

A NUKLEÁRIS ENERGIATERMELÉS JÖVŐBELI LEHETŐSÉGEI

RÁCZ ERVIN

Összefoglalás

Az energia és energiatermelés az emberek életével szoros kapcsolatban álló fogalmak. A nukleáris erőművek energiatermelésben való szerepe fontos, de erősen megosztja az embereket. Sokak által erősen bírált és ellenzett terület a nukleáris erőművek használata és fejlesztése (pl. a baleseti lehetőségek, vagy az elhasznált fűtőanyagok problematikái miatt), de többek által preferált terület is, hisz tagadhatatlan, hogy a világ energiatermelésének igen jelentős részét ma még atomerőművek adják. Bárhogy is nézzük, az atomerőművek kérdésköre jelentős és érdeklődésre tarthat igényt. Az energetika egy másik fontos kérdése lehet az is, hogy kis területre koncentrálódva, akár családi vagy kisközösségi méretű energiatermelésben gondolkodjunk, vagy éppen ellenkezőleg nagyerőművek építésében. Érdekes módon mindkettőben jelentős szerepet kaphat és játszhat a nukleáris típusú energiatermelés. A publikáció a nukleáris erőművek használatának jövőbeli lehetőségeiből mutat be néhányat, fókuszálva mind a kisközösségi, és családi energiatermelés, mind pedig a nagyterületi, térségi, országos vagy akár országok közösségét tömörítő nagyerőművek fajtáira.

Kulcsszavak: Energiatermelés, atommag hasadás, atommag fúzió, atomerőmű, mini atomerőmű, fúziós erőmű. .

The future prospects of nuclear power generation

Abstract

Role of the nuclear power plants at energy production can share the human population around the world. Many peoples word negative critics among to use nuclear power plants, but on the other hand, many others even prefer this kind of power plants at energetics. It is undeniable fact that nowadays, significant part of the energy production comes out from nuclear energetics on the world, so talking about the topic is up to date. A basic question of the energetics is the following: whether do we focus on concentrated, family- or small community-size energy production or inversely, do we work on large regional or large nuclear power plants? This publication will round the mentioned topic and give examples from ideas belong to the near future or future.

Keywords: energy production, fission, fusion, nuclear power plants, mini nuclear power plants, fusion reactors..

Bevezetés

Több, mint 7 milliárd ember él a Földön és az előrejelzések szerint az emberi populáció száma még jópár évig tovább fog növekedni. Az emberi civilizációk és embercsoportok fejlettségének egyik mércéje az energia ill. villamosenergia felhasználásuk, az a villamosenergia mennyiség, amit életükhöz, életvitelükhöz igénybe vesznek. Gondoljunk csak bele, hogy például egy gazdaságilag fejlett területen élő embertársunk mindennapi életéhez használt villamosenergia mennyisége sokkalta

nagyobb, mint például egy elszigetelten vagy elmaradott térségben elő ember villamosenergia felhasználása. Az elektromos eszközök térhódítása azonban prognosztizálható a technikailag jelenleg fejletlenebb államokban is, míg a technológiailag fejlett államokban pedig tovább bővül a modern technikák és elektromos eszközök használata. Összefoglalva tehát elmondható, hogy az idő előrehaladtával az emberiség villamosenergia igénye növekszik és növekedni is fog. A növekvő energiaéhséget pedig ki kell tudni elégíteni villamos energiával. Az embereknek szükséges villamos energiát a villamosenergia megtermelésével és az energia arányos elosztásával lehet az adott fogyasztók rendelkezésére bocsátani. Az életünkhöz szükséges villamosenergiát az energiatermelés folyamata során különböző energiahordozókból nyerjük. Mai ismereteink szerint a rendelkezésünkre álló energiahordozókat három nagyobb csoportra oszthatjuk: [a] a primer, fosszilis vagy nem-megújuló energiaforrások; [b] a primer, nem fosszilis, ilyenek a nukleáris energiahordozók; és [c] minden egyéb energiaforrás, ide sorolva a megújuló energiaforrásainkat. Az [a] csoportba tartozik jellemzően a kőszén, a kőolaj, a földgáz; megújuló és modern energiaforrások [c] pl. a napenergia, szélenergia, vízenergia, biomassza. A [b] csoportba sorolt nukleáris energiahordozóknak két nagyobb csoportját különíthetjük el: [b1] az atommag hasadáson (fisszió) alapuló energiatermelést; [b2] az atommag egyesítésen (fúzió) alapuló energiatermelést.

