

Kisebb atomerőművekről

Cserhádi András

MVM Paksi Atomerőmű Zrt.

7031 Paks, Pf. 71. +36 75 508 518

„A kicsi szép” címet viselte a hetvenes évek egyik nagy hatású esszégyűjteménye, az emberközpontú közgazdaságtan alapműve, dacolva az uralkodó „minél nagyobb, annál jobb” szemlélettel. Az atomenergetikában mindig is voltak törekvések a kisebb egységteljesítményű típusok, blokkok térnyerésére, és mostanában a fő sodor mellett erősödni látszanak. A cikk áttekinti az aktuális összképet, a várható fejleményeket.

Bevezetés

Új atomerőművek építésének fő akadályai egyre inkább a nagy beruházási igények, a létesítések elhúzódnása, a magas pénzügyi-finanszírozási kockázatok. Nem véletlen, hogy ma már ezekre a kérdésekre koncentrálnak az antinukleáris mozgalmak. Belátták ugyanis, hogy a műszaki fejlődés nyomán és a hatósági engedélyezés jelen procedúrája mellett már alig találnak fogást a biztonság kérdéskörében. A radioaktív hulladékokat megcélzó ellenérvek is veszítenek erejükből, mert a modern atomerőművek hulladékai csekélyek, illetve kezelésükre a fejlett módszertan és eszközpark a közelmúlttal szemben már nem csak ígéret vagy terv, hanem egyre inkább megvalósuló, hatékony megoldások sora.

Egy kis blokk könnyebben finanszírozható. Üzemekben, nagy sorozatban – így olcsóbban –, jó minőségben gyártható. Egyszerűbben szállítható elemekből gyorsabban felépíthető. Volna rá kereslet is: a szerényebb energiahálózattal rendelkező országok, az atomenergetikába újonnan belépők vagy a nagy országok távoli területeinek energiaellátása, az elavult fosszilis erőművek kiváltása.

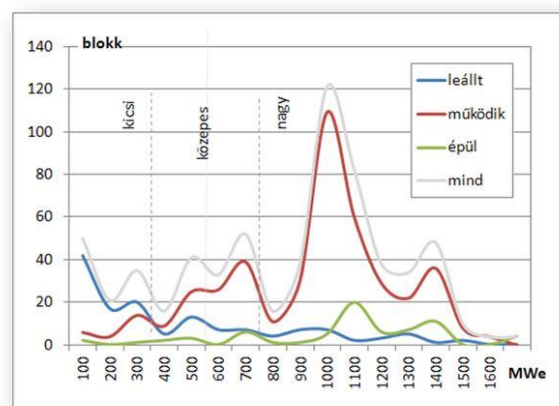
Méret, megnevezések, statisztikák

Az atomerőműveket villamos teljesítményben 300 MWe alatt tekintik kicsinek, 700 MWe-ig tart a közepes tartomány, míg fölötte nagynak számítanak. Van olyan besorolás is, amely kihagyja a közepes tartományt és a kicsi, illetve nagy közötti határt 500 MWe-ra teszi.¹

A meghonosodott angol rövidítés SMR, de ezt kétféle módon is feloldják: Small and Medium Sized Reactors (kis és közepes méretű reaktorok), valamint Small Modular Reactors (kicsi moduláris reaktorok). Mindez némi zavarokat okoz, de ezek mértéke viselhető. A 'közepes' terminológia azért jó, mert belefér a múlt és jelen is. A 'moduláris' egyre inkább használatos és inkább a jövőbe tekint. Ráadásul a modul szó jelentése itt egy olyan teljes, önmagában is működőképes kis

kapacitású atomerőművet takar, amelyből többet szorosan egymás mellé építhetnek. Ez a modul nem tévesztendő össze a nagy atomerőművi blokkok korszerű szerelésekor alkalmazott modullal: az gyárban vagy telephelyen összeépített olyan elemek összessége (pl. egy teljes pihentető medence a hűtőkörével), amelyet óriás daruval egyben emelnek a helyére.

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) naprakész PRIS adatbázisából [1] letöltött teljes adatsorból 100 MW-os lépésekkel képeztem a blokkok bruttó villamos teljesítményének gyakorisági eloszlását. Az 1. ábrán folytonos vonalakká simított külön hisztogramok mutatják a már leállt (132), a működő (434) és az épülő (69) blokkokat, illetve ezek összegét (635). Látható, hogy a termelésből már kivont régi blokkok főként kisebb teljesítményűek voltak; a legtöbb ma üzemelő 1000 MWe körüli; és mostanában főleg kb. 1100, illetve 1400 MWe kapacitású blokkok épülnek.



1. ábra: Leállt, működő és épülő atomerőművi blokkok méretének eloszlása (forrás: saját gyűjtés a PRIS-ből)

Ha a NAÜ kis és közepes reaktorokra vonatkozó, viszonylag friss alábbi összesítését [2] nézzük, ugyancsak találkozunk a megnevezés kettősségéből eredő értelmezési nehézségekkel (minden rendeződik, ha a működő és épülő blokkoknál az SMR közepes, a fejlesztés alatt állóknál a moduláris jelentését fogadjuk el). Az egyes számokat zárójelben kiegészítettem az adott sokaságon belüli százalékos hányadokkal.

