

SMR: AZ ATOMENERGETIKA JÖVŐJE?

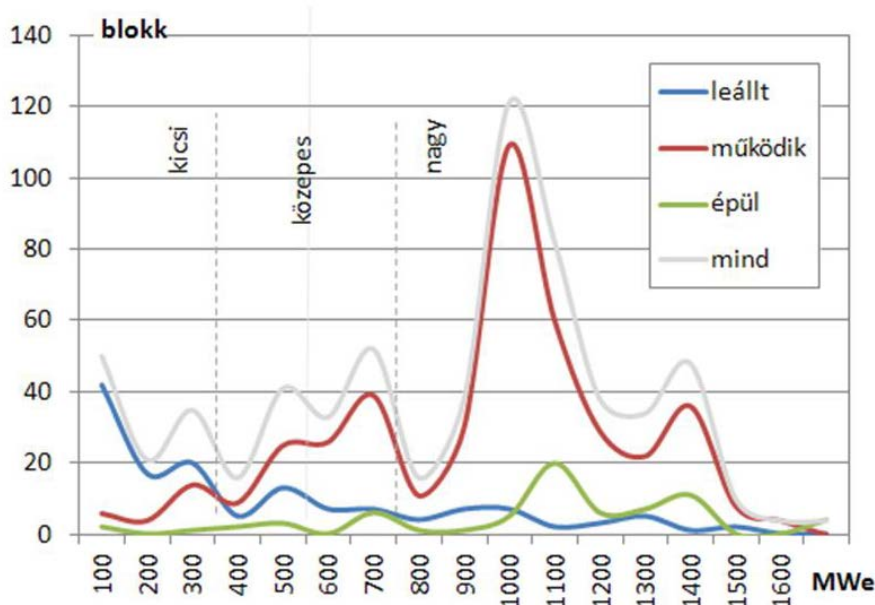
2017.03.09.

Az Energetikai Szakkollégium Dr. Ronkay Ferenc emlékfélévének harmadik előadása a kis moduláris reaktorokról szólt, „SMR: az atomenergetika jövője?” címmel került megrendezésre. Az előadó Cserhádi András, a Magyar Nukleáris Társaság alelnöke volt.

Cserhádi András azzal nyitotta előadását, hogy ismertette, milyen akadályok léphetnek fel egy új atomerőmű építésénél. Olyan problémákra világított rá, mint például a nagy beruházási igények, a létesítések elhúzódása és a magas pénzügyi-finanszírozási kockázatok. A rövid felvezetést követően Cserhádi András előadását négy részre osztotta. Előadónk az első szakaszban bemutatta a SMR-eket, a másodikban a gazdasági kérdések kerültek taglalásra, a harmadik részben a jelenleg futó projekteket tárgyalta. Végezetül pedig az itthoni lehetőségek kerültek ismertetésre.

AZ ATOMREAKTOROK

Az eddigi atomerőművek méret szerinti eloszlását a következő ábra mutatja:



1. ábra: Atomerőművek méreteloszlása
Forrás: IAEA PRIS

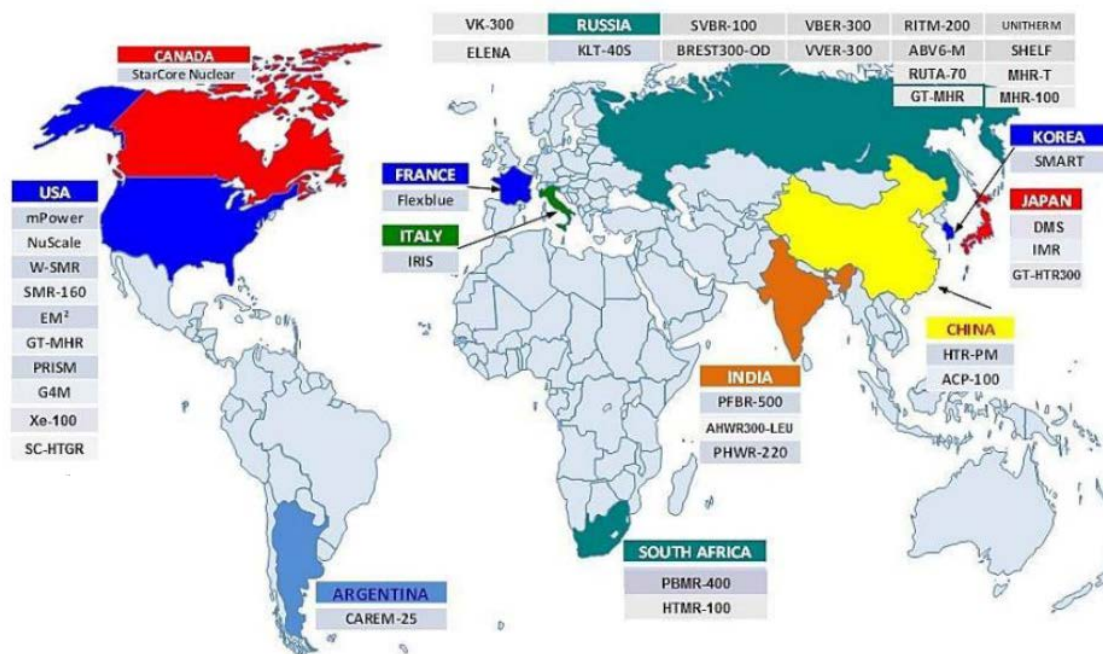
Az ábrából látható, hogy kezdetben kisebb teljesítményű blokkok épültek, melyek nagy része ma már nem működik (kék görbe). A jelenleg működő blokkok nagy része

1100 és 1400 MW teljesítményű (piros görbe), a jelenleg épülő blokkok közül a legtöbb szintén 1100 és 1400 MW-os, ami mutatja, hogy az atomenergetikában a nagy teljesítményű blokkok dominálnak. A Magyarországon épülő Paks 2 blokkjai is ide sorolhatóak.

Az SMR elnevezés nem volt mindig egyértelmű, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség először Small and Medium Sized Reactors-ként használta a rövidítést, viszont manapság a Small Modular Reactors jelentés terjedt el. A modul szó egy önmagában is működésre képes, kis atomerőműre utal. A nagy atomerőművek létesítésekor más jelentése van a modul szónak. A modulokat kisebb részekből állítják össze az atomerőmű telephelyén, majd ezeket óriási daruk segítségével beemelik a helyükre.

SMR REAKTOROK

Ma körülbelül 130 kisebb blokk üzemel 25 különböző országban, ez az összes működő blokknak a 30%-a. Ezek a blokkok az összes atomenergiával termelt villamos energia 15%-át teszik ki, ami 60 GW teljesítményt jelent. Pillanatnyilag 60 új blokk épül, Kínában 20, Oroszországban 7, Indiában 5, az USA-ban és az Egyesült Arab Emírségekben 4-4 stb., közülük 3 modern SMR Argentínában, Oroszországban és Kínában. Az SMR fejlesztések széles spektrumon folynak, mintegy 45 féle SMR típuson dolgoznak jelenleg a szakemberek.

