

PAKS II. ATOMERŐMŰ KÖRNYEZETI SUGÁRVÉDELME – KAPCSOLÓDÓ MŰSZAKI MEGOLDÁSOK

Deme Sándor

²Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest
deme@aeki.kfki.hu

A kézirat beérkezett: 2021.02.26-
Közlésre elfogadva: 2021.03.05.

Environmental radiation protection of the Paks II. Nuclear Power Plant – Related technical solutions. The environmental radiation protection system of Paks NPP Units 5 and 6 (Paks II.) are reviewed in this paper, the main systems and equipment which can significantly reduce the environmental release of radioactive materials in the event of a reactor accident are introduced. The first two systems are the passive heat removal systems which provide the cooling of the containment and the reactor in the event of a station blackout. The third system is the core catcher, which cools the materials of the molten core and greatly reduces the formation of hydrogen. The fourth one is the double-walled containment, which allows radioactive leakage of the building into the environment only after aerosol and radioiodine filtration.

Keywords – Paks II Units (5-6), environmental radiation protection, passive heat removal system, molten reactor core catcher, double wall containment

Áttekintjük a paksi 5. és 6. blokk (Paks II.) környezeti sugárvédelmét, ismertetjük azokat a rendszereket, berendezéseket, amelyek jelentősen csökkenthetik a radioaktív anyagok környezeti kibocsátását egy esetleges reaktorbalesetnél. Elsőként azok a passzív hőelvonó rendszerek említhetők, amelyek a konténment és a reaktor hűtését biztosítják teljes feszültségvesztés esetén. A második a zónaolvadék-csapda, amely hűti a megolvadt zóna anyagait, illetve nagymértékben csökkenti a hidrogén képződését, a harmadik pedig a kettősfalú konténment, amely lehetővé teszi, hogy az épület radioaktív szivárgása csak aeroszol- és radiojód-szűrés után kerülhessen a környezetbe.

Kulcsszavak – Paks II. erőmű, környezeti sugárvédelem, passzív hőelvonó rendszer, zónaolvadék-csapda, kettősfalú konténment

BEVEZETÉS

Az atomerőművek társadalmi megítélésére jelentős hatással van azok környezeti sugárbiztonsága. Paks II. esetében erről a kérdésről kevés a szakmai publikáció, ugyanakkor környezeti szempontból a Duna hőterhelése visszatérő téma. Ugyancsak vitatott az atomenergia–megújuló energia fejlesztésének kérdése is. Ez utóbbi témák nem sugárvédelmi kérdések, ezért ezekkel nem is foglalkozik ez a közlemény.

Paks I. és Paks II. tervezése között eltelt mintegy fél évszázad, ez az idő jelentős fejlődést hozott az erőművek nukleáris biztonságában és ezen keresztül környezeti sugárbiztonságában is. Ezeket a változásokat tekintjük át röviden. Meg kell jegyezni, hogy Paks I. környezetbiztonsága nagyon jó, ezért is fogadta el az Európai Unió megfelelőnek, míg több, korábban épült, kevésbé biztonságosnak ítélt atomerőművet (Greifswald 1–4 blokk, Kozloduj 1–4 blokk, Bohunice 1–2 blokk) le kellett állítani.

A következőkben tekintsük át, hogy a Pakson épülő VVER-1200-as típusú (AES-2006-nak is nevezett) 5. és 6. blokk milyen új technológiai rendszerekkel rendelkezik, amelyek nagymértékben növelik a környezeti sugárbiztonságát.

AZ 5. ÉS 6. BLOKK A TELEPHELYEN

A két új atomerőművi blokk a Paksi Atomerőmű egységeitől északra létesül. A beruházásról első kézből a Paks II. Zrt. honlapján (<https://www.paks2.hu/>) érhetőek el információk.

Az 1. ábrán jól látható, hogy az 5. és 6. blokkok melegvíz-csatornája egy híd segítségével keresztezi mind a hat blokk közös hidegvíz-csatornáját. A melegvíz-csatorna mellett több kisméretű vízhűtő berendezés (a csúcshűtő rendszer hűtőcellái) látható, amelyeket csak szükség esetén üzemeltetnek.

