

A MAGHASADÁSON ALAPULÓ ENERGIATERMELÉS JÖVŐJE

Gadó János

az MTA doktora, igazgató, MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet
gado@sunserv.kfki.hu

Sokat hallani manapság mind olyan szándékokról, hogy az atomerőműveket sorra bezárják, mind pedig arról, hogy az atomtechnika reneszánszát éli. A valóságban minden komoly előrejelzés szerint a maghasadáson alapuló energiatermelés a jövőben meg fogja tartani jelenlegi részarányát a világ villamosenergia-termelésében. A cikkben a friss fejleményeket ismertetjük.

Bevezetés

Az atomerőművek létesítésének extenzív szakasza a hetvenes évek végén – a nyolcvanas évek közepén lényegében lezárult. Az elmúlt évtizedekben az erőműépítési ütem jelentősen lelassult, a régebbi típusú atomerőművi blokkokat üzemidejük végén sorra bezárják. A megrendelések elmaradásán túlmenően egyes országok elhatározták, hogy a jövőben fokozatosan lemondanak a maghasadáson alapuló energiatermelésről.

A hanyatlásnak több oka volt. Ezek közül az első helyen a társadalmi elfogadottság problémáit kell említeni. A társadalmi elfogadottság viszonylagos hiányát több tényező okozza:

- az atomfegyvertől való jogos félelem az atomerőművekre is kiterjed
- az atomhatalmak fegyverekre vonatkozó és ipari nukleáris kompetenciájának

szétválása, a kormányzatok kivonulása az atomipar mögül

- az atomipar a zöld szervezetek egyik fő célpontja, mert politikai sikereik egyik biztosítékát látják az atomipar elleni fellépésben
- a lakosság, a média és a döntéshozók tájékozatlansága a vitatott reaktorbiztonsági és sugárbiztonsági kérdések szakmai részleteiben
- egyes konkurens energiatermelő ágazatok viszonylagos sikerei, irreális reményei
- az atomipar bizonyos fokú arroganciája a társadalmi elfogadottság kérdésének kezelésében.

A társadalmi elfogadottság viszonylagos hiánya miatt a legtöbb országban igen kockázatos és drága atomerőműveket építeni, ugyanis a beruházás ideje a bonyolult hatósági eljárások miatt mindenképp igen hosszú, és esetenként a tervezettnél jóval hosszabb lehet. Mivel az atomerőművek költségeiben köztudottan a beruházás a meghatározó, a társadalmi elfogadottság problémái jelentősen megdrágíthatják az atomerőművekben előállított villanyáramot.

Ebben a helyzetben a maghasadáson alapuló energiatermelést a szakmai kompetencia elvesztése, a biztonság csökkenése és hosszabb távon az eljelentéktelenedés veszélye fenye-

gette. Mára azonban világgossá vált, hogy a többi energiatermelési mód összességében belátható időn belül nem tudja biztosítani a Föld teljes lakosságának fenntartható fejlődését, ezért a maghasadáson alapuló energiatermelés újra a figyelem középpontjába került. Ebben a felismerésben különböző geopolitikai tényezők is szerepet játszanak.

Az atomerőművek nemzedékei

Az első generációs atomerőművek tervezett üzemideje véget ért, ezeket szinte kivétel nélkül leállították. A ma működő atomerőművek nagy többsége a második generációhoz tartozik, ezeket a hatvanas-hetvenes-nyolcvanas években építették (ehhez a generációhoz tartozik a paksi atomerőmű is). Ezek az atomerőművek biztonságosan működnek, és általában olyan tartalékokkal építették őket, hogy tervezett üzemidejük lejárta után sem okoz műszaki gondot további működtetésük, az üzemidő tíz-húsz, sőt esetleg harmincéves meghosszabbítása.

Az elmúlt évtizedekben számos atomerőmű-típust fejlesztettek ki, amelyeket összefoglalóan az atomerőművek harmadik generációjának nevezünk. Ezek a második generáció sokirányú továbbfejlesztésével, evolúciós módon jöttek létre. A jobb biztonsági és gazdaságossági paraméterekkel jellemezhető harmadik generációs atomerőművek telepítését az atomerőművek megrendelésének immár több évtized óta tartó hiánya és többek között a második generációs atomerőművek üzemidő-hosszabbításának műszaki lehetősége hátráltatja. Az atomerőművek társadalmi elfogadottságának viszonylagos nehézségei és a magas beruházási költségek kiterjednek a harmadik generációs atomerőművekre is. Ennek ellenére jelenleg is egyre növekvő számban folyik új erőművek építése.