¹ az eredetileg 440, majd 500 MWe-ra emelt teljesítményű paksi blokkok is ezek szerint közepesnek vagy legnagyobb kicsinek számítanak

- 131 SMR blokk (30%) működik 26 országban, 59 GWe (16%) együttes kapacitással,
- 14 SMR blokkot (20%) épít Argentína, India, Kína, Oroszország, Pakisztán és Szlovákia,
- mintegy 45 féle SMR típust fejlesztenek különféle országok, így Argentína, Dél-Afrika, Dél-Korea, Franciaország, India, Japán, Kanada, Kína, Oroszország és az USA,
- a villamosenergia-termelés mellett cél még az ipari hő generálása, a tengervíz sótalanítás, a hidrogéntermelés és egyéb alkalmazások.

Esélyek és kihívások

A különféle források egybehangzóak az **esélyeket** illetően, árnyalatnyi eltérések csak abban vannak, hogy a partikuláris előnyöknek kik mekkora relatív fontosságot tulajdonítanak.

Az egyik legjobb, szakmailag igényes áttekintés a témában a World Nuclear Association lapján [3] található. Általában megállapítja, hogy a modern kis energetikai reaktorok várható jellemzői az egyszerű kialakítás, a tömegtermelés lehetősége és a kisebb létesítési költségek lesznek. Legtöbbjüket a lehető legnagyobb mértékben inherensen és passzívan biztonságosra tervezik. Ez azt jelenti, hogy biztonságukat nem köréjük épített bonyolult, többszörözött rendszerekkel fokozzák, hanem azt a mindig működő természeti törvények, belső fizikai tulajdonságok garantálják. Ha rendellenességek esetén mégis szükséges valamekkora beavatkozás, akkor azt elsősorban külső energiát nem igénylő passzív eszközök teszik.

Az Egyesült Államok energetikai kormányzatának álláspontja [4] megerősíti ezeket az előnyöket. Eszerint a kis moduláris reaktorok létesítése viszonylag könnyen finanszírozható; a kisebb méret rugalmasságot nyújt a telepítésben (olyan helyeken is üzembe állíthatók, amelyek nem tudnak nagyobb reaktorokat fogadni); kedvező tulajdonság a skálázhatóság; a blokkok nukleáris biztonsági és védettségi paraméterei nem maradnak el a nagyokétól.

Részletezve és konkrétabban:

Modularitás. A fő komponenseket gyári környezetben állítják elő és egyben, vagy minél nagyobb darabokban szállítják a felhasználás helyére. Ezáltal a működőképes erőmű létrehozásához jelentős, a létesítés telephelyén végzendő munka megtakarítható. A korlátozott helyszíni előkészítés a nagyobb blokkokhoz képest számottevően lerövidíti az építési időt is. Az energia iránti kereslet növekedésével az erőmű újabb termelő modullal kiegészíthető.

Kis beruházási igény. Az alacsonyabb beruházási költségek folytán mérséklődhetnek az atomerőmű tulajdonosának befektetési terhei. A gyári előállítás csökkenti a létesítés költségeit és időtartamát.

Rugalmas telepítés. A kis blokkok képesek energiával ellátni olyan térségeket is, ahol nagy blokkok nem szükségesek, illetve hiányos az azok támogatásához szükséges infrastruktúra. Ilyen esetek például: kisebb vagy elszigetelt villamos hálózatok, korlátozott vízellátás vagy rendelkezésre álló terület, egyedi ipari alkalmazások kiszolgáltatásának igénye. A kis reaktorok telepíthetők fosszilis erőművek helyére is azok végső bezárása után, avulásuk miatt vagy környezetvédelmi megfontolásokból (mivel nem bocsátanak ki üvegházhatású gázokat).

Hatékonyág. A kis reaktorok a nagyokkal, valamint más – így megújuló és a fosszilis – energiaszolgáltatókkal együtt, közös energiamixben kölcsönösen erősíthetik egymást, növelve a hálózat stabilitását és az ellátásbiztonságot, többféle energiaterméket szolgáltatva, nagyobb hatékonysággal működve. Néhány típus képes magas hőmérsékletű hőt szolgáltatni ipari alkalmazásoknak.

Fegyverzetkorlátozás. A kis reaktorok e szempontból is biztonságosak, sőt a nagyokhoz képest potenciális fegyverzetkorlátozási előnyöket nyújthatnak. A legtöbb reaktor földalatti elhelyezésű, ami csökkenti sebezhetőségét szabotázs esetén vagy külső természeti hatásokkal szemben. Több kis reaktort eleve úgy terveznek, hogy nagyon hosszú ideig, vagy egyáltalán nem igényelnek üzemanyag cserét. Töltetüket a gyárban kapják meg, így szállítják őket a villamos- vagy hőenergia termelés helyszínére, majd az életciklus végén vissza a gyárba a kiegészítő üzemanyag kiszerezésére. Ez az eljárás is segíthet minimalizálni a nukleáris anyagok szállításával és kezelésével járó kockázatokat.

