



Barina Balázs József

MAGYARORSZÁGI NUKLEÁRIS REAKTOROK KATASZTRÓFAVÉDELMI SZEMPONTÚ BEMUTATÁSA

Absztrakt

Hazánknak az atomenergia és a nukleáris kutatás területén rendkívül komoly múltja és potenciálja van. Magyarország első nukleáris létesítményét, a Csillebércen található kutatóreaktort 1959-ben helyezték üzembe, mely komoly lépés volt a nukleáris tudomány és technika területén, lehetővé tette hazánk bekapcsolódását a tudományterület nemzetközi kutatásaiba. A sorban a második nukleáris létesítményünk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem oktatóreaktora, mely az első teljesen magyar tervezésű és építésű reaktor 1971-óta szolgálja a nukleáris oktatást és gyakorlati képzést. Az ezen létesítményekben szerzett elméleti és gyakorlati tudás és tapasztalat tette lehetővé a hetvenes évek második felében a Paksi Atomerőmű tervezését, kivitelezését, majd 1982-es villamos hálózatra csatlakozását. A villamos energia fogyasztás lassú ütemű, de folyamatos emelkedése szükségessé teszi az atomerőművi kapacitás bővítését, mely életre hívta a Paks 2 atomerőművi projektet, melynek keretében két darab atomerőművi blokk kerül kiépítésre a paksi telephelyen. A nukleáris reaktorok üzemeltetése azonban a magas szintű szakmai kompetenciák mellett igen komoly biztonsági és védelmi szempontú felkészültséget igényel, mind az üzemeltető, mind az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszer részéről. A szerző célja, hogy nukleáris témakörben rávilágítson a biztonsági kérdésekre a jelenleg üzemelő reaktorok esetében.

Kulcsszavak: Nukleáris reaktorok, VVER-440/213, VVER-1200, EPR, katasztrófavédelem



NUCLEAR REACTORS IN HUNGARY

Abstract

Hungary has an extremely serious past and potential in the field of nuclear energy and nuclear research. Hungary's first nuclear facility was the research reactor at Csillebérc, it started operating in 1959, which was a major step in nuclear science and technology, enabling Hungary to join international research in the field. The second nuclear facility in the row is the training reactor of the Budapest University of Technology and Economics, which is the first reactor designed and built entirely in Hungary, it has been serving nuclear education and practical training since 1971. The theoretical and practical knowledge and experience gained in these facilities enabled the design and construction of the Paks nuclear power plant in the second half of the 1970s, than it's electrical grid connection in 1982. The slow but steady increase of the electrical consumption necessitates the extension of nuclear power plant capacity, which launched the Paks 2 nuclear power plant project, therefore, two nuclear power units will be built at the Paks site. However, in addition to a high level of professional competence, the operation of nuclear reactors requires serious safety and security preparedness, from the operator and from the National Nuclear Emergency Management System. The author's aim is to draw attention to safety issues in nuclear reactors currently in operation.

Keywords: Nuclear reactors, VVER-440/213, VVER-1200, EPR, disaster management

1. BEVEZETÉS

A radioaktivitást a világ népességének növekvő energiaszükségletének kielégítésén túl változatos formában használják fel. Az igen széles felhasználási terület a radioaktív sugárzás változatos alkalmazásának köszönhető. Hiszen a radioaktív bomlás során létrejövő energiát az orvosi diagnosztikai eljárásokon és sugárterápián túl, a különböző műtéti eszközök és implantátumok sterilizálásához is használják. Alkalmazzák geológiai és archeológiai kormeghatározásban, csírátlanításra és fertőtlenítésre az élelmiszeriparban, valamint roncsolásmentes anyagvizsgálatra az ipar egyéb területein [1].

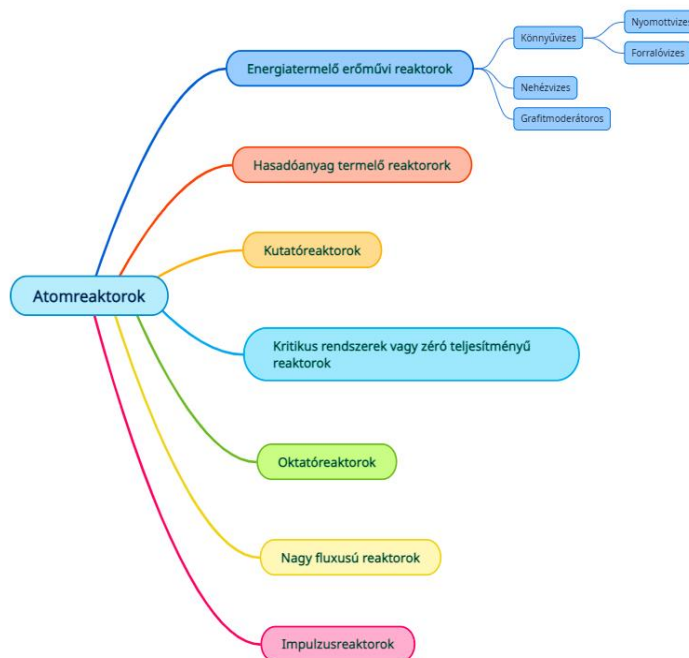


A nukleáris reaktorok csoportosítására többféle szempontrendszer is létezik, melyek lehetővé teszik megfelelő szakmai szempontú besorolásukat.

Csoportosításuk az alábbiak alapján történhet [2]:

- Felhasznált hasadóanyag szerint
- Hasadóanyag dúsításának foka szerint
- A moderátor anyaga szerint
- Hűtőközeg szerint
- Energiatartomány szerint
- Felhasználás szerint

A kutatásom szempontjából az atomreaktorok felhasználási módja szerinti csoportosítását kell kiemelnem, mely alapján megkülönböztetünk energiatermelő, hasadóanyag termelő, kutató és oktatóreaktorokat, valamint nagy fluxusú, impulzus és kritikus rendszereket, vagy zéró teljesítményű reaktorokat.



1. ábra Nukleáris reaktorok felhasználási mód szerinti csoportosítása (készítette a szerző)

Az energiatermelési céllal üzemelő nukleáris reaktorok esetében szükséges megemlíteni az alkalmazott technológia alapján történő atomerőművi generációkba történő besorolásukat. Ahol a szakterminológia megkülönbözteti az I-IV generációba tartozó reaktorokat.



1.1. Első generációs atomreaktorok

A II. világháborút háborút követően üzembe helyezett korai reaktor prototípusokat soroljuk az első generációba, melyek üzemeltetésének célja nem elsősorban a villamos energiatermelés volt. Az első tisztán villamos energiatermelési célú atomerőművet 1953-ban állították üzembe, míg az utolsó első generációs nukleáris reaktor 2015-ben fejezte be működését [3].

