

Nagynyomású forralóvízes reaktor (HP-BWR) elve jövőbeli alkalmazásra

Reisch Frigyes

Nuclear Power Safety, KTH, Royal Institute of Technology
Alba Nova University Centre, Roslagstullsbacken 21, S-10691 Stockholm, Svédország

A világon több mint négyszáz forralóvízes (Boiling Water Reactor – BWR) és nyomottvízes (Pressurized Water Reactor – PWR) reaktor üzemel évtizedek óta. A nagynyomású forralóvízes reaktor (High Pressure Boiling Water Reactor, HP-BWR) felhasználja a tradicionális forralóvízes és nyomottvízes reaktorok előnyeit, és kiküszöböli hátrányait, mivel figyelembe veszi azok üzemeltetési tapasztalatait. A két hagyományos reaktortípus legjobban működő berendezéseit a HP-BWR terve felhasználja, míg a gondot okozó alkatrészekkel nem számol. A HP-BWR fő előnyei:

1. Biztonság:

- A szabályzó és biztonságvédelmi (SZBV) rudakat a nehézségi erő működteti,
- Elegendő a távolság a kereszt formájú SZBV rudak és a fűtő elemeket tartalmazó kazetták között,
- A reaktor tartály alja sima, furatok nélküli, mivel az SZBV rudak nem ott kerülnek bevezetésre,
- Az összes csővezeték jóval az aktív zóna felett csatlakozik a reaktortartályhoz,
- Üzemzavari zóna befecskendezés nem szükséges,
- Reaktoron belül működő keringtető szivattyúk.

2. Környezetbarát:

- A termikus hatásfok nő, mivel a turbinát ~340 °C-os (15 MPa) és nem ~285 °C-os (7 MPa) gőzzel táplálják,
- Kevesebb meleg víz kibocsátás történik a környezetbe, és kevesebb a fajlagos uránfelhasználás, ezáltal kevesebb hulladék keletkezik.

3. Gazdaságos, egyszerű:

- Közvetlen ciklus, nem szükséges komplikált gőzfejlesztő,
- További nedvesség leválasztót és gőzszáritót lehet alkalmazni a reaktor tartályon kívül a reaktor épületben,
- Egyszerű, száraz konténment.