Ez a dolgozat kicsit a múlt, és a jelen, de inkább a jövő nukleáris energiatermelésének néhány talán meghatározó elemére tekint.

A maghasadást használó atomerőművekről

Manapság, ha nukleáris energiatermelésről beszélünk, akkor jellemzően a fentebb említett [b1] a maghasadáson alapuló villamosenergia termelés jut eszünkbe. A maghasadások láncreakcióban megvalósuló sorozata nagy mennyiségű energiát szabadít fel, mely energia energiatermelésre használható fel atomerőművekben. A folyamat jellemzően kis helyen nagy mennyiségű villamosenergia termelésre használható. A dolog szépséghibája azonban az, hogy az igen pozitívnak tekinthető végeredményt, a nagy mennyiségű megtermelt energiát, negatív hatások is kísérik. Ilyenek a maghasadásokat kísérő radioaktív sugárzások. A magasfokú radioaktivitás az élő szervezetek roncsolását és pusztulását okozzák vagy okozhatják. A kiégett nukleáris fűtőanyagok sorsa, tehát azok elhelyezése, tárolása, szállítása, cseréje, vagy éppenséggel az atomerőmű működésének biztonsági kockázatai (üzembiztonság, folyamatbiztonság, balesetvédelem), vagy a lehetséges nukleáris balesetek óriási gondot és rizikófaktort jelentenek. Egy apró hiba is végzetes szerencsétlenséghez, akár tömegszerencsétlenséghez és katasztrófához is vezethet, gondoljunk csak a csernobili vagy a fukusimai reaktorbalesetekre. Éppen a magas kockázati szint és lehetséges rizikófaktorok miatt rengeteg ellenzője és ellensége van az atomerőműveknek. Ma már vannak olyan országok, - ilyen pl. Németország és Japán, - ahol az ország teljes atomerőmű arzenáljának leállítását és leépítését tervezik a közeljövőben (szerző, 2012). Más országok, - ilyen pl. Franciaország – az energiaszükségletük drasztikusan magas hányadát (~77%) jelenleg is atomenergiából állítja elő és fedezi, továbbá tervezi is fedezni a következő időszakban is. Ma ott tartunk, hogy világviszonylatban kb. 300 000 MW teljesítményt, a villamosenergia termelés kb. 13-15%-át a világon jelenleg üzemelő 442 atomerőmű segítségével állítják elő (conserve-energy, 2012). Vannak államok, ahol ez a szám magasabb, ilyen pl. Franciaország 77%, Belgium 54%, Szlovákia 54%-kal, de

vannak olyan országok, ahol a számok alacsonyabbak, ilyen pl. Argentína 5%, Kína 2%, India 4%, Hollandia 4% (world-nuclear, 2012). Magyarországon az energiaszükségletek kb. 44%-át, tehát elég magas hányadát fedezzük a paksi atomerőmű által nukleáris úton előállított villamosenergiával. Lehet tehát szeretni, vagy éppen nem szeretni a nukleáris energetikát, de a szerepe ma (hazánkban sem) nem elhanyagolható.

Atomerőművek generációi, avagy út a kezdetektől a modern fissziós erőművekig

Az atomerőmű technikában a fissziós erőműveket modernitás és a bennük alkalmazott technológia szerint öt generációra bonthatjuk. A generációk rendszámának növekedése az erőmű technológiai fejlettségével analóg. A nukleáris erőművek generációkba sorolásakor az alábbi fő szempontokat veszik figyelembe: költséghatékonyság, üzembiztonság, környezeti biztonságosság, sebezhetőség, védhetőség, nagy vagy kis energiahálózatba való illeszthetőség, kereskedelmi képesség, fűtőanyag használat és ciklus (Goldberg, 2011).