1.2. Második generációs atomreaktorok

A napjainkban működő nukleáris reaktorok többsége második generációs besorolású. A Nukleáris Világszövetség (World Nuclear Association) adatai szerint 2021-ben 234 darab az 1970-es évektől 1990-ig épült úgynevezett II generációs atomerőművi blokk üzemel, ide sorolható a Paksi Atomerőmű mind a négy reaktora. A prototípusok hibáiból konstrukciós gyengeségeikből, üzemeltetési nehézségeiből nyert információk segítségével, biztonságnövelő átalakítások alkalmazásával kerültek kivitelezésre. A legmeghatározóbb biztonsági fejlesztés nyomásálló rendszerek alkalmazása volt, mely képes súlyos üzemzavar esetén megakadályozni a radioaktív anyagok szabadba jutását, ez az úgynevezett konténment rendszer, vagy hermetikus tér alkalmazása egyéb passzív és aktív biztonsági rendszerekkel kiegészítve [3].

1.3. Harmadik, vagy harmadik + generációs atomreaktorok

A napjainkban kivitelezésre kerülő nukleáris reaktorokat a szakirodalom a harmadik, vagy a harmadik+ generációba sorolja, ezek az úgynevezett evolúciós reaktorok. Fejlesztésük kezdete az 1990-es évek elejére datálható, az amerikai, japán és nyugat európai könnyűvízes reaktorflotta üzemeltetői tapasztalataira alapozva. Az aktív és passzív biztonsági rendszerek jelentős fejlődésen mentek keresztül, köszönhetően az általános technológia és informatikai fejlődésének, valamint a sajnálatos módon bekövetkezett nukleáris balesetekből levont mértékadó következtetéseknek köszönhetően. A biztonság növelésére megfelelő példák azok a passzív biztonsági funkciók, amelyek nem igényelnek külső energiát, aktív vezérlést vagy kezelői beavatkozást, hanem a gravitációra vagy a természetes hővezetésre támaszkodva csökkentik az üzemzavarok és balesetek következményeit. A hatvan évet is elérő tervezett



üzemidő, valamint megnövelt hatásfok jellemzi őket. [3] A cikkben bemutatásra kerülő VVER-1200 reaktor és az EPR reaktor is ezen generációba sorolható.

1.4. Negyedik generációs atomreaktorok

A negyedik generációba tartozó atomreaktorok jelenleg a fejlesztés stádiumában állnak, innovációs reaktoroknak nevezni őket a szakirodalom, mert olyan megoldásokat - fejlesztéseket vetítenek előre, melyek teljesen új perspektívába helyezhetik az atomerőművek üzemeltetését a biztonság és a profitabilitás terén is [3].

2. NUKLEÁRIS REAKTOROK MAGYARORSZÁGON

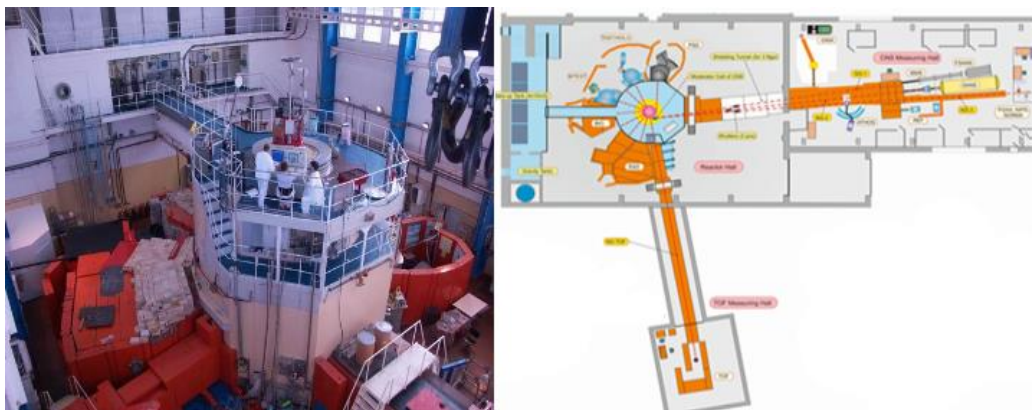
Magyarországon a legtöbbet a Paksi Atomerőműről hallhatunk, olvashatunk, de az atomerőműben működő négy darab VVER-440/213 reaktorblokkon túl hazánkban még két nukleáris reaktor üzemel, egy oktatási célú és egy kutatóreaktor. Az oktatási célú a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanreaktora, míg a kutatási célú az Energiatudományi Kutatóközpont (EK) Budapesti Kutatóreaktor (BKR). A következőkben bemutatom a hazánkban jelenleg is üzemelő atomreaktorokat, valamint ismertetem a Paks 2 atomerőművi nagyberuházás során felépítendő reaktorokat.

3. BUDAPESTI KUTATÓREAKTOR

A Budapesti Kutatóreaktor 10 MW maximális teljesítményű. Hűtőközege és moderátora sótalan víz, reflektora grafit és víz. Az aktív zónát EK-10 típusú 20%-os dúsítású fűtőelemek alkotják. Az aktív zónában és a reflektorban besugárzó csatornák által válik lehetővé a minták besugárzása. A biológiai sugárvédelmet ellátó oldalsó reaktortömb foglalja magába a reaktortartályt. Az alumíniumból készült 10 mm falvastagságú hengeres reaktortartály felülről nyitott, ez teszi lehetővé a medence elrendezést. A reaktortartályban lévő víz biztosítja a felső



biológiai sugárvédelmet. Az aktív zóna közepén öt darab vízszintes csatorna helyezkedik el, egy tangenciálisan, négy radiálisan. Különböző módon csatlakoznak az aktív zónához, így az egyes csatornák szájánál különböző neutronspektrumokat kapunk. A kutatóreaktor vízszintes csatornához neutronvezetőkön keresztül, vagy közvetlenül, 15 mérőberendezés kapcsolódik, melyek anyagtudományi, mérnöki, biotechnológiai és szilárdtest-fizikai kutatásokat tesznek lehetővé. A reaktorhoz csatlakozik a biológiai védelmen áthatoló, nagyméretű besugárzó alagút $1,3 \times 1,7 \text{ m}^2$ -es felülettel, majd a zóna felé lépcsőzetesen szűkül és a zónatartó kosártól 90 mm távolságra van. Az alagút felhasználása többretű: nagyrészt termikus oszlopként működik, de számos egyéb kísérlet helyszínéül is szolgált már (többek között biológiai védelemmel kapcsolatos vizsgálatok, nagyobb méretű objektumok besugárzása). A reaktor üzemeltető adatai alapján a rekonstrukciót követően éves átlagban közel 3500 órát üzemelt [4]. A kutatóreaktor az alap és alkalmazott kutatások számára nagyteljesítményű (nagy neutron sűrűségű) neutronforrásként szolgál, s mint ilyen valós tudományos szükségletet elégít ki. A reaktorban keletkező neutronok felhasználhatóak különböző anyagok vizsgálatára. A reaktor hasznosítható az egészségügyi és az ipari felhasználók számára történő radioaktív izotópok előállítására, továbbá alkalmazható szerkezeti anyag besugárzások és a besugárzásokat követő anyagvizsgálatok elvégzésére.