Piaci lehetőségek. Az eladói oldalon az amerikai ipar jó helyzetben van, képes versenyezni. A DoE² reméli, hogy a szabványosított SMR típusok fejlesztése az amerikai vállalatok fokozott jelenlétéhez vezet a globális energiapiacra.

A legtöbb itt felsorolt előny természetesen nem csak az USA-ra érvényes. Például a gyártók piacán betöltött vezető szerepre, vagy a minél nagyobb hányad kihasználására nem csak az amerikaiak aspirálnak. Mások mellett az oroszok is nagyon jónak ítélik saját esélyeiket, kiemelve, hogy rendelkeznek a szükséges tudományos háttérrel, mérnöki bázissal, gyártó kapacitásokkal, sőt már tervezőasztalon túljutott projektekkel.

A **kihívások** tekintetében ugyancsak konszenzus rajzolódik ki egy procedurális és egy gazdasági jellegű akadály tekintetében. [5]

Engedélyezés. A jelen és közeljövő nagy teljesítményű G3 és G3+³ atomerőműveihez az engedélyezés módszertanának kialakulását és a jogi keretek megalkotását sokéves felkészülés előzte, illetve előzi meg. Akkor is, ha ezek a blokkok főleg a meglévő, jól ismert nyomottvízes G2 típusok evolúciós továbbfejlesztései. A kis atomerőművek nem feltétlenül ezen a kitaposott úton haladnak. Még az uránt használó és vízzel hűtött kis reaktorok is felvethetnek elmélyedést, vizsgálatot igénylő kérdéseket ma még szokatlan tervezési megoldásaikkal, üzemi jellemzőikkel. Ilyenek pl. az integrált kialakítás (a teljes primer kör a reaktortartályban), a természetes cirkulációs és kis hűtőközeg forgalommal járó hűtési üzemmódok normál üzem és üzemzavar esetén, vagy néhány atomerőmű modul üzemeltetése egy vezénylőből. A más üzemanyaggal és hűtőközeggel működő kis reaktorok még nagyobb eltérést jelentenek a megszokottaktól, olyan további ismereteket, szakértelmet igényelnek, amelyekkel a nemzeti hatóságok általában nem rendelkeznek. Az emberi erőforrások kellő

² US Department of Energy, amerikai energetikai kormányzati szervezet

³ G2, G3, G3+, G4 (vagy más írásmóddal pl. Generation IV) különféle atomerőmű generációk

mennyiségű és minőségű biztosítása (felvétel, oktatás) és a hatósági munka kereteinek az új feladatokhoz való igazítása évekre kerülhet.

Versenyképesség. Az alapkérdés az, hogy képes-e megfelelően ellensúlyozni a kis reaktorok szabványos, minőségbiztosított, gyári körülmények közt történő előállítását, illetve a telephelyi létesítési munkák minimumra csökkentését a nagy reaktorok méretgazdaságosságát. A szériagyártás ismétlődési tanulási folyamatot indukálnak, ami a költségeket folyamatosan csökkenti. Arról nem álmodik senki, hogy a kis reaktorok terméke egy csapásra, a kezdetektől olcsóbb lesz az addigi legalacsonyabbnál, de az reális várakozás, hogy bizonyos számú legyártott bloktól belép a versenyképes sávba. Ezért lényeges a kezdet, a bevezetés időzítése is: vajon lesz-e, aki felvállalja az úttörő szerepét, végigküzdi az eleinte akadozó engedélyeztetést, legyártatja a prototípusokat, vagy mindenki inkább kivár. A kezdő lökést állami megrendelés, illetve a helyi fogyasztókkal kötött áramvásárlási szerződés adhatja.

A kis teljesítményű atomerőmű típusok áttekintése

A mintegy 45 SMR típust nincs mód tételesen végigvizsgálni, de egy kiválasztott szűkebb kört hasznos lehet strukturáltan áttekinteni különféle jellemzőik – fejlesztő országok, típus, üzemanyag, moderátor és hűtőközeg, hűtés módja, a projekt előrehaladásának foka, vagy más csoportképző ismérvek – szerint. Ezt legcélszerűbb táblázatos formában tenni. (Lásd következő oldal.) Egy orosz szakfolyóirat megrendelésére 2013 áprilisában több tíz oldalas igényes analitikus áttekintés készült kisteljesítményű atomerőművekről [6]. A dokumentum összeállítói érdekes alcímeket adtak a világon most futó projektek csoportjainak. Az egyes csoportokat így nevezték és jellemezték:

Gyors kicsi. A gyorsreaktorok (FBR) még kompaktabbak termikus társaiknál. Nagyobb szabadságot biztosítanak szerkezeti anyagválasztásban. Üzemanyag ciklusuk akár 10-30 éves is lehet, szemben a nyomottvízes reaktorok legfeljebb 5-6 évével. A ritkább üzemanyagcserével munka takarítható meg és műveleti kockázatok redukálhatók, jobb kihasználás érhető el. Üzemanyag árváltozásokra így alig érzékenyek, a villamos energia önköltsége jobban kalkulálható, viszont a töltetet előre meg kell venni, amennyiben a szállítóval nem sikerül időben széthúzott fizetésben megállapodni. Nehézséget okozhat a magasabb üzemi hőmérséklet (500 °C körüli). Rendszerint háromkörös kialakításúak, és a folyékony fém hűtőközeg szivárgást nagyon gondosan kell monitorozni.

