

XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Had- és Rendészettudományi Szekció
Budapest, 2013. április 16-18.
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

ATOMBIZTOS VAGY BIZTOS ATOM?

*Magyarország atomerőművének bemutatása különös tekintettel a biztonság alapjaira,
fenntartására valamint létére hivatott eszközök és rendszerek ismertetésével*

Jelige: *Atombiztos*

Dolgozat lezárásának időpontja: 2012.10.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS.....	2
1. BIZTONSÁGTECHNIKA FONTOSSÁGA NAPJAINKBAN.....	5
2. MAGYARORSZÁG ATOMERŐMŰVE.....	6
2.1 Elhelyezkedés	6
2.2 Építési folyamata	9
2.3. Az erőmű szíve – A reaktor	12
3. A PAKSI ATOMERŐMŰ BIZTONSÁGTECHNIKAI SZEMMEL	19
3.1. Potenciális veszélyforrások	19
3.2. Biztonsági zónák	24
3.3 Atomerőműünk biztonsága.....	32
3.3.1 Fizikai védelem	33
3.3.2. A reaktorépület biztonsága	35
3.3.3. Reaktor biztonsága	35
3.3.4. A Paksi Atomerőmű biztonságának állapota.....	37
3.4. A biztonság garanciái	38
4. NAPJAINK KÉRDÉSE: AZ ATOMERŐMŰVI HULLADÉK KEZELÉSE ÉS A BŐVÍTÉS?	41
4.1. A hulladék keletkezése	41
4.2. Hulladékkezelési lehetőségek.....	43
4.3. Bővítés	47
ÖSSZEFOGLALÁS	49
MELLÉKLETEK	51
Felhasznált irodalom	57

BEVEZETÉS

Napjainkban az emberek atomerőművekről formált véleménye szélsőségesen megoszlik. Legkritikusabb pontja ennek a biztonság kérdése. Mennyire lehet biztonságos egy ilyen jellegű építmény? Hogyan alakult a gondolkodásmód a nukleáris létesítményekről? Milyen biztonsági tényezők vannak jelen ebben a témakörben? Milyen biztonsági intézkedések szolgálják a pontos, üzemszerű működést? Összességében mennyire biztonságos egy atomerőmű "léte"?

Ezek és ezekhez hasonló kérdésekre kerestem a választ kutató munkám során. Témaválasztásom apropója nem volt más, mint hogy már gimnáziumban különösen nagy érdeklődést mutattam a fizika ezen ágának megismerése iránt. Ezt később "megkoronázta" egy az erőműben tett látogatás, majd az egyetemi tanulmányaim során ez az érdeklődés egyre csak kíváncsibban kutatta a "miérteket" és "hogyanokat". Dolgozatom megírásával, természetesen biztonságtechnikai szempontokra alapozva vizsgálódtam, kutattam. Ezen munka során lehetőségeimhez mértem megismerkedtem Magyarország atomerőművével, az atomerőművek biztonsági konstrukcióival és kritériumaival, az iparág veszélyforrásaival, a múlt nagyobb nukleáris katasztrófáival és azok okaival és későbbi tanulságaival, valamint olyan személyekkel, akik ebben a munkakörben dolgoznak és mindennapokban tapasztalják a biztonság mindenekelőtti fontosságát. Irodalomkutatót végeztem a Dél- Dunántúli Regionális Könyvtár és Tudásközpontban Pécsen, az Országos Széchenyi Könyvtárban Budapesten, a Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karának Egyetemi Könyvtárában, valamint a világhálón. Utóbbi felhasználásával olyan mozgóképes anyagokat sikerült megismernem, melyek mind oktató jellegükből, mind egyszerűen leíró, bemutató jellegükből fakadóan számos további ötlettel gazdagították munkámat.

Dolgozatom mottójának Dürrenmatt svájci származású író szavait választottam: „ A fizika tartalmi kérdése a fizikusok ügye. A fizika hatása: mindnyájunk ügye. Közös ügyeinket csak együttesen oldhatjuk meg.” Az emberek bizalmatlansága, félelme a nukleáris erőművekkel, energiaforrásokkal szemben sok mindenben gyökerezik. Ilyenek például az elmúlt évtized súlyos atomkatasztrófái (beleértve több atombomba által okozott szörnyű pusztítást is), vagy például a tudni vélt hibás információk ezzel a tematikával kapcsolatban. Napjaink helyzetében, mikor természeti erőforrásaink –földgáz, kőolaj, szén- fogyóban vannak, újból előtérbe kerül az ilyen jellegű erőművek szükségességének kérdése. A

társadalom megítélése, miszerint az atomerőművek nem biztonságosak, környezetszennyezők, valamint globálisan problémát jelentenek, egyre szélesebb körben és egyre "hangosabban gondolják" az emberek. Gondolhatunk itt negatív propagandára, tüntetésekre, stb. Ezzel az idézettel arra szeretnék rávilágítani témámmal kapcsolatban, hogy a nukleáris erőművek tervezése, működtetése magasan képzett mérnöki csapat feladata. A hozzáértők minden tekintetben tudásuk legjavát adják egy ilyen jellegű építmény bármely területén végzett munka során. Legyen szó kémiai, biológiai, fizikai illetve minden más egyéb szakterület képviselőiről. Az ő szaktudásuk – ebből kifolyólag munkájuk- együttesen kihatással van a mindennapok biztonságára. Az együttes megoldás alatt –én úgy vélem- kiemelt figyelemben kell részesíteni a nukleáris létesítmény és a társadalom közötti kommunikációt. A jó együttműködés lehet az alapja egy olyan társadalmi felfogás kialakításának, mely nem csupán a sajtóban megjelentekre alapozva formálja véleményét ebben a kérdéskörben, hanem a megismerést követően folyamatosan frissíti megszerzett ismereteit. Egy ilyen jól kialakított kapcsolat nem csupán a felfogáson változtathat, hanem úgymond népszerűsítve az iparágat, az akár új támogatókra lelhet. Magyarországon ez a kommunikáció már folyamatban van. Gondolok itt a paksi Látogató Központ, a paksi Atomenergetikai Múzeumra, ismeretterjesztő anyagokra, konferenciákra, előadásokra, oktató filmekre, sportrendezvényekre, nyílt hétvégékre, stb... Véleményem szerint ennek a kapcsolatnak a további fejlődése elősegítheti azt a folyamatot, mely az emberek gondolkodásmódját formálja a nukleáris energia iparról.

Az atomenergia kettős mivolta, miszerint használható borzalmas tömegpusztító eszközként, valamint használható békés célokra is – például villamos energia termelésre – okozza a legnagyobb problémát napjainkban. Ez az éles szembenállás osztja meg erősen a véleményeket a szükségességének kérdésében. Ami tény, hogy az eddigi eredményeket, eseményeket nem lehet semmissé tenni, megváltoztatni vagy meg nem történtté tenni. A fejlődésnek nem lehet gátat szabni. Világszerte folynak a kutatások, kísérletek nukleáris energiával kapcsolatban. Tiltakozás helyett, én úgy gondolom, hogy a kitűzött cél a lakosság megfelelő tájékozottságának elérése lehetne. Ezzel a már fent említett, közös ügy megvalósítása érdekében. A szakértők körében pedig úgy gondolom, hogy a fejlesztések irányának a békés, energiatermelésre fókuszált nukleáris kutatásokat kellene előtérbe helyezni. Természetesen ez nem ilyen egyszerű. Rengeteg befolyásoló tényezője van ezeknek a dolgoknak.

Már a dolgozatom elején szeretném rögzíteni, hogy véleményem szerint a műszaki tudomány mai fejlettségi szintjén, több befolyásoló tényező mellett (alkalmazott technológia, kivitelezés, anyagi tőke, biztonsági kultúra...) az atomerőművek üzemeltetése biztonságosnak mondható.

1. BIZTONSÁGTECHNIKA FONTOSSÁGA NAPJAINKBAN

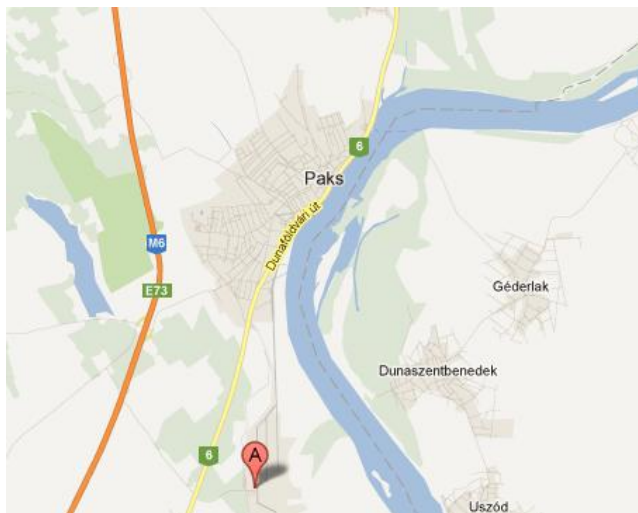
Napjainkban a biztonság kérdése kiemelkedően fontos, legyen szó az élet bármely területéről. A biztonság legtöbb esetben kézzel fogható, számokkal pontosan kifejezhető. Lényegi megközelítéséhez először azokat a tényezőket kell figyelembe venni, felsorakozatni, melyek veszélyeztetik azt. Így ezzel körvonalazódik az adott helyzetnek megfelelően a kívánt biztonság megvalósításának feltételei, eszközei és annak fenntartásának lehetőségei. A biztonság technikai biztosítása precíz mérnöki feladat. Jelen korunkban a technológiai fejlettség olyan szinten áll, hogy a rendelkezésre álló eszközök száma igen magas. Gondolhatunk itt a számos riasztóberendezéstől kezdve, a megfigyelő rendszereken át, a fizikai védelem megvalósulásának technikáig rengeteg dologra. Ezek a szerkezetek és rendszerek mind azt a specifikus biztonságot szolgálják, amit az adott helyszín, helyzet megkíván. A biztonságtechnika kifejezetten arra specializálódott mérnöki szakág, mely a tervezés folyamatától kezdve a kivitelezés legapróbb részletéig a biztonságot hivatott szolgálni. Dolgozatom középpontjában a nukleáris erőművek biztonsága áll, mely globális érdek. Magyarország atomerőművének biztonsága ezen felül közös érdekünk. Vizsgálatomat ennek a bemutatásával folytatom.