1. kép MTA KFKI telephely kutatóreaktora



4. BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM TANREAKTORA

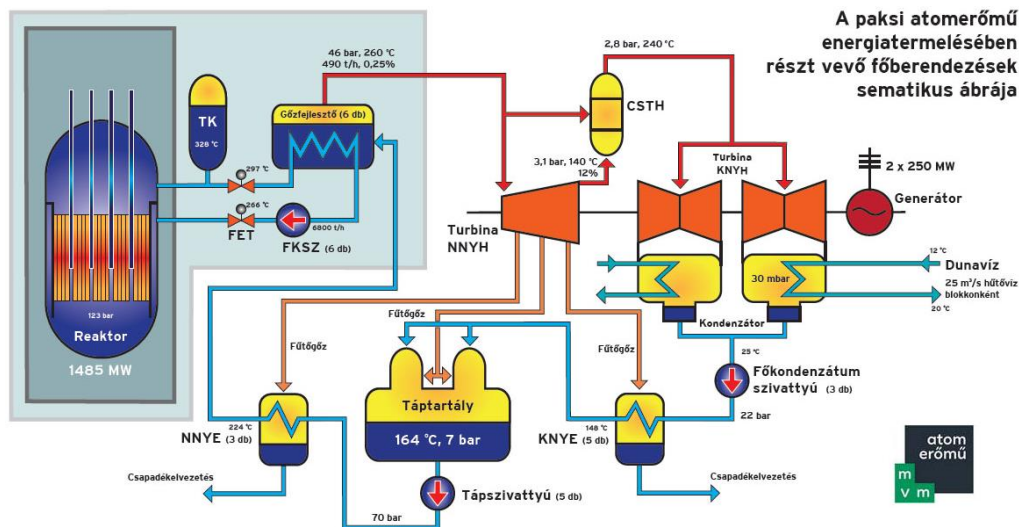
A tanreaktor medence típusú, 1971-ben helyezték üzembe. A 10%-os dúsítású, EK-10 típusú üzemanyag-kazettákból álló aktív zóna 100 kW maximális teljesítményű, a maximális termikus neutronfluxus $2,7 \times 10^{12}$ n/cm²s, teljes urántömege megközelíti a 30 kg-ot. Fűtőelemeit a reaktor indulása óta nem cserélték, mely a kis teljesítménynek és a szakaszos - optimalizált üzemeltetésnek köszönhető. Névleges teljesítményen való 8 órás üzemet követő nukleáris leállítás után a reaktortartályban lévő víz természetes keringése megfelelő hűtést biztosít a fűtőelem számára. A létesítményben elsősorban fizika és mérnökszakos hallgatók nukleáris téren való képzése folyik, emellett kutatási projektek céljait is szolgálja. 20 darab függőleges, 5 darab vízszintes besugárzó csatorna, két csőposta és egy nagyméretű besugárzó alagút használható oktatási és kísérleti célú neutron és gamma besugárzásra a zóna körül. A csatornák sugárvédelmét víz- és vaszár biztosítja. A vízszár lényege, hogy a sugárvédelmi feladatot ellátó betonban futó csövek használaton kívüli állapotukban, vízzel vannak megtöltve. A vaszár henger alakú, 330 mm hosszúságú dugó, amely a csatornák külső, részén manuálisan helyezhető el. Ezen zárok csak a meghatározott csatornával végzett kísérletek idejére távolíthatóak el. A kísérletek alatt a csatornák közvetlen környezetében a megfelelő szintű sugárvédelmet a reaktorcsarnokban speciálisan e célra tárolt, bórsavas vízzel töltött tartályokkal látják el. A csövekben található víz eltávolítása és visszatöltése manuális működtetésű szelepekkel történik. A reaktorhoz csatlakozó besugárzó alagút változatos felhasználási lehetőségeket tesz lehetővé. Belső fala és a grafit reflektorelemek közötti távolság mindössze 90 mm. Az alagút belsejében távműködtetésű, sínen mozgó rendszer található. Ezen helyezkedik el a termikus oszlop szerepét ellátó, alumínium burkolatú grafit szerkezet. Ez amennyiben szükséges egyéb kísérleti berendezésre cserélhető. Az alagutat a reaktortömbhöz képest érintőlegesen mozgatható 700 mm vastag, mintegy 13000 kg tömegű nehézbetonnal és vízzel töltött, acélszerkezetű zsilip zárja [5]. A besugárzó csőposta gyors besugárzó és mintatovábbító rendszer. A létesítményhez fizikai és radiokémiai laboratóriumok, valamint egy manipulációs kamra is tartozik.



2. kép Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanreaktora

5. A PAKSI ATOMERŐMŰ

A Paksi atomerőmű 1982 óta része a magyar villamos energiatermelésnek, rendszerbe állásától számítják Magyarországon a lakossági „atomenergia szolgáltatást”. Napjainkban a Paksi Atomerőmű a hazánkban termelt villamos energia több mint felét szolgáltatja. A Duna jobb partján fekvő nukleáris energiatermelő létesítmény négy darab, egyenként 1485 MW hőteljesítményű, 500 MW villamos teljesítményű blokkból és a hozzájuk kapcsolódó primer és szekunder körű rendszerekből áll. Az 2. ábra a paksi atomerőmű energiatermelő főberendezéseit mutatja.



Rövidítések: TK- térfogat-kiegyenlítő, FET- fő-elzárótolózá, FKSZ- fő-keringtetőszivattyú, CSTH- cseppleválasztó túlhevítő, NNYH- nagynyomású ház, KNYH- kisnyomású ház, NNYE- nagynyomású előmelegítő, KNYE- kisnyomású előmelegítő,

2. ábra A paksi atomerőmű energiatermelő fő berendezései

Az alábbiakban röviden be kívánom mutatni a Paksi Atomerőműben használt üzemanyagot, a reaktorblokkokat, a primer és a szekunderkört.

5.1. A nukleáris üzemanyag

A Paksi Atomerőműben a reaktorokban használt üzemanyag urán-dioxid (UO₂), amelyből egy reaktorba 42 tonnányit helyeznek. A földön előforduló urán 99,3% U-238, valamint 0,7 % U-235 izotóp. Az U-238 igen stabil csak akkor hasad, ha a neutron energiája jelentős és így ütközik az atommagnak. Neutronsugárzás hatására az urán atommag két közepes maggá válik. Elméleti szempontból minden atommag hasadhat, gyakorlatilag csupán néhány uránizotóp esetében történik megfelelő gyakorisággal maghasadás. Ezek az uránizotópok energetikai szempontból jóval kedvezőbb állapotba kerülnek a hasadás következtében. Nagyobb mennyiségű energia szabadul fel, mint ami egy atommag hasításhoz szükséges.