A 2. ábra előterében Paks II. vízkivételi műve látható. Míg a hidegvíz-csatorna közös mind a hat blokk részére, addig az 5. és 6. blokknak külön melegvíz-csatornája létesül.

A 3. ábra a jelenleg üzemelő blokkok felől mutatja a teljes telephelyet, az 1–4. blokkokhoz közelebb látható a leendő új 5. blokk.

A KÖRNYEZETI SUGÁRBIZTONSÁGOT NÖVELŐ RENDSZEREK A VVER-1200 TÍPUSÚ REAKTORNÁL

A környezeti sugárbiztonságot – a VVER-440-es blokkokhoz képest – jelentősen növelő három új rendszere van a VVER-1200-as blokkoknak (4. ábra):

1–passzív hőelvonó rendszerek

- Konténment passzív hőelvonó rendszer
- Gőzfejlesztő passzív hőelvonó rendszere

2–zónaolvadék-csapda,

3–kettősfalú konténment.



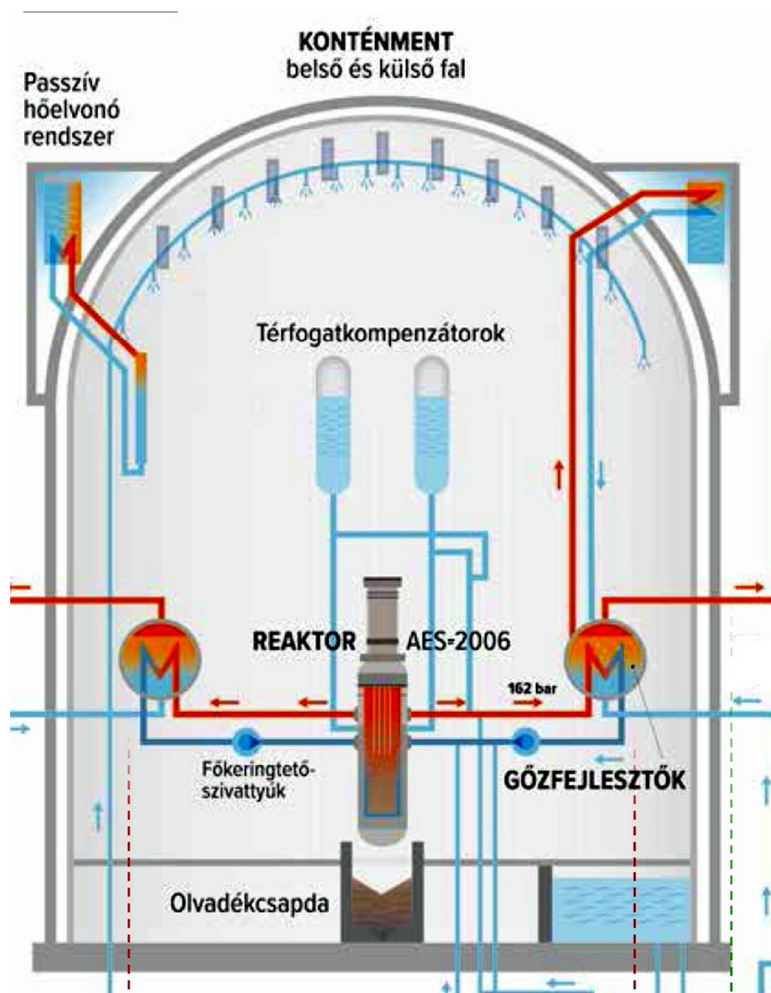
1. ábra. Paks II. madártávlatból. Előtérben az 5. és 6. blokk, középen a hidegvíz-csatorna, háttérben a két melegvíz-csatorna. (Forrás: paks2.hu)



2. ábra. Paks II. madártávlatból. Előtérben a hidegvíz-csatorna és Paks II. vízkivételi műve. A hidegvíz-csatorna felett hídon vezetik át Paks II. melegvíz-csatornáját. (Forrás: paks2.hu)



3. ábra. Paks II. madártávlatból. Előtérben a jelenleg üzemelő 1–4 blokkok. (Forrás: paks2.hu)



4. ábra. A reaktorépület. A balra fent látható passzív hőelvonó rendszer a konténment hűtését, a jobbról fent lévő a gőzfejlesztők hűtését biztosítja teljes feszültségvesztés esetén, alul helyezkedik el az olvadékcsapda (Forrás: <https://www.paks2.hu>)

A következőkben röviden tekintsük át az új technológiai rendszereket.