2. MAGYARORSZÁG ATOMERŐMŰVE

Magyarországon a 20. század egyik legnagyobb beruházása a Paks településtől 3 kilométerre elhelyezkedő telephelyű atomerőmű építése volt. Hazánk atomerőműve a villamos energia termelésének több mint 40%-át adja. (2009-ben ez az érték 42% volt.) A Paksi Atomerőmű Magyarországon jelenleg a legalacsonyabb értékesítési áron termelő üzeme. (A villamos energia átlagos fogyasztói ára 42 Ft/kWh.) A többi erőműtől eltérően nem járul hozzá a CO₂ kibocsátás általi üvegházhatás növeléséhez. Ez a tényező meghatározó lehet a jövőbeli energia termelés szempontjából. A következőkben megismerkedünk a területi elhelyezkedésével, építésének fontosabb állomásaival, valamint a reaktorral.

2.1 Elhelyezkedés

Hazánk egyetlen atomerőműve az ország középső részén a Mezőföld délkeleti sarkában, a Duna jobb partján, Tolna megyében, Paks településtől 6 kilométerre, délre található.



1. sz. ábra: Paksi Atomerőmű („A” jelölés)

Forrás: <https://maps.google.hu/maps?hl=hu&q=Paks+Nuclear+Power+Plant&ie=UTF-8>

Letöltés ideje: 2012-09-25 22:10



2. sz. ábra: Műholdas felvétel

<https://maps.google.hu/maps?hl=hu&q=Paks+Nuclear+Power+Plant&ie=UTF-8>

Letöltés ideje: 2012-09-25 22:45

Telephely jellemzői:

- ⇒ A terület árvíz és belvíz szempontjából a lehető legnagyobb mértékben biztosított. (Az elmúlt 100 évben az árvízszint 1 méterrel alacsonyabb volt, mint a telephely szintmagassága.)
- ⇒ A Duna átlagos vízhozama 2200-2500 m³/sec. (legkedvezőtlenebb esetben is 750-800 m³ /sec.) Hűtési célokra a másodpercenként kiemelt 100 m³ a minimális hozam esetében is csupán 15-20%-os.
- ⇒ A telephely környezete egyenletes, síkvidék jelleggel bír. Mezőföld tulajdonságaiból adódóan (homokos, kavicsos talaj) a feltöltési és alapozási munkák könnyen elvégezhetők.
- ⇒ A meteorológiai helyzetét tekintve kedvező viszonyok uralkodnak a területen. Az évi átlaghőmérséklet 13 °C, az évi átlagos csapadékmennyiség pedig 650 mm. Az uralkodó szélirány északnyugati, így Paks városa az erőmű szélárnyékában helyezkedik el.

- ⇒ Az erőmű 30 kilométeres körzetében az átlagos népsűrűség számszerűen kevesebb az országos mutatónál. Városokat tekintve a távolságok: Paks 6 km, Kalocsa 12 km, a megyeszékhely Szekszárd 28 km.
- ⇒ Az erőmű elhelyezkedéséből kifolyólag a déli országrész villamos energia ellátása kedvezőbb, valamint az egész ország villamos teljesítmény elosztása is előnyösebb kondíciók között működik.
- ⇒ Ugyancsak az elhelyezkedésből kifolyólag, az erőmű gazdaságosan csatlakoztatható a villamos távvezeték hálózathoz.
- ⇒ Vízpart lévén a vízi szállítás előnyei az építkezés során is megmutatkoztak, mind építőanyag, mind nagyobb szerkezeti egységek szállítása szempontjából.
- ⇒ A telephely kialakítása lehetővé tette – Magyarországon egyedülálló módon- egy olyan rendszer kialakítását, mely lehetővé teszi a vasúti szállítás és a vízi szállítás közvetlen összekapcsolását.
- ⇒ A telephely minden tekintetben alkalmas egy későbbi kapacitás bővítésére, mind a terület, mind a Duna adottságai megfelelőek erre a célra.
- ⇒ A telephely a megye különböző területeire (mezőgazdaság, ipar, oktatás) kedvező hatással van.

A biztonság a telephely kiválasztásának egyik fontos összetevője, illetve a telephely kialakítása befolyással van az egész felépítendő rendszer kifogástalan működésére. A biztonság tervezésénél figyelembe kell venni a telephely potenciális veszélyeit, melyek a későbbi működésre nézve terhet, negatív hatást, valamint hátráltató tényezőt jelenthetnek. Tervezéskor ezek kiküszöbölése az elsődleges cél. A magyarországi telephely kiválasztása során az erre a feladatra kijelölt szakcsoport minden lehetséges tényezőt figyelembe véve döntött a Paks közelében fekvő terület kiválasztása mellett. Vizsgálták a talajminőséget, talajvízszintet mind a reaktorépület tömegének mérete miatt (kb. 5-10.000 tonna), mind egy esetleges belvíz lehetőségének okából. Továbbá vizsgálták még a terület meteorológiai viszonyait, a természet adta vízmennyiség bőségét valamint a későbbi bővítés lehetőségeit. Meteorológia szempontból a kiválasztott térség klímája megfelelőnek bizonyult. A

vízmennyiség tekintetében a Duna bőséges forrása az atomerőműnek. A terület kialakítását tekintően pedig egy lehetséges későbbi bővítésre alkalmas besorolást nyert.

A reaktorok üzeme során keletkezett radioaktív sugárzás és a radioaktív hulladékok jelenléte (azaz a nukleáris biztonság) erősen meghatározza a telephely belső kialakítását, elrendezését valamint működtető technológiáját. Az épületek és az úthálózatok kialakítása szigorú szabályokat figyelembe véve éri el végleges formáját. Közlekedés szempontjából a minimalizálás az elsődleges. Azaz a lehető legrövidebb úton, a legrövidebb idő alatt történjen például a sugárzó anyag szállítása. Az épületegyüttesek elhelyezkedése egymáshoz szorosan történik, természetesen figyelembe véve az erre vonatkozó szabályokat. (Például építészeti, technológiai és egyéb szabályozás.) Azon épületeket, melyek közvetlen technológiai összeköttetésben vannak, azokat úgynevezett "technológia folyosók" kötik össze. A területen továbbá biztonsági okok miatt külön útvonalakon történik a szennyezett illetve tiszta anyagok szállítása.

2.2 Építési folyamata

1967. február 16-án került véglegesen kiválasztásra a paksi telephely. Az építkezés 1969-ben indult meg. (Képeket ld. 1. sz. melléklet.) Az építkezésen kezdetben 472 fő dolgozott. 1970 januárjában egy leállítási határozat rendelkezett a továbbiakról. A munka közel 3 évig szünetelt. A szóban forgó kormányhatározat előírta, hogy a megkezdett munkákat fejezzék be, valamint a részegységek állagmegóvásáról gondoskodjanak.

1973. év második felében indult újra az munka. Az építkezés hatalmas méreteinek bemutatására, a teljesség igénye nélkül, a következő főbb építési anyagok tervezett beszerzései számokban a következők: 1.000.000 tonna homok, 250.000 tonna cement és zútottkő, 225.000 tonna zúzalék, 124.000 tonna vasbetonelem, 100.000 tonna betonacél. Az építkezés ezekben az években hatalmas próbát jelentett a kivitelező cégeknek. Ez a hatalmas beruházás nem csupán a költségvetés szemszögéből nézve volt gigantikus, hanem a rendelkezésre álló (illetve nem álló) szerkezetek mozgósítását tekintve is. Továbbá mivel Magyarországon ezelőtt még nem épült ilyen jellegű létesítmény, így új –erre a kérdéskörre vonatkozó- jogszabályok születése is szükségessé vált. Az első ilyen jogszabály a 10/1964. (V.7.) volt. Ebben fogalmazódott meg többek között az országos Atomenergia Bizottság megszervezésének feladata. Az országnak gondoskodni kellett a megfelelő mennyiségű és képzettségű munkaerőről, hogy a kötelezettség, azaz a kivitelezés, minden tekintetben

gördülékenyen haladjon. A munkások részére a beruházó vállalat szállást és étkezést biztosított. Az igazi munka akkor kezdődhetett, amikor beszerelésre került a nagyteljesítményű betonkeverőtelep. Ennek az egységnek –minden tartozékával együtt- napi 1000 m³ beton készítése volt a feladata. 1974 áprilisában az északi bekötőút teljes egészében, valamint a telephelyi földmunkák 77%-osan elkészültek. Továbbá műszaki átadásra került az 500 adagos konyha és étterem, a kazánház, fűtési csatorna, vízellátás és a szennyvíz csatorna ellátás. Az atomerőmű építésének tényleges kezdetét a főépület betonozása jelentette. Ez a folyamat 1975 közepén indult meg. (Az alap 6,8 méteres mélységben került lerakásra.)

1975. október 3-án került sor az ünnepélyes alapkövetételre. Az alapítólevél (ld. 1. sz. melléklet) megfogalmazása szerint az erőmű 1980-ra már áramot fog termelni. Azonban összetett és bonyolult okok miatt, ez nem valósult meg. 1975-ben elkészült az alapozás nagy része, valamint megkezdődött a függőleges falszerkezet betonacél szerelése. A főépület gépházi egységénél a cölöp alap is ebben az évben nyerte el végleges formáját, valamint a gépház számottevő részén vasbeton lemez került már a cölöpalapra. 1976-ban lassan körvonalazódtak a lehetséges problémák, melyek lassíthatják a kivitelezést. Ilyenek voltak például az árajánlatok késése, tervek időbeni elmaradása, szállítási határidők kitolása...

1976. január 1-jén létrehozták a Paksi Atomerőmű Vállalatot, így a szükséges háttér immáron adott volt a létesítéshez szükséges szerv. A Paksi Atomerőmű Vállalat elsőszámú feladata így az üzembe helyezés lett. Az Erőmű Beruházási Vállalattal karöltve megkötésre került az erre vonatkozó szerződés 1979. október 8-án. 1967-ben került kiadásra az a tervezet miszerint az első párhuzamos kapcsolások időpontjai reaktoronként (1,2,3,4 blokkra vonatkoztatva) a következők: 1980, 1981, 1983, 1984 mindegyik december 1. A későbbiekben láthatjuk, hogy a megvalósult eredmények mást mutatnak.