Forró kicsi. Itt magas és szuper magas hőmérsékletű (750-950 °C), gázzal – elsősorban héliummal – hűtött reaktorokat (HTGR) sorolnak fel. Ezek a blokkok a szokványos kialakításúakhoz képest még biztonságosabbak, kedvező termikus hatásfokúak (40-50%), hőhordozó fázisátmenet nincs, kisebb a szerkezeti korrózió, lehetséges a leállítás nélküli üzemanyag csere, egyszerűbb a kiégett üzemanyag kezelése. Különleges sajátosság a villamos energiatermelésen túl az ipari hőszolgáltatás lehetősége (pl. hidrogén generáció, fémipar). A típus elvben különféle üzemanyagok (U, Pu, Th és kombinációik) használatára alkalmas, de ezek gyakorlati bevezetése még jelentős fejlesztéseket igényel. Bár a hatvanas években már megjelent működő blokkok formájában is, kis

reaktorként alkalmazásba vétele legkorábban a húszas évektől várható.

Egyszerű kicsi. Mivel a nyomottvízes reaktorok (PWR) különféle változatai a legjobban kidolgozott, ismert technológiák, a kicsik között is elsősorban ezek korai, 10 éven belüli megjelenésére lehet számítani. Gyártó bázisuk már ma rendelkezésre áll. Gazdagok a tapasztalatok nem csak a nagy reaktorokkal, de a kisebb, különféle hajók meghajtására kifejlesztett társaikkal is.

Hasznos kicsi. Itt találtak helyet a szerzők a gazdasági adatok tárgyalásának. A figyelem központjában a fajlagos beruházási költségek és a villamos energiatermelés önköltsége áll, összevetésben a nagy reaktorokkal. Csak két megállapítást emelnék ki. Az egyik, hogy az SMR kategória paraméterei nem maradnak le látványosan méretgazdaságossági hátrányaik ellenére. A másik, hogy az SMR játéktere jóval szélesebb: a technológiai hőszolgáltatástól a tengervíz sótalanításon és hidrogénfejlesztésen át a vegyipari alkalmazásokig, ami más gazdasági megközelítést is igényelhet.

Gazdasági értékelések

Az elmúlt években sok SMR stratégiába ágyazott, vagy önálló tanulmány jelent meg a tárgyban, eleinte kvalitatív, később egyre inkább kvantitatív vizsgálatokkal. Szerzőik jobbra egyetemi tanszékek, intézetek, energiapolitikai kutatóhelyek voltak (pl. Ricotti professzor a milánói műegyetemről; Rosner korábbi Argonne NL vezető a chicagói egyetemről; Kessides és Kuznetsov világbanki szakértők).

A kis atomerőművek várható költségeinek jelenlegi becslései vagy problematikus, felülről levetített megközelítéseken, vagy alulról építkező, de a részleteket illetően nem publikus kalkulációkon alapulnak. A becslések némileg javíthatók szakértők közös bölcséletén alapuló adat- és vélemény szintetizáló technikákkal, amennyiben azokat jól hajtják végre. Egy ilyen kísérletről számoltak be a pittsburghi Carnegie Mellon egyetem kutatói [8]. Két kiválasztott SMR műszaki dokumentációjáról valószínűségi jellemzőkkel számszerűsített megítéléseket gyűjtöttek be interjúk során. Ezekbe 16 olyan személyt vontak be, akik vagy maguk is részt vesznek hasonló projektek műszaki-gazdasági értékelésében, vagy hozzáférnek ilyenekhez. Öt beruházási forgatókönyvre, ezen belül nagy reaktorra és két kis könnyűvízes blokkra is becsültek ún. overnight (létesítés alatti kamatköltségeket nem tartalmazó) telepítési költségeket és kivitelezési időtartamot. A nagy blokkoknál tapasztalt építési túlköltségekből és késésekből eredő bizonytalanság mértéke a költségeknél több mint 2,5-szeresre adódott. A szakértők megítélése szerint ugyanez a bizonytalansági tartomány az SMR esetében még szélesebb. Egy 45 MWe teljesítményű projektben ugyanis a fajlagos beruházási költség mediánjai 4000-16300 USD/kWe között szórtak, míg a 225 MWe-os projektnél 3200-7100 skálán mozogtak. Azonosították továbbá a nagyon eltérő nézetek témaköreit, feltárva a szakértők gondolkodási különbségeit. Abban egyetértés volt, hogy a kis blokkok 2 évvel gyorsabban felépíthetők és párhuzamosan kapcsolhatók, mint a nagyok. A szakértők a kis blokkok megfizethetőbb létesítési költségét, az üzemekben történő gyártást és a rövidebb építési ütemterveket emelték ki olyan tényként, amelyek a könnyűvízes SMR-t gazdaságilag életképesé tehetik.