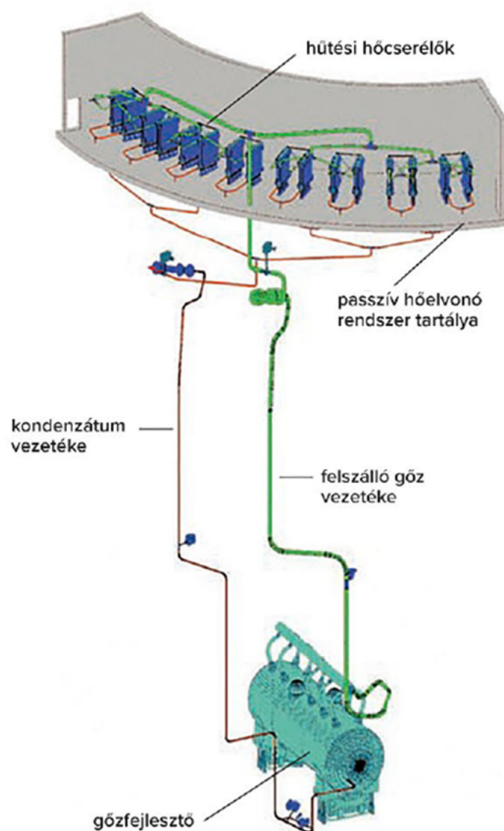
GŐZFEJLESZTŐ PASSZÍV HŐELVONÓ RENDSZERE

A leállított reaktort is hűteni kell, mert a zónában lévő hasadási termékek bomlási hője hűtés hiányában megolvaszthatja a zónában lévő anyagokat, az urán-dioxidot, a fűtőelemek cirkónium burkolatát, a rozsdamentes acél belső szerelvényeket és végül magát a reaktortartályt is. Ez az olvadék kiömölhet a reaktor betonaknájába, az ide kijutó magas hőmérsékletű zónaolvadékból nagy mennyiségű radioaktív anyag kerülhet a konténment légterébe.

A VVER-1200 reaktor hőteljesítménye 3200 MW. A leállított reaktor hőleadása az üzemelő reaktor hőteljesítményének 7 százalékáról indulva fokozatosan csökken. A maradványhő-elvonó rendszer feladata, hogy az aktív zóna és a primer kör hőmérsékletét állandó értéken tartsa. A VVER-440 típusú blokkoknál a maradványhő eltávolítása villamos meghajtású szivattyúk segítségével történik. Teljes feszültségvesztés esetén, amikor nincs hálózati feszültség, a villamos energiát dízelgenerátorok biztosítják.

A VVER-1200 típusú erőműnek van két, villamos betáplálást nem igénylő, passzív hőelvonó rendszere is. Ezen rendszerek egyike a primer–szekunder kör határán lévő gőzfejlesztőhöz csatlakozik. A gőzfejlesztő gőzteréből a gőz a reaktorépület felső szintjén lévő, vízzel teli tartályban elhelyezett hőcserélőkben lehűl, kondenzálódik, a kondenzátum pedig a gőzfejlesztő vízterébe jut vissza, ennek révén hűti a zónát. A reaktorépület felső szintjén lévő tartály vizét a reaktorépület külső részén elhelyezett szabadlevegős hűtőrendszer hűtővize fokozatosan melegszik, majd forrni kezd, a gőz pedig a szabadba távozik, vagyis a tartály vízszintje csökken.

A passzív hőelvonó rendszer részletesebb működési elve az 5. ábra alapján tekinthető át. A gőzfejlesztő gőzteréből a gőz a felszálló gőzvezetéken passzív hőelvonó tartály hőcserélőibe kerül. A hőcserélőkben a gőz kondenzál. A hőcserélőkből elfolyó kondenzátum külön csővezetéken keresztül lefolyik a gőzfejlesztő vízterébe.