Az erőmű vizsgálata 1976-ban duális vonalon valósult meg. Egyik ágon a helyszíni kivitelezés folyt, másikon pedig a szállítással kapcsolatos tárgyalások folytak. Ezen év viszonylatában elmondható, hogy a telephelyen elkészült 22 kilométernek megfelelő közműhálózat, a felvonulási és indító kazánteleg első és második részegysége, higiénias épületek (beleértve az öltözőket is), raktárak, szennyvíztisztító egység, vasúti összeköttetés. A 6 kilométerre fekvő Paks viszonylatában elmondható, hogy megépült 530 lakás, a lakótelepen étterem, orvosi rendelő, autóbusz állomás, valamint a település elnyerte a város rangot. 1979. január 20-án az eredetileg kitűzött időpontokhoz viszonyítva három éves késésben volt az építkezés, beszerzés folyamata. Azonban ebben az évben a helyszíni kivitelezések

felgyorsultak, mivel az erre irányuló intézkedések elérték hatásukat, így szervezettebben folyt a munka. Ebben a munkában átlagosan nyolcezer fő munkálkodott. Ettől függetlenül csúszott az átadás időpontja. A technológia beszerelés 1979-ben kezdődött. Az első üzemanyag töltet szállítmány 1980-ban érkezett Magyarországra. 1980. második felében alkalmazott változtatások segítségével a munkát sikerült ismét felgyorsítani, így az építőipari feladatok ellátása is kedvezőbb feltételek mellett folytatódhatott. A szóban forgó év végére az 1. blokk strukturális munkálatai lényegében elkészültek. (Megemlítendő, hogy anyagihiány miatt a befejező apró munkálatok még hagytak kivetnivalót maguk után.) Az első primerkörü nyomáspróbát 1981. december 23-án végezték. A második blokkot illetően ez év decemberében beemelték a reaktortartályt a rendeltetési helyére.

Míg az első számú blokk beszerelése gyakorlatilag 1982-ben befejeződött, addig a többi blokk állapota még korántsem volt üzemkész. Az első blokk tekintetében azonban megkezdődött a fizikai indítás periódusa, majd 1982. december 28-án a párhuzamos kapcsolása is megtörtént. Ezt követte két évvel később a második számú blokk párhuzamos kapcsolása 1984. szeptember 6-án. Ez év novemberében került beemelésre a negyedik blokk reaktortartálya is. Ami az első kettő blokk működését illeti, a tervezett adatokhoz képest, nagyobb hatásfokkal sikerült üzemelniük. (Még a környező országokban lévő hasonló típusú reaktorokhoz képest is észlelhető volt az eredmény.) Ennek miéértje abban keresendő, hogy a hazánkban alkalmazott minőségellenőrzések, komoly felkészültséggel rendelkező szakemberek, illetve a különböző országok tapasztalatai kerültek alkalmazásra, hasznosításra. A harmadik blokk primerkörü nyomáspróbája 1985 decemberében, a negyedik blokké pedig 1987 áprilisában fejeződött be. 1986. szeptember 28-án a hármas blokk fizikai indítása és párhuzamos kapcsolása is megtörtént. Összegezve a párhuzamos kapcsolások időpontjait, azokat összehasonlítottam a tervezett időpontokkal. (Ld. 1. sz. táblázat)

1. sz. táblázat A párhuzamos kapcsolások időpontjai

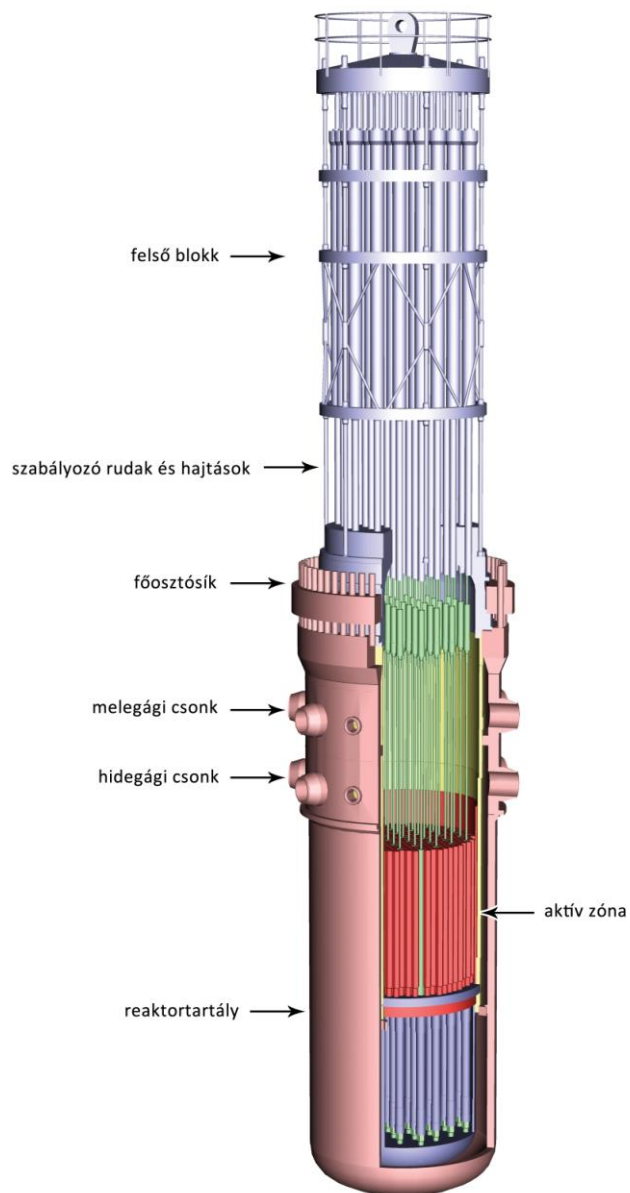
	Tervezett	Valós
1. blokk	1980. december 1.	1982. december 28.
2. blokk	1981. december 1.	1984. szeptember 6.
3. blokk	1983. december 1.	1986. szeptember 28.
4. blokk	1984. december 1.	1987. augusztus 16.

Forrás: Saját készítésű táblázat

Összességében az utolsó párhuzamos kapcsolás megvalósításával, létrejött az 1760 MW-os atomerőmű, mely a Paksi Atomerőmű nevet kapta. Ezzel megkezdte működését a Paksi Atomerőmű Vállalt is. Magyarország viszonylatában kifejezetten jelentős változások következtek be a villamos energiatermelés vonatkozásában.

2.3. Az erőmű szíve – A reaktor

A Paksi Atomerőműben négy darab VVER-440-es jelzésű reaktor üzemel. Gyártmányát tekintően V-213-as. Megépülésének körülményeit tekintve ez a típus elsőként hazánkban került megépítésre a volt Szovjetunió területén. A régióban azóta már több ilyen épült. Például Dukovany (Csehország), Kola (Oroszország), Mochovce (Szlovákia). Ez a reaktortípus a nyomottvizes reaktorok csoportjába sorolandó. A 440-es szám arra utal, hogy a tervezés fázisában az ilyen típusú reaktorok villamos teljesítményének előirányzata 440 MW volt. Idővel ez megnövekedett, köszönhetően a különböző technikai fejlesztéseknek. (A növekedés mértéke körülbelül 25%. Így mind a négy blokkon megközelítőleg 500 MW-ra nőtt ez az érték.) A reaktorok hatásfoka körülbelül 34%.



3.sz. ábra A VVER 440/213 reaktor

Forrás: http://atomeromu.hu/download/1121/vver-440_213reaktor.jpg

Letöltés ideje: 2012.09.30. 12:30

A VVER-440/213 reaktor jellemzői:

- 1180 mm hosszú
- 350 mm belső átmérőjű
- Elliptikus fenék kialakítású

- 140-200 mm falvastagságú
- Energetikai reaktor
- Üzemanyaga urán dioxid, melyet hengeres alakú pasztillákká préselnek. (Ezeket egy burkolatba helyezik, majd feltöltik hélium gázzal és hermetikusan lezárják azt. Immáron a fűtőelem pálcát kötegekbe fogják és így kerül a rendeltetési helyére.)
- Containment¹ helyett, itt egy kondenzációs nyomáscsökkentő rendszerrel felszerelt hermetikus épület került megépítésre. (Lokalizációs torony)
- Összteljesítményüket tekintve ez az érték 1375 MW
- Két körös rendszer. Ezek megnevezve az erősen radioaktív primer kör (reaktor, gőzfejlesztő, főkeringető szivattyú, térfogat kiegyenlítő), illetve a nem radioaktív szekunder kör (gőzfejlesztő, telített gőzös turbina, generátor, kondenzátor, kondenzátum szivattyú, kisnyomású előmelegítők, gáztalanító-táptartály, nagynyomású előmelegítő, tápszivattyú, szeparátor)
- Nyomottvizes típusú (A reaktor hűtővize könnyűvíz, mely olyan állandó nyomás alatt van, hogy forráspontja megemelkedett.)
- Tartály típusú (Az üzemanyag kazettákat egy nyomás szempontjából különösen jól kiképzett tartály közepében körkörösén helyezik el. Rendkívül nagy és összetett igénybevételt kell elviselnie. Tömegét tekintve 215 tonna, anyaga gyengén ötvözött szénacél. A befoglaló szerkezet méretei 11800 mm vastag, 4270 mm átmérőjű.)
- Vízrel moderált (Apró magfizikai betekintéssel: a maghasadás során létrejövő 2-3 nagy energiával rendelkező úgynevezett gyorsneutront le kell lassítani. Ennek célja, hogy ezek immáron kis energiájú, termikus neutronokká alakuljanak. Ezen folyamatot valósítja meg a lassító közeg, mely jelen esetben víz.)
- Vízhűtésű (A moderátorral azonos primerkörü víz. Nyomása 122,6 Bar. Magas hőmérséklete 295 °C a kilépés pillanatában. A hűtőközeg áramlása 12 darab 500 mm átmérőjű csonton történik.)
- Heterogén termikus reaktor (A ²³⁵U izotóp kizárólag a környező hűtőközeg hőmérsékletével egyensúlyi állapotban lévő neutronok hatására hasad.)
- Hatásfoka 34%

¹ Olyan külső fizikai védelmi vonal, amely elzárja a reaktort és a berendezéseit környezettől.

A reaktor részei:

⇒ Reaktortartály

Elsődleges feladata az aktív zóna és a hűtővíz elszigetelése a környezettől. Teljes magassága 13,75 m. Külső átmérője 3,84 m. Falvastagsága az aktív zóna vonalában 14 cm. Belső kialakítását tekintve, a korrózió ellen olyan rozsdamentes acél bevonatot kapott, mely képes ellenállni az odabent fellépő hatásoknak. A hűtőközeg ki- és bevezetésére 6-6 csomagtető lett kiképezve rajta. Minőségi kérdésben kifogástalannak kell lennie, mivel üzemidő alatt javítása nem kivitelezhető a sugárzási térben. Ebből kifolyólag a gyártását szigorú szabályok mellett, magas technológiai színvonalon valósul meg. Esetében nem beszélünk megengedett hiba határról. Ez a szerkezet kifejezetten hosszú. Ennek oka az üzemanyag kazetták, valamint a szabályzórudak mozgatásának helyigénye. A tartály továbbá rögzíti a belső szerkezeti egységeit is. Üzemidejét tekintve 30 év, majd élettartamának megfelelő évig kell biztosítani a leállítást követően a biztonságos tárolást is.



