebbnek tartott szennyezések közül a természetbe évente kibocsátott mintegy 200 millió tonna szénmonoxid — amelynek mintegy 95%-a a gépjárművekből származik -- már a levegő természetes szénmonoxid tartalmának (kb. 600 millió tonna) nagyságrendjében van.

A kéndioxid kibocsátásnak kb. 70%-a — ma mintegy 50 millió tonna évente — az erőművekből származik, és 2000-re mintegy 450 millió tonnára emelkedik. Tekintettel a kéndioxid aránylag rövid élettartamára (irodalmi adatok szerint kb. 4 nap), az egész légtér szennyezése nem túl jelentős, de annál jelentősebbek a csapadék, aeroszolok, diffúzió vagy egyszerűen füstszásló útján a földre kerülő hatások, amelyek már ma sok helyen túllépik a megengedett toleranciaértéket.

Az energiahordozók strukturális összetételének javítása természetesen alapvetően hozzájárulhat a levegőszennyezés csökkenéséhez. Így a kén-szegény fűtőolajok, vagy a földgáz felhasználása döntő mértékben javíthat a helyzeten. Ezzel párhuzamosan erőfeszítéseket tesznek például a kéndioxidnak az égéstermékekből való eltávolítására. A gázmosó berendezések azonban az erőművek beruházási költségét  $20 \div 40\%$ -kal növelik meg, az üzemköltségek pedig kb.  $10 \div 15\%$ -kal emelkednek. Minthogy ugyanakkor az irodalmi adatok alapján elvégzett összehasonlításokból következik az is, hogy pl. a nyersolajból a kén kivonásához szükséges beruházások költsége csak kb.  $50 \div 60\%$ -a a gázmosó berendezés beruházási költségének, elképzelhetőnek tartjuk, hogy a jövő útja a szilárd és folyékony tüzelőanyagok kéntelenítése lesz. Ez megint alapvetően új energetikai eljárásokat vethet fel, amelyekre az integrált energiaszisztemek kapcsán röviden visszatérünk.

Amin alapvetően nem tudunk változtatni mindaddig, amíg a kémiai vagy nukleáris energiahordozókból nyerjük a mechanikai, illetve villamosenergiát, az a környezetünk és elsősorban a folyók, tavak vizének termikus szennyezése, több esetben már az elviselhetőség határát elérő felmelegedése. Az atmoszféra mint hőrecipiens, még sokkal felvevőképesebb, de a villamosenergia-termelés gyors növekedése, a termelőegységek nagymérvű helyi koncentrációja már a levegőben is érezteti hatását egyes helyeken.

## 4. Fontosabb energetikai rendszerek

### 4.1 Villamosenergia-rendszer

Áttérve a globális vizsgálatokról a konkrétabb analízist lehetővé tevő energetikai rendszerekre, azok közül mind volumenét, mind társadalmi jelentőségét tekintve a villamosenergia-rendszer kívánkozik első helyre. Világátlag-

ban egyöntetűen tapasztalható, hogy a villamosenergia-termelés évenkénti növekedése megelőzi az össz-ipari termelését, de megelőzi a nemzeti jövedelem emelkedését is. Egyik következménye ennek, hogy míg például 1960-ban az összes energiahordozóknak mintegy 20%-a került erőművekbe, és ez a szám 1970-ben kb. 25% volt, addig 1980-ban 30%, 2000-ben közel 50%-ra becsülik a villamosenergia részesedését az összes energiahordozókban.

#### 4.11 Általános fejlődési tendenciák

A termelő, átviteli és fogyasztói berendezésekből álló villamosenergia-rendszerek fejlődésének néhány jellegzetessége:

— az erőművek, erőművi gépegységek és átviteli kapacitások nagyságának növelése;

— az új erőműtípusok megjelenése;

— az egyenáramú energiaátvitel megjelenése;

— ahol erre a helyi adottságok megfelelőek, az egyenáramú áramfejlesztés közvetlen kapcsolása a fogyasztókkal;

— a krioelektrotechnika bevezetése, nem csupán az átviteli technikában, hanem a szupravezető generátorokban és transzformátorokban, valamint a kapcsoló berendezésekben is;

— a távolabbi jövőben a mikrohullámú energiaátvitel megoldása.

A szorosabban vett elektrotechnikai témákat itt nem érintve — mivel azokat más előadók tárgyalják — a továbbiakban elsősorban a termikus erőművek területével, azon belül is főként az atomerőművekkel kívánunk foglalkozni.

#### 4.12 Konvencionális erőművek

Ami magukat a hőerőműveket illeti, ott egyrészt a klasszikus, tehát a víz-vízgőz körfolyamaton alapuló hagyományos eljárás további fejlődése várható például — a legkorszerűbb (szuperkritikus) gőzparaméterek széles körű alkalmazásán túlmenően — elsősorban az egyre nagyobb gépegységek, másrészt a kettősközegű körfolyamatok irányában. A jelenleg üzemben levő legnagyobb gépegység 1300 MW villamos teljesítőképességű, de munkába vették már az 1600 ÷ 2000 MW teljesítőképességet elérő gépegységek fejlesztését is. A kettős közegű nagy gépegységek egyes érdekes műszaki problémáiról tudományos ülészakunkon külön előadás fog elhangzani.