5. ábra. A gőzfejlesztő passzív hőelvonó rendszere (Forrás: paks2.hu)

A rendszer mindaddig tud működni, amíg a tartályokban elegendő víz van, ez az idő a legkedvezőtlenebb forgatókönyv esetén is legalább 72 óra. A zóna aktív hűtését még ekkor sem kell helyreállítani, mert a tartályok egy másik, súlyos balesetekre tervezett rendszer segítségével utántölthetők, amelyet dedikált, súlyos balesetre tervezett dízelgenerátorok és akkumulátorok látnak el árammal.

Az aktív rendszerekkel történő hűtésre csak a 90°C alatti primer körű hőmérséklet eléréséhez és a reaktor szétszereléséhez van szükség. Ehhez szükséges a villamos rendszeren alapuló hűtés helyreállítása.

A KONTÉNMENT PASSZÍV HŐELVONÓ RENDSZERE

E rendszer feladata, hogy csökkentse a konténment nyomását és a megengedett tartományon belül tartsa a tervezési alap kiterjesztésébe tartozó baleseteknél is, amikor nagymennyiségű hő jut a konténment légterébe. Hasonló feladatot lát el, mint a sprinkler rendszer a tervezési alapba tartozó üzemzavarok esetén.

A konténment passzív hőelvonó rendszere csatlakozik a gőzfejlesztő passzív hőelvonó rendszer tartályaihoz, a hőelvonást a konténment belsejében elhelyezett hőcserélők végzik.

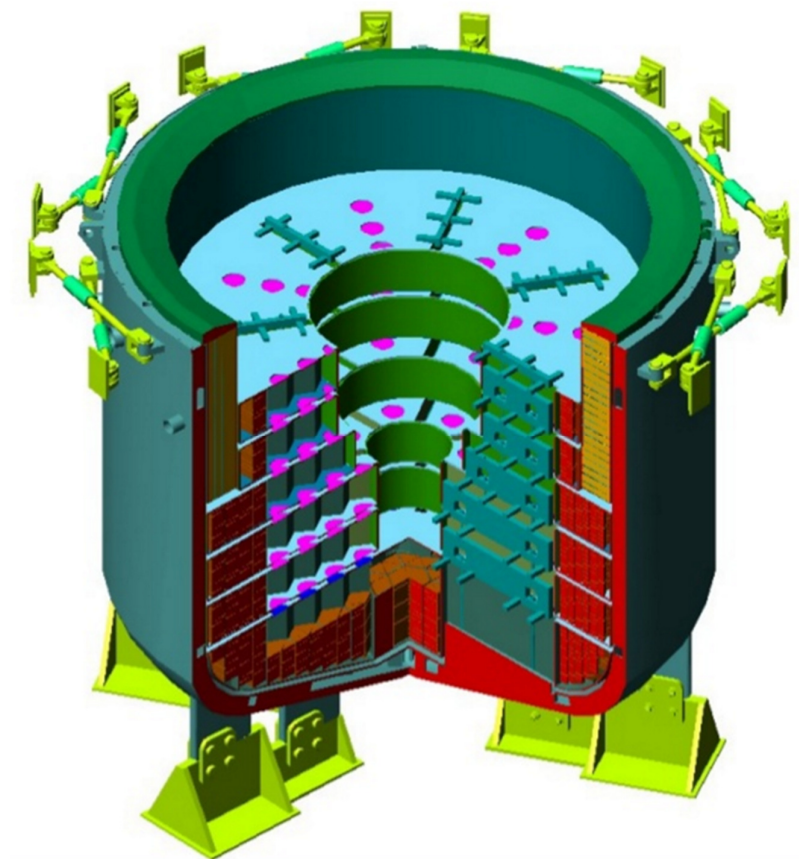
A ZÓNAOLVADÉK-CSAPDA

A rendkívül kis valószínűséggel fellépő súlyos baleseti helyzetekre is megtörténik a felkészülés. A zónaolvadék-csapda rendeltetése:

- A reaktortartály aljának helyben tartása annak leválása vagy deformálódása esetén.
- A reaktorakna szerkezeti elemeinek védelme a zónaolvadéktól.
- A zónaolvadék, az aktív zóna és a reaktor szerkezeti szilárd törmelékének, valamint a hasadási termékek befogadása és elhatárolása a konténmenten belül.
- A zónaolvadék maradványhőjének elvezetése.
- A zónaolvadék szubkritikusságának biztosítása.
- A radioaktív anyagok és hidrogén a konténment légterébe történő kibocsátásának minimalizálása.