Mindezek alapján az első generációs atomerőművek közé tartoznak a világ első atomerőművei, az atomerőmű prototípusok, amelyekben ma már kezdetlegesnek és elavultnak számító technikát és technológiát használtak a reaktor vagy reaktorok működtetésénél. Ilyen reaktor volt Shippingport (1957-1982) Pennsylvániában, a Dresden-I. (1960-1978) Illinos államban az USA területén, és Calder Call-I. (1956-2003) az Egyesült Királyságban. Második generációs atomerőműnek nevezzük az 1990-es évek végéig felépült és üzembe helyezett általános célú energiatermelő nukleáris erőműveket. Ezek közül üzemel ma a legtöbb a nagyvilágban, és a paksi atomerőmű is ebbe az osztályba tartozik. Tipikusan ebbe a generációs csoportba soroljuk a nyomottvízes, forraltvízes, nehézvízes, a gázhűtéses és továbbfejlesztett gázhűtéses technológián alapuló erőműveket. Harmadik generációs atomerőműnek nevezünk minden olyan nukleáris reaktort, amely valamely második generációs atomerőmű működése során történt továbbfejlesztésének eredménye. Ezeknél a típusoknál legtöbbször továbbfejlesztett üzemanyag technológia használatos, nagyobb termális hatásfok érhető el a működés során, további passzív biztonsági rendszerek kerültek beépítésre az emelt biztonság érdekében, illetve olyan standardizált dizájn kialakítására törekedtek a mérnökök, amelyek segítségével a fenntartási és a karbantartási költségek is csökkenthetők. A továbbfejlesztett jellemzők következményeként az ebbe a generációba tartozó reaktoroknál kb. 60 évre emelt hosszabb üzemélettartam (második generációs erőműveknél az üzemélettartam kb. 20-25 év esetleg 30 év) és a tüzelőanyag cella sérülések gyakoriságának csökkenése megfigyelhető. Talán érdekes megjegyezni, hogy az első harmadik generációs atomreaktort éppen az a Japán fejlesztette ki, aki manapság szinte a legkeményebben emeli fel hangját az atomerőművek használata ellen. A következő generáció a harmadik+ (III+) atomerőmű generáció. Ebbe a generáció osztályba sorolják azokat a harmadik generációs erőműveket, amelyeken még további számottevő fejlesztések történtek az üzemi, működési és működtetési biztonság területén. Ilyen típusok például a vízhűtéses, vízmoderátoros energiatermelő reaktorok közül a VVER-1200 kódjelű, a továbbfejlesztett CANDU reaktor (CANDU=Canadia Deuterium Uranium, egyfajta nehézvízes moderátorú és hűtőanyagú), gazdasági szempontból egyszerűsített forraltvízes reaktor (ESBWR a neve az angol névből képezett mozaikszó szerint). Végül, negyedik generációs atomerőműnek nevezünk minden olyan elméleti nukleáris reaktor dizájnt, amelyek tervei, kutatásai, fejlesztései jelenleg is folyamatban vannak. Ezek a reaktorok várhatóan 2030 körül vagy után

fognak üzemelni prototípusoktól eltekintve. Az ilyen reaktorokra jellemző a még jobban megnövelt biztonsági eljárásoknak való megfelelés, a megnövelt fűtőanyag hatásfok és élettartam, minimalizált nukleáris hulladék termelés, a nukleáris hulladékok újrahasznosítása vagy újrahasznosíthatósága, továbbá a csökkentett és lehetőség szerint minimalizált építési vagy bekerülési és üzemeltetési költségek. A negyedik generációs új reaktor dizájn a termikus reaktorok és a gyorsreaktorok területén jellemző. Új termikus reaktorok pl.: nagyon nagy hőmérsékletű reaktor (VHTR – very high temperature reactor), szuperkritikus vízhűtéses reaktor (SCWR – Super Critical Water-cooled Reactor), sóolvadékos reaktor (MSR – Molten Salt Reactor); illetve gyorsreaktorok, úgy mint: gázhűtésű gyorsreaktor (GFR – Gas-cooled Fast Reactor), nátriumhűtésű gyorsreaktor (Sodium-cooled Fast Reactor), ólomhűtésű gyorsreaktor (Lead-cooled Fast Reactor). (Aszódi, 2009)