Továbbra is élénk érdeklődés kíséri a kombinált gőz-gáz ciklusú erőműveket, amelyeket számos, egymástól eltérő kapcsolásban valósítanak meg, igaz, eddig főként kis egységeknél, inkább demonstrációs jelleggel. Általános irányzatnak tűnik már a klasszikus gőzerőművek rendszerének kiegészülése gázturbinás, vagy egyéb, a gyorsindítás és terhelésváltozás követelményeit kielégítő



egységekkel, az erőmű beépített teljesítőképességének  $5 \div 10\%$ -át elérő nagyságrendben.

Ilyen értelemben kerülhet előtérbe a szivattyús víztározó-művek létesítése is elsősorban az atom-, később a termonukleáris erőművekkel kapcsolatban megfelelő helyi adottságok függvényeként. A klasszikus vízerőművek viszonylagos jelentősége világszerte csökkenőben van.

#### 4.13 Atomerőművek

Új fejezetet jelent az erőművek történetében az atomerőművek megjelenése. Annak ellenére, hogy a bevezetőben ismertetett energiakészlet adatok szerint az energiahasznosítás szempontjából számításba jövő hasadóanyag-készletek — legalább is a ma használatos technológiával feltárt és hasznosított, úgynevezett gazdaságos készletek — nem túl jelentősek, az atomtechnika rohamos előretörése egyre nagyobb méreteket ölt. Igaz, hogy 1971-ben a világ villamosenergiatermelésének még csak igen kis hányada, összesen mintegy  $3\%$ -a származott atomerőművekből, ez az érték 1980-ra már kb.  $16 \div 18\%$  lesz, 2000-re pedig világátlagban  $40 \div 50\%$ -ot, egyes országokban — így hazánkban is — ennél többet várnak. Magától értetődik, hogy ebben tükröződik az az optimista felfogás is, amely szerint a tényleges urán- és tóriumkészletek a jelenleg ismerteknél több-tíz nagyságrenddel nagyobbak, a hasadóanyag lehetséges hasznosítási foka pedig a jelenleginek többszöröse lesz, ami egyúttal azt is jelenti, hogy az ércfeldolgozás és a hasadóanyag-dúsítás esetleg növekvő költsége kevésbé befolyásolja majd a termék, tehát a villamosenergia vagy az ipari-fűtési hő költségét.

Mint minden iparilag hasznosított műszaki alkotásnál, a fejlődés itt is bizonyos lépcsőzetességet követelt meg (II. táblázat) [5]. Így abban az 5 országban, amely 1960-ban atomerőművel rendelkezett, összesen 24 energetikai reaktor volt üzemben, és az ebben az időben épített egységek nagysága reaktoroként átlagban 60 MWe volt. Jelenleg 17 országban 152 energetikai reaktor van üzemben, az utóbbi időben üzembe vett reaktorok átlagos egységteljesítőképessége pedig 530 MWe. 1978-ban már 25 országban 330 energetikai reaktor lesz üzemben, a most épülő átlagos teljesítőképessége 800 MWe, de sorozatosan épülnek az 1200 MWe-s reaktorok is. Természetes, hogy az új technika bevezetése sok nehézséggel járt, és sok fejlesztési munkát követelt meg, de megállapítható, hogy a műszaki nehézségek hamarabb oldódtak meg, mint a gazdaságiak. Utóbbiak közül említésreméltó, hogy a gyártókapacitást meghaladó kereslet szállítási késedelmekben és a konvencionális erőműveket meghaladó árnövekedésben fejeződött ki, aminek következtében ma pl. az USA-ban aránylag megint előretört a fosszilis üzemanyagú erőművek építése, amit az Egyesült Államok elnökének legújabb programja is hangsúlyoz.

Jóllehet az eddigi, több mint 700 reaktorévet kitevő üzemi tapasztalat

**II. táblázat**  
*Atomerőmű-kapacitások (1971. X.)*

Reaktortípus	Üzemben		Építés alatt		Összesen	
	GWe	MWe legn. egys.	GWe	MWe legn. egys.	darabaz.	GWe
<b>I. TERMIKUS REAKTOROK</b>						
a) <i>Könnyű vizes</i>						
-nyomott vizes	6,3	710	90,3	1230	129	96,6
-elgőzöltető	7,6	809	52,9	1200	86	60,5
összesen:	13,9	—	143,2	—	215	157,1
b) <i>Víz-grafit</i>	1,7	790	4,0	1000	17	5,7
c) <i>Gáz-grafit</i>						
-term. urán	6,9	500	1,6	590	37	8,4
-dús. urán	—	30	8,9	660	15	8,9
-nagyhőmérs.	—	55	2,8	1100	6	2,9
összesen:	6,9	—	13,3	—	58	20,2
d) <i>Nehézvizes</i>	1,1	500	5,9	750	24	7,2
<b>I. Termikus összesen:</b>	<b>23,6</b>	<b>—</b>	<b>166,4</b>	<b>—</b>	<b>314</b>	<b>190,2</b>
<b>II. GYORS REAKTOROK</b>						
Teljes összeg:	23,6	—	168,6	—	322	192,4