1. táblázat Jövőbeli fontosabb SMR projektek jellemzői, összehasonlítása (forrás: [3], [6], [7])

| Reaktor (fejlesztő/szállító) ország | Típus, Hő / Vill. teljesítmény (MW) | Kialakítás Reaktor méret (m) | Üzemanyag, kampány | Moderátor/ hőhordozó, paraméterei | Hűtés | Státusz |
|---|--|--|---|---|-------------------------------|---------|
| mPower (B&W + Bechtel) USA | PWR 530 / 180 | Integrált 22,9 × 4,3 | 69 köteg, 17 × 17 2,4 m aktív hossz 48 hó | víz / víz 320 °C, 141 bar | Aktív (A) + Passzív (P) | K |
| W-SMR (Westinghouse) USA | PWR 800 / 225 | Integrált 24,7 × 3,5 | 89 köteg, 17 × 17 2,4 m aktív hossz 24 hó | víz / víz 310 °C, 155 bar | A+P | K |
| SMR-160 (Holtec Int) USA | PWR 446 / 160 | két modul ~31 × 3 | 37 köteg, 17 × 17 3,7 m aktív hossz 48 hó | víz / víz 316 °C, 155 bar | P | K |
| NuScale (NuScale + Fluor) USA | PWR 160 / 45 | Integrált 19,8 × 2,8 | 37 köteg, 17 × 17 1,8 m aktív hossz 24 hó | víz / víz n.a., 128 bar | P | K |
| Úszó atomerőmű, (Afrikantov I.) Oroszország | PWR 150 / 38 | nem integrált hajón | 121 köteg 1,2 m aktív hossz | víz / víz, 316 °C, 127 bar | A | É |
| ACP100 Kína | PWR 385 / 120 | Integrált n. a. | n. a. | víz / víz, 305 °C, 150 bar | A+P | T |
| SMART D-Korea | PWR 330 / 100 | Integrált 18,5 × 6,5 | 57 köteg 2 m aktív hossz | víz / víz, 360 °C, 170 bar | A+P | K |
| CAREM (CNEA, INVAP) Argentína | PWR 100 / 27 | Integrált 11 × 3,3 | 61 köteg, hatszögletű 1,4 m aktív hossz | víz / víz, 326 °C, 124 bar | P | É |
| Flexblue (AREVA, DCNS) Franciaország | PWR n.a. / 50-250 | nem integrált tengerfenék 100 × 12 | K15 flotta reaktor alacsony dústítású U- 235 | víz / víz n. a. | A | K |
| HTR-PM (Csinhua) Kína | HTGR 250 / 105 | reaktor + GF 11 × 3 | golyós fűtőelem | grafit / He 750 °C, 70 bar | A+P | É |
| SC-HTGR (AREVA) Franciaország | HTGR 625 / 250 | Integrált reaktor, GF 18,5 × 6,5 | hasáb fűtőelem | grafit / He 750 °C, 60 bar | A+P | T |
| Fuji MSR (ITHMSO) Japán, Oroszország, USA | TBR 450 / 200 | Integrált 6,8 × 4 | LiF-BeF ₂ - ThF ₄ -UF ₄ | grafit / folyékony só 700 °C, | A+P | T |
| G4M (Gen4 Energy Inc.) USA | FBR 70 / 25 | nem integrált 2,5 × 1,5 | nitrid U-235 ≤19,75 % ~10 év | nincs / Pb-Bi 500 °C | A+P | T |
| SVBR-100 (AKME-eng.) Oroszország | FBR 280 / 100 | Integrált 8,2 × 4,5 | oxid U-235 ≤16,5 % ~8 év | nincs / Pb-Bi 495 °C | A+P | K |
| 4S (Toshiba, CRIEPI) Japán | FBR 30-135 / 10-50 | nem integrált ~21 × 3 | fém U-235 ≤19,9% ~30 év | nincs / Na ~500 °C | A+P | T |
| ARC-100 (ARC LLL) USA | FBR 260 / 100 | nem integrált 15,6 × 7,1 | fém U-235 ≤17,2% 20 év | nincs / Na 510 °C | A+P | T |

A táblázatban megjelenő egyes reaktor típusmegjelölések:

- PWR – nyomottvizes ~ (Pressurized Water Reactor)
- HTGR – magas hőmérsékletű, gázhűtésű ~ (High Temperature Gas Cooled Reactor)
- MSR – sóolvadék üzemanyag és hőhordozó ~ (Molten Salt Reactor)
- TBR – termikus szaporító ~ (Thermal Breeder Reactor)
- FBR – gyors szaporító ~ (Fast Breeder Reactor).

A státusz oszlopban megjelenő egyes jelölések: É – épül, K – közeljövő, T – terv

Mint látható, a 16 projekt több mint a fele nyomottvizes. Közülük több gyökerei jégtörő, vagy tengeralattjáró reaktorokig nyúlnak vissza. Ezek az elődök ugyanis rendeltetésüknél fogva eleve kompakt, kis teljesítményű reaktorok voltak. Ilyen flotta reaktor hajtja majd az oroszok úszó atomerőművét, de az argentinok partra szánt változatát és a franciák tengerfenékre süllyesztett atomerőműveit is. Más típusok magas hőmérsékletű ipari hő fejlesztésére is alkalmasak.

