

# NUKLEÁRIS ENERGIA: VELE VAGY NÉLKÜLE?

Bajsz József  
MVM Paksi Atomerőmű Zrt.

A pénzügyi-gazdasági válság jelentősen mérsékelte az energiafelhasználást. Bekövetkezett az, amire a világháború óta nem volt példa Európában: 2009-ben a villamosenergia-fogyasztás is csökkent. Ebben a helyzetben azt hihetnénk, hogy az energiagazdálkodás gondjai mérséklődtek, a problémák, amelyekkel pár éve folyamatosan szembesültünk, talán nem is léteznek. Nem így van. A mostani válság még élesebben rávilágított arra, hogy energiagazdálkodásunk nem fenntartható, nem költséghatékony, s egyúttal megbízhatósága sérülékeny. A gazdaság fejlődésének ismételt beindulásával az könnyen a fejlődés gátjává válhat.

Általánosan elfogadott, hogy az energiagazdálkodás megfelelését a *fenntarthatóság – versenyképesség – ellátásbiztonság* hármas követelményével minősítik. Mit is jelentenek ezek a kritériumok?

**Fenntarthatóság:** az energiagazdálkodás ne jelentsen a környezetre nézve visszafordíthatatlan, kezelhetetlen károkozást. Más szavakkal: unokáink életfeltételei se legyenek rosszabbak a mieinknél. Ide tartozik továbbá, hogy az energiaforrások felhasználásánál – kiemelésénél – is tartsuk be ugyanezt a követelményt.

**Versenyképesség:** az energia álljon rendelkezésre transzparens, megfizethető áron, amellyel biztosítható a gazdaság harmonikus fejlődése, a társadalom tagjainak boldogulása.

**Ellátásbiztonság:** az energiaellátás mind rövid, mind hosszú távon legyen kiszámítható és zavarmentes.

Minden energiatermelési mód, energiaforrás rendelkezik bizonyos hátrányokkal, egyik sem képes 100%-ban a fenti hármas követelménynek megfelelni.

A közvélemény – sok esetben a politikai döntéshozók is – figyelme hullámszerűen, hol az egyik, hol a másik követelmény teljesülésére, pontosabban nem teljesülésére irányul. Az orosz–ukrán gázmizéria után az ellátásbiztonság kérdései uralták a közbeszédet. Az áremelések okozta reakciókat felesleges itt részletezni. Amikor a klímaváltozás kerül szóba, akkor szinte mindenki a megújuló források használatát szorgalmazza anélkül, hogy a költségvonatokkal, a megbízhatóság kérdéseivel számot vetne. A probléma sokkal összetettebb annál, semhogy komplex, mindenre kiterjedő értékelés nélkül tudjunk érdemi megoldásokat adni rá.

A komplex értékelést nehezíti, hogy az energia fogalmának megítélése és használata még Európában sem tekinthető egységesnek. Hazánkban a közvélemény az energia alatt többnyire a villamos energiát és legfeljebb a földgázt érti, vannak országok, ahol csak a villamos energiát. Jellemző, hogy a kormány 2008-

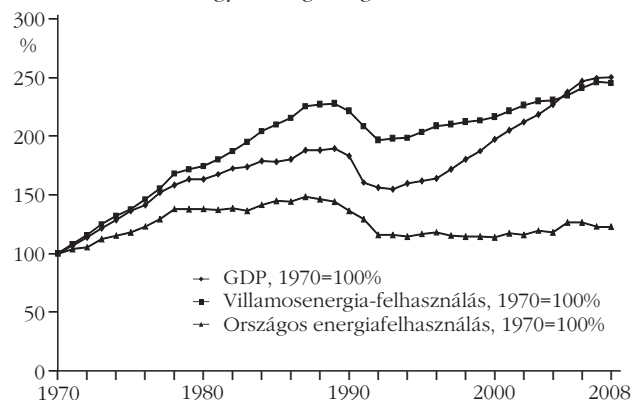
as energiapolitikai előterjesztésében [1] is csak egy vérszegény bekezdésre futotta a közlekedés ügyében, miközben a közlekedés használja a teljes energiafogyasztásunk 15–18%-át, s ezen belül a folyékony szénhidrogén felhasználásának közel kétharmadát.