ezt semmiképpen sem indokolja, igen sok fejlett ipari országban a közvélemény részéről még ma is erős ellenkezés tapasztalható az atomerőműveknek műszakilag és gazdaságilag indokolható telepítésével szemben, ami egyes nagy atomerőművek építését 3 ÷ 4 évvel visszavetette, sőt egyes esetekben lehetetlenné is. Tény, hogy az eddig megépített igen nagyszámú atomerőmű környékén a természetes háttérhez képest legfeljebb 1 ÷ 2%-kal nagyobb radioaktivitást lehetett tapasztalni, jöllehet a ma érvényben levő normák kb. 70%-os növekedést engednének meg. Az is tény, hogy ma még problémát jelent az atomerőművekből kikerülő erősen besugárzott üzemanyagoknak és egyéb elhasznált szerkezeti elemeknek tárolása. Ez a probléma az atomerőműveknek várható nagymérvű elszaporodásával még csak fokozódni fog. Komoly kutatások folynak világszerte a hulladékanyagok veszélytelen tárolására. Úgy tűnik, hogy az anyagok beolvasztása és azután aszfaltban vagy vízátnemesztő sóbányákban való elhelyezése fogja a megoldást jelenteni.

Az atomerőművek elterjedésének egyik döntő indoka és természetesen egyúttal korlátja is, a gazdasági kérdésekben keresendő. Ma általában úgy ítélik meg, hogy az atomerőművek és a hagyományos üzemanyaggal működő erőművek gazdaságosságának határköltisége 500 ÷ 800 MWe egységteljesítőképesség körül adódik. Mindkét típusú erőmű beruházási költségei ma már évről évre kb. azonos százalékos arányban emelkednek.

Az össz-népgazdasági ráfordításoknál azonban figyelembe kell venni az urántermelés, dúsítás és a fűtőelemek gyártása területén szükséges beruházá-

sokat is, amelyek az atomerőművek beruházási költségeinek kb. 8–10%-át igénylik. Szén erőműveknél a szénbányászat és szállítás, olaj erőműveknél — import olaj tüzelőanyaggal számolva — a kőolaj-feldolgozás, szállítás és elosztás beruházási költségét kell figyelembe venni. Ezek százalékosan magasabbak, mint az urántermelésnél. Az üzemanyagköltségek várható alakulása is egyöntetűen a nukleáris erőművek mellett szól.

Ami az atomerőművekben felhasznált reaktorok típusát illeti, a II. táblázat adatai szerint ma már túlsúlyban vannak az ún. könnyűvízes típusok, amelyeknek nyomottvízes és elgőzöltető változatai együttvéve a ma üzemben levő és építés alatt álló atomerőmű kapacitásnak kb. 82%-át adják. Magyarozza ezt a reaktor és az egész primer kör berendezéseinek kiforrott szerkezete és technológiája, a megfelelő volumenű gyártási bázis, az igen kedvező üzemi tapasztalat, az üzemkészség, a ma már megkívánt terhelésváltoztatási rugalmasság, a nukleáris biztonság és a kevés környezeti ártalom. E típus beruházási költsége a többi atomerőműéhez képest a legalacsonyabb. Ezek az előnyök nagymértékben kompenzálják a rosszabb erőmű hatásfokból adódó és így a környezetre nagyobb termikus terhelést jelentő hátrányokat.

A típus fejlesztésének tendenciáit is figyelembe véve nem kétséges, hogy az elkövetkező 1÷2 évtizedben még ez a reaktortípus lesz az első helyen. A termikus neutronokkal dolgozó rendszerek közül ezzel párhuzamosan fejlesztik a Szovjetunióban a nagynyomású elgőzöltető vízzel hűtött, grafitral moderált reaktort, amelynek legnagyobb előnye, hogy igen nagy egységelteljesítőképességek elérését teszi lehetővé, Kanadában a természetes uránnal működő nehézvízes típust és az Egyesült Államokban valamint Angliában a nagyhőmérsékletű gázhűtésű, grafit moderátoros típust. Az egyes típusok előnyeire, illetve hátrányaira itt hely hiányában nem tudunk kitérni, csak annyit említünk meg, hogy utóbbi előkészíti a termikus üzemanyag szaporító reaktorok bevezetését és a különféle üzemanyag ciklusok, így egyebek között a tórium-urán 233 ciklus alkalmazását is.