Ilyen háttér mellett kezdődött meg az atomerőművek új generációjának kifejlesztése. Az Egyesült Államok kormányzata néhány évvel ezelőtt kezdeményezte olyan új típusú, negyedik generációs atomerőművek kifejlesztését, amelyek 2025–2030 körül állhatnak üzembe. A harmadik generációs atomerőművek bevezetésére az Egyesült Államokban várhatóan csak elvélve fog sor kerülni, és a második generációs atomerőművek üzemidejének hosszabbítása révén azokat közvetlenül a negyedik generációs atomerőművek fogják felváltani.

A Generation-IV projekt fő céljai

A negyedik generációs atomerőművek kifejlesztésére az ún. Generation-IV projekt keretében kerül sor. A projekt által perspektivikusnak tekintett reaktortípusok egyike sem előzmények nélküli, de a jelenlegi atomerőműpark ilyen típusokat gyakorlatilag nem használ. A szükséges fejlesztések csak jelentős volumenű kutatási programok megvalósításával érhetők el. Valamennyi típussal szemben alapvető követelmények a következők:

- gazdaságosság
- a természeti erőforrások fenntartása
- a keletkező hulladékok minimalizálása
- biztonság és megbízhatóság
- katonai célra való felhasználhatatlanság.

További fontos követelmény a negyedik generációs atomerőművek fejlesztésében az üzemanyagciklus új átgondolása, új típusú üzemanyagciklus kifejlesztése. Ennek három aspektusát érdemes megemlíteni:

- az erőművek biztonságának fokozása (bal esetben az új típusú fűtőelemek nagyobb megbízhatósággal akadályozzák meg a radioaktív anyagok kikerülését),
- az üzemanyagciklus zárása, a keletkező nagy aktivitású hulladék mennyiségének

minimalizálása és felezési idejének csökkentése (az urán, a plutónium és a képződő többi aktinida-izotóp újrafelhasználása az atomerőműveken belül, ami fizikai okokból termikus és gyors reaktorokból álló atomerőműpark kiépítését igényli),

- az üzemanyag minél inkább mentes legyen attól, hogy fegyvert lehessen belőle előállítani.

A nemzetközi projekt

Az Egyesült Államok céljait széleskörű nemzetközi projekt keretében kívánja megoldani. Az ezt a célt szolgáló Generation-IV International Forum (GIF) 2000 januárjában alakult meg. A projektben szinte kezdettől fogva részt vesznek a nukleáris fejlesztésekben jelentős szerepet játszó országok (az Egyesült Államokon kívül Kanada, Franciaország, Nagy-Britannia, Svájc, a Dél-afrikai Köztársaság, Argentína, Brazília, Japán és a Koreai Köztársaság). 2003-ban az Európai Unió (az EURATOM) a nemzetközi projekt tagjává vált. Az EURATOM valamennyi EU-tagországot képviseli. Jelenleg napirenden van Oroszország, Kína és India csatlakozása.

A projekt alapokmányát 2005 februárjában írta alá a résztvevők első csoportja, és ahhoz fokozatosan csatlakoztak a többiek. 2006 májusában az EURATOM felhatalmazása alapján az Európai Bizottság a Közösség nevében aláírta a keretmegállapodást. A keretmegállapodás lehetővé teszi a Közösség közvetlen hozzájárulását a GIF K+F tevékenységeihez, továbbá biztosítja a tagállamok kutatási szervezetei és a nukleáris ipar számára, hogy hozzájáruljanak a GIF K+F tevékenységeihez.

¹ A termikus reaktorokban a hasadásban keletkező nagyenergiájú (1–10 MeV) neutronokat a moderátorközeg termikus energiákra (< 1 eV) lassítja, ahol azok jó eséllyel maghasadást váltanak ki, míg a gyorsreaktorokban valamennyi neutron nagyenergiájú, ezeken az energiákon váltják ki a maghasadást.

A részt vevő tagállamok részben közösen finanszírozzák a projekt munkáit, részben pedig saját maguk finanszírozzák saját kutatóintézeteik részvételét, munkáját. Az Európai Unióban egyes projektek az EU 6. Keretprogramjából kapnak célzottan támogatást, de ezek mellett fontos szerepet játszanak az egyes országok nemzeti projekteiből származó kutatási eredmények is. Az EU 6. és még inkább 7. Keretprogramjának „nukleáris hasadás” fejezetét a Generation-IV-hoz kapcsolódó tevékenységek dominálják.