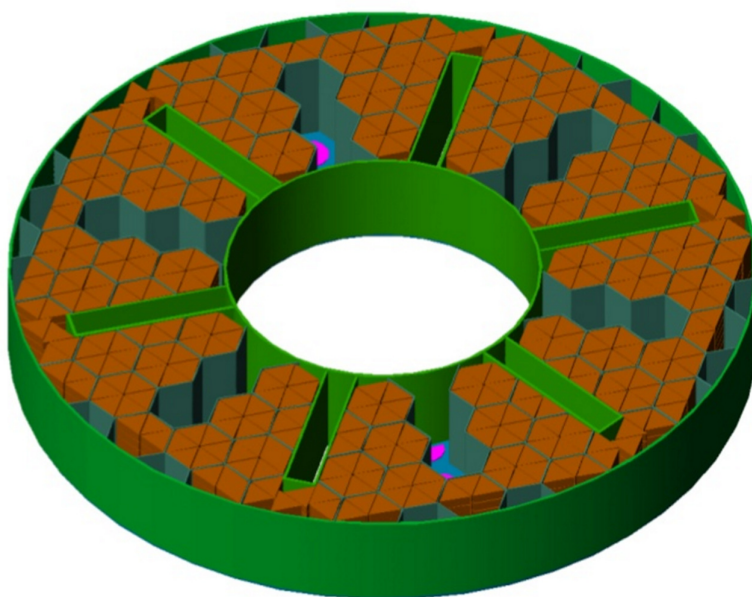
A zónaolvadék-csapda egy kúpos fenekű, hengeres fémszerkezet, tömege mintegy 800 tonna. Fala kettős, a falak közötti rést vas- és alumínium-oxid granulátum tölti ki. A zónaolvadék-csapdában olvadótöltet található, amely vas-oxid és alumínium-oxid 1:1 arányú keveréke, de gadolíniumot is tartalmaz a szubkritikusság biztosítására. A zónaolvadék-csapdában az olvadótöltet több rétegben helyezkedik el. A zónaolvadék-csapda metszeti képét át a 6. ábra mutatja.

A zónaolvadék-csapdát kitöltő olvadótöltetet a zónaolvadék magas hőmérséklete megolvasztja, majd a két anyag egymással elegyedik. Az olvadótöltet a zónaolvadékból a potenciális hidrogénfejlődés túlnyomó részéért felelős elemi cirkóniumot oxidálja, így az már a későbbiekben nem jelent veszélyt. Az oxidált cirkónium ugyanis vízzel való reakcióban már nem fejleszt hidrogént. Az olvadótöltettel való elegyedés során a zónaolvadék oxid fázisának sűrűsége lecsökken, így az felúszik az olvadt fémek tetejére, ezzel lehetővé téve a zónaolvadék felszínének hűtését és ezáltal a radioaktív aeroszokok további felszabadulásának megakadályozását.



6. ábra. A zónaolvadék-csapda metszeti képe. (Forrás: [2])