Mit tehetünk a harmonikus energiagazdálkodás érdekében? Hogyan tehetünk eleget a fenti hármas követelménynek?

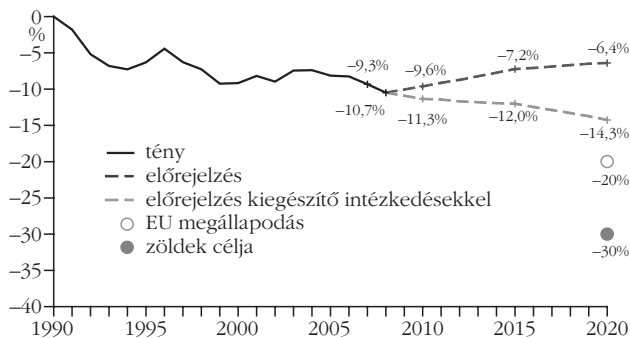
Az EU vezető testületei is felismerték, hogy csak a követelmények egyidejű teljesítésével lehet a problémát orvosolni. A 2008 novemberében publikált *Stratégiai Energia Áttekintés* már ezen szempontok alapján határozta meg a közép és hosszú távú teendőket. Az úgynevezett 20–20–20%-os célok közül kettőt hamarosan az EU jogszabályai szintjére emeltek: 2020-ra a CO<sub>2</sub>-kibocsátást 20%-kal kell csökkenteni [2], a megújuló forrásokból származó energia termelését 20%-ra kell növelni [3]. Nem öntötték kötelező érvényű jogszabályba, de politikai egyetértés van az energiahatékonyság növelését illetően: 2020-ra 20%-kal kell csökkenteni az EU energiafogyasztását a 2005-ben előrejelzethez képest.

Magyarország a célok lebontásakor a megújuló arányának növelésére 13%-ot vállalt, ami 21%-ot jelent a villamosenergia-termelésben. Az Európai Bizottságnak 2009 végén benyújtott Nemzeti Előrejelzési Dokumentum [4] szerint ez lehetséges, bár a szakmai előrejelzések ebben kételkednek a jelzett 380 milliárd forintos támogatás ellenére is. A CO<sub>2</sub>-kibocsátás 20%-os csökkenése teljesíthetőnek tűnik a mai folyamatokkal. Azonban megfelelő intézkedések meghozatala nélkül 2020 után a kibocsátás újra növekedésnek indul. Az energiahatékonyság dolgában nem állunk rosszul. Mint az 1. ábrából látható 1993-tól kezdve az ország teljes energiafelhasználása gyakorlatilag szinten maradt, miközben a GDP 70%-kal nőtt. Minden bizonnyal a 2020-as célkitűzés teljesítése nem fog nagy gondot okozni, tekintettel a gazdasági visszaesés okozta energiafelhasználás csökkenésére.

1. ábra. Magyarország energiafelhasználása [5]



A 2010. február 28-i hetedik Budapesti Szkeptikus Konferencián elhangzott előadás szerkesztett változata.



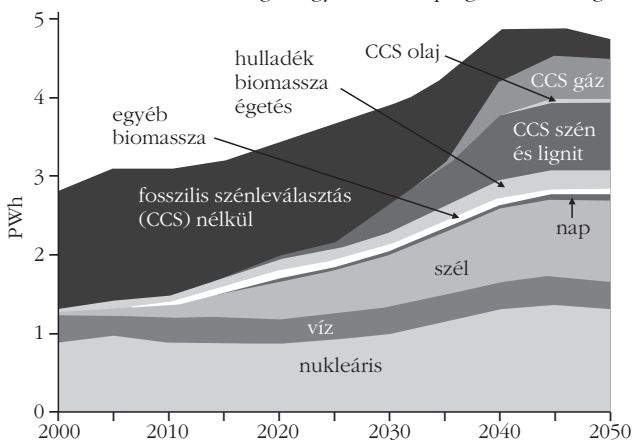
2. ábra. Az EU CO<sub>2</sub>-kibocsátásának alakulása az EU Környezetvédelmi Ügynöksége szerint [7]