Támogatások

A NAÜ segítő tagállamait a kis és közepes méretű reaktorok kapcsán felmerülő kulcsfontosságú kérdések, legfontosabb kihívások azonosításában. 2012-2013 folyamán ezt az általános kérdések és technológiák keretében 11 témában, 2014 - 2015 folyamán a rövid távú reaktortechnológiai fejlesztés keretében 7 témában tette, illetve teszi. A Nukleáris biztonsági akcióterv egyik pontja a hatékony K+F támogatása az SMR számára.

A DoE több hullámban pályáztatja az amerikai SMR projektek gazdáit szövetségi pénzügyi hozzájárulás elnyerésére tervezési és engedélyezési feladatokhoz. A megszerezhető összeg tavaly és az idén is 226 millió USD. Öt év alatt hívható le, a pályázóknak 50%-nál nagyobb önrészt kell vállalni. 2012-ben az mPower csapata (az építető Tennessee Valley Authority, a tervező Babcock & Wilcox és a létesítésre hozzá csatlakozott Bechtel) nyert a pályázaton, 2022-ig kell típusuk kereskedelmi bevezetését elérni, már az idén 79 millió USD-hez jutnak. A 2013 márciusában kiírt második hullám is pezsdítően hatott: júliusig több projekt (W-SMR, NuScale, SMR-160, EM2) gazdája pályázott, közülük majd két nyertessel is szerződik a DoE.

Hol tartanak az egyes SMR projektek?

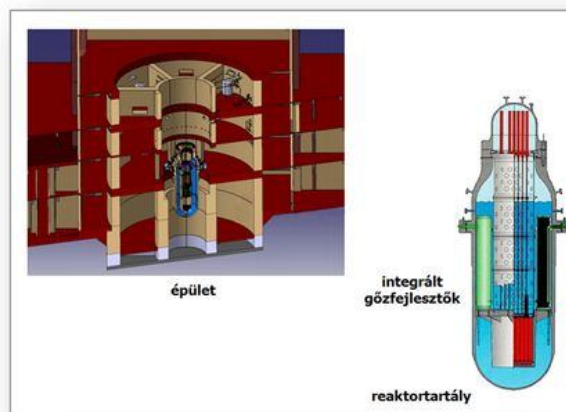
A projektek részben átnyúlnak a jövőbeli G4 atomerőművek körébe. Majdnem lefedi őket a GIF⁴ keretében kiválasztott hat perspektivikus reaktor technológia: ezek a nagyon magas hőmérsékletű, a szuperkritikus vízzel hűtött, a gáz-, ólom/bizmut- és nátriumhűtésű gyors, sóolvadék hűtésű. Ma még szinte az egész világon korszerű G3 vagy G3+ blokkokat létesítenek, G4 blokkok nagyobb számú üzembe lépése majd csak 2025-2030 körül várható, bár az „első fecskék” korábban is megjöhetnek. Ha innen nézzük, nem csak a majdani reaktorokat, hanem az SMR bevezetés iránti túl korai várakozásokat is hűteni kell. Ugyanakkor a kevésbé G4 kapcsolódású projektek már mozgásba lendültek, vagy rövidesen megmozdulnak. 2011-ben a DoE megrendelésére a University of Chicago Energy Policy Institute jelentést készített [9]. Benne az szerepelt, hogy a legtöbb amerikai

projekt tervezése, engedélyezése és kiviteli dokumentációja még a készítés kezdeti fázisában van. Biztak a 2013-ra tervezett engedélyezési dokumentációk elkészülésében. A kiviteli tervek mérnöki kidolgozottsága mintegy 10-20% körüli volt. Figyelembe véve az eltelt időt és a sokban úttörő jelleget, bonyolultsági fokot (az SMR egyszerűsége csak viszonylagos!), még ma sem fejeződhetnek be teljesen.

Az 1. táblázat utolsó oszlopa utalásokat tartalmaz az egyes SMR projektek előrehaladásáról. Így épül már 3 prototípus (az argentin CAREM, az orosz úszó atomerőmű és a kínai HTR-PM). Jelentősen előkészített és a közeljövőben, három éven belül indulhat 7 további projekt létesítése (az amerikai mPower, W-SMR, SMR-160, NuScale, a dél-koreai SMART, a francia Flexblue és az orosz SVBR-100). A többi 6 egyelőre tervek szintjén van.