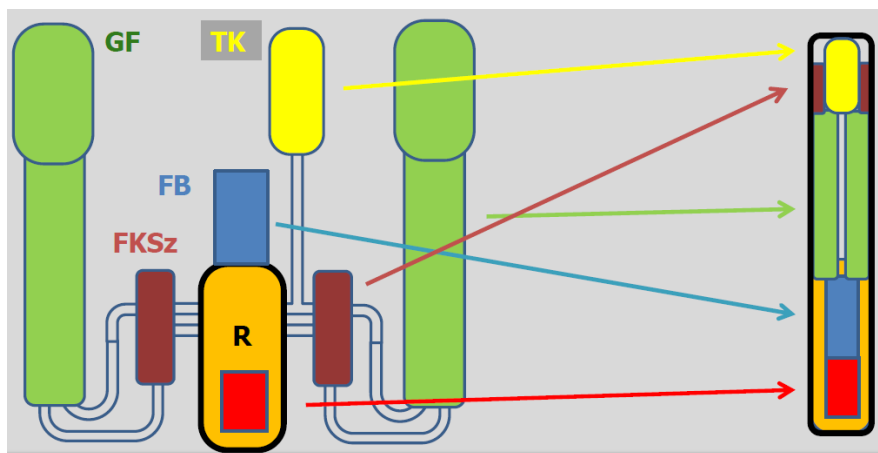


2. ábra: SMR technológiák fejlesztése a világon
Forrás: IAEA

Az SMR előnyei között felsorolható a modularitás, mivel gyári környezetben építhetőek, és majdnem kész állapotban szállíthatóak a telephelyre, ahol végleges beépítése minimális munkát igényel. A kis beruházási igények, a hatékonyság és az új piaci lehetőségek is az előnyök közé sorolhatóak. A rugalmas telepítésnek köszönhetően távoli, elszigetelt helyen is építhetőek, emellett vagy nagyon ritkán vagy egyáltalán nem kell üzemanyagot cserélni bennük, így kevésbé sebezhetőek egy terroristámadással szemben. További fontos körülmény, hogy a villamos energián túl kommunális és ipari hőt szolgáltathatnak, ami felhasználható a távfűtéstől a tengervíz sótalanításon át a termikus hidrogénfejlesztésig és kohászatig.

Mint minden másnak, az SMR blokkoknak is vannak hátrányai, ezek közül kiemelendő az engedélyezési procedúra. A ma működő reaktorok 60-70%-a nyomottvízes reaktor, melynek az engedélyezési szabályai körülbelül 30 évig fejlődtek a mai magas szintre. Ezzel szemben a kis moduláris reaktoroknál új kérdések merülnek fel, melyek még járatlan utakra terelik az engedélyezést. Ilyen kérdés például a passzív, természetes cirkulációs hűtés, a több modul üzemeltetése egy vezénylőből és az integrált kialakítás.

Az integrált kialakításnál a szokásos nyugati nyomottvízes reaktor részeit belesűrítik egy körülbelül több tíz méter magas, karcsú tartályba. Ez a kialakítás több, főleg biztonsággal kapcsolatos kérdést vet fel.



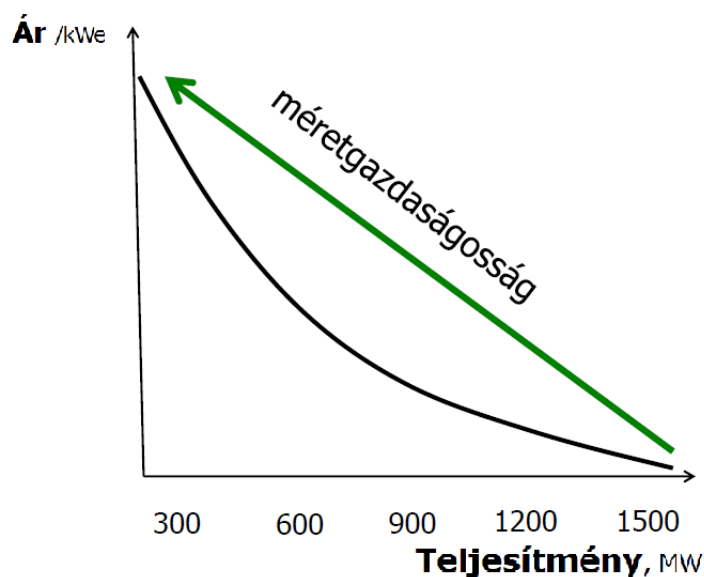
3. ábra: SMR integrál kialakítás
 Forrás: Cserhádi András: SMR – az atomenergetika jövője?

Egy másik nagy hátránya a kezdeti mérsékelt versenyképesség, ugyanis egy újfajta technológia beindítása drágább, mint egy már meglévő technológia megvalósítása.

GAZDASÁGI KÉRDÉSEK

Az SMR blokkok gazdasági kérdéseinek taglalását mindenképpen a kockázatokkal kell kezdeni. Egy új blokk építésénél mindig jelen van a befejezési kockázat, vagyis nem biztos, hogy be tudják fejezni az új blokkot. Ez veszteségekkel jár, azonban ez a veszteség nem olyan jelentős, mint egy nagy atomerőmű építésénél. Megjelentethetnek szabályozási kockázatok; egy új technológia alkalmazása során a hatósági munka nem mindig kialakult menet szerint zajlik, valamint hosszú távon változhatnak a hatósági előírások az új típusú blokkokkal szemben, amikhez nehéz lehet igazodni. Igaz, hogy az új blokkok ára mindig magasabb lesz, mint a tömeggyártásban készített sokadik blokk ára, azonban nehéz prognosztizálni az árcsökkenés mértékét hosszútávon.