3. kép Urán - dioxid pasztilla

Ha kis energiájú, (termikus) neutron ütközik az U-235 atommagjának, a mag pedig befogja azt, akkor egy gerjesztett mag, U-236 alakul ki. Az esetek nagy részében, hozzávetőleg nyolcvanöt százalékában rövid időn belül bekövetkezik a maghasadás, a fennmaradó tizenöt százalékában pedig az atommag γ - sugárzással válik meg a felesleges energiától. Az U-235 izotóp maghasadás során hőenergiát termel számunkra, a természetes uránban a hasznos U-235 izotóp részarányát ezért növelik dúsítás segítségével. A dúsított uránból porkohászati eljárással urán-dioxid pasztillákat állítanak elő. A 3. kép az urán-dioxid pasztillákat mutatja. Az urán – dioxidból 9 mm x 7,6 mm-es hengereket készítenek, melyeket cirkónium ötvözetből készült csőbe helyeznek, a csöveket ezt követően héliummal töltik fel, majd légmentesen lezárják. Ez a burkolat akadályozza meg a radioaktív hasadványok bekerülését a hűtővízbe. Az üzemanyag pasztilla és burkolata együtt alkotja a fűtőelem pálcát. A fűtőelemeket kötegekbe, más néven üzemi kazettákba foglalják. Az üzemi kazetták hatszög alakúak, esetünkben egyenként 126 darab fűtőelemet tartalmaznak. Az üzemanyag dúsítása 3,6 % vagy 4,2 % lehet, kazettánként csak azonos dúsítású fűtőelemek találhatóak, a kazetták 14,4 cm laptávolságúak [6].

5.2. A Paksi Atomerőműben üzemelő reaktorok

A Paksi Atomerőműben négy darab a 3. ábrán bemutatott VVER-440/213 nyomott vizes 2. generációs reaktorblokk található. Két teljesen szeparált vízkörből, a primer körből és a szekunder körből épülnek fel. A nyomott vizes reaktorok sajátossága, hogy a primer körben lévő vizet százhuszonhárom báros nyomás tartja folyadék halmazállapotban, így a zárt körben



áramló folyadék háromszáz Celsius fokos hőmérsékleten sem képes forrni. A reaktortartály azon részét, ahol a láncreakció megy végbe, „aktív zónának” nevezzük.

Az 1. táblázat [7] a reaktort és annak legfontosabb adatait mutatja be, mint az üzemanyag tömegét, a tartály méretét, hő és hasznos teljesítményét.

Reaktor tömege:	472 tonna
Magassága:	23,5 méter
Hőteljesítménye:	1485 MW
Hasznos teljesítménye:	500 MW
Melegági hőmérséklete:	297 °C
Hidegági hőmérséklete:	267 °C
Fővízköri hőlépcső:	32,5 °C
Üzemanyag:	Urán-dioxid 3,82 %-os dúsítású
Üzemanyag tömege:	42 tonna
Aktív zóna felépítése:	312 db üzemi kazetta 30 db biztonságvédelmi kazetta 7 db szabályozó kazetta

1. táblázat VVER 440/213 Reaktor egyes fontosabb adatai

Az aktív zónát háromszáztizenkét darab üzemanyag kazetta, harminchét db szabályozó és biztonságvédelmi kazetta, valamint a hűtővíz alkotja, mely egyben moderátor közeg szerepét is betölti. A szabályozó és biztonságvédelmi (a továbbiakban: SZBV) kazetták () közül normál



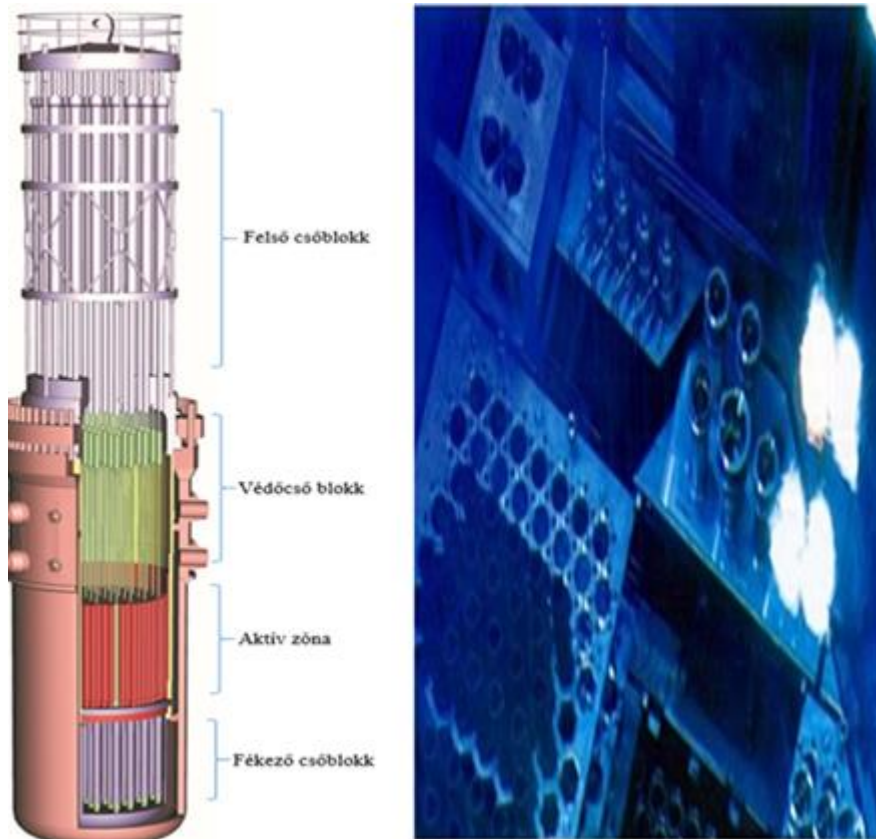
üzem közben harminc db az „aktív zóna” felett található. Ezen biztonságvédelmi eszközök segítségével a reaktor tíz - tizenkét másodpercen belül megbízhatóan leállítható. A további hét SZBV elemmel a normál üzemi teljesítményt szabályozzák. Minden egyes SZBV kazetta alsó részéhez egy fűtőelem köteg csatlakozik, ezért kihúzott állapotukban nem befolyásolják negatívan a láncreakciót.

Az üzem során lecsökkent teljesítményű fűtőelemeket a reaktor mellett található úgynevezett „pihentető medencébe” helyezik. A 3. ábrán a négyes blokki pihentető medence látható, itt három évig tárolják a kiégett üzemanyagot. Radioaktív bomlás útján úgynevezett remanens hő fejlődik bennük. A víz elnyeli a keletkező sugárzást, valamint a keletkezett hőt is [8].

Az itt eltöltött 3 év során a tárolt üzemanyag sugárzása és hőtermelése olyan jelentős mértékben lecsökken, mely lehetővé teszi biztonságos szállításukat. Ekkor a pihentető medencéből a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolójába (KKÁT) szállítják őket. Ötven évig itt őrzik a kiégett üzemanyagot, előreláthatóan a nagyaktivitású tároló kialakításáig és az ott történő elhelyezésükig. A kiégett fűtőanyag egy részét Oroszországba szállítják újra dúsításra. A szállító konténer felépítése – anyaga és a benne található víz, csökkenti a radioaktív sugárzás mértékét és a szállítás során elvezeti a kiégett üzemanyag által termelt hőt.

5.3. A primerkör bemutatása

A primerkör a reaktort, a keringtető hurkokat, a főkeringtető szivattyúkat, a gőzfejlesztőket és a térfogat kompenzáló egységet befogadó nukleáris rendszert jelenti. A 4. képen az I. kiépítés reaktorcsarnoka látható. A fővízkör része a térfogat kiegyenlítő rendszer, mely a térfogatkompenzátorból és a négy darab hidroakkumulátorból áll blokkonként. A térfogatkompenzátor álló elrendezésű, melynek alsó részét hűtőkör meleg ágával, míg felső részét (szelepeken keresztül) a hidegággal kötik össze. A tartályban 325°C-os, telített állapotú víz, és felette nitrogénpárna található. Legfontosabb feladata a nukleáris alapon történő gőztermelés, az előre tervezett nyomás és hőmérséklet megtartása, valamint a hőhordozó közeg környezetbe jutásának megakadályozása. [9] [10].