Amint a bevezetőben említettük, az uránkészletek hasznosítása szempontjából rendkívül nagyjelentőségűek a gyors szaporító reaktorok, amelyeknél jelenleg a néhány száz MWe nagyságú demonstrációs egységekre való áttérés időszakában vagyunk. Az ezeken szerzendő üzemi tapasztalatok nagyfontosságúak lesznek az ipari hasznosításra építendő mintegy 1000 MWe-s egységek előkészítése során.

Attól eltekintve, hogy a gyors szaporító reaktorok gazdasági adatairól még nincsenek megbízható közlések, egy egész sor, elsősorban technikai és technológiai, de a belső biztonsággal összefüggő fizikai problémának megoldása is szükséges még. E kérdésekkel külön előadás fog foglalkozni.

Alapvető nehézsége a mai szaporító reaktoroknak, hogy ezek több hasadóanyagot termelnek ugyan, mint amennyit elfogyasztanak, de az újratermelés az uránoxidral és folyékony fémhűtéssel dolgozó rendszerekben viszonylag las-

san történik — mindenesetre lassabban, mint a villamosenergia-igények két-tözföldési ideje — viszont az erősen dúsított uránt igénylő első töltet nukleáris anyagigénye uránérre visszaszámítva és beleszámítva a dúsító és reprocesszáló eljárás veszteségeit is, lényegesen nagyobb, mint a jól bevált termikus reaktoroké [6]. Ezért azzal a dilemmával állunk szemben, hogy a gyors reaktoroknak indokolt nagyobb mérvű elterjedése esetén kb.  $1 \div 1 \frac{1}{2}$  évtizeden át lényegesen több uránérre van szükség, mint termikus reaktorok építése esetén, ami a ma kimutatott és előzőekben ismertetett, igen korlátozott uránkészletek gyorsabb kimerüléséhez vezethet. Teljesen érthető tehát az a törekvés, hogy olyan szaporító rendszereket alkalmazzanak, amelyek rövidebb idő alatt, kevesebb uránérc kezdeti felhasználásával, több tenyészanyagot termelnek. Ezt a típust azonban még ki kell fejleszteni és természetesen gazdaságossá tenni, mielőtt azt mondhatnók, hogy a gyors reaktorok az uránkészleteknek olyan nagyságrendileg jobb felhasználását teszik majd lehetővé, mint amire a bemutatott táblázaton utaltunk. A gazdaságilag versenyképes szaporító reaktorok megjelenését ma általában az 1980-as évek közepére várják. Ezen időpont után nagy jelentőségűek lesznek a termikus és gyors reaktorokból álló ún. egyensúlyi atomerőműrendszerek, különösen a gazdasági integrációs törekvések tükrében.

#### 4.14 Magnetohidrodinamikusan erőművek

A villamosenergia magnetohidrodinamikusan elven történő közvetlen fejlesztésének további sorsa jelenleg még nem ítélt meg egyértelműen. Az ipari nagyhatalmak eddig komoly összegeket áldoztak kisebb-nagyobb laboratóriumi vagy demonstrációs egységek kifejlesztésére, erőművi megvalósításig azonban csak egyetlen, 25 MWe teljesítőképességű erőmű jutott el a Szovjetunióban. Ott a kutatókat két típus fejlesztése foglalkoztatja: az egyik földgáz üzemanyagú, a másik szén használ fel, de vizsgálatok folynak az MHD rendszerek gázhűtésű atomreaktorokkal való kapcsolására is. A magnetohidrodinamikusan rendszerek szélesebb körű elterjedését ma még több tényező gátolja. Ezek közül a legnagyobb nehézséget az anyagtechnológiai kérdések jelentik: megoldatlan a nagy hőmérsékletű, hosszú élettartamú elektródák és szigetelőanyagok gyártása. A Szovjetunióban folyó kísérletek azt bizonyítják, hogy a felsorolt problémák megoldása lehetséges, de a többi vezető ipari országok (így például az NSzK, USA, Anglia és mások) — legalább is átmenetileg — beszüntették az MHD generátorok kifejlesztésére fordított kutatómunkát. A Szovjetunióban viszont továbbra is komoly erőfeszítést fordítanak az MHD elvben rejlő lehetőségek kiaknázására és a már említett kis — 25 MWe — teljesítőképességű, egynéhányszor már üzembe helyezett demonstrációs egységen kívül, tervek készülnek már több száz MW-os MHD-erőmű létesítésére is.

Tekintettel a már említett nehézségekre, továbbá arra a körülményre, hogy az energiahordozók strukturális összetétele szempontjából az eljárás nem



mutat fel lényeges előnyöket a konvencionális vagy nukleáris erőművekkel szemben, a környezetszennyezés tekintetében is legfeljebb a termikus szennyezés csökkentésében látszik némi előny, valószínűsíthető, hogy az eljárás inkább különleges esetekben — mint például a fejlesztett egyenáram közvetlen felhasználásánál — fog elterjedni. Elképzelhető azonban a rosszabb hatásfokú gyorsindulású csúcserőműként való felhasználás is.