A célok EU-szintű teljesítése valamivel problémásabbnak látszik. Diadalittas jelentések láttak a közelmúltban napvilágot, miszerint 2009-ben 11%-kal csökkent az EU CO<sub>2</sub>-kibocsátása. (Valójában az Emisszió Kereskedelmi Rendszer alá tartozó ipari létesítmények kibocsátása csökkent. [6]) Ha ezt komplexen, a körülményeket figyelembe véve próbáljuk értékelni, nem feledkezhetünk el arról, hogy a 11%-os csökkenés az ipari termelés jelentős – egyes országokban 20–21%-os – mérséklésével párosult. Az sem zárható ki, hogy a fajlagos változás valójában növekedés.

A 2. ábrából látható, hogy a CO<sub>2</sub>-kibocsátás 20%-os csökkentése dolgában nem állunk valami jól. Ha az országok megteszik a szükséges kiegészítő intézkedéseket, amelyek ma még nincsenek napirenden, 2020-ban akkor is közel 6%-os elmaradásban leszünk a céltól. A helyzet és a körülmények kritikai elemzése várat magára, de egyes politikusok – különösen az Európa Parlament zöld frakciójának tagjai – azt szorgalmazzák, hogy a 20%-os célkitűzést 30%-ra kell növelni.

A 20–20–20%-os követelmények megfogalmazását követően 2009 júliusában az EU és a G8 vezetői egy nyilatkozatban célul tűzték ki a CO<sub>2</sub>-kibocsátás 80%-os csökkentését 2050-re. A szakértők számításai szerint ez szükséges ahhoz, hogy a globális felmelegedés mértékét +2 °C-nál megállítsuk, majd a tendenciát visszafordítsuk. A 80%-os kibocsátáscsökkenéshez az energia-termelésnek gyakorlatilag CO<sub>2</sub>-kibocsátás mentesnek kell lennie. A célkitűzés megvalósíthatóságának vizsgálá-

3. ábra. Az EU villamosenergia-fogyasztásának prognózisa 2050-ig [8]



1. táblázat

**EU27 villamosenergia-termelése TWh-ban kifejezve**

	2000	2006	2007	2010	2020
nukleáris	895,8	939,2	884,6	917,0	861,5
fosszilis	1527,3	1714,4	1779,1	1745,4	2019,8
víz	379,9	338,3	335,4	374,2	400,7
megújuló (víz nélkül)	66,9	164,5	197,6	258,2	528,1
egyéb	16,9	37,8	19,2	28,6	34,2
összesen	2878,0	3194,3	3213,1	3325,8	3821,0

2. táblázat

**Az összes megújuló energiaforrás részarányának alakulása**

	2000	2006	2007	2010	2020
összes megújuló (%)	15,52	15,74	16,58	19,01	24,31

3. táblázat

**A CO<sub>2</sub>-mentes termelés (összes megújuló + nukleáris) részarányának alakulása**

	2000	2006	2007	2010	2020
CO <sub>2</sub> -mentes (%)	46,65	45,14	44,12	46,59	46,85

latára számos tanulmány készült. Köztük az Eurelectric,<sup>1</sup> amelyikből a 3. ábra származik. Az ábrából látható, hogy ehhez 2050-ben 27% nukleáris, 38% megújuló, 30% szénleválasztással<sup>2</sup> ellátott fosszilis (szén + földgáz) forrású energiatermelés szükséges.