Az atomerőművek fajlagos ára a blokk teljesítményével változik, minél nagyobb a blokk teljesítménye, annál kisebb lesz az erőmű teljesítményre fajlagosított ára, ez látható a 4. ábrán. Az SMR blokkoknál azonban megjelennek más árcsökkentő tényezők, ezek közül kiemelendő a tömeggyártás és a rövidebb építési idő.



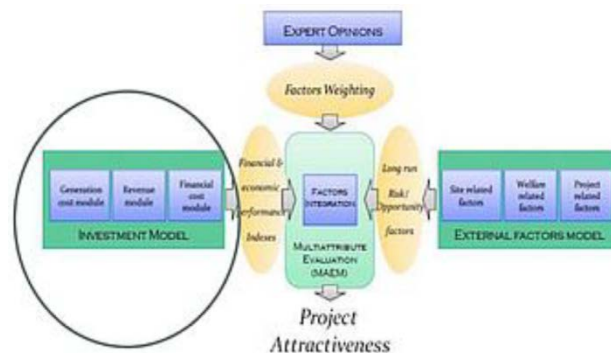
4. ábra: Atomerőmű árának a változása a teljesítmény függvényében
Forrás: G.Locatelli, W

A méret és a sorozatgyártás gazdaságossága egy egyszerű analógiával illusztrálható: a strucctojás tömege 1,5 - 1,8 Kg között van. Mivel különleges terméknek számít, az ára igen magas 4 500 - 7 500Ft/tojás, így a fajlagos ára 3 000 - 4 500 Ft/Kg. Ezzel szemben egy tyúkttojás tömege 60 - 70 g/tojás, az ára 300 - 600 Ft/6-os doboz, így a fajlagos ára 750 - 1500 Ft/Kg. Ugyanez áll fenn atomerőmű építésénél, egy nagy teljesítményű blokk különleges termék, kevesen gyártják.

Ezzel ellentétben a kis reaktorokat várhatóan a tömegtermelés és a sok gyártó fogja jellemezni.

Az SMR-ek értékelése az elmúlt 8-10 évben 6-8 gazdasági modell szerint történt meg, melyek jelentősen eltérnek egymástól. A modellek kiválasztása függ az elemzés céljától. Léteznek összevetésekre alkalmas modellek, amelyeknél az SMR technológiáját más technológiával vetik össze, de léteznek olyan modellek is, amelyek képesek összevetni a kis és nagyméretű reaktorokat is. A modellek elemzésénél a legnagyobb problémát a rendelkezésre álló adatok okozzák. Nagyon sok adat hiányzik, mivel még nincs erre vonatkozó tapasztalat vagy az erős verseny körülmények miatt nem hozzák nyilvánosságra őket, ugyanis nem érdeke egy potenciális SMR szállítónak adatokat szolgáltatni a konkurenciának.

Általánosságban el lehet mondani, hogy minden modellnek vannak korlátai, nincs minden tekintetben jó és rossz modell. A kevés adat miatt az SMR-ek értékelése szakértők javaslata alapján történik. Egy ilyen modell a Milánói Műszaki Egyetem által fejlesztett Integrated Model for Competitiveness Assessment (INCAS). A modellben kiindulnak egy szakértői becslésből, majd a befektetési modellek és a külső tényezők modelljei alapján egy attraktivitási számot rendelnek az adott projekthez.



5. ábra: INCAS modell
Forrás: Politecnico di Milano

TÁMOGATÁSOK, TÖMÖRÜLÉSEK

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség szakmai segítséggel támogatja tagállamait. Az Amerikai Energiaügyi Minisztérium (Department of Energy - DoE) a piacra való kijutáshoz pénzügyi támogatást nyújt a szállítóknak. Az USA így szeretné visszanyerni csökkenő piacát és technológiai előnyét az atomenergetikában. Két hullámban írtak ki pályázatokat 2012-ben és 2013-ban. A pályázat nyertesei támogatást kaptak a műszaki engedélyezési költségek finanszírozására. 2012-ben a DoE szerződést kötött 3 amerikai projekttel (G4M, Holtec és NuScale). A projektek ingyen telephelyet kaptak demonstrációs erőművek létesítésére a Savannah River telepen. 2015-ben és 2016-ban több konzorcium is kialakult különböző SMR gyártók között, egyebek közt az oktatásra.