4. sz. ábra: A reaktortartály

Forrás: http://kitekinto.hu/global/2009/05/10/mibl_van_a_magyar_atom/

Letöltés ideje: 2010.09.24. 11:15

⇒ Akna

Hengeres alakú szerkezeti elem, melynek feladata a belső szerkezeti elemek és az aktív zóna hordása, valamint a hideg és meleg hűtővíz áram szeparálása.

Falvastagsága megközelítőleg 36 mm, tömege 46 tonna. A reaktortartályba történő felfüggesztést követően helyzetét úgynevezett illesztő tüskékkel stabilizálják.



5. sz. ábra: Az akna

Dr. Csurgai József fényképe (Külön engedéllyel)

⇒ Aknafék

A hidraulikus ellenállás segítségével fékezi a szabályzó és biztonságvédelmi kötegeket. Belsejében 37 darab fékező cső helyezkedik el háromszög alakzatban. Továbbá az aknafék - vagy más néven fékezőcsőblokk - biztosítja a hűtővíz áram egyenletes elosztását. Aknához való csatlakoztatására egy perem szolgál, azon kapaszkodik.

⇒ Kosár

Más néven zónatartó kosár feladata az aktív zóna tartása és az üzemanyag kazetták helyzetének pontos stabilizálása. Szerkezetét tekintve egy alaplemez köré hegesztett palástlemez. Kialakítása megfelelő a szabályzó rudak áthaladására.

⇒ Aktív zóna

A reaktor azon részét képezi, melyben a különböző módon szabályozott nukleáris láncreakció megvalósul. Ebből következik a nagy mennyiségű hőenergia felszabadulása. A zóna 312 db hatszögletű üzemanyag kötegből valamint 37 db szabályzó és biztonságvédelmi kazettából áll. Az ebben a zónában keletkező hő elszállítása a 6 db hűtőkör feladata.

⇒ Fűtőelem kazetták

A kazetták alkotórészeit képezik a fűtőelemek (126 db), központi cső, távtartó rácsok, hatszögletű köteg cső, és a csatlakozó alkatrészek. Kiemelendő a központi cső, mely a fűtőelemeket rögzíti, valamint belső méréseknél elvégzésénél alkalmazzák.



5.sz ábra: Fűtőelem kazetta makett

Forrás: www.atomeromu.hu/aktivzona.pdf

Letöltés ideje: 2012.09.20. 14:00

⇒ Fűtőelem

Az aktív zóna azon legkisebb része, mely energiatermelésre alkalmas. Részei az üzemanyag és burkolat. 82 db úgynevezett fűtőtablettát tartalmaz. (Ennek súlya 42 tonna.) Ezek anyaga kis mennyiségben jelen lévő ^{235}U -nal dúsított urán-dioxid egység. A burkolat legfőbb feladata, hogy ellenálljon a magas hőmérsékletnek (és ingadozásának), sugárzásnak, különböző nyomásnak, korróziónak, mechanikai igénybevételeknek. Azaz összefoglalva, azoknak a hatásoknak, melyek kedvezőtlenül hatnak főfeladatára, avagy a sugárzó anyag hűtőkörbe jutásának megakadályozására.



6. sz. ábra: Fűtőelemek

Forrás: www.atomeromu.hu/aktivzona.pdf

Letöltés ideje: 2012. 09.20. 15:00

⇒ Szabályzó és biztonságvédelmi rudak

Olyan speciális kialakítású szerkezetek, melyek szabályozzák a reaktor teljesítményét, valamint üzemzavar fennállásakor képesek a láncreakciót biztonságosan leállítani. Anyagukat tekintve bóracél, valamint a fűtőelem kötegekkel azonos méretben kerülnek kialakításra.

⇒ Védőcsőblokk

Rozsdamentes acélból készült, a tartály azon felső elem, mely a fűtőelem kötegeket helyükhöz szorítja. Ezen felül védi a szabályzórudakat. Továbbá a belső mérések szerkezeti egységeit rögzíti.

⇒ Felső blokk

Ez a rész a reaktortartály lezárásáról, a szabályzórudak hajtásainak tartásáról, valamint a mérések hermetikus elvégzéséről gondoskodik.

3. A PAKSI ATOMERŐMŰ BIZTONSÁGTECHNIKAI SZEMMEL

Dolgozatom megírása, és ehhez kapcsolódó kutatómunkám a magyarországi atomerőmű biztonságára fókuszált. Mint leendő biztonságtechnikai mérnök, igyekeztem minden olyan információt begyűjteni, mely az egész biztonságára kihatással lehet. Legyen szó akár külső tényezőkről, vagy az erőművön belüli szerkezeti egységek működésének biztonságáról. Ebben a fejezetben a lehetséges veszélyek mellett, az alkalmazott technológia bemutatására kerül sor, műszaki szemmel.

3.1. Potenciális veszélyforrások

A biztonsággal kapcsolatos teendők kidolgozásával, és a technika feltételek kialakításával kapcsolatosan mindig szem előtt kell tartani az úgynevezett potenciális veszélyforrásokat. Ezeknek az elemeknek az ismerete szükséges egy jól működő, harmonizált egység kialakításához, mely jelen esetben egy atomerőmű. Így vizsgálatomat erre fókuszálom. A nukleáris létesítmények esetében létezik egy olyan elemző módszer, nevezetesen a valószínűségi biztonsági elemzés, mely arra hivatott, hogy kikalkulálja például egy erőművi baleset bekövetkezésének valószínűségét. Számos tényező figyelembevételével készülnek ilyen elemzések, azonban a biztonság rendkívül összetett jellegéből fakadóan, ezeket a számításokat és azok eredményeit kisebb fajta fenntartásokkal kell kezelni. A bizalmatlanság oka a jelenlévő, nem szabályozható emberi tényező. Ennek kifejtése a későbbiekben olvasható.

Milyen jellegű veszélyekről beszélhetünk egy nukleáris építmény esetében? Ezeket a tényezőket én három csoportba soroltam: természeti, technológiai és emberi. Természetesen létezik sokféle csoportosítás, azonban véleményem szerint a lehetséges kockázatokat így módon érdemes besorolni. (A bekövetkezett nukleáris balesetek besorolása úgynevezett INES skála alapján történik. Ezt ld. 2. sz. melléklet.)

⇒ Természeti tényezők

Ebbe a kategóriában helyezkednek el azok a naturális összetevők, melyek bekövetkezését nem tudjuk befolyásolni. Azaz a természeti elemeket – csapadékok, szél, napsugárzás,

földmozgás- nem tudjuk kikerülni. Azonban az ilyen esetekben a lehetséges bekövetkezésükre fel kell készülni, fel kell készíteni a telephely minden egységét. A tényezőket sorba véve meg kell oldani a megfelelő csapadék elvezetését az épületeknek, szélsőséges hőteherre méretezni kell az épületek fedő szerkezeteit, magasabb egységeket a szél igénybevételével kell tervezni, indokolt helyeken az árnyékolást megfelelően kell kialakítani, illetve földrengés szempontjából biztosnak kell lennie az egész telephelynek. A nukleáris építmények telephelyének egyik kritériuma a földrengés biztonság. Az alábbi táblázatban az elmúlt évek nagyobb atomerőművi balesetei kerültek felsorolásra, melyeket földmozgás és annak következményei idéztek elő.

2.sz. táblázat Földrengések által érintett atomerőművek

1999 és 2005	Blayais atomerőmű
2005	Onagawa
2007	Shika és Kashiwazaki-Kariwa atomerőművek
2009	Hamaoka
2011	Fukushima-Daiichi

Forrás: Saját készítésű táblázat

A földrengés, mint rendkívül ritka természeti tényezőt nem csupán a rezgés jellegű hatása miatt sorolják a tervezésben a veszélyességi kritériumok közé, hanem az azt követő lehetséges eseménysorozatok miatt is. Például tűz keletkezése, robbanások, épületrészek összeomlása, elárasztások, stb... Egy ilyen jellegű esemény, mivel nem csupán egy részegységet, hanem magát az egész telephelyet érinti, kifejezetten veszélyes kategóriába sorolják. Biztonsági szempontból –ilyen eshetőség miatt többek között- egyes rendszereket oly módon választják el térben, hogy azok akár a telephely különböző pontjain kerülnek megvalósításra. A Paksi Atomerőmű vonatkozásában a telephely és építményei földrengésbiztosak. Ezek megvalósulását a következő képek szemléltetik.



7. sz. ábra: A viszkózus lengéscsillapítók a gőzfejlesztők alatt

Forrás: [www.atomeromu.hu/download/6182/A paksi atomeromu földrengésbiztonsága.pdf](http://www.atomeromu.hu/download/6182/A_paksi_atomeromu_foldrengesbiztonsaga.pdf)

Letöltés ideje: 2012-09-30 11:00



8. sz. ábra: Hosszirányú megerősítések a reaktorcsarnokban

Forrás:

[www.atomeromu.hu/download/6182/A paksi atomeromu földrengésbiztonsága.pdf](http://www.atomeromu.hu/download/6182/A_paksi_atomeromu_foldrengesbiztonsaga.pdf)

Letöltés ideje: 2012-09-30 11:00



9. sz. ábra: A hídszerkezet a lokalizációs tornyok között a reaktorcsarnok szerkezetének megerősítésére

Forrás: <http://static8.origos.hu/i/1111/20111129-energia-paksi-atomeromu.jpg>

Letöltés ideje: 2012-10-10 15:20

⇒ Technológiai tényezők

Ide sorolandó minden olyan berendezés, mely kialakításából fakadón meghibásodhat. Murphy szavaival élve: „Ami elromolhat, az el is romlik.” Ez az idézet kellőképpen rámutat a besorolás eme típusának veszélyeire. Lehetőségek felsorolása helyett (előregedés, rossz minőség...), itt inkább azt szeretném kiemelni, hogy megfelelő ellenőrzés és karbantartás mellett a technológia eredetű meghibásodások száma visszaszorítható, ezzel is növelve a biztonságot. Az atomerőművek tekintetében a technológiai problémák közül kiemelendők csőtöréses üzemzavarok. Ilyenkor a teljes biztonságvédelmi rendszer feladata a láncreakció azonnali leállítása.

⇒ Emberi tényező

A potenciális veszélyforrások témakörében talán ez a pont a legkritikusabb. Ennek vizsgálatára ezt a pontot két részegységre osztom.