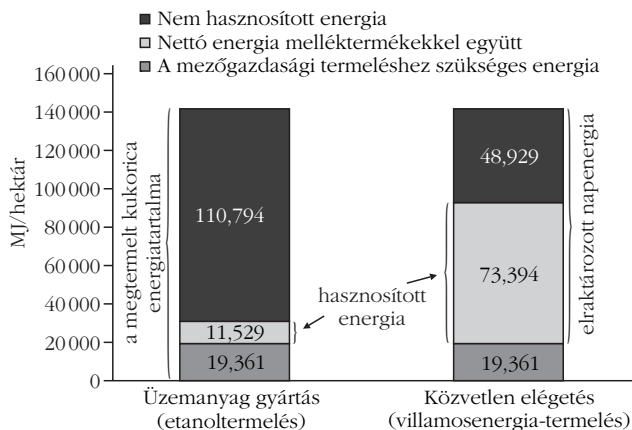
2009 végén jelent meg az Eurelectric EUPROG jelentése [9] a villamosenergia-termelésről.<sup>3</sup> E tanulmány adatai – lásd az 1. táblázatot – néhány fontos dolgot tükröznek: jelentősen, 2000 és 2007 között több mint háromszorosára nőtt a megújuló forrásokból (vízi energia nélkül) származó termelés. Jelentősen csökkent (11,8%) a vízerőművek termelése, kisebb mértékben (1,3%) az atomerőműveké. Viszont ez idő alatt 11,5%-kal bővült a fosszilis forrásból nyert villamos energia a teljes villamosenergia-fogyasztás 15,8%-os növekedése mellett.

Ha a táblázat adatait érthetőbb kategóriába rendezzük, akkor a következő tendenciát láthatjuk (2. és 3. táblázat). Látható, hogy a megújulók arányának növekedése mindössze 1%-os. Ennél súlyosabb gond, hogy mindennemű erőfeszítés ellenére 2000 és 2007

<sup>1</sup> Eurelectric a villamosenergia-ipari társaságok ágazati egyesülése, amely a tagtársaságok közös érdekeit képviseli összeurópai szinten.

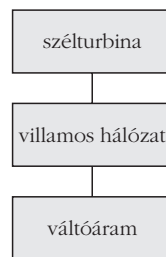
<sup>2</sup> Szénleválasztás, CCS (Carbon Capture & Storage) egy olyan technológia, amellyel a szén- és gáztüzelésű erőművek kibocsátásából a szén-dioxidot leválasztják és azt megfelelő helyen – többnyire geológiai formációkban – véglegesen eltárolják. Az első ipari méretű pilot projektek megvalósítása most van folyamatban.

<sup>3</sup> Az adatok a villamosenergia-termelőktől származnak, a jelentés 2007-ig a tényadatokat, az azt követő évekre a cégek előrejelzéseit tartalmazza.



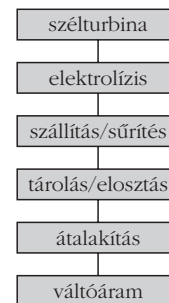
4. ábra. Az etanolgyártás energetikai hozama [10]

villamos gazdaság



hatékonyság = 95%

hidrogéngazdaság



hatékonyság = 25–30%

5. ábra. A villamos és hidrogéngazdaság hatásfoka [11]

között a CO<sub>2</sub>-kibocsátás mentes termelés részaránya 2,5%-kal csökkent! Ez nem a fenntartható fejlődés irányába mutat. Hiába nőtt a megújuló forrásokból származó villamosenergia-termelés, a fosszilis források arányának csökkenése nem csökken! Lehetünk büszkéek a megújuló arányának bővülésére – emlékeztetnék, hogy az „igazi” zöldek a vízenergiát sem sorolnák ide –, de be kell látnunk, hogy ezen arány növelésének önmagában való erőltetése kontraproduktív: a szeszélyesen rendelkezésre álló szélenergia termelése a vízenergia termelését veti vissza. Ugyanis a rendszer szabályozásában mindenekelőtt a vízerőművek vesznek részt. Ez tükröződik abban, hogy a vízerőművek termelése csökkent, mérsékelve ezzel a megújulókból származó energiatermelés bővülésének ütemét. Az 1. táblázat adatsora azt mutatja, hogy az EU-ban az utóbbi években csökkent a nukleáris erőművek termelése. Ez független a megújuló részarányának bővülésétől, de egyben demonstrálja, hogy ábránd az atomerőművek nélkül érdemi CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkenést elérni.