Bevezetés

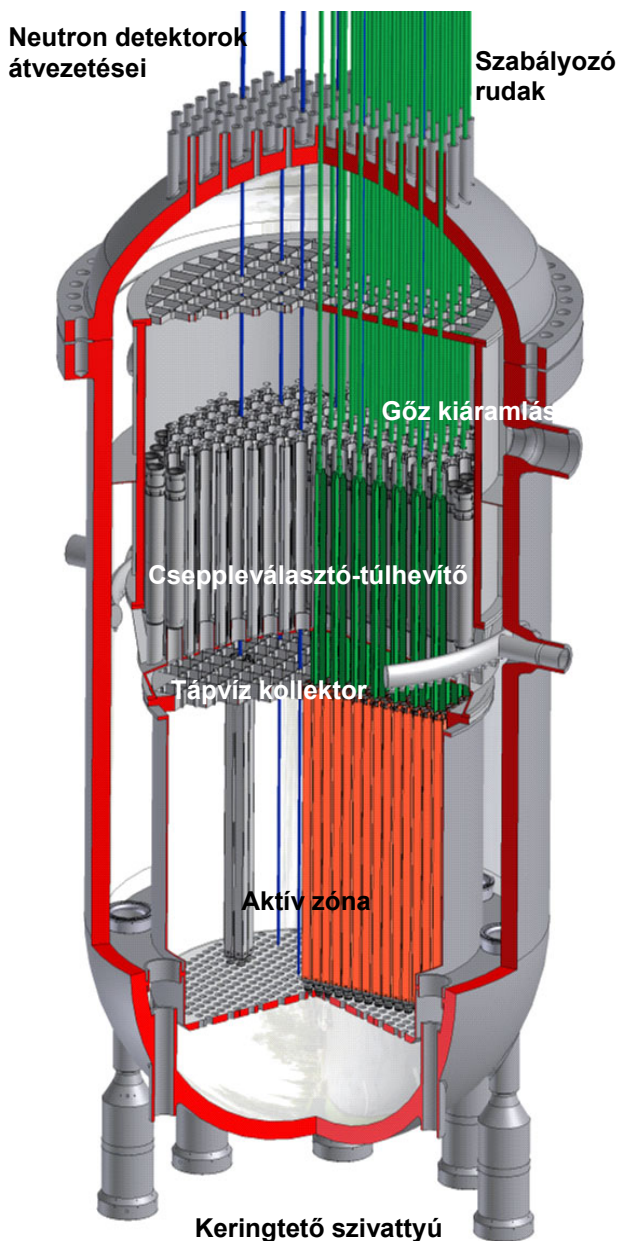
Eljött az ideje, hogy egy lépéssel tovább haladva a nukleáris ipar egy új, jobb, nagy teljesítményű reaktor típust fejlesszen ki. A józanész, a társadalom bizalma, a gazdasági megfontolások megkövetelik, hogy ez az új konstrukció ne térjen el túlságosan a jelenleg működőktől, mégis jóval tökéletesebb legyen. Ezért fontos elhagyni a régi konstrukciók azon elemeit, amelyek a múltban problémát okoztak, például a PWR gőzfejlesztőjét, vagy a BWR reaktortartály sok furatot tartalmazó alsó részét. Érdemes inkább egy stabil konstrukcióban bízni, kipróbált komponensekkel, amelyek jól szolgáltak a múltban. A nagynyomású forralóvízes reaktor (1. ábra) megvalósítja ezeket a célokat, felhasználva részben a PWR elvét – a nagynyomású reaktortartályt, az elektromágneses SZBV rúd működtetést – és részben a BWR koncepciót – a reaktor

belső berendezéseit, a reaktoron belüli keringtető szivattyúkat, a csepplévasztókat. Az alábbiakban a meglévő BWR és PWR reaktorok CAD kódolású ábrái láthatók. A tárgyi téma az Európai Nukleáris Társaság (ENS) révén került bemutatásra, a részleteket a hivatkozott referenciák tartalmazzák.

Biztonság

Az SZBV rudakat a nehézségi erő működteti egy összetett hidraulikus rendszer helyett. A gravitáció révén működtetett elnyelő rudak jól funkcionáltak a PWR rendszerében. A rudak szára a reaktor tartály fedelén keresztül van bevezetve (2. ábra). Az SZBV rudak kereszt formájúak, mint a BWR esetében, ami elegendő távolságot biztosít közöttük és a BWR típusú fűtő elemeket tartalmazó kazetták között. Az in-core neutron detektorok érő kamrák

is a reaktor tartály fedelén keresztül vannak bevezetve, mint a BWR reaktoroknál.



1. ábra: Nagynyomású forralóvízes reaktor (HP-BWR)

A reaktortartály alja sima, furatok nélküli, mivel az SZBV rudak nem ott vannak bevezetve (3. ábra), ami nagy előny, összehasonlítva a hagyományos BWR konstrukcióval.

Az összes csővezeték jóval az aktív zóna teteje fölött csatlakozik a reaktortartályhoz. Ezáltal egy esetleges nagy csőtörés esetén nem ürül le a reaktortartály. Ezért a fűtőelemeket hűtő üzembiztosító befecskenéz rendszerre sincs szükség. Például Svédországban az ilyen zónahűtő rendszer az összes, belső keringtető szivattyúval működő BWR-nél ki van kapcsolva, miután a svéd biztonsági