Egyik a szándékos emberi beavatkozás, másik pedig a nem szándékos emberi beavatkozás. Előbbiről szólva, ide tartozik minden olyan szándékos emberi behatásra történő üzemzavart legkisebb mértékben zavaró tényező, mely szánt szándékkal kerül elkövetésre. Ilyen lehet például egy terrorista támadás. Ez lehet szárazföldi, légi valamint a telephely adottságaiból fakadóan vízi területen történő. A légi fenyegetettség olyan tényező, melynek biztosítása már nem a Paksi Atomerőmű ZRt. hatáskörébe tartozik. Jelenleg ezt a Magyar Honvédség látja el. A légtérbiztosítás szerepe kiemelkedően fontos védelmi vonala az erőműnek, hiszen egy ilyen jellegű támadással szemben a containment hiányában, a rombolás hatalmas méreteket ölthet és számos következményt vonna maga után. Másik ilyen emberi

tényező, melynél a szándékosság jelen van, ez a szabotázs. Ezen tényező kiküszöbölése nagyon komplikált és nehéz. Összetettségéből kifolyólag, például munkavégzés szempontjából a külső munkavállalók munkavégzése során az átvilágítás hiánya is ilyen összetevő lehet.

A nem szándékos emberi tényező meghatározása már bonyolultabb. Lényegében még a technológiai tényező befolyásolója is az ember. Gondolok itt például arra, hogy az eszközök tervezése, kivitelezése és ellenőrzése is emberi feladat. Mivel az atomerőművek esetében a hiba és hibázás esélye abszolút megengedhetetlen, így a biztonság érdekében szükséges az alkalmazottak megfelelő képzettsége, tájékozottsága és nyitottsága a témában. Ennek irányába való törekvés, az úgynevezett biztonsági kultúra kialakítása. Definíció szerint: „A biztonsági kultúra azon szervezeti- és egyéni jellemzők, valamint magatartásformák összessége, amelyek a nukleáris biztonságot, mint minden egyéb előtt elsőbbséget élvező tényezőt, a fontosságának megfelelő hangsúllyal kezelik.”² Összettségében tehát egy jól működő egységhez a technológia meglétén kívül szüksége van egy olyan dolgozói felfogásra, mely a biztonságot mindennek elé helyezi.

A lehetséges veszélyforrások meghatározásánál figyelembe kell venni azokat a tényezőket, melyek már a nukleáris balesetek történelmében sajnálatos módon megmutakoztak. Ilyen volt az emberi nem szándékos kategóriájú tényező, természeti tényező, vagy bármilyen jellegű technológiai tényezők. (Ezek összefoglalását ld. 3. sz. táblázat.)

² http://atomeromu.hu/download/187/Biztonsagi_kultura_definicioja.pdf 2012-09-21 9:30

3. sz. táblázat Atomerőművi balesetek

Helyszín	Időpont	Probléma
Chalk River	1952	Reaktor túlterhelődése
Windscale	1957-58	Tűz a reaktorban
Three Mile Island	1979	Reaktormag megolvadt
Alabama	1977	Hűtővíz csökkenés, ill. elfolyás
Belgium	1978	Reaktorbaleset
Pennsylvania	1979	Reaktormag megolvadt
Orleans	1980	Nukleáris anyag szivárgás
Buenos Aires	1983	Reaktorrobbanás
Japán	1985	Meghibásodás
Csernobil	1986	Reaktorrobbanás

Forrás: Saját készítésű táblázat

(A táblázatban észrevehető, hogy nincs feltüntetve a Fukushima Daichii erőműben történt baleset. A természeti tényező (földrengés) már feldolgozásra került biztonsági szempontból a 3.1 fejezet keretében.)

A biztonság olyan komplex tényező, melynek minden területen szükségeltetik a szem előtt tartása. Nem csupán közvetlenül az erőmű területén szükséges ennek a megnyilvánulása, hanem az adott ország egész területén. Ennek megvalósítását törvények szabályozzák. A baleset bekövetkezése esetén az összehangolt együttműködés szükséges, ennek jogszabályi háttere többek között a 167/2010. (V. 11.) Korm. rendelet az országos nukleárisbaleset-elhárítási rendszerről.

3.2. Biztonsági zónák

A reaktor működése közben keletkezett radioaktív sugárzás a központi meghatározója a telephely kerítésen belüli elrendezésének. Kiemelkedően fontos része ennek a főépület, azaz a reaktorépület. A kibocsátott sugárzás megakadályozására biztonsági zónák kerültek megállapításra és kialakításra. Lényege, hogy az ott dolgozó személyzetet káros sugárzás ne érje, valamint a sugárzásnak kitett helyeken csak meghatározott ideig, és ott is csak a megfelelő védőöltözetben tartózkodjon. Azonban a zónák vizsgálata előtt vessünk egy pillantást a szóban forgó sugárzás meglétére.

Milyen eszközök segítségével mérik a sugárzást az erőműben? Hogyan ellenőrzik az ott dolgozók napi sugárdózis szintjét? Minden alkalmazott, aki a primer vagy szekunder körben dolgozik a munkakezdekor egy személyes dozimétert vesz magához. Ez egy olyan szerkezet, mely méri a sugárzás nagyságát, illetve naplózza a sugárzásváltozást. Ennek segítségével nyomon követhető és ellenőrizhető az adott illető szervezetét terhelő sugármennyiség. „A sugárveszélyes munkahelyek munkavállalóit az engedélyes, sugárterhelésük ellenőrzése szempontjából két osztályba sorolja. Az „A” osztályba sorolt munkavállalók azok, akiknél fennáll a lehetősége annak, hogy az évi effektív dózisuk meghaladhatja a 6 mSv^3 értéket, vagy a szervdózis korlátok bármelyikének $3/10$ részét. „B” osztályba kell sorolni minden egyéb munkavállalót.”⁴ Ez a besorolás van életben a magyarországi atomerőmű esetében is. Fontos megjegyezni, hogy a munkavállaló köteles a doziméterét viselni, majd viselést követően olyan helyen tárolni, hogy a természetes háttérsugárzáson kívül egyéb sugárzás ne érje. Paks vonatkozásában a dolgozók sugárterhelésének mérése MGP típusú DCM 2000S doziméterekkel történik.



10. sz. ábra: Elektronikus doziméterek a tárolórekeszekben

Forrás: <http://atomeromu.hu/galeria-fototar-videotar/index/offset/2>

Letöltés ideje: 2012.10.04. 19:00

A munkavállalók doziméter felvétele a belépőkártyákhoz van rendelve. Viselését tekintően a dolgozóknak elektronikus és film dózismérő van rendszeresítve. (Látogatók és

³ A sievert az embert ért sugárzás mértékegysége. Elnevezését Rolf Sievert svéd fizikusról kapta.

⁴ <http://www2.u-szeged.hu/biztonsag/htm/sugar.pdf> 2012-09-23 20:25

szervizesek számára csak elektronikus doziméter viselése a kötelező.) A erőműben jelenlévő sugárzásból kifolyólag további sajátosság a primer és szekunder körben zajló sugárkapus ellenőrzés.



11.sz. ábra: Sugárkapus ellenőrzés

Forrás: <http://aktiv.origo.hu/i/1205/20120524-paks-atomeromu-sugarkapu-ahol-a1.jpg>

Letöltés ideje: 2012-10-10 15:15

Ez lényegében azt takarja, hogy egyes épületen belüli részegységek között olyan speciális kapu került telepítésre, mely méri az illető sugárterhelését, és csak abban az esetben nyílik ki és enged szabad utat, ha a megengedett érték alatti eredményt mutat. Ezzel minden be- illetve kilépéskor az adott illető sugárterhelése ellenőrzésre kerül. A sugárzás kijutásának megelőzésére az erőműben a dolgozóknak speciális munkaruházat viselése kötelező. Ennek tisztítása is a telephelyen történik. A ruházatot a 12. számú ábrán megfigyelhető jellegzetes kezeslábas overál, illetve a munkavédelmi cipő és sisak alkotja.



12. sz. ábra: Munkaruházat

Saját készítésű kép

Egy sugárveszélyes helyen dolgozók esetén az évi megengedett sugármennyiség 20 mSv. A sugárzással kapcsolatos ismeretek elsajátítása minden dolgozó számára kötelező, legyen szó bármilyen körben végzett munkáról. Ennek megvalósítása egy időszakonként ismétlődő oktatás, majd vizsga keretében valósul meg. Érdekességképpen megemlítendő, hogy egyéb hétköznapi dolgok huzamosabb ideig való használata milyen mennyiségeket mutat a szóban forgó témában.

4. sz. táblázat Többlet sugárterhelések

1 évig élni 80 km-re egy normálisan működő atomreaktortól	0,00009 mSv
1 db banán elfogyasztása	0,0001 mSv
1 évig élni 80 km-re egy széntüzelésű erőműtől	0,0003 mSv
Egy kéziröntgen felvétel	0,001 mSv
Képcsöves monitor használata 1 éven át	0,001 mSv
Egy napi külső forrásból eredő természetes sugárterhelés	0,001 mSv
Egy napi természetes eredetű sugárterhelés Magyarországon	0,008 mSv
Egy mellkas-átvilágítás	0,02 mSv
Egy tengerentúli repülőút	0,05 mSv
Egy mammográfiás felvétel	3 mSv

Egy évi természetes eredetű sugárterhelés Magyarországon	2,4 mSv
Egy mellkasi tomográf (CT) felvétel	5,8 mSv
Az évi dóziskorlát a sugárveszélyes helyen dolgozók esetén	20 mSv
A legkisebb dózis, amely már egyértelműen növeli a rákbetegség kockázatát	100 mSV
A baleseti mentésben résztvevők számára megengedett legnagyobb dózis	250 mSv
A legkisebb dózis, amely már közvetlen egészségügyi hatásokat okozhat	400 mSv

Forrás: http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=web_gyik_reszletek&gyik_id=22

Letöltés ideje: 2012-09-23 22:10

Így ha jobban megvizsgáljuk a táblázatot, akkor láthatjuk, hogy a mindennapi életben előforduló eszközök, betegségből fakadó vizsgálatok vagy akár egy banán elfogyasztása is sugárzással jár. A nukleáris jellegű építmények dolgozóinak kiemelt figyelmet kell szentelniük a szervezetüket ért sugárdózist illetően. A létesítmény tervezésekor is a legfőbb szempont ez. Gondolhatunk itt a reaktor szigorú minőségellenőrzésére, szabályozására rendelt eszközök működésére. Összességében minden tervezési és kivitelezési munka a sugárzás tényére alapozva kerül megvalósításra. Ennek a miértje nagyon egyszerű, mégpedig az, hogy a magfizikai folyamatok az embert szolgálják (többek között villamos energia termelés) és ne a rettegés tárgyát képezzék.

A továbbiakban vizsgáljuk meg immáron a telephely biztonsági zónáit.