Az EU szintjén gondot jelent az egységes energia-politika hiánya. Ennek megteremtése ma nem reális. Az azonban elvárható lenne, hogy a döntéshozók a célok és eszközök tekintetében világosan lássanak, azokat ne keverjék össze egymással. Ha célnak tekintjük a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentését, akkor eme cél elérésének egyik – de nem egyedüli – eszköze a megújuló bővülő használata. Semmiképp sem szabadott volna azonban azt célként megfogalmazni és törvénybe iktatni. Voltaképp a gazdaság szereplőire kellene bízni, hogy a költség-haszon elv alapján milyen eszközökkel érik el az előírt kibocsátáscsökkenést.

A legcélszerűbb megoldás az energiahatékonyság javítása (épületek szigetelése, energiatakarékos eszközök, gépjárművek elterjesztése stb.). Ebben széleskörű egyetértés van. Azonban az energiahatékonyság értelmezése nem egyszerű feladat. Sok esetben kiszakítottan, az energiatermelés – átalakítás – fogyasztási lánc egyik elemére koncentrálnak vizsgálják a kérdést. Következzen két példa a tetszetős, de félrevezető interpretációkra.

Ha a megtermelt kukoricát erőműben elégetjük és a keletkezett hővel villamos energiát termelünk, akkor energiatermelésnek 60%-át hasznosíthatjuk. Ha

ugyanabból a kukoricából etanolt gyártunk, akkor az energiatermelés 9,4%-át hasznosítjuk (4. ábra). Sarkítva úgy jellemezhetjük a mai helyzetet, hogy milliárdokért építünk etanoltermelő üzemeket, amelyekkel az energiát pazaroljuk. A vállalkozók számára ez nyilván üzlet – mert különben nem vágnának bele –, de energiagátlakodás szempontjából a „király meztelen”.

A másik, ma divatos téma a hidrogéngazdaság igénye. Újra és újra felmerül a javaslat, hogy a megtermelt villamosenergiával hidrogént termeljünk, majd azt tetszőleges helyen és időben (szállítás és tárolás után) üzemanyagcellákban villamos energiává alakíthatjuk vissza. Az 5. ábra azt mutatja, hogy mekkora a folyamat hatásfoka.

Az ábrából látható,<sup>4</sup> hogy az energiahatékonyság és a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésének szempontjait is figyelembe véve, az üzemanyagcellás meghajtás nem jelent megoldást. A közgondolkodásban az ezzel ellentétes ítéletek elterjedésének az az alapja, hogy önmagában az üzemanyagcella – villamos motoros hajtás hatásfoka 2–2,5-szerese a modern belső égésű motoros hajtásokénak. Azonban mind az üzemanyag-termelési, mind a meghajtási mód hatékonysága meghatározó a CO<sub>2</sub>-kibocsátásban és az energiafogyasztásban. A mai modern elektrolízáló berendezések hatásfoka 50% körüli [12]. Vegyük hozzá a keletkező hidrogén 40–60 bar nyomásra sűrítését, ami további 10%-nyi energiaigényt jelent. Így a folyamat bemenő oldala csak 40%-os hatékonysággal rendelkezik. A visszaalakítás sem 100%-os, így a teljes villamos energia – hidrogén – villamos energia folyamat hatásfoka 30% körüli. Ez a szivattyús-tározós erőmű 75–80%-ával szemben versenyképtelen.

Az energiahatékonyság értelmezéséhez következzen itt egy másik, ellenkező előjelű körülmény. Sokan, köztük a zöld szervezetek többsége, az energiafogyasztás és villamosenergia-fogyasztás közé egyenlőségjelet tesz. Az Energia Klub tanulmányában [13] szerepel, hogy az EU-s energiatakarékossági döntés miatt 2020-tól nem lesz szükség a paksi atomerőműre. Valójában a helyzet fordított: az energiahatékonyság növelésének egyik fő eszköze a villamosenergia-fel-

<sup>4</sup> Szélturbina helyett természetesen bármilyen más CO<sub>2</sub>-mentes energiatermelési mód – nukleáris, vízenergia – alkalmazható.