A projektben végzett tevékenységeket a részt vevő országok finanszírozzák, ami nyilván minden résztvevő számára bizonyos fokú problémát jelent. A probléma még nagyobb hosszabb távon, mivel a projekt nem kíván eljutni a prototípusok megépítéséig, és így nem világos, hogy a projektben létrejövő eredmény, azaz a szellemi termék, *know-how* hogyan kerül át azokhoz az ipari cégekhez, amelyek majd gyártanák az újfajta erőműveket. Mindazonáltal a Generation-IV projekt – amennyire az előre látható – a következő években, egy-két évtizedben a szakmában meghatározó lesz.

A Generation-IV projekt által kiválasztott reaktortípusok és a K+F tervek

A projekt hat perspektivikus reaktortípust választott ki részletes tanulmányozásra.

A nátriumhűtéses gyorsreaktor (SFR) zárt üzemanyag-recirkulációs rendszer, feladata a villamosenergia-termelés és a nagy aktivitású aktinidák – elsősorban a plutónium – hasznosítása, illetve kezelése. A technológia alapvetően ismert, ezért a tökéletesített, új generációs nátriumhűtéses reaktorok bevezetése már 2015–20 között megkezdődhet.

A magas hőmérsékletű gázhűtéses termikus reaktort (VHTR) a villamosenergia-ter-

melésen kívül magas hőmérsékletű folyamat-
hő előállítására szánják, például szénelgázo-
sítás és termokémiai hidrogéntermelés cél-
jából. Fejlesztése a grafitmoderátoros, héli-
umhűtésű reaktorokra vonatkozó tekintélyes
mennyiségű tapasztalatra alapul. A techno-
lógia hátránya, hogy az üzemanyagciklus
zárása nem megoldott. Rendszerbe állítása
2020 körülre remélhető.

A szuperkritikus nyomású vízzel hűtött
reaktorban (SCWR) a nyomás és a hőmér-
séklet a víz termodinamikai kritikus pontja
(22,1 MPa, 374 °C) felett van. Az SCWR
egyszerű felépítése és az ebből adódó alacsony
fajlagos beruházási költség, valamint a magas
átalakítási hatások miatt gazdaságilag nagyon
versenyképesnek ígérkezik, de biztonsági
problémái még nem teljesen megoldottak. Az
SCWR rendszerbe állítására jó esetben
2020–25-ben kerülhet sor.

Az ólom-bizmut hűtéses gyorsreaktor
(LFR) villamos energia és más termékek
(például hidrogén és ivóvíz) együttes előállítá-
sára tervezik. A kis teljesítményű reaktor ki-
elégítheti a kis fejlődő országok és az elszigetelt
hálózatok piaci igényeit. A típusra vonatkozó
tapasztalatok a szovjet atomtengeralattjárók
reaktoraiból származnak. A vonatkozó elkép-
zelések teljes aktinida-recirkulációs üzem-
anyagciklust vizionálnak. Az LFR rendszerbe
állítására legkorábban 2020–25-ben történhet.

A gázhűtéses gyorsreaktor (GFR) hélium-
hűtésű, zárt üzemanyagciklusú reaktor, 850
°C kilépési hűtőközeg-hőmérséklettel. A ma-
gas hőmérséklet egyrészt lehetővé teszi, hogy
a GFR-hez közvetlen ciklusú gázturbinás
rendszer kapcsolódjék, ami magas energiaát-
alakítási hatásfokú (~48 %) villamosenergia-
termelést tesz lehetővé, másrészt folyamathő
előállítására, így például hidrogéntermelésre
is alkalmassá teszi az atomerőművet. A GFR

üzembe állása legkorábban 2020–25-ben
kezdődhet.

Az olvadéksó-hűtéses reaktorban (MSR)
az urán- és/vagy plutónium-fluoridot tartal-
mazó olvadtsókeverék szolgál üzemanyagként
és hűtőközegként egyaránt. A rendszer fejleszté-
se az 1940-es, 1950-es évekre nyúlik vissza.
Képes a sóolvadékba kevert összes aktinida
hatékony kezelésére, illetve átalakítására. En-
nek a típusnak a kifejlesztése várhatóan csak
2030 körül fejződhet be.

Valamennyi kiválasztott reaktortípus
kielégíti a fentiekben meghatározott köve-
telmények nagy részét, de mindegyiknél je-
lentős kutatómunkára van szükség a típus
tényleges kifejlesztéséhez.

A Generation-IV projekt célja többek
között az is, hogy értelmes kutatómunkával
lássá el és hosszú távon is vonzza a fiatal, a
nukleáris szakma iránt érdeklődő szakembe-
reket. Túl a működő atomerőművek bizton-
ságának megőrzésén, az Egyesült Államok
kormánya azért is lényegesnek tarthatja ezt a
célkitűzést, mert nehezen lehetne nemzetbiz-
tonsági célkitűzéseivel összhangba hozni egy
olyan világot, amelyben a nukleáris szaktudás
az Egyesült Államokból, Kanadából, az Eu-
rópai Unió országából fokozatosan eltűnik,
de a Föld más részein továbbfejlődik.