A már épülő típusok

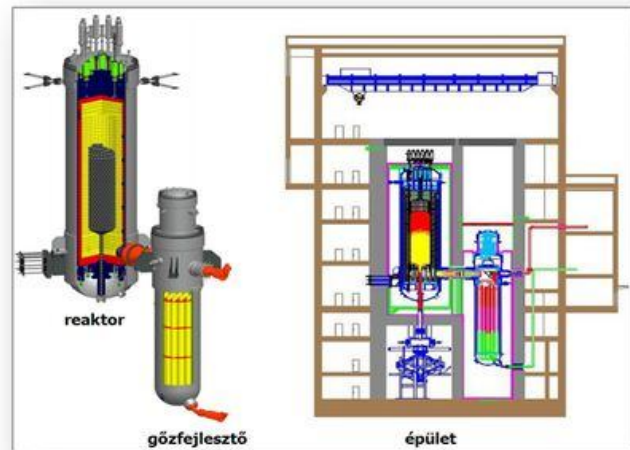
A CAREM típust Argentína német TR-1700 dízel-elektromos tengeralattjáróinak nukleáris hajtására kezdte fejleszteni 1984-ben. Az a program leállt, de a reaktort folytatták. Kompakt tartályában az aktív zóna köré 12 álló gőzfejlesztőt integráltak, ahova a hő konvektív módon, a víz természetes cirkulációjával jut el. A nyomástartás önműködő, felső gőzpárnával. A reaktor 3,4% dúsítású, kiegészítő mérget tartalmazó, hatszögletű kazettákba rendezett PWR üzemanyagot használ, amelyet évenként cserélnek. A szabályozót rudak hidraulikus hajtásúak. Villamos energiát fejleszt, de kutatóreaktornak vagy tengervíz sótalanításra is alkalmas (ekkor 25 helyett 8 MWe a villamos teljesítmény). A prototípus már épül Buenos Aires-től kb. 100 km-re ÉNy-ra, az Atucha atomerőmű mellett. Indítás 2016-ra ütemezve. Ha beválik, nagyobb teljesítményű változat is lesz. 70%-ban hazai gyártású. Szaúd-Arábia érdeklődik iránta, sótalanításhoz.



2. ábra: Az argentin integrált kialakítású, nyomottvizes CAREM [10]

⁴ Generation IV International Forum

Az orosz úszó atomerőműbe 2 db KLT-40S típusú, egyenként 35 MWe teljesítményű módosított atomjégtörő reaktort építenek be. Tervezője az Afrikantov Intézet. Üzemanyaga 20% alatti dúsítású, alumíniumba ágyazott uránium szilicid. 3-4 évente kell üzemanyagot cserélni a fedélzeten (addig a másik reaktor működik), 12 évente vonatják a központba nagy karbantartásra és kiegészített üzemanyag kirakásra. Az Akagyemik Lomonoszov nevű platformra települ, amelyet 2010-ben bocsájtottak vízre a szentpétervári Balti Hajógyárban. Építése 2008-ban indult, csőd miatt másfél évre félbeszakadt, de 2012 végén folytatódott, miután a Roszatom új szerződést kötött 2016-os átadásra. 200 ezer lakosú körzetet képes ellátni 10/110 kV-on villanynal, hővel. Kiegészíthető tengervíz sótalánító bárkával. Nemigen versenyképes, ha nagy atomerőművekhez mérjük. Távoli vidékeken viszont gazdaságosabb az olcsón létesíthető, de drága olajat fogyasztó dízel áramfejlesztőknél. Prototípusa Viljucsinszknál, a Kamcsatka félszigeten áll majd üzembe. Több ország érdeklődik iránta.



4. ábra: A kínai HTR-PM magas hőmérsékletű golyós reaktor kialakítása [10]



3. ábra: Orosz úszó atomerőmű: a primer kör és a partnál telepített állapot [10]

A HTR-PM nagyon hasonló a PBMR (Pebble Bed Modular Reactor, magyarul 'kavics ágyas', 'golyós' moduláris) típushoz, amely Németországból és Dél-Afrikából ered. Névadó jellemző a teniszlabda méretű és alakú fűtőelem, benne grafit mátrixban sok, háromszoros védőrétegbe ágyazott, 0,5 mm átmérőjű dúsított UO_2 szemcsé. A hűtőközeg hélium gáz. Közvetlen előd a pekingi Csinghua Egyetem 2000-től működő HTR-10 kísérleti reaktora. A típus inherensen biztonságos: túlmelegedéskor teljesítménye esik, a maradványhő passzív módon távozik a reaktorból. A golyók hőmérséklete mindig 1600 °C alatt marad, így a hasadási termékeket a szemcsék SiC védőrétege visszatartja. Félmillió fűtőelem golyót és feleannyi grafit golyót használnak benne, üzem közbeni cserével (alul ki, felül be). A golyók átlagosan hatszor járnak meg a reaktort kiegészítésük alatt. A demonstrációs erőmű építése 2012 végén indult Sidao-van közelében (Kína, Santung tartomány), 18 modult terveznek ide. A gyártók szinte kizárólag hazai cégek. A típus fő terméke egyelőre a villamos energia, ami idővel kiegészül hidrogén generációval. Ha a bemutató projekt sikeres, Kína fejlődő országokba exportálna.

Egy-egy mondatban a közeljövőben induló projektekről:

mPower – földalatti elhelyezés, függőlegesen integrált (alulról fölfelé aktív zóna, szabályozó rudak, gőzfejlesztő, keringtető szivattyúk, nyomástartó).

W-SMR – földalatti elhelyezés, függőlegesen integrált (alulról fölfelé aktív zóna, szabályozó rudak, keringtető szivattyúk, gőzfejlesztő, nyomástartó).

SMR-160 – igen karcsú, 31 m-re föld alá nyúló reaktortartály, természetes cirkuláció, külső szabályozó rúdajtások, kívül közvetlenül csatlakozó 2 vízszintes gőzfejlesztő.