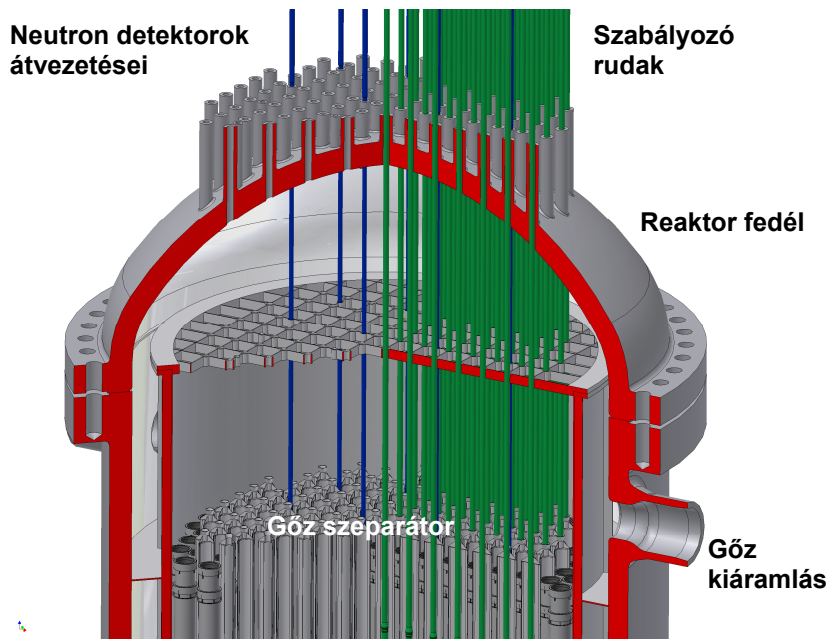
hatóság ezt engedélyezte. Részletes tanulmányok erről a témáról a Svéd Sugárvédelmi Hatóságnál (Swedish Radiation Safety Authority) találhatóak.

A belső keringtető szivattyú használata biztosítja a hidrodinamikai stabilitást. Ezáltal a kazetták beömlő nyílását úgy lehet kialakítani, hogy az egyfázisú nyomásesés domináljon a kétfázisú nyomáseséshez képest, így a hidrodinamikai lengéseket el lehet kerülni. Természetes cirkulációt alkalmazva el lehetne hagyni a keringtető szivattyúkat is, azonban ebben az esetben a hidrodinamikai ingadozások elkerüléséhez szükséges biztonsági tartalék csökkenne. Ezt a jelenséget több BWR-nél tapasztalták, és különböző kutatóintézetekben, gyártóművekben kialakított kísérleti termohidraulikai modelleken tanulmányozták. A témáról bőven lehet irodalmat találni az interneten.

Összehasonlítva a hagyományos forralóvízes reaktorral a HP-BWR további előnyökkel rendelkezik, nevezetesen: megnövekedett termikus hatásfok a magasabb hőmérsékletből fakadóan, és a nagyobb inherens stabilitás a megnövekedett negatív teljesítmény-visszacsatolási tényező miatt (lásd 4. ábra). Az 1. táblázat egy RELAP programmal számított BWR-HP-BWR összehasonlítást mutat be. Jelenlegi PWR tartályt és jelenlegi BWR fűtőelemeket és kazettákat felhasználva a reaktor teljesítménye körülbelül 1200 MWe lehetne.

1. táblázat A BWR és a HP-BWR RELAP programmal végzett összehasonlítása

	BWR	HP-BWR
Tápvíz hőmérséklet	486,6 K	486,6 K
Kilépő közeg hőmérséklete	559 K	617,8 K
A frissgőz nyomása	7 MPa	15,5 MPa
Zóna belépő hőmérséklet	550,29 K	582,3 K
Belépő zónaértékség	$-3,909 \times 10^{-2}$	$-2,54 \times 10^{-1}$
Kilépő zónaértékség	0,128	0,323
Teljes kilépő forgalom	13634 kg/s	5955 kg/s
Teljes forgalom a gőzvezetékben	1795 kg/s	2026 kg/s
Teljes forgalom a szivattyúkon át	13634 kg/s	5955 kg/s
Teljes teljesítmény együttható	$-1,64 \times 10^{-4} \Delta k / \%$	$-4,4 \times 10^{-4} \Delta k / \%$