4. táblázat

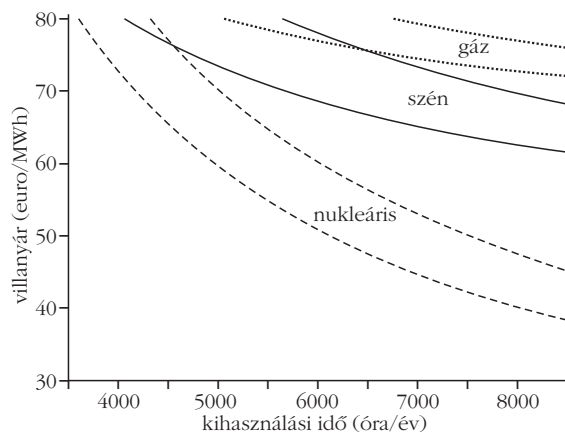
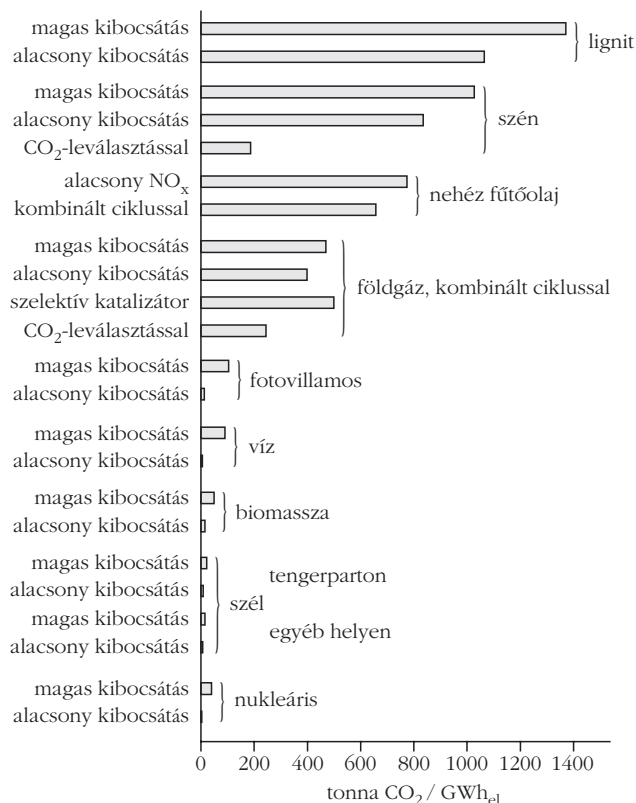
Villamosenergia-termelési módok költségösszetevői (%)				
	nukleáris	kombinált ciklusú földgáz	szén	szél
beruházás	50–60	15–20	40–50	80–85
üzemeltetés és karbantartás	30–35	5–10	15–20	10–15
üzemanyag	15–20	70–80	35–40	0

használás bővítése. A fejlett országok mindegyikében magasabb a teljes energiafelhasználáson belül a villamosenergia-fogyasztás aránya, mint Magyarországé, s eközben a fajlagos energiafelhasználási mutatóik is jobbák a miénkénél.

Hatékony hőszivattyús rendszerekkel a környezetből nyert hővel oldható meg az épületek fűtése/hűtése. A mai rendszerek egységnyi villamosenergia-befektetéssel 4–5 egységnyi hőenergia előállítására képesek. Fontos lépés lenne a közúti közlekedés „villamosítása”. A feltölthető hibrid, majd a tisztán villamos hajtású gépjárművek és a szükséges infrastruktúra fejlesztése ígéretesen halad. A „villamosítás” nagyobb hatásfokot jelent a hajtásoknál és alacsony CO<sub>2</sub>-kibocsátást, amennyiben a villamos energetika CO<sub>2</sub>-mentesítése az elképzeléseknek megfelelően halad előre.

Az energiahatékonyság javítása mellett a hármas követelmény egyidejű teljesítésére a másik célszerű megoldás az atomenergetika bővülő használata.

7. ábra. Villamosenergia-termelési módok fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátása tCO<sub>2</sub>/GWh-ban [15]



6. ábra. A különböző erőművekben előállított villamos energia önköltsége [14]

A nukleáris energetika előnyei az ellátásbiztonság terén abban jelentkeznek, hogy az uránlelőhelyek geopolitikai értelemben szélesen elosztottak, szemben az olajéval, ahol a néhány régióra koncentrált források „jóvoltából” nem egy esetben történt kísérlet politikai vagy gazdasági zsarolásra. Hasonlóképp diverzifikált az üzemanyaggyártás valamennyi fázisa, emiatt monopol helyzet nem alakulhat ki.