NuScale – földalatti medencében áll a konténment tartály, benne az alig kisebb reaktortartály, természetes cirkulációs hűtés.

SMART – az aktív zóna fölé integrált 8 gőzfejlesztő (ugyanennyi tápvíz és gőz csonk a reaktortartályon!), 4 keringtető szivattyú.

Flexblue – partközelen, 60-100 m mélységű tengerfenékre lesüllyesztett, tengeralattjáró-szerű modulok, távirányított üzemvitel a parti vezénylőből, kábelrel kivezetett villany.

SVBR-100 – fejlesztője hatósági engedély birtokosa, a prototípus a dimitrovgrádi Reaktorkutató Intézetben létesül.

Kis moduláris reaktorok itthoni esélyei

Magyarországon nincsenek távoli, nehezen megközelíthető vagy végletesen száraz vidékek, energiaigényes, különleges technológiák. De a hazai villamos hálózat szerény beruházással, könnyebben befogadna kisebb blokkokat (kevesebb távvezeték építés, mérsékelt tartalékolási gondok a blokk kiesésekor). A magyar tervezők, gyártó- és szerelőipar is nagyobb eséllyel kapcsolódhat be kisebb léptékű atomerőmű létesítési projektekre. A legfontosabb körülmény a mi esetünkben ugyancsak a nagyon vonzó mérsékeltébb finanszírozási igény lenne. Érdekes további lehetőség nálunk is a régi, gazdaságtalan, kis szenerőművek pótlása. E létesítmények rendelkeznek közúttal, vasúttal, hűtővízzel, villamos hálózati kapcsolattal, helyi munkaerővel és befogadó közösséggel, amely szívesen veszi az új munkahelyeket és a helyi adóbevételeket.

A paksi bővítés más nagyságrend. Előkészítésének kezdetén, 2007-2008 körül az SMR kategória kevés figyelmet kaphatott. Az jól látszott, hogy nincs és a közeli jövőben nem is lesz komolyabb, piacképes ajánlat közepes méretű nyomottvizes blokkokra. A Teller projekt dokumentumaiban – inkább paraméterstúdiumként, összehasonlító céllal – mégis feltűnt a csak rajzasztalon és marketing brosúrákban létező Westinghouse AP600, illetve a Hidropress VVER-640 típusa is. Ma sincs érdemi előrelépés e két típusnál, mert potenciális szállítóik az 1000-1200 MW teljesítményű tartományra koncentrálnak. Mégis felmerül a kérdés, hogy a kis és

közepes/moduláris reaktorok 10-15 éven belülre jósolható térnyerése elegendő indok-e a felkészülés (típusanalízis, környezeti hatásvizsgálat, rendszerbe illeszthetőség, tenderkiírás stb.) újakezdésére, vagy jelentős változtatására. A válasz ma egyértelműen nem. Csak ha az új paksi blokkok létesítése bármilyen okból jelentősen elhúzódná – ami egyébként nagy hiba volna –, lenne érdemes komolyabb figyelmet fordítani a kis atomerőművekre, mint esetleges változatra. Addig is kövessük a fejleményeket.

Irodalomjegyzék

- [1] IAEA Power Reactor Information System (PRIS), letöltés 2013-07-25
<http://www.iaea.org/PRIS>
- [2] Small and Medium Sized Reactors (SMRs) Development, Assessment and Deployment
<http://www.iaea.org/NuclearPower/SMR>
- [3] Small Nuclear Power Reactors
<http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Power-Reactors/Small-Nuclear-Power-Reactors>
- [4] Small Modular Nuclear Reactors
<http://energy.gov/ne/nuclear-reactor-technologies/small-modular-nuclear-reactors>
- [5] A Strategic Framework for SMR Deployment, 24 February, 2012, US DoE
<http://energy.gov/sites/prod/files/SMR%20Strategic%20Framework.pdf>
- [6] Аналитический обзор по малым модульным реакторам, апрель 2013
http://atomexpert.org/sites/default/files/ae%20%234_obzor_0.pdf
- [7] Гонки в малой атомной энергетике / Российские проекты в малой атомной энергетике / Финансовая сторона малой атомной энергетике
<http://blog.rentenergo.ru/interesnoe-i-poleznoe/gonki-v-maloy-atomnoy-energetike.html>
<http://rossiyskie-proektyi-v-maloy-atomnoy-energetike.html>
<http://finansovaya-storona-maloy-atomnoy-energetiki.html>
- [8] Abdulla, A., Azevedo, I.L., Morgan M. G.: Expert assessments of the cost of light water small modular reactors, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 28 May 2013
<http://www.pnas.org/content/early/2013/05/22/1300195110>
- [9] Rosner, R., Goldberg, S.: Small Modular Reactors – Key to Future Nuclear Power Generation in the U.S. University of Chicago, November 2011
https://csis.org/files/attachments/111129_SMR_White_Paper.pdf
- [10] A 2-4. ábrák forrásai a projektek weblapjai, kapcsolódó IAEA előadások és az Uranium Exchange Company (UxС) SMR dokumentumgyűjteménye
http://www.uxc.com/smr/uxc_Library.aspx?dir=Design%20Specific