2. ábra: A reaktortartály fedele és a reaktor belső részei

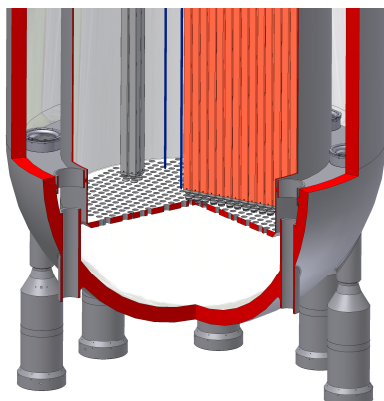
Környezetbarát

A termikus hatásfok nő, mivel a turbinát ~285 °C (7 MPa) helyett ~340 °C (15 MPa) paraméterű gőzzel táplálják. A Carnot körfolyamat elméleti hatásfoka ($(T_{meleg} - T_{hideg}) / T_{meleg}$) a BWR esetében ~46%, míg a HP-BWR esetében ~51% ha $T_{hideg} = 300$ K, ami 1,109-szeres növekedést jelent. Hasonló javulást feltételezve a jelenlegi ~33% hatásfok ~37%-ra nőne. Ez jól demonstrálja a HP-BWR előnyeit: kevesebb meleg vizet bocsát ki a környezetbe, kevesebb uránt használ fel megtermelt kilowattóránként, és ezáltal kevesebb hulladék keletkezik. Több hagyományos hőerőműben üzemelnek 15,5 MPa nyomású turbinák. Azonban a telített gőz használatához további fejlesztési munkára lehet szükség.

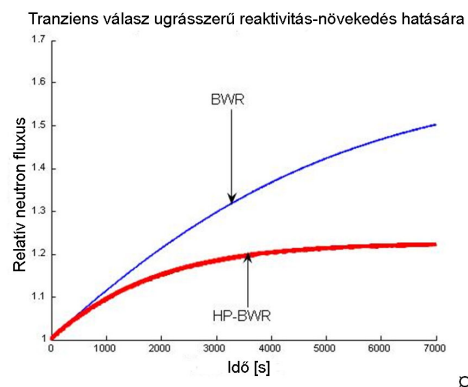
Gazdaságos, egyszerű

A HP-BWR egykörös, nem szükséges összetett és drága PWR gőzfejlesztő, továbbá a BWR reaktor tartály bonyolult alsó része helyett sokkal egyszerűbb megoldást alkalmaz. A fő gőzszeparátorok a reaktortartályon belül vannak, és továbbiakat lehet elhelyezni a tartályon kívül a reaktor épületen belül vagy kívül. A konténment (5. ábra) egy egyszerű száraz épület, ami könnyű bejutást és ellenőrzést, valamint kisebb javításokat is lehetővé tesz üzem közben.

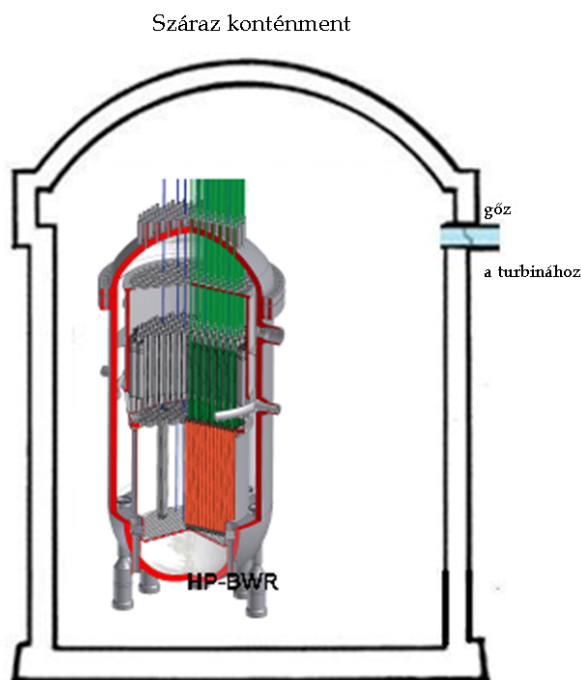
A reaktor áramlási sémája világos és egyszerű. Az egyszerű folyamat 6. ábrán látható.