⇒ I. zóna

Ebben a zónában a sugárzás rendkívül magas értéke miatt a tartózkodás normál üzemállapotban a kezelőszemélyzet számára tilos. Az itt elvégzendő munkák megvalósítása távvezérlésű technológiával történik. A speciálisan erre a munkára rendelt szerkezetek tervezésében (a vizsgálati időszak a magyarországi erőmű építésének időszaka) komoly szerepet kapott a különböző elektronikai alkatrészek működésének megváltozása sugárzó környezetben. (Csak betekintésképpen az ellenállások közül a sugárzásra kifejezetten érzékenyek a szénszálak kivitelűek. A legelőnyösebb ilyen területen a fémhuzalból készült precíziós ellenállások. A kondenzátorok tekintetében a sugártűrésük kifejezetten anyagfüggő. Például az üveg- és vitrozporcelán-kondenzátorok kapacitása maximum 2%-kal változik. A kémiai kondenzátorok körében ez a romlás már 10 és 25% körül mozog.) Ebben a szektorban a működés leállítását követően bizonyos karbantartási, ellenőrzési munkák elvégezhetők, azonban ezek is csak meghatározott ideig

és körülmények között. Ilyen besorolást nyert részegységei az erőműnek a reaktor és segédüzeme, a kiégett kazetták tárolója, radioaktív hulladéktárolók. Ezek mind olyan szinten magas sugárzási értékkel rendelkeznek, hogy a besorolás mindenképpen indokolt volt az emberi szervezetre gyakorolt negatív hatásának elkerülése végett.

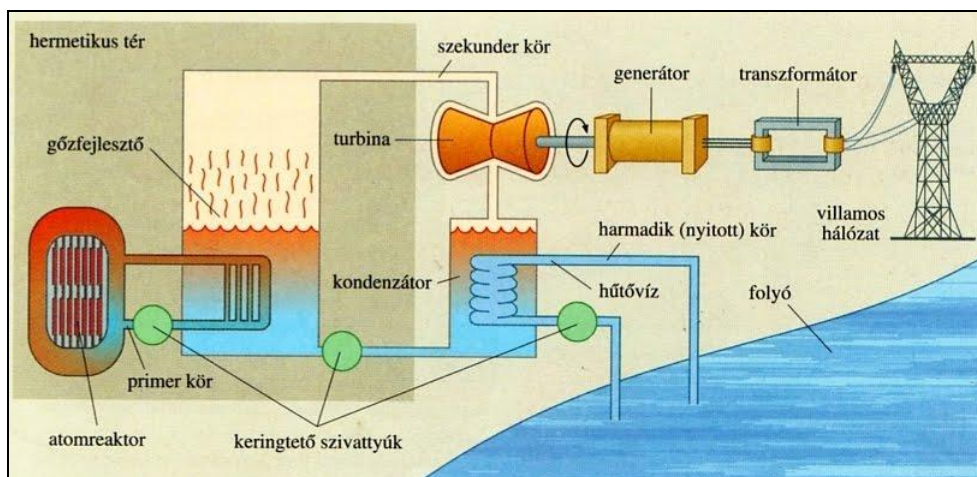
⇒ II. zóna

Ebben a szekcióban az emberi munka bizonyos feltételek mellett megengedett. Ilyen szabályozó például az elvégzett munka jellege, időtartama, valamint a sugárzás mennyisége a szervezetre. Ilyen területen a munkavégzés - esetenként - védőöltözetben történik, mivel a fennálló sugárzás állandó jelleggel hatással van a dolgozóra. Ebben a zónában már kötelező a dózismérés egyénenként. Ezekben a zónákban már felszerelésre kerültek a dózismérő kapuk. Névlegesen az ide tartozó berendezéseket, és működési egységeket, ilyen például a primer kör berendezéseinek számos része, laboratóriumok, műhelyek, fűtőelem tárolók.

⇒ III. zóna

Ebbe a besorolásba kerültek azok a területi egységek, épületek, szerkezetek, melyek nincsenek kitéve közvetlen sugárzásnak. Továbbá az ilyen jellegű sugárzással való szennyezés veszélye nem valószínűsíthető. Annak ellenére, hogy a sugárzás nincs jelen ezekben az egységekben, még nem vonja maga után a biztonsági rendszabályok lazábban való értelmezését. Ezeken a területeken is fokozott ellenőrzés zajlik az ott dolgozók biztonságának érdekében. Ebbe a zónába soroljuk a szekunder kört, irodaépületeket valamint a kapcsolódó szociális intézményeket.

A 13. sz. ábra szemlélteti az erőmű egy blokkjának elvi felépítését valamint a kapcsolódó építményeket is. Ezen továbbá megfigyelhetők az imént felsorolásra és megismerésre került zónák egységeinek egy része is.



13. sz. ábra: Atomerőmű elvi vázlata

Forrás:

http://1.bp.blogspot.com/_7FJraZfsWcg/TBt7D0DALvI/AAAAAAAAACw/IApVNPvbwrU/s400/Atom.jpg

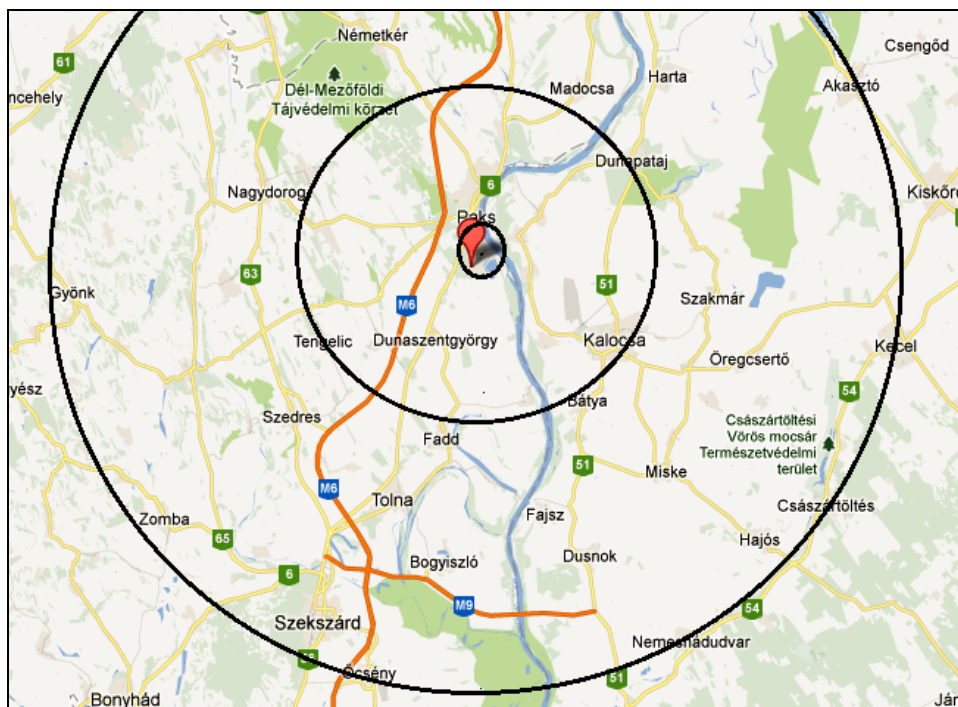
Letöltés ideje. 2012.10.17. 21:00

Érdemes még megemlíteni, amennyiben már a zónákba sorolásról esett szó, a létező további besorolást is. Így felosztásra került a főépületen kívüli terület is. Így belülről kifelé haladva lettek meghatározva úgynevezett biztonsági zónák. Ezek betájolásának szükségességét egy esetleges baleset és következményeinek időbeli lefolyása és nagyságának mértéke tette indokolttá. Gondolhatunk itt egy üzemzavari vagy egy komolyabb baleset utáni teendőkre. Rengeteg további tényező figyelembevételével kerültek megállapításra a következő zónák:

1. Egészségügyi védőzóna. Az erőmű 3 kilométeres körzete. Ezen a területen nem történhet lakóépület illetve egyéb ipari jellegű építmények telepítése. A Paksi Atomerőmű vonatkozásában, ebben a zónában telepített fenyőerdő illetve a bevezető utak találhatók. Ezen terület felett továbbá repülési tilalom van életben 2300 méterig. Ezzel az intézkedéssel úgymond megelőzve egy esetleges légi katasztrófából adódó a normál üzemszerű működést a legkisebb mértékben zavaró tényezőket. Ennek a zónának a szélén helyezkedik el az M6-os autópálya egy szakasza is.
2. Közvetlenül veszélyeztetett terület. Az erőmű 9 kilométeres körzete. Nukleáris baleset során ez a zóna a legjobban veszélyeztetett. Ebben a területegységben helyezkedik el Paks és Kalocsa. Lakosságukat tekintve Paks megközelítőleg 20000 főt, Kalocsa pedig 18000 főt számlál. Mindkét városban mintavevő állomások üzemelnek a kibocsátás- és környezetellenőrzésre.

3. Közvetetten veszélyeztetett terület. Az erőmű 30 kilométeres körzete. Kifejezetten súlyos nukleáris baleset esetén az ebben a körben élő népesség fokozott veszélyben van. Ebben a térségben helyezkedik el Tolna megye megyeszékhelye Szekszárd 30000 fő lakossággal.

A zónák szemléltetése a következő képen látható, melyet a Google Térkép valamint képszerkesztő program segítségével készítettem:



14. sz. ábra: Biztonsági zónák (Saját készítésű ábra)

Összességében elmondható hogy a zónákba sorolás, területi felosztás mind biztonság védelmi tényező. Legyen szó akár a környező települések besorolásáról, vagy a reaktor különböző munkafázisait kivitelező szerkezetek kategorizálásáról adott szempont szerint. Hangsúlyozandó, kiemelten fontos tényező a sugárzás és annak hatásai. Minden védelmi zóna kialakításának a célja a normál üzemszerű működés fenntartása során a dolgozók, lakosság illetve a környezet megóvása.

3.3 Atomerőművünk biztonsága

Az atomerőművek, és az általuk képviselt nukleáris energiaforrás kulcsszava a biztonság.⁵ Az atomerőművekkel szemben támasztott követelmények kimondják, hogy annak védettnek kell lennie mind természeti, mind emberi befolyásból származó nem kívánt meghibásodással szemben. Az üzemi személyzet és lakosság vonatkozásában biztosítottak kell lennie a sugárvédelemnek. Szempont továbbá a környezet védelme a radioaktív anyagokkal szemben. Széleskörű, minden apró részletre kitérő megfigyelés szükséges minden esetben az üzemszerű működés és a megelőzés érdekében. A megfelelő biztonság kialakításához szükséges a különböző rendszerek megfelelő üzemeltetése, lehetséges veszélyforrások és azok hatásainak ismerete, valamint a bekövetkezés esetén alkalmazott technológia birtoklása. A biztonság megítélése ilyen erőművek esetében történhet például az alkalmazott rendszerek és technológiai eszközök alkalmazásának idejétől és helyétől függően. Például hármas csoport alkotható: a normál üzemszerű működés során alkalmazott, üzemzavar esetén alkalmazott, valamint sugárzás kijutásának veszélye esetében alkalmazott technológia alapján. Azonban a biztonság ebben a témakörben nehezen meghatározható dolog. Azonban ami biztos, hogy mind a tervezés mind a kivitelezés és üzemeltetés folyamán a központi tényező a biztonság.