#### 4.15 Termonukleáris erőművek

Annál nagyobb reményeket fűznek utóbbi években a villamosenergia-rendszerekben a fúziós reaktorok felhasználásához. Minthogy a plazmával mint energiahordozóval a mostani ülésszakon külön tanulmány foglalkozik, nem kívánunk most a plazma-fizikai, és az egyelőre inkább csak a felmérés stádiumában levő műszaki problémákról beszélni, hanem csupán össze szeretnénk röviden foglalni az elképzelt plazmaerőmű előnyeit.

Annak feltételezésével, hogy a 80-as évek elejére bizonyítottnak várható elméleti alkalmazhatóságot kb. 10 éven belül követni fogja a fúziós erőmű demonstrációs és további mintegy 10 év múlva — kb. az évezred végére — annak ipari alkalmazása, az előzőekben bemutatott táblázatra hivatkozva rögzíteni lehet, hogy a fúziós erőmű üzemanyaga kimeríthetetlen mennyiségben áll majd rendelkezésre. A kismennyiségű és uralható tríciumon kívül az erőmű nem termel radioaktív hulladékot, de egyébként mindama előnyökkel rendelkezik, mint a maghasadási energia alkalmazásának elvén működő atomerőmű.

Utóbbival ellentétben azonban a néhány száz tonna mennyiségű, a besugárzás során erősen radioaktív vált üzemanyag helyett csak néhány gram töltete van, ami nem okozhat nukleáris balesetet, és így egy esetleges külső vagy belső okból bekövetkezett meghibásodás következményei kevésbé súlyosak, az erőmű tehát lakott településen vagy ahhoz közel is elhelyezhető lesz. A fúziós erőmű — iparilag fejlett kivitelezésében — semmivel sem tűnik a jelenlegi elképzelések szerint bonyolultabbnak, tehát költségesebbnek, mint fissionos elődje, viszont üzemanyaga még amazénál is olcsóbb. Mindezeket figyelembe véve nem lehet kétséges, hogy — újra feltételezve az eljárás fizikai-műszaki megvalósíthatóságát — az új, fúziós atomerőmű típusnak jövője lesz, és ez jelentheti majd az emberiség energiaellátási gondjai végleges megoldásának valószínű útját. Hogy ez az út ténylegesen járható lesz-e a harmadik évezred elején, azt a következő néhány év tapasztalata fogja eldönteni. [7]

#### 4.2 Integrált energiarendszerek

Ezek az energiahordozóknak olyan egymáshoz kapcsolt, többcélú felhasználását értjük, amely kapcsolat az energiahordozók kihasználásának — esetleg lényeges — javulását eredményezheti. Jóllehet az ilyen eljárások egy

része nem mondható újnak — hiszen például az ipari, illetve kommunális célokra kapcsolt hő- és villamosenergia-fejlesztés sok évtizedes múltra tekintet vissza — az integrált energiahasznosításban a jövőben az ediginél gyorsabb fejlődés várható. Indokolja ezt az energiahordozók általános helyzetén kívül elsősorban a környezetvédelmi szempontok fokozott figyelembevételére, de indokolja az új energiahordozók — és főként az atomenergia — megjelenése is.

Első helyen áll a kapcsolt hő- és villamosenergia fejlesztés és ezen belül a távfűtés, aminek gyors elterjedésére jellemző, hogy az ilyen szempontból érdekes, mintegy két tucatnyi országban a távhőellátási kapacitás növekedése évi mintegy 15%, a forróvíz távfűtő rendszereké pedig kb. évi 20%. Alapkövetelmény a központi hőellátással szemben, hogy az az ország összenergiaigényét és annak strukturális összetételét kedvező irányban befolyásolja. Az új típusú kapcsolt hőszolgáltatás, mint amilyen például a villamos teljesítménycsúcsok építésére létesített gázturbinás erőművekben lehetséges, érdekes és a jövőben valószínűleg nagyobb mértékben kiaknázott lehetőségeket fog nyújtani. Atomerőműveknek a távhőszolgáltatásba történő bekapcsolása ugyan csak jól elképzelhető, és ilyen megoldások ma már léteznek pl. Svédországban, aminek alapfeltétele, hogy a biztonsági rendszabályok megengedjék az atomerőműnek a városhoz közel való telepítését.

A jelenleg még fennálló ilyen jellegű nehézségeket ki tudja küszöbölni az ún. egycsöves távfűtő rendszer, amely több 10 km távolságról történő távfűtést is lehetővé tesz. Energetikailag is kedvező lehet ez a megoldás, mert nem az általában legszűkebb keresztmetszetet jelentő szénhidrogén forrásokat veszi igénybe, ugyanakkor a fogyasztóktól távoli telepítés esetén az „esztétikai környezetszennyezés” vádja nélkül felépíthető magas kémény a környezetvédelmi szempontokat is kielégítheti.