3. ábra VVER-440/213 reaktortartály és a négyes blokki pihentető medence



4. kép I. kiépítés reaktorcsarnok



5.4. A szekunder kör bemutatása

A gőzfejlesztők tápvízoldali részeit, a „főgőzrendszert”, a turbina különböző elemeit (nagy és kis nyomású), a kondenzátort és a tápvízrendszert befogadó rendszer, melynek legfontosabb feladata a gőz energiájának forgó mozgássá való átalakítása a turbinák segítségével. A reaktor által létrehozott 1485 MW hőenergiát sóltalanvíz zárt rendszerben továbbítja a gőzfejlesztőkbe. Itt a primerköri víz a gőzfejlesztőben szekunder körű gőzt hoz létre, mégpedig úgy, hogy a gőzfejlesztőben található 222°C-os, 46 bar nyomású tápvizet a csövekben keringő 297°C-os primer körű víz 260°C-ra melegíti. A keletkező gőzből a vízcseppeket leválasztják, a turbinalapátok sérülésének elkerülésére. Erre szolgálnak az úgynevezett csepplévasztók, melyeket a kilépő gőz útjába helyeznek, ezeken a terelőlemezekon áthaladva a vízcseppek lecsapódnak, ennek köszönhetően a kilépő gőz nedvességtartalma 0,25 % alá csökken. A megtermelt gőzmennyiség eléri az óránként közel háromezer (2940) tonnát, mely a turbinákat hozza mozgásba és működteti percnként háromezres fordulaton.

A Paksi Atomerőműben 8 darab turbina és ugyanennyi 230 MW-os generátor található. A turbinákban egy tengelyen helyezkedik el az egy nagynyomású és két kisnyomású ház, valamint a generátor fogórésze. A turbina nagynyomású háza 7 fokozatú, a két kisnyomású ház öt-öt fokozatú. A 5. kép az I. kiépítés turbinagépházát mutatja. A turbina által létrehozott forgó mozgás a generátorok segítségével 15,75 Kv feszültségű elektromos áramot termel, melyet transzformátorokon keresztül a villamos hálózatba juttat száz és száz Kv-on [11].



5.kép I. kiépítés turbinagépház

6. VVER-1200 (AES-2006) REAKTOR

A Paks II atomerőművi fejlesztés egy 15 évre visszanyúló folyamat, mely 2007-ben a Teller projekttel indult, ezt követte 2009-ben a parlament által elfogadott határozati javaslat, mely hozzájárulást adott az új atomerőművi blokkok felépítésének előkészítéséhez a Paksi Atomerőmű telephelyén. Ugyancsak 2009-ben indult a Lévai projekt, melynek keretében az Magyar Villamosművek Csoport megkezdte az új atomerőművi blokkok létesítésének előkészítését. 2011-től a megújult Nemzeti Energiastratégia hosszútávon is számol az atomenergiával, 40-45% részaránnyal a hazai energiatermelésben.

Tíz évvel ezelőtt létrejött a Paks II Zrt. új atomerőművi beruházás levezénylésére. 2014-ben született a kormányközi megállapodás Magyarország és Oroszország között a két új atomerőművi blokk építéséről. A kiválasztott reaktortípus a VVER-1200 orosz fejlesztésű, továbbfejlesztett, nyomottvizes, vízhűtéses, vízmoderátoros 3+ generációs reaktor.



Biztonsági rendszerei, beszéljünk akár aktív, vagy passzív rendszerekről, korunk legmodernebb technológiáit alkalmazzák. Hermetikus tere két elkülönülő részből áll, külső és belső burokból, ezek egyéni védelmi funkciókat látnak el.

- A külső burkolat 1 méter vastag és elviseli akár egy személyszállító repülőgép becsapódását [12]. Ezen túlmenően a konténment rendszer képes ellenállni a földrengésnek és a robbanások következtében létrejövő nagynyomású lökéshullámoknak.
- A belső burok acél borítású, amit további acél elemekkel erősítettek meg. A megerősített rendszer nagymértékben nyomás és hőálló. A hermetikus téren belül a reaktorsérülések során kilépő gőz lekondenzálására befecskendező egység lett beépítve [13].



4. ábra Paks 2 atomerőmű működési séma

A felépítmény különlegessége, hogy a pihentető medence is a konténmenten belül található, ami a hűtővíz rendszer betáplálását is végzi. A kiegészítő üzemanyag átmeneti tárolójához tartozó 2000 köbméteres hűtővíz jelentős része alacsony és magasnyomású rendszereken keresztül pótvízként is felhasználható. A magasnyomású szivattyúk szivárgás esetén, az alacsony nyomású szivattyúk nagy átmérőjű csőtöréskor indulnak. Konténmenten belüli nyomás és hőmérsékletcsökkentésre a tartalék hűtővízrendszereket nitrogénnel helyezik nyomás alá.

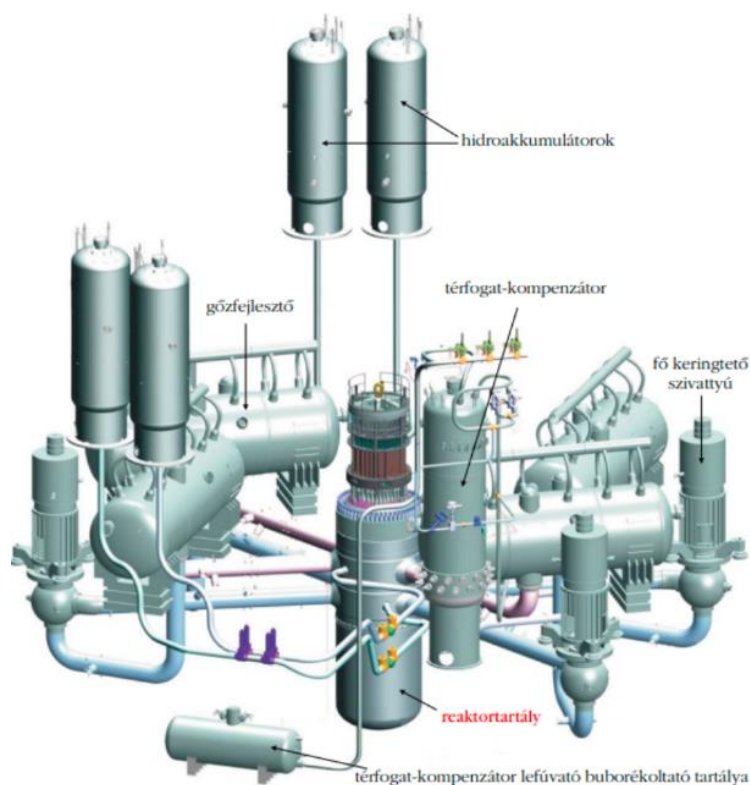


Rendelkezik zónaolvadék csapdával, amiben egy speciális anyaggal állítják meg a láncreakciót, az olvadéktároló saját hűtőrendszerrel rendelkezik.