A nukleáris üzemanyag egyszerűen tárolható. Magas energiataartalmának köszönhetően az erőművekben néhány évnnyi mennyiség folyamatosan raktározható. Pakson két évnnyi üzemanyagot tárolnak. Egy ilyen időtartam alatt bármilyen, a nukleáris üzemanyag gyártásában, vagy szállításában bekövetkező zavar felszámolható.

A nukleáris energetika versenyképességét az alacsony önköltség mellett az is jelenti, hogy az előállított energia költsége csak nagyon kis mértékben függ az üzemanyag árának változásától. Az atomerőművekben előállított energia költségében az üzemanyag-összetevő 15–20%-ot képvisel szemben a gáz- és széntüzelésű blokkok 40–70%-ával (4. táblázat).

A 6. ábrán az egyes erőműtípusokra vonatkozó önköltségi görbék láthatók. 4500 óra/év kihasználás felett az atomerőműves önköltség mindig kisebb a szenes és a gáztüzelésű blokkokénál. Emlékeztetnék, hogy a világban ma üzemelő nukleáris blokkok 25%-a – beleértve a paksi egységeket is – 90%-os kihasználtsággal üzemel, ami 7800 óra/év kihasználást jelent. Az ábra görbéinek számításakor nem vették figyelembe a CO<sub>2</sub>-kibocsátás árát, ami előbb-utóbb kényszer lesz, ugyanis az EU-ban 2013-tól a teljes kibocsátásra vonatkozó jogokat árverés formájában kell megvásárolni. (Magyarország a többi, később csatlakozott EU10 tagállammal együtt 2020-ig haladékot kapott.)

Működésük során az atomerőművek nem bocsátanak ki CO<sub>2</sub>-ot. Ha a folyamat egész életciklusát tekintjük, a fajlagos kibocsátásuk a megújuló források szintjén vannak (7. ábra). Ha valaki azzal indokolja a szélturbinák és a fotovillamos rendszerek létesítésének szükségességét, hogy azzal a nukleáris erőművek kiválthatók, a fentiek tükrében annak véleménye nem lehet helytálló.

Jogosan vetődik fel a kérdés, hogy ha az atomerőművek ilyen előnyökkel rendelkeznek a hármas követelmény kielégítése terén, akkor miért nem épül ezer reaktor szerte a világon?

Sok erőmű épül, és még több országban fontolgatják a létesítést. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség kiadványa [16] szerint jelenleg 54 blokk van létesítés alatt. Ennek duplájára tehető azon egységek száma, amelyek építését fontolgatják, köztük olyan országok is, amelyek még nem rendelkeznek nukleáris létesítménnyel.

Az atomerőművek fejlesztői és gyártói az utóbbi években a fajlagos költségek javítása érdekében az egység teljesítménynövelésre törekedtek. Az 1000–1500 MW-os teljesítményű blokkok illesztése az energiarendszerekbe kiegészítő intézkedéseket igényel a hálózat statikus és dinamikus stabilitása megőrzése érdekében. Ennél is komolyabb gond, hogy a jó fajlagos mutatók mellett a nagy egység teljesítmény a létesítés 5–6 éve alatt hatalmas tőke lekötését igényli. Ma egy 1000 MW-os blokk 3–4 milliárd euróba kerül. A finanszírozás megteremtése nem egyszerű feladat, de nem is lehetetlen. A nemzetközi pénzpiacon található olyan befektetők, amelyek a hosszú távú, biztos hozamban érdekeltek. Amennyiben a létesítés során jelentkező kockázatokat – tervproblémák, késések stb. – megfelelően kezelik, a finanszírozás a későbbi versenyképességet veszélyeztető extra felárak nélkül biztosítható.

*Befejezésül mit javasolhat a gondolkodó?* Korunk kihívásaira csak akkor adhatók korrektt válaszok, ha azok a problémák komplex értékelésén, a politikai divatoktól és partikuláris érdekektől mentes gondolkodáson alapulnak. Az árakat rövidebb-hosszabb időre – adókkal, támogatásokkal – el lehet téríteni a realitásoktól, a fizika törvényei – szerencsénkre – akkor is működnek, ha éppen nem tetszenek nekünk.