Az ismertetett hat atomerőmű-fejlesztési
programhoz önálló K+F tervek tartoznak,
amelyek az adott típus legfontosabb problémái-
nak megoldását célozzák. Ezek mellett meg-
szerveződtek a horizontális – azaz egyszerre
több innovációs atomerőmű-típus megalapo-
zásához hozzájáruló – kutatási feladatok is. E
területek közül kiemelendő az üzemanyagcik-
lus zárása, tehát a hasadóanyag minél tökéle-
tesebb kihasználása és a hulladék minimalizá-
lása, ami a legfontosabb cél a fenntarthatóság
szempontjából, valamint a 900–1000 °C fo-

lyamat-hőmérséklettel összefüggő anyagtudományi kutatási feladatcsomag.

A magyar részvétel

A magyarországi atomenergetikai kutatási igényeket hosszú ideig és még ma is az dominálja, hogy a paksi atomerőművet hozzuk olyan állapotba, hogy az az EU-tagország Magyarországon is zavartalanul működhessen. Ez a cél megvalósult, és ebben a kutatóintézeteknek nem csekély szerepük volt. A hazai atomenergetika mai legfontosabb prioritása a paksi atomerőmű blokkjainak üzemidő-hosszabbítása, és ezzel együtt a blokkteljesítmény növelése és a fűtőelem-gazdálkodás további javítása. A kutatóintézetek lényegében felkészülteknek mondhatóak e feladatokra, és számos kutatásuk éppen e kérdésekre koncentrál. További jelentős prioritást jelent a kiégett fűtőelemek, valamint a radioaktív hulladékok elhelyezésének problematikája. E területeken a kutatások jelenleg nincsenek megfelelően koordinálva, és az intézetek felkészültsége, a nemzetközi trendekbe való beágyazottságuk nem igazán megfelelő.

A Generation-IV projektben való magyar részvétel pénzügyi hátterét jelenleg főképpen az NKTH által 2005 elején meghirdetett NAP-pályázatra benyújtott és elfogadott, a Generation-IV kutatásokat, valamint az ITER-hez kapcsolódó fúziós K+F tevékenységet előírányzó *Új nukleáris energiatermelési módszerek technológiai elemeinek fejlesztése* című pályázat biztosítja. A magyar kutatások az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézetben és a BME Nukleáris Technikai Intézetben folynak, immáron egy éve. A kutatások tárgya a kritikus állapotú vízzel hűtött termikus reaktortípus, ezen belül egyes zónatervezési, termohidraulikai, anyagtudományi és

reaktorbiztonsági problémák tisztázása. A kutatások teljes mértékben beágyazódnak az EU Generation-IV hozzájárulásába, részben a 6. Keretprogram időközben elindított HPLWR projektjén keresztül, részben pedig közvetlenül. A nemzetközi kapcsolatokat előmozdítja a KFKI AEKI együttműködése az EU Joint Research Centre petteni és karlsruhei intézeteivel, valamint a finnországi VTT-vel.

Értékelés

Az atomerőművek szerepe ma jelentős a világ energiatermelésében, ez a belátható jövőben biztosan így is marad. Az atomerőművek társadalmi elfogadottsága azonban nem megfelelő, ebben döntő változást kellene elérni.

A következő évtizedekben egyrészt a ma üzemelő, többségében második generációs atomerőművek üzemidejének meghosszabbításával és harmadik generációs atomerőművek építésével az atomerőművek részaránya a villamosenergia-termelésben fenntartható. Ez gazdaságos megoldás, amelynek nincs biztonsági akadálya. Másrészt a negyedik generációs atomerőművek kifejlesztése a mainál gazdaságosabb, még biztonságosabb és a fenntartható fejlődést jobban szolgáló energiatermeléssel kecsegtet; a radioaktív hulladék mennyiségének jelentős csökkentése, s a hadi célokra való alkalmatlanság biztosítása is megoldható. A negyedik generációs atomerőművek kifejlesztése áttörést hozhat a társadalmi elfogadottság területén is, és a szükséges kutatási kihívások jelentősen hozzájárulhatnak a szakmai kompetencia megtartásához is.

Kulcsszavak: *atomenergia, Generation-IV projekt, fűtőelemciklus, fenntartható fejlődés, biztonság*