A reaktor aktív és passzív biztonsági rendszerei a primerköri csővezeték törése esetén is 72 órás hűtést biztosítanak.

A hidrogénrobbanás megakadályozására hidrogén rekombinátorokat alkalmaznak a hermetikus térben, amivel a belső nyomás csökkenthető. A berendezéssel felgyorsítják a hidrogén-oxigén egyesülést, melynek eredményeként víz keletkezik. A reaktorban a 160 báros nyomáson tartott hűtővíz 328 Celsius fokos, amely moderátorként is funkcionál.

A reaktortartály különleges lengéscsillapítókra épített, 20 cm falvastagságú, négy kivezető csonkkal rendelkezik, melyek a gőzfejlesztőkhöz csatlakoznak. A reaktor aktív zónájában 163 üzemi kazettában darabonként 312 fűtőelem található 121 szabályozó rúddal [14].



5. ábra VVER 1200 primerkör felépítése (Aszódi – Boros 2015)

A VVER-1200 reaktornál a hűtés aktív és passzív rendszerek segítségével egyaránt megtörténhet, a passzív rendszer üzemeltetése nem igényel villamos betáplálást vagy emberi beavatkozást. A reaktor hőteljesítménye a Rosatom adatai alapján 3212 MW, a primerköri



hűtőközeg melegági hőmérséklete 328,9 °C. Szekunderkörü gőztermelése gőzfejlesztőnként 1602 tonna/óra, ez blokkonként eléri a 6408 tonnát óránként.

7. EPR EURÓPAI NYOMOTTVIZES REAKTOR

A Paks II atomerőművi beruházásban megvalósításra kerülő VVER-1200 reaktorblokkok reális alternatívájaként felmerülhet több evolúciós reaktortípus is, közülük a cikkben az, EPR francia fejlesztésű, továbbfejlesztett, nyomottvizes, vízhűtéses, vízmoderátoros 3+ generációs reaktort mutatom be, mely a VVER-1200-as reaktorhoz hasonlóan igen hosszú fejlesztési folyamat eredménye, melynek kezdetei az 1990-es évek elejéig vezetnek vissza. Diverzifikált, redundáns aktív és passzív biztonsági rendszereinek köszönhetően, kiemelkedően magas biztonsági és üzemeltetési színvonalat képvisel.

Fő tervezési kritériumként a súlyos balesetek bekövetkezésének drasztikus csökkentését határozták meg, valamint a balesetek során fellépő károsító hatásokat igyekeznek telephelyen belül tartani. Ennek érdekében a biztonsági rendszerek négyszeres redundanciával rendelkeznek. A főépület és azon belül a hermetikus tér kialakításának köszönhetően ellenáll a földrengéseknek és megőrzi védelmi funkcióit egy utasszállító repülőgép becsapódását követően is. Ehhez a reaktorépület, a kiegészítő üzemanyag tároló és a biztonsági épületek közül kettő megerősített kétrétegű vasbeton borítást kapott. A konténment rendszert hengeres kialakítású acél védőburkolattal látták el.

Konténmenten belüli nyomás és hőmérsékletcsökkentésre a tartalék hűtővízrendszer került kiépítésre, mely nagy mennyiségű bóros vizet tárol. Rendelkezik zónaolvadék csapdával, melyben egy speciális anyaggal blokkolják a láncreakciót, az olvadéktárolóhoz külön hűtőrendszer tartozik. A hidrogénrobbanás megakadályozására katalitikus hidrogén rekombinátorokat alkalmaznak. A reaktorban a 155 báros nyomáson tartott hűtővíz 328 Celsius fokos. A reaktortartály 25 cm falvastagságú. A reaktor hőteljesítménye, az Areva adatai alapján 4500 MW, a primerkörü hűtőközeg melegági hőmérséklete 327,2 °C. Szekunderkörü gőztermelése eléri a 9194 tonnát óránként [15].



6. ábra EPR épületrendszer

A reaktorépület az „atomsziget” közepén található, magába foglalja a primerkört és a főberendezéseket, mint a nukleáris gőzellátó rendszer (NSSS) a hermetikus téren belüli pótvíz rendszer (IRWST). Az üzemanyag tároló épület egyazon közös alaplapon található, mint a reaktorépület és a biztonsági épületek, itt kerül betárolásra a friss üzemanyag és attól természetesen elkülönítve az átmeneti kiegészítő üzemanyag tároló.

A négy biztonsági épületben található olyan biztonsági rendszerek, mint a reaktorsérülések során kilépő gőz kondenzálására kiépített befecskendező, vagy a biztonsági tápvíz rendszer és támogató rendszereik. A két diesel generátor épületben került elhelyezésre a négy biztonsági dízel generátor és kiegészítő berendezéseik. A segédépületben hűtő és szűrő és mintavételi rendszerek, valamint laboratóriumok kerültek elhelyezésre. A nukleáris hulladék tároló folyékony és szilárd anyag összegyűjtésére, tárolására és kezelésére szolgál. A turbinaépületben található a főkondenzátum rendszer és a tápvíz rendszer összes fő összetevője és természetesen a turbinák is [16].



8. NUKLEÁRIS REAKTOROK BIZTONSÁGA ÉS A HOZZÁ KAPCSOLÓDÓ KATASZTRÓFAVÉDELMI FELADATOK

Nukleáris reaktorok üzemeltetésénél legyen szó kutatási – oktatási célú vagy energiatermelő berendezésekről a biztonságot kell elsődleges szempontnak tekintenünk. Bármily nagy társadalmi és anyagi haszon mellett is létfontosságú a biztonság mindenkori megőrzése. Ezt jól szemlélteti a cikk előző fejezeteiben bemutatott 2. és 3+ generációs reaktorok biztonsági szempontokat messzemenően szem előtt tartó tervezése. A Paksi Atomerőműben több, mint 120 évnnyi reaktor üzemeltetési tapasztalatot gyűjtöttek a szakemberek, az új generációs reaktorok üzemeltetéséhez sok évnnyi nemzetközi tapasztalat áll rendelkezésünkre. Atomerőművek esetében a biztonság fő elemei olyan minden részletre kiterjedő, bonyolult intézkedések sora, amellyel kizárják, hogy az ionizáló sugárzás

- az emberi életet,
- az egészséget,
- az anyagi javakat és
- a természeti környezetet a nemzetközileg elfogadott mértéken túl veszélyeztethesse.

A legfontosabb biztonsági funkciókat mérnöki gátak sokasága biztosítja. Ilyen a környezet és a lakosság védelme, melyet egy baleset során szivárgásmentes gátakból álló rendszer szavatol.

- Az első gát a nukleáris üzemanyag burkolata, mely megakadályozza a maghasadás során létrejövő izotópok hűtővízbe jutását.
- A burkolat tömörségvesztése során a hűtőközegbe jutott sugárzást kibocsátó szennyeződés terjedését második gátként a primerköri hűtőkör berendezéseinek nyomásálló kivitelű fala gátolja.
- A harmadik mérnöki gátat a primerköri „főberendezéseket” befogadó hermetikus tér nyomásálló fala (és a lokalizációs rendszer alkotja).