Nagy-Britanniában nincs éles váltás a Brexit előtti és utáni helyzet között. Egyértelmű szakpolitikai támogatás volt a kormányzat részéről a Brexit előtt, és úgy tűnik továbbra is szorgalmazzák az SMR-ek telepítését, ugyanis 250 millió GBP mértékű támogatást fontolgatnak erre a célra. A Rolls-Royce konzorciumot alakított az Amec Foster Wheelerrel, a Nuviával, az Aruppal és a Nuclear Advanced Manufacturing Research Centre-rel és kijelentette, hogy az SMR „az életben egyszer adódó lehetőség” a brit nukleáris cégeknek, és hogy „a brit gyártók a teljes SMR szállításra képesek lehetnek”.

Oroszországban a rengeteg futó projekt ellenére sincs kiemelt, átfogó támogatás, csak egyedi esetekben.

JELENLEG FUTÓ PROJEKTEK

Az épülő vagy tervben lévő fontosabb projektek a következő táblázatok foglalják össze:

Reaktor (fejlesztő/szállító)	Típus, teljesítm. MWT/MWe	Kialakítás Integrált reaktor méret, m	Üzemanyag, kampány	Moderátor / hőhordozó, paraméterek	Hűtés Aktív Passzív	Státusz Épül Közeljövő Terv
mPower (B&W + Bechtel)	PWR 530 / 180	I 22,9 × 4,3	69 köteg, 17 × 17 2,4 m hossz, 48 hó	víz / víz 320 °C, 141 bar	A+P	K
W-SMR (Westinghouse)	PWR 800 / 225	I 24,7 × 3,5	89 köteg, 17 × 17 2,4 m hossz, 24 hó	víz / víz 310 °C, 155 bar	A+P	K?
SMR-160 (Holtec Int)	PWR 446 / 160	két modul ~31 × 3	37 köteg, 17 × 17 3,7 m hossz, 48 hó	víz / víz 316 °C, 155 bar	P	K
NuScale (NuScale + Fluor)	PWR 160 / 45	I 19,8 × 2,8	37 köteg, 17 × 17 1,8 m hossz, 24 hó	víz / víz n.a., 128 bar	P	K
Úszó atomerőmű, (Afrikantov I.)	PWR 150 / 38	nem I, hajó 2 KLT-40S	121 köteg 1,2 m hossz	víz / víz, 316 °C, 127 bar	A	Épül
ACP100 (CNNC)	PWR 385 / 120	I n. a.	n. a.	víz / víz, 305 °C, 150 bar	A+P	T
SMART (KAERI)	PWR 330 / 100	I 18,5 × 6,5	57 köteg 2 m hossz	víz / víz, 360 °C, 170 bar	A+P	K
CAREM (CNEA, INVAP)	PWR 100 / 27	I 11 × 3,3	61 köteg, 1,4 m hossz	víz / víz, 326 °C, 124 bar	P	Épül
Flexblue (AREVA, DCNS)	PWR n.a. / 50-250	nem I, tengerfenék, 100 × 12	K15 flotta reaktor kis dúsítású U-235	víz / víz n. a.	A	K?

6. ábra: Fontosabb SMR projektek (nyomott vizes – PWR)
Forrás: Cserhádi András: SMR – az atomenergetika jövője?