Új, eddig még alig alkalmazott lehetőséget látunk a távfűtő rendszereknek távhűtés céljaira való igénybevételére, amidőn a távfűtő rendszerben keringtetett forróvíz segítségével és a lakótelepeken elhelyezett abszorpciós hűtőgépek bekapcsolásával a lakások levegőkondicionálási igényeit is meg lehet oldani. Idevonatkozó számításaink főként atomerőművek esetében jelzik e rendszer rendkívül érdekes lehetőségeit.

Újabban — a kőolaj, és földgázforrásokkal kapcsolatos többirányú problémák, valamint a környezetvédelmi szempontok előtérbe kerülése következtében — megint sok szó esik mesterséges gázok gyártásáról. A néhány évtizede stagnáló vagy éppenséggel felhagyott technológiák újjáélesztését elsősorban a hőforrások olcsóbbítása útján keresik. A nukleáris energia bevetésével például a barna- és fekete kőszenek hidrogénezése elvileg jól kapcsolható nagy hőmérsékletű atomreaktorokból kikerülő, közel 1000° C hőmérsékletű nemes gázok (pl. hélium) hőjének hasznosításával, a kb. 750°C-ra lehűlt gázzal pedig még egy jó hatásfokú konvencionális erőművi körfolyamatot lehet üzemeltetni. [Kiszámították, hogy egy, a ma épülőknagyságrendjében levő, 3000 MWt

teljesítőképességű atomerőmű hője elegendő évi 2,7 milliárd  $\text{nm}^3$  szintetikus földgáz ( $\text{CH}_4$ ) gyártásához. Az eljárás elterjedését a közeljövőre prognosztizálják.] Hasonló elképzelések vannak a mesterséges folyékony szénhidrogének előállítására is a Bergius, Fischer-Tropsch vagy más eljárások újra felélesztésével, illetve az eljárásnak atomreaktorokhoz, majd konvencionális, vagy gázturbinás erőművi körfolyamatokhoz való kapcsolásával. Ezen kísérletek propagálásának egyik nyilvánvaló célja az energiabázis szélesítése részint a hazai szenek, részint a nukleáris energia fokozott bevezetésének érdekében.

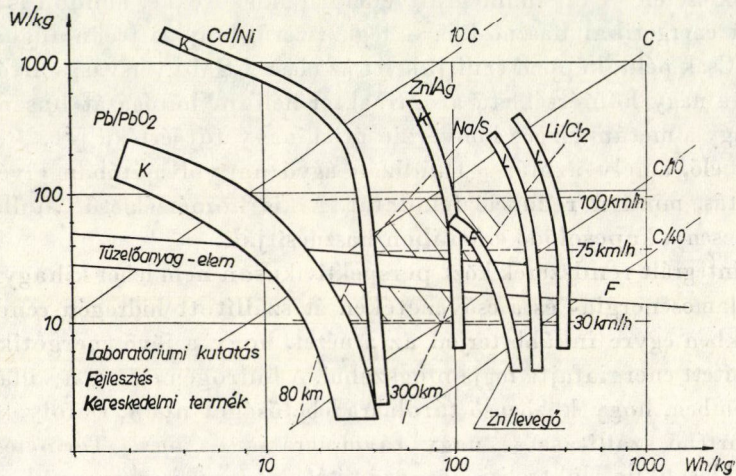
Az eljárások tovább fejleszthetőek — megfelelő gazdasági és földrajzi adottságok esetén — olyan integrált energiarendszerekké, amidőn is a legjobb hatásfokú energetikai hasznosítás a legkorszerűbb ipari technológiához kapcsolódik. Csak példaképpen említjük itt az olasz CSM nyersvasgyártó eljárást, amelynél a nagy hőmérsékletű atomreaktor hélium hűtőgázát használnák fel ahhoz, hogy a metán-vízgőz konverzió útján nagy fűtőértékű [ $\text{H}_2 + \text{CO}$ ] gázt állítsanak elő, amely azután a fluidizált ágyú nagyolvasztóban elvégzi mind az olvasztás, mind a redukció feladatát. A kis hőmérsékletű „hulladékhőt” természetesen a kapcsolódó erőműben hasznosítják.