Mini atomerőművek

Az atomerőművek egy érdekes csoportja az úgynevezett mini atomerőművek kategóriája. Ha atomerőműről beszélünk, általában olyan nagyerőműre gondolunk, amely egy nagytérség (pl. egy ország, vagy országrész) energiatermelésének olyan jelentős központi eleme, amelyből a térség energiaellátására elég szinte egyetlen darab. Egy nagy atomerőmű jellemzően 700 MW elektromos teljesítmény felett termel, de egy közepesen nagy atomerőmű is 300-700 MW elektromos teljesítményt produkál. Nem is nagyon gondolnánk, hogy lehet atomreaktorot kicsiben is készíteni! A mini atomerőművek – mint látni fogjuk – kistérségek, települések, farmok, kolóniák villamosenergia ellátását biztosíthatják, így akár kisgazdaságok részei is lehetnek. Jelenleg mini atomerőműnek nevezzük azon reaktorokat, amelyek maximum kb. 60 MW elektromos teljesítmény termelésére képesek. Mini atomerőmű létesítésének ötlete az Amerikai Egyesült Államokban született kb. 1960-ban. Az alapötletet az inspirálta, hogy lakott területektől távol, elszigetelten élő emberi kolóniák, telepek, kutatóállomások, települések számára is megoldottá váljék az energiaellátás. 1962-ben adták át az első mini atomerőművet a világon az Antarktiszon lévő McMurdo Sound-on. Ez az erőmű az MP-3A Nuke vagy Nuke nevet kapta, 1,5 MW elektromos teljesítményt termelt és 10 évig működött látva el villamosenergiával az ott élő kolóniát. Ezt követően elindult a mini atomerőművek térhódítása. Előbb az USA-ban a Big Rock Point-on (Michigan állam) épült egy másik mini reaktor, majd pedig az 1960-as évek második felében a Szovjetunió is elkészítette a maga KLT kódjelű mini reaktorait, amelyek nyomottvízes reaktorok voltak, kb. 35 MW elektromos teljesítményt termeltek, és célzottan tengerjáró és jégtörő hajók meghajtására es energiaellátására szolgáltak. Később Kína, Argentína, Dél-Korea, és Japán is megépítette a saját mini atomreaktorait. Napjainkban, óriási nagy fejlődés eredményeképpen igen érdekes mini atomerőművek és dizájn tervek is léteznek: vannak vízfelszín és földfelszín alatti reaktorok. Vízalatti típus pl. a Flexblue francia fejlesztésű reaktor. Méretei: kb. 100 m hosszú és 12-15 m átmérőjű hengeres konténer, amely 50-250 MW elektromos teljesítmény előállítására lesz képes. 60-100 m mélyen a tenger fenekére tervezik állítani és a reaktor hűtésében a hideg és állandóan áramló tengervíz közeg játszik szerepet. Föld alatti reaktor pl. a NuScale, a Hyperion vagy a Toshiba 4S nevű házi atomerőművek. Mindegyik moduláris, kapszulázott, természeténél fogva biztonságos és megszaladás-biztos all-in-one dizájn. Dimenzióit tekintve 20-25 m hosszú, 12-15 m átmérőjű, 10-11 m magas, kapszulát formáló konstrukciók ezek, 10-70 MW elektromos teljesítménnyel. Mindegyiket földfelszín alá beásva telepítik, kisméretű felépítménnyel, amely a kontrol egységeket tartalmazza. A rendszerek teljesen

gondozásmentesek kb. 10 évig. A mini atomerőművek tervei eléggé futurisztikusak is lehetnek, pl. nukleáris autó tervek is vannak már a Ford és a Cadillac birtokában. (Rác, 2011)

A jövő egy lehetséges útja: a magfúziót használó fúziós erőművek

Az energiatermelésnek a bevezetőben ismertetett [b2] típusa a magfúzió alapuló energiatermelés. Ez esetben két kis tömegszámú atommag indukáló, befektetett energia hatására egy nagyobb tömegszámú atommaggá egyesül vagy fuzionál. A folyamat energiámérlege szerint a fúziót olyan nagy mennyiségű energia felszabadulása kíséri, mely sokszorosa a maghasadás során felszabaduló energiának. A magfúzió folyamata nem természetidegen jelenség. A csillagok energiatermelése magfúzió alapú, így a mi Napunkban is magfúzió játszódik le. A nagy kérdés persze az, hogy le tudjuk-e hozni a Napot a Földre, azaz, meg tudjuk-e valósítani a magfúziót földi körülmények között? A kérdés azért merülhet fel, mert a magfúzió beindításához igen nagy energiára és speciális feltételekre van szükségünk. A fenti kérdésre a válasz mégis: igen. Sőt azt mondhatjuk, hogy már le is hoztuk a Napot a Földre, hiszen a Teller Ede által megálmodott hidrogénbomba a magfúzió során felszabaduló energiát használja rombolásra és pusztításra. De vajon képesek vagyunk-e a magfúziót barátságos célokra, pl. energiatermelésre használni? Úgy tűnik, erre a kérdésre is talán igen lehet a válasz. A probléma megoldásán dolgozik ma a fizikusok egy része. Két irányvonal mentén haladnak a kutatások. Az egyik irányzat a mágnesesen összetartott fúziós anyagot használó berendezés a tokamak és a sztellarátor, mint fúziós erőmű kifejlesztése. Jelenleg a világban – főleg Európában – igen sok helyen van már működő tokamak vagy sztellarátor, azonban ezek a berendezések energiatermelésre még nem alkalmasak. Olyan teszt berendezések ezek, amelyeken született kutatási eredmények segítségével szolgálnak egy demo fúziós erőmű tervezéséhez és építéséhez. E demo berendezés neve: ITER (International Termonuclear Reactor), és Dél-Franciaországban Cadarache-ban épül majd fel. Napjainkban az ITER tervezése folyik és az alapvető kivitelezési munkák kezdetüket vették. Az ITER még mindig nem lesz statikus energiatermelő reaktor, hanem az ITER-ben néhány másodpercig, esetleg percig lesznek képesek fenntartani a fúzió feltételeit. Ha majd minden jól sikerül, akkor úgy 2030-2050 táján az ITER tapasztalatait és eredményeit felhasználva készülhet el az első fúziós energiatermelő tokamak vagy sztellarátor. (Goldberg, 2011)