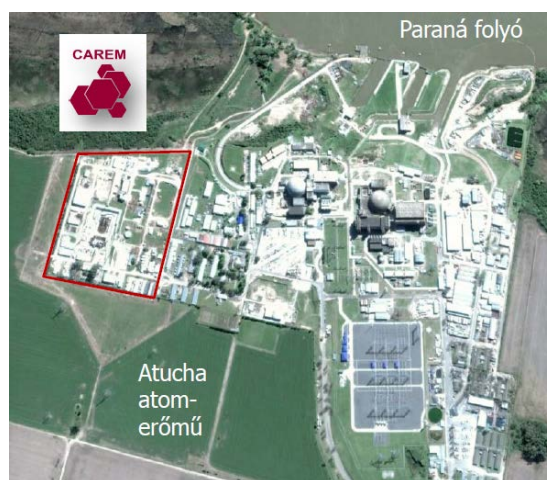
Reaktor (fejlesztő/szállító)	Típus, teljesítm. MWT/MWe	Kialakítás Integrált reaktor méret, m	Üzemanyag, kampány	Moderátor / hőhordozó, paraméterek	Hűtés Aktív Passzív	Státusz Épül Közeljövő Terv
HTR-PM (Csinhua, INET)	HTGR 250 / 105	reaktor + GF 11 × 3	golyós fűtőelem	grafit / He 750 °C, 70 bar	A+P	Épül
SC-HTGR (AREVA)	HTGR 625 / 250	I, reaktor, GF 18,5 × 6,5	hasáb fűtőelem	grafit / He 750 °C, 60 bar	A+P	T
Fuji MSR (ITHMSO)	TBR 450 / 200	I 6,8 × 4	LiF-BeF ₂ -ThF ₄ -UF ₄	grafit / folyékony só, 700 °C,	A+P	T
IMSR (Terrestrial Energy)	MSR 400 / 192	nem I, zónacsere 7 × 3,5	enyhén dúsított U fluorid sóban	grafit / folyékony só, 600 °C,	P	T
G4M (Gen4 Energy Inc.)	FBR 70 / 25	nem I 2,5 × 1,5	nitrid U ²³⁵ ≤19,75 %, ~10 év	nincs / Pb-Bi 500 °C	A+P	T
SVBR-100 (AKME-Engineering)	FBR 280 / 100	I 8,2 × 4,5	oxid U ²³⁵ ≤ 16,5 %, ~8 év	nincs / Pb-Bi 495 °C	A+P	K
4S (Toshiba, CRIEPI)	FBR 30-135/10-50	nem I ~21 × 3	fém U ²³⁵ ≤ 19,9%, ~30 év	nincs / Na ~500 °C	A+P	T
ARC-100 (ARC LLL)	FBR 260 / 100	nem I 15,6 × 7,1	fém U ²³⁵ ≤ 17,2%, 20 év	nincs / Na 510 °C	A+P	T

7. ábra: Fontosabb SMR projektek (Magas hőmérsékletű és gyorsreaktorok – HTGR, FBR)
Forrás: Cserhádi András: SMR – az atomenergetika jövője?

Jelenleg épül az argentin Carem, az orosz úszó atomerőmű és a kínai magas hőmérsékletű reaktor (HTR – PM), továbbá öt éven belül elindulhat az amerikai

mPower, SMR – 160 és a NuScale, Dél-Koreában a SMART, a francia Flexblue és az orosz SVBR – 100 gyorsneutronos reaktor létesítése.

Az argentin Caremet először tengeralattjárók nukleáris hajtására kezdték fejleszteni 1984-ben, azonban a program leállt. A reaktor fejlesztését folytatták, viszont már polgári célokra. Az aktív zóna körül 12 álló gőzfejlesztőt integráltak. A reaktor hűtése természetes cirkulációval történik. A 3,4%-os dúsítású üzemanyag sok tekintetben hasonlít a nyomottvizes reaktorokban jelenleg is használt üzemanyaghoz. A teljesítménye 25 MW_e, de ez a későbbiekben tovább növelhető. Az argentin ipar 70%-át tudja gyártani és a tervek szerint 2019-ben elindulhat a reaktor.



8. ábra: CAREM műholdkép

Forrás: Cserhádi András: SMR – az atomenergetika jövője?

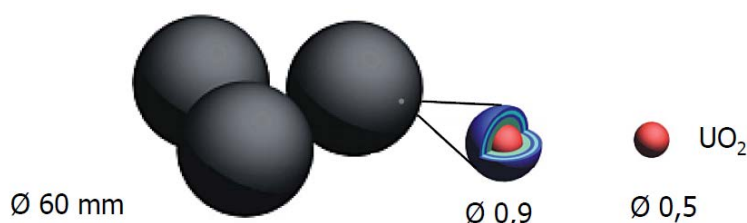
Az orosz úszó atomerőművet két darab KLT-40S típusú, 35 MW_e teljesítményű atomreaktor hajtja és körülbelül 200 000 lakossal rendelkező települést tud ellátni árammal és hővel. Az üzemanyaga <20%-os dúsítású urán-szilikát alumínium mátrixban, melyet 3-4 évente kell cserélni. Az átrakás ideje alatt a másik reaktor üzemel, és 12 évente vontatják vissza a központba egy nagy karbantartásra és a kiegészített üzemanyag kirakásra a rendszert. A primerkör kialakítása nem integrált, mint a Caremé, viszont nagyon kompakt.