Az integrált rendszerek közt perspektivikusan nem lehet kihagyni a kombinált villamosenergia- és csővezetéken át szállított hidrogén-rendszereket. Szakkörökben egyre inkább terjed az a nézet, hogy a jövő energetikáját ez a két nemesített energiafajta fogja megszabni. A hidrogén előnye a villamosenergiával szemben, hogy közbelső tárolásra lehetőséget nyújt, és folyékony állapotban történő szállítása — nagy távolságra is — olcsó. Termelésére nem csupán a klasszikus elektrolízis jön számításba — elsősorban nukleáris alapú villamosenergia felhasználásával — hanem közvetlenül a magreaktorok hője is, mégpedig vagy a ma még nehezebbnek látszó  $3000^\circ\text{C}$  körüli disszociálás útján, vagy alacsonyabb,  $700^\circ\text{C}$  körüli hőmérsékleten levezetett, de még csak elvileg ismert kémiai reakciók útján. A hidrogén döntő előnye környezet-szennyezést nem okozó elégethetőségében rejlik (az égéstermék víz), ami az előbb említett jó tulajdonságai mellett széles körű egyedi felhasználását teszi lehetővé, mégpedig nem csupán a vegyiparban (pl. ammóniák vagy metanol gyártás), hanem a kohászatban, kommunális fogyasztóknál és a közlekedésben is. A ma még megoldatlan biztonsági és műszaki kérdéseken kívül természetesen a gazdaságosság is nyitott kérdés, szakkörökben nem is számolnak az eljárásnak az évszázad vége előtt történő gyakorlati alkalmazásával. Mindenesetre megállapítható, hogy a hidrogén révén az olcsó nukleáris energiahordozók bevetésével új, és fosszilis tüzelőanyagokat helyettesítő nemesített energiahordozóhoz juthatunk, amit akár az eddig kiépített gáz vagy olajvezetékeken is el lehet a fogyasztókhöz juttatni. A villamosenergia és a hidrogén egymásba átalakítható, így egymással cserélhető is és elvileg lehetőséget ad a technikailag fejlett társadalom minden energiaigényének kielégítésére, beleértve a közlekedési energiaszükségletet is.

## 4.3 A közlekedési rendszerek energetikája

A közlekedési rendszerek energetikájában jelenleg a szénhidrogének felhasználása dominál. Egyes területeken — így például a vasúti vontatásban — igen erőteljesen terjed azonban a villamos hajtás is.

Ha prognosztizálni kívánjuk a perspektív irányzatokat, részben a felhasznált energiahordozók spektrumából, részben pedig a közlekedésnek a környezetszennyezésre gyakorolt súlyos hatásának szemszögéből nézve, akkor



2. ábra. Villamoshajtású gépjármű motorok jellemzői

több út látszik kirajzolódni. Eltekintve a közlekedés azon területéhez tartozó járművektől, amelyek nagyságuknál fogva már alkalmasak a nukleáris energia felhasználására (ilyenek elsősorban a nagy regisztertonna űrtartalmú, atomreaktorral hajtott tengeri hajók), a villamosenergiának mint erőforrásnak közvetlen bevetése várható a közlekedésben a vasúti vontatáson kívül a közúti járműveknél is. Itt a különböző elektródákkal épített akkumulátorok és az üzemanyag elemek állnak majd egymással szemben. A 2. ábránk Dr. RÉDEY László feldolgozása alapján szemléltetően mutatja a különböző típusú akkumulátorok és üzemanyag elemek legjellegzetesebb adatait, mégpedig a súlyegységre vonatkoztatott energiatárolóképeség ( $Wh/kg$ ) és az ugyancsak súlyegységre vonatkoztatott teljesítmény ( $W/kg$ ) összefüggését. Az ábra bejelöli azt a legnagyobb távolságot is, amit különböző sebességgel haladó gépjárművek az említett energiatartalom kihasználásáig megtehetnek (km). A kisütési áramerősség (C) fentiekből paraméterként adódik. Az ábra világosan mutatja,



hogy a jelenleg kereskedelmi terméként kapható ólom-akkumulátorok egyáltalában nem, a kadmium-nikkel akkumulátorok pedig csak igen szűk területen jöhetnek számításba. Jobb a helyzet a cink-ezüst akkumulátoroknál, amelyeknek költsége azonban ma még prohibitív. Kilátásosabbnak mutatkozik a ma fejlesztési stádiumban levő cink-levegő akkumulátor, továbbá a jelenleg csak laboratóriumi kutatás tárgyát képező nátrium-kén, és lithiumklór akkumulátor. Az ábra szerint csak az utóbbi 3–4 típus olyan, amelynél elviselhető súllyal lehetne elfogadható távolságot megtenni újratöltés, illetve akkumulátorcsere nélkül.

Komoly erőt fordítanak világszerte és nálunk is az üzemanyag elemek kifejlesztésére, de ezeknek súlyegységre vonatkoztatott teljesítménye ma még a legkorszerűbb típusoknál is igen alacsony. Az újabb külföldi irodalom alapján az a benyomás alakulhat ki, hogy a közúti közlekedési rendszerekben és akkor is előreláthatóan csak a városi közlekedésben, nem az üzemanyag elemekkel, hanem a korszerű és könnyű akkumulátorokkal történő megoldás fog előretörni a következő években. Autóbuszoknál kombinált üzemanyag elemes és motorikus, ún. „hibrid” megoldások is elképzelhetők, de ugyancsak kombinálható az alapjáratban működő üzemanyagcella a gyorsításhoz szükséges nagy kisütési áramerősséggel dolgozó Cd/Ni akkumulátorral.