A biztonsági tervezés folyamata során olyan speciális biztonságtechnikai eszközök számbavétele szükséges, melyek üzemzavari, balesetkezelési, valamint következménycsökkentő hatással bírnak. Ezek lehetnek kézzel fogható eszközök, valamint speciális biztonsági kultúra kialakításával foganatosítható tevékenységek. Eszközök alatt értjük például azokat a szerkezeteket, melyek az alapvető funkciókat (reaktivitás ellenőrzése, hűtés, radioaktív közegek visszatartása) tartják fenn. Ilyen biztonsági funkciót betöltő eszközök például a biztonsági mobilis dízelgenerátor, hidrogén rekombinátor⁶, reaktor tartály külső hűtése. Az alapvető biztonsági funkciókat többféleképpen valósíthatjuk meg. Történhet például "rászámolással", mely azt jelenti, hogy a megvalósító rendszerek többszöröse áll rendelkezésre. Gondolhatunk itt olyanra, hogy a szükséglet ellátására elegendő lenne egy generátor is, azonban ebből három darab áll a rendelkezésre. Történhet továbbá olyan megoldással is, hogy az azonos funkciót betöltő rendszereket egymástól eltérő gyártmányú, kivitelezésű és működési elvű szerkezeti elemekből építjük fel. Ez azért előnyös, mert azonos

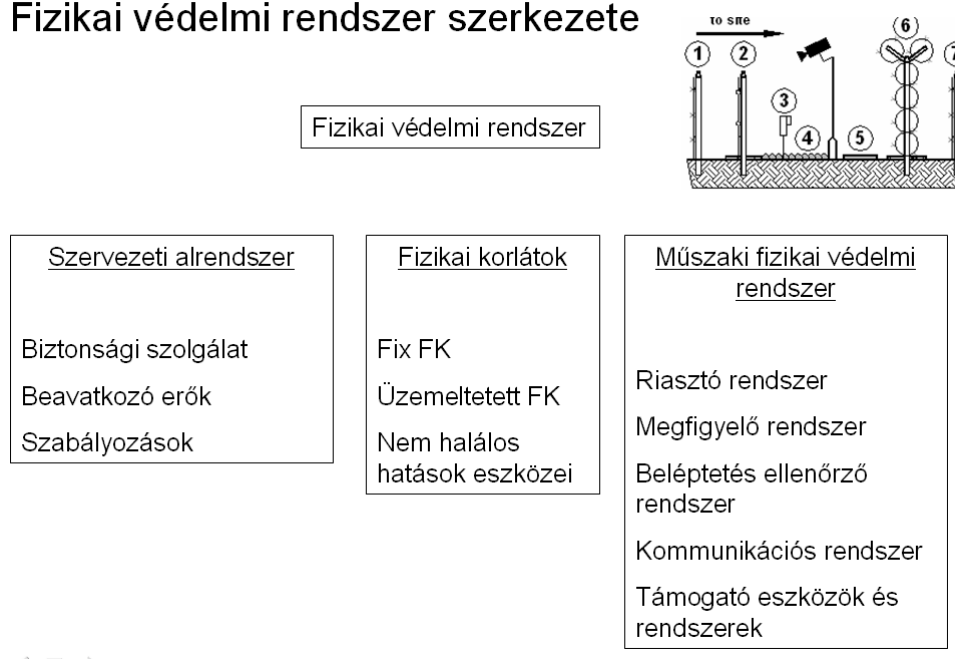
⁵ Az ide vonatkozó jogszabály a 1997. évi I. törvény A nukleáris biztonságról.

⁶ A hidrogén koncentrációjának csökkentésére szolgáló berendezés.

tulajdonsággal rendelkező szerkezetek meghibásodási valószínűsége is azonos. Így amennyiben valamelyik meghibásodna, akkor a többi még fenn tudja tartani az üzemszerű működést. Harmadik eshetőség a biztonsági funkciók megvalósítására, hogy a működtető rendszereket térben elszeparáljuk egymástól. Megvalósítható ez méterekben értett távolságra, különálló épületekre, valamint a telephely külön szegmenseire vonatkoztatva is. Ennek a kivitelezésnek az előnye, hogy például tüzeset vagy egyéb meghibásodás esetén a működés továbbra is gördülékenyen fenntartható legyen.

3.3.1 Fizikai védelem

Fizikai védelmi rendszer szerkezete



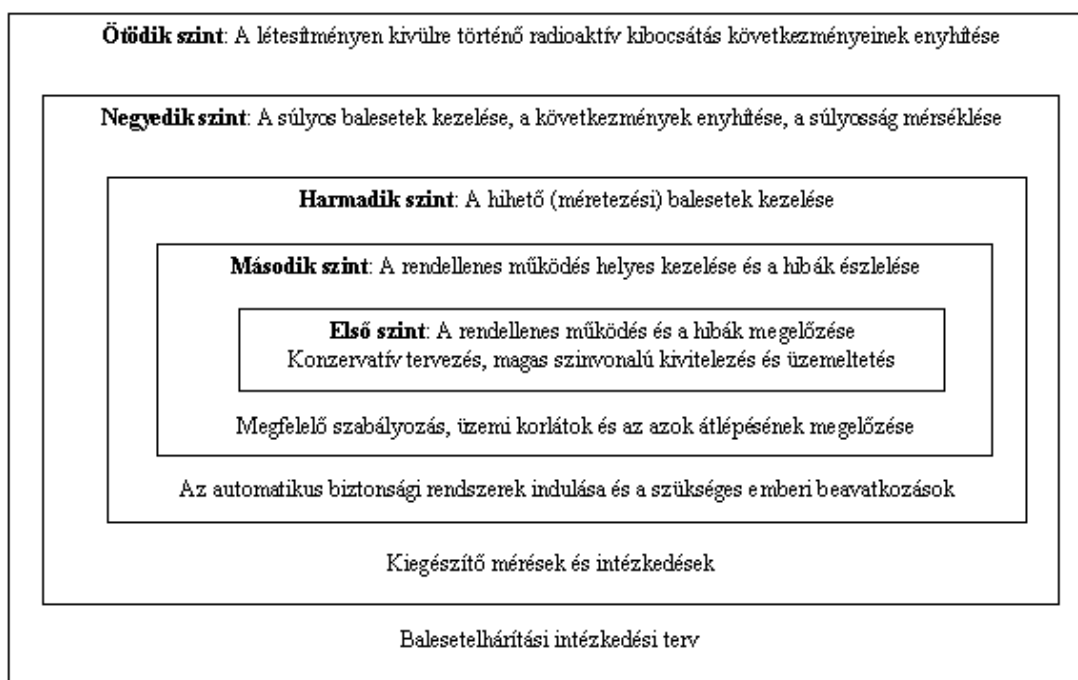
15. sz. ábra: Fizikai védelmi rendszer szerkezete

Forrás: Dr. Csurgai József, Gödöllői Egyetem, Környezetmérnök szak, Sugárzástan 5. előadás

A fizikai védelmi rendszer egy fontos összetevője összességében az atomerőművek biztonságának. A biztonság állapotának fenntartásához szükséges részegységeket 3 csoportra bonthatjuk. Az egyik ilyen a szervezeti alrendszer. Ide sorolhatjuk a biztonsági szolgálat erőit, a probléma esetén a reagáló erőket, valamint az ide vonatkozó szabályozásokat. A fizikai korlátok, vagy fizikai gátak a radioaktív anyagok környezetbe való kijutásának megakadályozása, a fűtőelem burkolatának kialakítása, a reaktor és primerköri csővezeték hálózat, a hermetikus containment. A főbb biztonsági funkciók, miszerint a láncreakció szabályozása, a termelt energia megfelelő elszállítása, valamint a radioaktív anyagok kijutásának megakadályozása különböző gátakra alapozva kerül kivitelezésre. Ezen gátak

elsődleges feladat, hogy a következő szinten lévő gátat óvják, azaz egymásra épülnek. Ezek működése normál üzemszerű működés, valamint üzemzavari vagy baleseti körülmények között is helyt kell hogy álljanak. A műszaki fizikai védelmi rendszer kategóriája pedig kifejezetten a fizika biztonság megvalósítását szolgáló szerkezetek, eszközök.

A fizikai védelem alapelvei közül kiemelve az egyik az általános műszaki alapelvekre vonatkozó rész, mely a megbízhatóság, működési képesség fenntartása, az elemek összeegyeztethetősége valamint a szabványosítást emeli ki. Külön magyarázat nélkül, úgy gondolom, hogy ezek megléte alapvető. Másik kiemelendő a mélységben tagolt védelem, vagy más néven a mélységi védelemre vonatkozó része. „A mélységi védelem konkrét technikai megoldásokból áll, az összes biztonsági rendszert magába foglalja. Vizsgálja a feltételezhető balesetek okait és azok bekövetkezését próbálja megakadályozni.”⁷ Kialakítását tekintve 5 szintre tagolt. (Ld. 16. sz. ábra)



16. sz. ábra: A mélységi védelem szintjei

Forrás: www.reak.bme.hu Letöltés ideje: 2012.09.27. 15:00

⁷ Kiss Sándor, *Atomerőművek biztonsága tantárgy, előadás, 2010.09.07.*

3.3.2. A reaktorépület biztonsága

Az atomerőművekben a főépület tekinthető egyfajta középpontnak. Ebben az épületben helyezkedik el a reaktor - ahogy azt már megismertük a leírtakból - az erőmű szíve. Tervezési és kivitelezési szempontból is a legmeghatározóbb ebben az egységben a sugárzás jelenléte. Ezáltal különböző biztonságtechnikai megfontolások alapján kerülnek megállapításra a fizikai kivitelezés szabályai. A főépület szerkezetét tekintve acél, vagy vasbeton vázzal épül. Nagy kiterjedéséből fakadóan a távolságok áthidalása és az épület lefedése rácsos acélszerkezetekkel, vagy vasbetonhéjjal történik. Biztonsági okokból a nyílászárók helye és száma korlátozva van. Méretüket tekintve minimalizálás elve él, azonban egyes szerkezetek esetleges mozgatásának megvalósítására, a falszerkezetek helyenként eltávolíthatók. A reaktort körülvevő biztonsági terület kialakításában kritikus pont a falakban szükséges áttörések megfelelő sugárvédelme, árnyékolása. Ezek megvalósítása speciális betonnal történik.