- Ezen túlmenően aktív¹ és passzív² biztonsági rendszerek állnak az üzemeltető rendelkezésére, hogy meggátolja, hogy az ionizáló sugárzás a telephelyen többletsugárterhelést, vagy a szabadba jutva környezetszennyezést okozzon.

Az elvárható biztonsági követelmények mindenkor betartatásához a magyar állam az engedélyes felett mindenkor ellenőrzést gyakorol.

A cikk szempontjából kiemelném a katasztrófavédelmi feladatrendszert, mely többszintű és igen sokrétű. Magába foglalja a védekezés terén az országos, a megyei és a helyi szintet is.

- A Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatósága részt vesz az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszert (ONER) működtetésében, üzemelteti az Országos Sugárfigyelő, Jelző és Ellenőrző Rendszert, mely 159 telepített mérőállomásból, valamint mobil és helyhez kötött laboratóriumok rendszeréből épül fel, így szükség esetén biztosítható a sugárzási viszonyok helyszíni felderítése [17].
- A védelem beavatkozói szintjét³ a katasztrófavédelem hivatásos tűzoltósága és a katasztrófavédelmi feladatrendszer egyéb résztvevői, mint a Paksi Atomerőmű Létesítményi Tűzoltósága biztosítják, ők látják el a súlyos baleset kezeléssel kapcsolatos gyakorlati feladatokat, melyet a 2011-es fukushimai rendkívül súlyos atomerőművi balesetet követően határozott meg a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ).
- A súlyos baleset kezelés (SBK) egyik fő célja, a gőzfejlesztők, valamint szükség esetén a hermetikus tér és a lokalizációs rendszer alternatív víznyerő helyről való, külső hűtőközeg betáplálásának biztosítása tűzoltó technikai eszközökkel és személyzettel. Másik célja, a villamos betáplálás teljes kiesésének elkerüléséhez a SBK dízelgenerátorok betáplálási – csatlakozási helyszínekre történő vontatása a tűzoltóság kezelésében lévő Unimog vontató gépjárművel.
- A létesítményi tűzoltóság és a hivatásos tűzoltó állomány által végrehajtható súlyos baleset kezelési feladatok jelentik a védelem utolsó vonalát [18].

¹ villamos energiát igénylő

² villamos energiát nem igénylő

³ helyi szintjét



9. ÖSSZEGZÉS

A második világháborút követően az atomenergia békés célú felhasználása ugrásszerű fejlődést hozott mind a lakosság villamos energia ellátásában, mind az egészségügyi, mind az ipari felhasználás terén. Ahhoz, hogy a felhasználók ilyen széles skálán legyenek képesek a nukleáris láncreakciót és annak végtermékeit, hatásait alkalmazni nagyszámú eltérő típusú nukleáris reaktor működik a világban, mely több évtizedes fejlesztő munka eredménye.

A cikk első fejezetében ismertettem az atomreaktorok több szempontú besorolását, melyek közül a felhasználás módja szerintit emeltem ki. Ezek alapján energiatermelő, hasadóanyag termelő, kutató és oktatóreaktorokat, valamint nagy fluxusú, impulzus és kritikus rendszerek, vagy zero teljesítményű reaktorokat különböztetünk meg.

A Budapesti Kutatóreaktor az alap és alkalmazott kutatások számára nagyteljesítményű neutronforrásként szolgál, az egészségügy és az ipar számára radioaktív izotópokat állít elő, valamint szerkezeti anyag besugárzásokat végez.

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanreaktora elsősorban fizika és mérnökszakos hallgatók nukleáris téren való képzését szolgálja, de emellett kutatási projekteknek is otthont ad. Ezen két reaktor a nukleáris területen végzett hazai kutatási és oktatási munka fő mozgatója.

Ennél a két létesítménynél nagyságrendekkel nagyobb, mind méretében, mind hőteljesítményében a Paksi Atomerőműben található négy darab VVER-440/213-as reaktor. Céljük a magyar lakosság villamos ellátásának biztosítása. A hazai villamos energiatermelés több, mint 50%-át e nukleáris nagyberendezések szolgáltatják.

A kivitelezésre kerülő Paks 2 atomerőmű mind technológiája, mind biztonsági berendezései tekintetében korunk legmodernebb rendszeresített és üzemeltetési tapasztalatokkal rendelkező eljárásait alkalmazza. Amennyiben a Paks II atomerőművi beruházás változatlan műszaki tartalommal valósul meg, akkor a 3+ generációs VVER-1200-as reaktorokkal a Paks II atomerőmű, a Paksi Atomerőművel együttes üzemük során a hat atomerőművi blokk fedezi majd hazánk villamos energia felhasználásának, több mint hetven százalékát.



A nukleáris reaktorok biztonságos üzemeltetése sokrétű feladat, melyet az üzemeltetőn kívül több nemzetközi és hazai szervezet felügyel, mint a Nemzetközi Atomenergiai Ügynökség (NAÜ), Országos Atomenergia Hivatal (OAH) és a Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (BM OKF), hogy a hazai nukleáris K+F⁴ tevékenység és a nukleáris alapú energiatermelés hazánk fejlődését szolgálja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Sz.n. WNA: The Many Uses of Nuclear Technology

Forrás: <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/overview/the-many-uses-of-nuclear-technology.aspx>

(letöltés ideje: 2022.03.08.)

[2] Raymond L. Murray, Keith E. Holbert, Nuclear Energy (Eighth Edition), Butterworth-Heinemann, 2020, ISBN 9780128128817

Forrás: [http://depni.sinp.msu.ru/~hatta/spool/books/Nuclear%20Energy%20-%20R.Murray%20\(2000\).pdf](http://depni.sinp.msu.ru/~hatta/spool/books/Nuclear%20Energy%20-%20R.Murray%20(2000).pdf) (letöltés ideje: 2022.03.08.)

[3] Stephen M. G.: Robert R.: Nuclear reactors: generation to generation – American academy of arts and sciences, Cambridge, 2011. ISBN#: 0-87724-090-6

Forrás: <https://www.amacad.org/sites/default/files/academy/pdfs/nuclearReactors.pdf>

(letöltés ideje: 2022.06.29.)

[4] Belgya T., Gadó J., Gajdos F., Szentmiklósi L., Rosta L.), Vidovszky I., Czifrus Sz., Fehér S., Szalóki I., Szieberth M., Zsolnay É.: A Budapesti Kutatóreaktor és a BME Oktatóreaktor jövőjére vonatkozó elképzelések BNC, Budapest, 2016.

Forrás: https://www.bnc.hu/sites/default/files/Reaktorok_tanulmany_2016apr20.pdf

(letöltés ideje: 2022.03.12.)

⁴ Kutatás - fejlesztés



[5] Belgya T., Gadó J., Gajdos F., Szentmiklósi L., Rosta L.), Vidovszky I., Czifrus Sz., Fehér S., Szalóki I., Szieberth M., Zsolnay É.: A Budapesti Kutatóreaktor és a BME Oktatóreaktor jövőjére vonatkozó elképzelések BNC, Budapest, 2016.