Ha sikerül azonban az előző pontban vázoltak szerint a hidrogént mint nemesített energiahordozót olcsón és megfelelő biztonsággal előállítani és felhasználni, akkor az is könnyen lehet, hogy a jövő járművei hidrogénmotorral fognak közlekedni.

## 5. Összefoglalás

Az energetika új útjait és lehetőségeit keresve bizonyos, hogy a perspektivikusan előrelátható műszaki-gazdasági irányzatokra az emberiség számára rendelkezésre álló energiahordozók készlete, azok szerkezeti összetétele, az energetikai rendszerekben várható igények nagysága és a társadalom részéről jövő egyéb szempontok — mint pl. a környezetvédelem — meghatározó jellegűek lesznek. E peremfeltételek ismeretében becsülhetők meg a várható lehetőségek körvonalai az energetika legdinamikusabb fejlődésben levő néhány rendszerénél, így a villamosenergia, a komplex felhasználás és a közlekedés rendszerénél. Amíg utóbbinál azonban a villamoshajtású közúti járművek széles körű elterjedése — nem is túl hosszú idő múlva — szinte bizonyossággal előre jelezhető, addig a villamosenergia-rendszerekben az eddigi gyors fejlődéssel jellemzett, egyébként — a termikus reaktorokkal működő atomerőműveket beleértve — ma már klasszikusnak mondható és tovább is folytatódó irányzatokban áttörő jellegű változás a gyorsreaktoroknak kb. 10 év távlatában, a termonukleáris energiának pedig az évszázad végére prognosztizált ipari megjelenése következtében várható. Utóbbival azonos nagyságrendű forra-

dalmi változást hozhat a hidrogénnek mint új energiahordozónak, széles körű felhasználása. Mindkét új energiaforrás alapanyagát a vízből nyeri, amely földünkön korlátlan mennyiségben áll rendelkezésre és a felhasználási végtermék a környezetnek csak a megmászhatatlan fizikai alaptörvények következtében bekövetkező felmelegedését eredményezi.

Tudjuk, hogy az ipari realizálásig megteendő út nagyon hosszú, fáradságos és költséges lesz, és így az emberiség munkájának egyre növekvő részét kell energiatermelő, átalakító, átvivő és fogyasztó berendezések létesítésére és üzemeltetésére fordítania. De tudjuk azt is, hogy ezt vállalni kell, ha el akarjuk kerülni azt, hogy az egész társadalom fejlődését energiahiány korlátozza.

#### IRODALOM

1. WIGNER J.: Szimmetriák és reflexiók. Gondolat, Budapest 1972.
2. MANDEL, H.: Resources of Primary Energy. *ICPUAE IV*, Geneva 1971, A(Conf.49)P.359
3. General Report. *VIII WEC Moscow 1968*, Section A.1
4. LÉVAI A.: Energetika és környezetszennyezés. *Műszaki Tudomány* 46., 1973, p. 315—329.
5. Jahrbuch der Atomwirtschaft 1972. Handelsblattverlag, Düsseldorf
6. LÉVAI, A.—CSOM, GY.: Realistic Evaluation of Nuclear Fuel in Atomic Energy Systems. *VIII. WEC Bucharest 1971*, P. 2.4—51
7. MILLS, R. G.: The Promise of Controlled Fusion. *IEEE Spectrum*, 8, No. 11, November 1971, p. 24—36.

**Allgemeiner Situationsbericht über die Entwicklung der Energetik.** Der Aufsatz beschreibt die Entwicklung der Energetik auf Grund der als Randbedingungen betrachteten Vorräte an Energieträgern, der Größe der Ansprüche und der sonstigen Anforderungen der Gesellschaft (z. B. Umweltschutz). Die Energiesysteme der elektrischen Energie, der komplexen Verwendung und des Verkehrs werden ausführlicher analysiert. Hinsichtlich des elektrischen Energiesystems können die Schnellreaktoren in ca. 10 Jahren, das erwartete Erscheinen der thermonuklearen Energie am Ende des Jahrhunderts radikale Änderungen mit sich bringen. Als voraussichtliche Entwicklungsrichtung sind im komplexen System die weitgehende Verwendung des Wasserstoffs als neuer Energieträger, in den Verkehrssystemen der verbreitete Einsatz von elektrisch angetriebenen Straßenfahrzeugen zu erachten.

**General Situation of the Development of Energetics.** The author draws a picture of the development of energetics, considering as boundary conditions the reserves of energy bearers, the requirements and other points of view laid down by society (e.g. environment protection). In more detail he analyzes the energy systems of electricity, of complex utilization and of traffic. For the electrical energy system a thorough change may come through the fast reactors in about 10 years time and at the end of the century by the prognosticated industrial appearance of thermonuclear energy. In the complex system the widespread use of hydrogen as a new energy bearer, in the traffic systems the spreading of the electrically-driven road vehicles will be the direction of the expected development.