9. ábra: Úszó atomerőmű

Forrás: Cserhádi András: SMR – az atomenergetika jövője?

A kínai HTR-PM őse a német Jülich kutatóintézet AVR reaktora volt. Ez a reaktortípus egy „kavicságyas” vagy „golyós” moduláris reaktor. A név a teniszlabda méretű fűtőelemből származik. A 60 mm átmérőjű fűtőelemen körülbelül 12 000 apró szemcse található. A szemcsék 0,5 mm átmérőjű urándioxid golyók, három különböző védőköpenybe burkolva. Ezek a rétegek 1 600 °C-ig biztonságosan bent tartják a hasadási termékeket. Az apró méretű üzemanyag-golyók előnye az, hogy üzem közben is lehet őket cserélni. A golyó kilépésénél megvizsgálják a sérüléseit, illetve a kiegészi állapotát. Ha az üzemanyag nem sérült, továbbá nem égett ki eléggé, akkor visszakerül a reaktorba. Egy ilyen golyó körülbelül hatszor járja meg a reaktort. A reaktor hűtőközege hélium, amely akár 600-700 °C-ra is felmelegszik. Egy reaktor hőteljesítménye 250 MW_e, egy turbinán viszont két reaktormodul dolgozik, így a megtermelt villamos teljesítmény akár 211 MW_e is lehet.



10. ábra: HTR-PM üzemanyaga
 Forrás: Cserhádi András: SMR – az atomenergetika jövője?

SMR-EK MAGYARORSZÁGON

Oroszországban és Csehországban ötlet szintű elképzelések merültek fel a lejárt üzemidejű VVER-440-es atomerőmű leszerelés helyetti átépítésére. Ha kiürítik a reaktortartályt és a körülötte megüresedett primerköri épületbe 5-6 SVBR-100 modult építenek be, akkor azok együtt olyan mennyiségű és minőségű gőz előállítására lennének képesek, mint a VVER-440-es, így a szekunder kör csak minimális átalakításra szorulna. Mindez földémbontással járna, ami meggyengítené a reaktorcsarnokot, ezért az ötlet megvalósítására ott is és nálunk is csekély az esély.

Magyarországon nincsenek távoli, elzárt vidékek, tengerek és energiaigényes különleges technológiák, viszont egy kisebb blokk csatlakoztatása a villamos hálózathoz olcsóbb lenne, és hálózat sem lenne olyan érzékeny egy ilyen blokk kiesésére. A magyar tervezők, gyártó- és szerelőipar nagyobb esélyekkel indulhatna egy ilyen beruházáson.

A paksi bővítés előkészítésének kezdetén szóba jöttek kisebb blokkok is, azonban 10 évvel ezelőtt az SMR-ek még nem kaphattak akkora figyelmet, és látszott, hogy 15 éven belül sem lesz piacépes ajánlat kis-közepes méretű nyomott vizes blokkokra.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az atomenergetika – kevés országot kivéve – töretlenül fejlődik a világban. A már megszokott, egyre tökéletesedő nagyobb blokkok és műszaki megoldások mellett a fejlődés egy új ágát képviseli az SMR. Hatásos cáfolat arra, hogy a nukleáris alapú energiatermelés a múltat jelentő, elavult, megújulásra képtelen technológia.

Az SMR reaktorok rengeteg fejlődésen mentek át az utóbbi évtizedben. A nagyobb blokkokat sohasem fogják leváltani, de bővítik a kínálatot és speciális igényeknek felelnek meg. Az újszerű biztonsági megoldások és a kezdeti korlátozott versenyképesség egyelőre lassítják az SMR térnyelését, de ha ezeken az akadályokon sikerül túljutni, elterjedése a nagyok mellett biztosra vehető.

Magyarországon jelenleg nincs értelme mélyebben foglalkozni SMR létesítéssel (típusanalízis, környezeti vizsgálatok, távvezetéki rendszer illesztés, stb.), de a nemzetközi fejleményeket célszerű követni.

Gallardo Güere David Enrique

Az Energetikai Szakkollégium tagja