Forrás: https://www.bnc.hu/sites/default/files/Reaktorok_tanulmany_2016apr20.pdf (letöltés ideje: 2022.03.12.)

[6] Sz. n. MVM Paksi Atomerőmű Zrt, Atomerőmű Tűzoltóság, ATOMIX Kft. Tűzoltási és Kárelhárítási Szakágazat Üzemzavar elhárítási ismeretek: at-me-6.2.2.-1-v2 Primerkörü ismeretek, Paks 2013.07.01.

[7] Atomerőmű Tűzoltóság, ATOMIX Kft. Tűzoltási és Kárelhárítási Szakágazat, Szakmai Ismeretek Oktatási anyag, ATOMIX at-me-6.2.2.-11-v2: Atomerőműves rendszerek, 2012.08.01

[8] Antal Z.; Kátai-U. L.; Vass Gy.: Atomerőmű generációk fejlődésének vonzatai. Hadmérnök, XIII. Évfolyam 3. szám (2018) 150-163. oldal

Forrás: http://www.hadmernok.hu/183_11_antal.pdf (letöltés ideje: 2022.03.12.)

[9] Dobor J.; Kossa Gy.; Pátzay Gy.: Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai I. Hadmérnök, XII. Évfolyam 1. szám – 2017. március 58-71. oldal

Forrás: http://www.hadmernok.hu/171_06_dobor.pdf (letöltés ideje: 2022.03.12.)

[10] Dobor J.; Kossa György; Pátzay György.: Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai II. Hadmérnök, XII. Évfolyam 4. szám – 2017. december 84-98. oldal

Forrás: www.mhht.eu/files/2018/juli/p%C3%A1tzay%20dobor.pdf

(letöltés ideje: 2022.04.09.)

[11] Pátzay György: Atomenergetika és nukleáris technológia, Typotex Budapest 2012. ISBN: 978-963-2794-68-6

Forrás: https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/60/02/dd/1/Atomenergetika_animaciok_n_elkul.pdf (letöltés ideje: 2022.03.12.)



[12] Hózer Z., Pázmándi T.: Új blokkok a paksi atomerőműben, Nukleon 2014. március VII. évf. 152. pp. 1-4.

Forrás: https://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_7_1_152_Hozer.pdf

(letöltés ideje: 2022.02.22.)

[13] Sz.n. Rosatom: The VVER today, evolution, design, safety

Forrás: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/0be/0be1220af25741375138ecd1afb18743.pdf> (letöltés ideje: 2022.04.12.)

[14] Aszódi Attila - Boros Ildikó: Új blokkok a paksi telephelyen, Fizikai Szemle 2015 / 11 pp. 377-382.

Forrás: http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1511/AszodiA_BorosI_2.pdf

(letöltés ideje: 2022.04.12.)

[15] Rüdiger L., Ludwig G., Andreas G. The European Pressurized Water Reactor: A Safe and Competitive Solution for Future Energy Needs; International Conference Nuclear Energy for New Europe 2004 Portorož, Slovenia

Forrás: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/086/37086871.pdf (letöltés ideje: 2022.03.28.)

[16] Sz.n. Framatome Anp: EPR, France 2005.

Forrás: <http://www.ftj.agh.edu.pl/~cetnar/epr/EPR-broszura.pdf>

(letöltés ideje: 2022.04.18.)

[17] Antal Zoltán – Révai Róbert – Bérczi László

Nukleáris baleset-elhárítás Magyarországon, különös tekintettel az egészségügyi hatásokra – I. rész, Műszaki Katonai Közlöny 29. évfolyam 3. szám 2019.

[18] MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Átfogó Veszélyhelyzet-kezelési és Intézkedési Terv Végrehajtási Utasítás, ÁVIT-VU79-v03, 2016.10.05.



ÁBRAJEGYZÉK

(1) 1. ábra Nukleáris reaktorok felhasználási mód szerinti csoportosítása

Forrás: készítette a szerző

(2) 1. kép MTA KFKI telephely kutatóreaktora

Forrás: https://www.aeki.kfki.hu/pict/UL/1187_hu_reactorhall.jpg

Forrás: https://www.aeki.kfki.hu/pict/UL/1199_hu_experimentalfacilities.jpg

(3) 2. kép Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanreaktora

Forrás: <http://www.reak.bme.hu/images/fooldal-navi/cube-reaktor.jpg>

Forrás: http://www.reak.bme.hu/images/article/oktatoreaktor/kiserleti_berendezesek/neutroncsapdak.jpg

(4) 2. ábra A paksi atomerőmű energiatermelő fő berendezései

Forrás: https://atomeromu.mvm.hu//media/PAZrtSite/Content/Tudastar/HogyanMukodik/Hogy_mukodik_2.jpg?la=huHU&hash=5942D32991640C92B754C5038973D881D62FB656

(5) 3. kép Urán - dioxid pasztilla

Forrás: <https://www.rosatom.ru/upload/medialibrary/1e3/1e305989757de2be18a3d7254e87d644.jpg>

(6) 3. ábra VVER-440/213 reaktortartály és a négyes blokki pihentető medence

Forrás: https://atomeromu.mvm.hu//media/PAZrtSite/Content/Tudastar/HogyanMukodik/Hogy_mukodik_4.jpg?la=huHU&hash=ECCC733DB9B9205C8B0FEF9A5D16DB0EDBBB889F

Forrás: [http://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/7D4D92EDEE7365B3C1257E88003470F2/\\$FILE/pihentetomedence.jpg](http://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/7D4D92EDEE7365B3C1257E88003470F2/$FILE/pihentetomedence.jpg)

(7) 4. kép I. kiépítés reaktorcsarnok



Forrás: https://atomeromu.mvm.hu//media/PAZrtSite/Content/Tudastar/HogyanMukodik/Hogy_mukodik_3.jpg?la=huHU&hash=983E0075A80CD586F7FBA C4F42138624B188ADA4

(8) 5. kép I. kiépítés turbinagépház

Forrás: https://atomeromu.mvm.hu//media/PAZrtSite/Content/Tudastar/HogyanMukodik/Hogy_mukodik_6.jpg?la=huHU&hash=E69317EC29677CFB436776 A402F1326D01A16633

(9) 4. ábra Paks 2 atomerőmű működési séma

Forrás: https://www.paks2.hu/documents/20124/62214/Er%C5%91m%C5%B1M%C5%B1k%C3%B6d%C3%A9si+s%C3%A9ma_3D_v02-12.jpg/8793078d-a77c-2d94-0a2c-cccfc906826c?t=1581532796996

(10) 5. ábra VVER 1200 primerkör felépítése

Forrás: http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1511/AszodiA_BorosI_2.pdf

(11) 6. ábra EPR épületrendszer

Forrás: http://www.epr-reactor.co.uk/ssmod/liblocal/images/28747_500px.gif

Az ábrákhoz felhasznált képanyag letöltésének ideje egységesen: 2022.04.02.

Barina Balázs József szerparancsnok

Paksi Atomerőmű Létesítményi Tűzoltóság

Katonai Műszaki Doktori Iskola doktorandusz

email: bbjkajak@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1390-2436