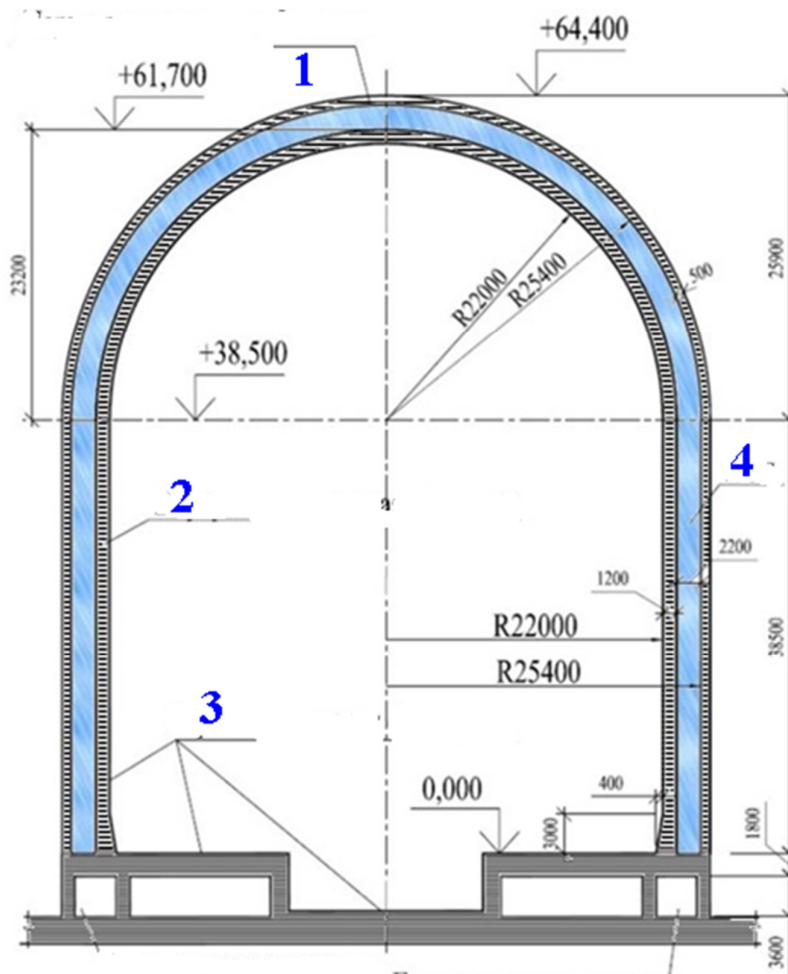
A vas-oxid és alumínium-oxid olvadótöltet szinterelt tömbök formájában kerül a zónaolvadék-csapdába (7. ábra).



7. ábra. A zónaolvadék csapda 4. rétege a szinterelt olvadótöltet blokkokkal. (Forrás: [2])

KETTŐSFALÚ KONTÉNMENT

A belső konténment felelős a radioaktív kibocsátás megakadályozásáért, a külső konténment pedig védelmet jelent a reaktor és a primerköri főberendezések számára a külső veszélyeztető tényezőkkel szemben. A rendkívül kis valószínűséggel bekövetkező súlyos baleset esetén a kettősfalú konténment (8. ábra) megakadályozza, hogy a reaktorépületből számottevő radioaktív anyag jusson a környezetbe. A belső falon átszivárgó radioaktív anyag a két fal közötti térbe kerül, ahonnan egy elszívó rendszer révén aeroszol és elemi/szerves jód szűrőn keresztül kerül a környezetbe. A szűrés hatásfoka aeroszoloknál 99,9%, a jódszűrőknél 99%.



8. ábra. A kettősfalú konténment főbb méretei. 1–külső védőburkolat (50 cm vastag beton), 2–belső védőburkolat (120 cm vastag beton), 3–hermetizáló réteg (rozsdamentes acél), 4–gyűrűs tér. (Forrás: [3])

ÖSSZEFOGLALÁS

A Pakson épülő VVER-1200 típusú 5. és 6. blokk környezeti sugárvédelmét jelentősen növeli az utóbbi évtizedekben kifejlesztett gőzfejlesztő passzív hőelvonó rendszer, amely teljes feszültségvesztés esetén is hűteni tudja a reaktor aktív zónáját, a zónaolvadék-csapda, amely képes befogadni a megolvadt zóna anyagait, hűti azokat és csökkenti a robbanásveszélyes hidrogén fejlődését. A kettősfalú konténment a radioaktív anyagok környezeti kibocsátását

csökkenti annak révén, hogy a két fal közé kerülő radioaktív aeroszolok és radiojód csak szűrve kerülhetnek a szabadba.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <https://www.paks2.hu/>
- [2] Zvonarev, Yu., Analytical and Experimental Studies for Core Catcher Development. 2013.
https://www.slideshare.net/psa_eps/vver-core-catcher
- [3] <https://rosatom.ru/upload/iblock/0be/0be1220af25741375138ecd1afb18743.pdf>

A cikk elkészítésében közreműködött a Paks II. Zrt.