#### Irodalom

1. 40/2009 (IV.17.) OGY határozat
2. 2009/29/EK
3. 2009/28/EK
4. *Előjelzési Dokumentum*. KHEM, 2009. december
5. *Tájékoztató a Magyar Energia Hivatal 2008. évi tevékenységéről*. www.eh.gov.hu
6. *EurActiv*, 2010.04.02. www.euractiv.com
7. *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009*. EEA Report, No 9/2009
8. *Power Choices. Pathways to Carbon-Neutral Electricity in Europe*. www.eurelectric.org
9. *Statistics and Prospects for the European Electricity Sector*. 37<sup>th</sup> Edition EURPROG 2009, A Eurelectric statistics report, www.eurelectric.org
10. Rácz László (MOL Nyrt.): *Megújuló energiaforrások a közlekedésben*. www.enpol2000.hu
11. *The Role of Electricity*. A Euroelectric Report, March 2007, www.eurelectric.org
12. *Prospects for Hydrogen and Fuel Cells*. OECD/IEA, 2005.
13. *Magyarországnak nincs szüksége a paksi atomerőműre*. Energia Klub, 2007.
14. Gerse Károly (MVM Zrt.): *Atomerőmű építés finanszírozása*.
15. *Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
16. *Nuclear Power Reactors in the World*. IAEA, April 2010.

## IMPULZUSOK NÉLKÜL MŰKÖDŐ, FOLYAMATOS ÜZEMŰ REPÜLÉSI IDŐ TÖMEGSPEKTROMÉTER

Hárs György  
BME Atomfizika Tanszék

A repülési idő tömegspektrometria (Time of Flight spectrometry) a továbbiakban röviden TOF-spektrometria, a tömegspektrométeres módszerek azon fajtája, amikor az ionok tömegére vonatkozó információt valamely meghatározott úthossz befutásának idejéből nyerjük. A többi tömegspektrométeres módszer esetében elektromos vagy mágneses erőtereket alkalmazunk és ez által a különböző tömegű ionfajtákat más és más pályagörbére (trajektóriára) irányítjuk. A TOF-spektrométer esetében azonban minden ionfajta lényegében ugyanazt a trajektóriát futja be, csupán a befutás ideje eltérő. A különböző ionfajtákból álló ionnyalábot egy néhány kilovoltos gyorsító feszültséggel felgyorsítjuk. Így a nyalábban levő összes egyszeres töltésű ionnak elvben azonos kinetikus energiája lesz. A nyalábot vákuumtérben egy erőmentes térrészbe vezetjük, ahol a nyaláb befutja a néhány méter hosszúságú futási távot. Mivel azonos kinetikus energia esetében a könnyebb ion a gyorsabb, így a futási idő a könnyebb ionoknál rövidebb, nehezebb-

nél hosszabb lesz. A futási idő meghatározása a hagyományos impulzus üzemű TOF-spektrométernél (Pulsed TOF = PTOF) az érkezési időpont és az indítási időpont különbségeként adódik. Az ionok indítására egy határozott, startpisztolylövésre emlékeztető indító impulzus (ideálisan Dirac-delta) szükséges. Az ionok detektorba érkezésének sorrendje az ion tömegének monoton függvénye lesz, vagyis előbb a könnyebb, később pedig a nehezebb ionok érkeznek meg a detektorba. A repülés idejéből a paraméterek ismeretében az ion tömegszáma ( $AMU = Da = Dalton$ ) meghatározható.

Az indító impulzus időtartama rövid kell legyen, mert ha két szomszédos tömegszámú ion repülési idejének különbsége eléri az indító impulzus időtartamát, akkor a két ion ilyen módon már nem különböztethető meg. Ezért az indító impulzus szélessége 10 nanoszekundum nagyságrendű. A maximális futási idő mintegy 100 mikroszekundum időtartamú, ugyanígy meg kell várni amíg a legnehezebb ion is beérkezik