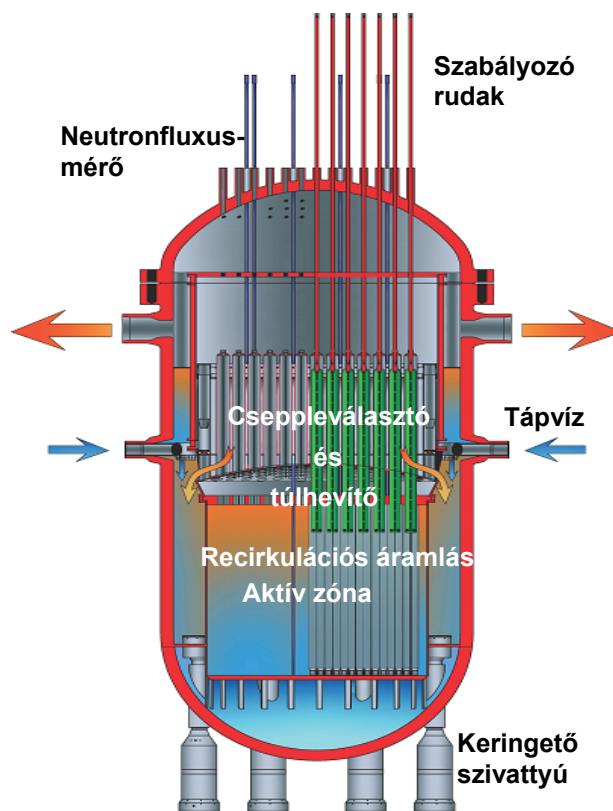
3. ábra: A reaktortartály alja és a belső keringető szivattyú villamos motorja



4. ábra: Hosszú idejű stabilitás automatikus szabályozó rendszer használata nélkül – MATLAB programmal végzett számítás. Inherensen stabil reaktor



5. ábra: HP-BWR száraz reaktorépületben



6. ábra: A reaktor áramlási sémája

Összefoglalás

Reaktor felügyelőként lehetőséget kaptam Svédországtól, hogy részt vegyek a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) OSART és ASSET misszióinak munkájában. A Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság (International Electrotechnical Commission – IEC) munkatársaként jártam atomerőművekben Európában, Ázsiában és Amerikában. Ily módon betekintést nyertem a legtöbb reaktor típus üzemi tapasztalataiba. Egy a gyártóktól független és egy reaktor típus iránt sem elkötelezett szakértő optimális reaktor konstrukciót javasolhat, amelyet remélhetőleg részletesen tovább tanulmányoznak a gyártók, áramszolgáltatók, kutatóintézetek és egyetemek. Svédországban már néhány intézet érdeklődést mutatott a bemutatott, egyszerű, biztonságos és gazdaságos javaslat továbbfejlesztésére.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Hernan Tinoco és Karl-Axel Bartholfnak, (Forsmark Atomerőmű) a CAD tervezést, Joanna Peltonennek (KTH) a RELAP számításokat, és Hadnagy Lajosnak, aki lehetővé tette a cikk magyar nyelven való megjelenését.

Irodalomjegyzék

- [1] ENS News, October 2007 <http://www.euronuclear.org/e-news/e-news-18/HP-BWR.htm> Transactions of the European Nuclear Conference (ENC) 2007, Brussels
- [2] ENS, 18 March 2008, HP-BWR <http://www.euronuclear.org/reflections/HP-BWR.htm>