A másik irányvonal egészen más oldalról közelíti a kérdést, hiszen itt igen nagy teljesítményű lézerrendszerek jól fókuszált impulzusa és a fúziós céltárgy kölcsönhatására alapozzák a sikert. Ez lenne a lézeres fúzió, vagy röviden lézerfúzió és az ezen elven működő lézerfúziós erőmű. A lézerfúzió alapelve az, hogy nagyintenzitású lézerek fényét fúziós céltárgyra fókuszálják. A lézer fókuszában az igen nagy intenzitás plazmaállapotba hozza az anyagot, ami után különböző – most itt nem részletezett – lézerplazma-folyamatok eredményeképpen a fúziós – most már plazma állapotú – anyag összenyomódik. Az összenyomás igen rövid ideig tart (néhány pikomásodperc) de ennek hatására az anyag eléri a fúzióhoz szükséges sűrűséget. Ha a kellő sűrűség, hőmérséklet és összetartási idő együtt teljesül, akkor lejátszódhat a magfúzió a céltárgyban. A lézerfúzió igen sok formája áll kutatás alatt. (A lézerfúzió módzataival e dolgozat nem foglalkozik.) Jelenleg talán a leghíresebb lézerfúziós labor a Teller Ede által alapított, Egyesült Államokbeli NIF (National Ignition Facility). A stadion méretű laborban 192 fókuszált lézernyaláb fogja melegíteni és összenyomni a gömbölyű céltárgykamra

középpontjában elhelyezett apró céltárgyat. Az eredmények igen biztatóak! 2011-ben megtörtént az első teszt lövés a világ legerősebb lézerrendszere erősen legyengített 192 nyalábjával, míg 2012. júliusában már sokkal erősebb lézerenergiájú nyalábokkal végezték el a 192 nyaláb elsütését. A tesztek sikerültek, így a NIF lassan készen áll az első komoly targetkísérletek végrehajtására. Ha minden eredményes, akár a közeljövőben hallhatunk érdekes eredményeket a lézerfúzióról, és akkor már ki tudja milyen sikereket tartogat a jövő a fúziós energiatermelés terén. (Aszódi, 2009)

Hivatkozott források:

A szerző saját, személyes konzultációja - német szakemberekkel - alapján (Németország, Ludwigsburg, Ulm, 2012. június 18.)
<http://www.conserve-energy-future.com/NuclearEnergy.php>, 2012. július 25.
<http://www.world-nuclear.org/info/inf01.html> 2012. július 25.
Goldberg, S. M. - Rosner, R. : Nuclear Reactors, Generation to Generation, American Academie of Arts and Sciences, 2011.
Aszódi A. (2009): 1., 2., 3., 4. Generációs atomerőművek, ETE előadás, Budapest, 2009. február 12.
Rácz E. (2011): Mini atomerőművek, avagy lehetnek-e atomerőművek háztartások részei?; VI. Energetikai Konferencia "Háztartási Kiserőművek", Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Villamosenergetikai Intézet, 2011. november 10.
www.iter.org 2012. július 25.
<https://lasers.llnl.gov/> 2012. július 25.

Szerző:

Dr. Rácz Ervin, PhD.

egyetemi docens

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Villamosenergetikai Intézet

racz.ervin@kvk.uni-obuda.hu