3.3.3. Reaktor biztonsága

„Alapvetően az atomreaktorok akkor mondhatók biztonságosnak, ha minden körülmények között a láncreakció leállítható, a reaktor lehűthető és a hűtés folyamatosan biztosítható, valamint a radioaktív közegek semmilyen körülmények között nem kerülnek ki a környezetbe.”⁸ A biztonság reaktorhoz kapcsolható három alappillére a láncreakció kézbe tartása, a megfelelő mennyiségű vízkészlet megléte, valamint a sugárzás kibocsátásának megakadályozása. Amennyiben ezek mind adottak, akkor elmondható, hogy az adott atomerőmű biztonságosan üzemel. A folyamatos biztonság érdekében időszakos felülvizsgálatok és elemzések szükségesek.

1. A láncreakció felügyelete az egyik legfontosabb momentuma a biztonságnak. Mit értünk láncreakció alatt? „Láncreakció alatt olyan reakciósorozatot értünk, amelyben az egymást követő reakciók egymáshoz kapcsolódnak, a sorban később következő reakciók feltételét a megelőző reakciók teremtik meg.”⁹ Hogyan történik ennek a szabályozása? Az atomerőműben lévő reaktorok láncreakció szabályozása bóracélból készült, a fűtőelem rudakkal megegyező méretű abszorbens rudakkal történik. Lényege, hogy a reaktorba neutronelnyelő anyagokat juttatnak. Ezek az aktív zóna felett helyezkednek el. A reaktorban

⁸ http://atomeromu.hu/download/6182/A_paksi_atomeromu_foldrengesbiztonsaga.pdf 2012-09-21 9:20

⁹ Kiss Sándor, *Atomerőművek biztonsága tantárgy, előadás, 2010.09.07.*

összesen 37 szabályzó és biztonságvédelmi rúd van. Üzem közben ezek körülbelül 80 százaléka az aktív zóna felett helyezkedik el, esetleges probléma bekövetkezésénél bármikor használatba vehetők, ezzel megakadályozva a kritikusság kialakulását és a reakciósorozat felgyorsulását.

2. A megfelelő mennyiségű vízkészlet a leállított reaktor hűtése miatt kulcsfontosságú. Az erőművek általában nagyobb természetes víz (például folyó) környezetében épülnek. Az általam vizsgált erőműben, Pakson a hűtővizet a Dunából nyerik. Mennyiségét tekintően másodpercenként 100 m^3 vizet emelnek ki. Ez a víz átlagosan 8 Celsius fokkal felmelegedve tér vissza a folyóba, melynek vizével keveredve körülbelül 1°C -os hőmérsékletnövekedést eredményez. (Ez a változás vizsgálatok által kimutathatóan nincs káros hatással a folyó élővilágára.) A hűtés folyamatához, valamint az üzemzavari hűtőrendszerek megfelelő működéséhez alapvető szükség a hűtőközeg és a működtető villamos energia. A hűtéshez használat közeg esetünkben könnyűvíz, mely olyan tulajdonsággal bír, hogy adott nyomás alatt a reaktorban jelenlévő hőmérséklet hatására nem forr. („A víz forráspontja 1 bar, azaz légköri nyomáson 100°C , a primer körben uralkodó 123 bar nyomáson viszont már 330°C körüli.”¹⁰) Az esetlegesen leállított reaktor hűtésére azért van szükség, mert a reaktorban lejátszódó magfizikai folyamatok (^{235}U üzemanyag magból instabil magok keletkeznek, ezek több tényező következtében stabil magokká alakulnak) hőtermelése –más néven maradványhő- hűtést igényel. A reaktor üzemzavari hűtőrendszereit - figyelembe véve a különböző környezeti behatásokat, melyek az üzemszerű működést gátolják - olyan megoldásokkal korszerűsítik, mint például gravitációs hűtővíz betáplálás. Ez azért előnyös, mert ez a rendszer külső energiaforrást nem igényel, így meghibásodás esetén is működőképes.

3. Villamos energia tekintetében mind a hűtőrendszer működtetése, mind a többi vezérlő berendezés működtetése a kiemelt szerep. A folyamatos ellenőrzés elengedhetetlen feltétele az energia, mely működteti a megfigyelő, vezérlő berendezéseket, hiszen ezek adnak információt az erőmű állapotáról.

A reaktor biztonságának megvalósulását számos rendszer és szerkezet szolgálja. A reaktorban kétféle biztonságvédelmi láncot alkalmaznak. Az első a teljesítményváltozás sebességét korlátozza. Ezt azt jelenti, hogy az atomreaktoroknál a teljesítmény nem a szabályzórudak állásától függ, hanem attól a tényről, hogy az állandó teljesítmény elérése

¹⁰ http://atomeromu.hu/download/1583/Primer_kor.pdf 2012-09-21 9:20

előtt mennyi ideig növekedett a teljesítmény. Ezt a jelenséget, azaz a sebesség kontrollálását az első védelmi lánc látja el. (Szokták még periódus-védelemnek is nevezni.) A második védelmi lánc pedig a lehető legnagyobb teljesítmény korlátozására szolgál. (Más néven szintvédelem) Összességében a szabályzó és biztonságvédelmi rudak legfőbb feladata, hogy szabályozzák valamint probléma esetén leállítsák a reaktort. A reaktor védelmének fontos bástyája továbbá az üzemzavari hűtőrendszer működése. Legfőbb rendeltetése az aktív zóna túlhevüléséből kifolyólagos megolvadásának megakadályozása, amennyiben a hőhordozó valamilyen ok folytán már nincs jelen a rendszerben. Ilyen esetben ezek a rendszerek elárasztják bóros vízzel az aktív zónát, majd a remanens hő elvezetéséről gondoskodnak. Az atomerőművekben olyan speciális fallal körülhatárolt épületrész, vagy más néven hermetikus tér kerül kialakításra, mely egy fennálló üzemzavar esetén a sugárzó anyagokat egy adott térrészre koncentrálja. Továbbá fővízköri cső törése esetén 1,5 bár túlnyomást is elvisel. A túlnyomás csökkentésére a hermetikus tér valamint a lokalizációs rendszer szolgál. Paks esetében lokalizációs tornyokról beszélünk.

Az atomerőművek normál működése esetén a biztonság a megelőzéssel egyenértékű. Azaz a meghibásodások és üzemzavarok megelőzése, kikerülése a cél. Folyamatos ellenőrzések, az alkalmazottak továbbképzése, valamint lehetőségekhez mérten a technológia fejlesztése. Amennyiben üzemzavar áll fenn, a biztonságért felelős szekció az észlelést követően ellenőrzést tart, majd a hiba kijavításával visszaállítja a normál működés fázisát. Segítségükre vannak különböző felügyelő, ellenőrző és szabályzó rendszerek. Az ide vonatkozó jogszabály a 190/2011. (IX. 19.) Korm. Rendelet az atomenergia alkalmazása körében a fizikai védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről.

3.3.4. A Paksi Atomerőmű biztonságának állapota

Napjaink történéseit szem előtt tartva, ellenőrzések zajlottak a közelmúltban is. Az Európai Bizottság 2012. október 4-én közleményben adott hírt a Stressz teszt néven ismert, az atomerőművek biztonságát vizsgáló tesztek eredményeiről. Magyar vonatkozásban elmondható, hogy megállapításra került, hogy a Paksi Atomerőmű megfelel a legszigorúbb európai biztonsági elvárásoknak. Azonban a közlemény felhívja a figyelmet egyes rendszerek fejlesztésének lehetőségére. (Szellőztetés, hűtés.) Az Országos Atomenergetikai Hivatal

közleményében arról nyilatkozik, hogy hazánk atomerőművének biztonsági színvonala megfelelő.

3.4. A biztonság garanciái

Az atomerőművek biztonsága egyetemes, az egész világot érintő kérdés. Hazai tekintetben az erre vonatkozó legfontosabb jogszabály a 1996. évi CXVI. törvény Az atomenergiáról. A biztonság fenntartása több hazai és nemzetközi szakmai csoport illetve program létesült. A teljesség igénye nélkül kerülnek most megnevezésre és rövidebb leírásra ezek közül páran.

⇒ OAH

Az Országos Atomenergetikai Hivatal a kormány irányításával működik. Feladata olyan hatósági felügyeletben merül ki, mely specifikusan a nukleáris létesítmények és anyagok biztonságával, valamint az ilyen jellegű fegyverek elterjedésének megakadályozásával kapcsolatos felügyelet. Ebből kifolyólag hatósági jogkörrel bír.

⇒ OECD-NEA

Angol betűszó, jelentése Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet Nukleáris Energia Ügynökség. Feladata, hogy a tagállamok számára tudományos, technológiai és jogi kérdéskörben a nukleáris jellegű építményekkel kapcsolatban megfelelő működés céljából segítséget nyújtson. Ez kiterjed a környezetvédelem kérdéseire is.

⇒ AGNES program

Ezt a programot 1991-ben hozta létre az Országos Atomenergia Bizottság. Elnevezését tekintően egy angol betűszó, mégpedig Advanced, General and New Evaluation of Safety angol kifejezésből. (Szó szerinti jelentése: Általános és speciális biztonsági értékelés) Célja az atomerőmű biztonságának újraértékelése. Ennek a feladatnak a kivitelezése magyar szervezetek által történt. Az AGNES-program eredményei nagyban hozzájárultak ahhoz, hogy az erőmű biztonsága tovább javult, valamint kielégítő választ adott a hazai és külföldi megfogalmazású, az erőmű biztonságát illető kételyekkel szemben.

⇒ ONER

Az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszer feladata az atomerőművi balesetek elhárítására való felkészítés, valamint a már bekövetkezett esemény enyhítése és

felszámolása. Ez egy olyan szervezeti egység, mely a lakosságért felelős, annak sugárterhelését előidéző történéseit hivatott megelőzni, megakadályozni.

⇒ OSJER

Országos Sugárfigyelő, Jelző és Ellenőrző Rendszer feladata például az ország sugárzási állapotának ellenőrzése, az ONER szervezeteinek tájékoztatása, távmérőhálózat üzemeltetése. Az OSJER működését a 167/2010. (V.11.) Korm. rendelet - az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszerről- szabályozza.

⇒ CERTA

Nevét, hasonlóan az AGNES programhoz, egy angol betűszóból kapta, mégpedig Centre for Emergency Response, Training and Analysis. Feladatát tekintve, ez egy olyan rendszer, mely kizárólag nukleáris jellegű veszélyhelyzetekben az elhárítással kapcsolatos teendőket végzi. Továbbá kifejezetten ilyen jellegű gyakorlatokon alkalmazzák. Ehhez kapcsolódóan létezik egy úgynevezett CERTA Oktató Központ, ahol az ebben a munkakörben dolgozók képzése, szinten tartása és továbbképzése történik. Ez a program nagyban hozzájárul a nukleáris létesítmények biztonságához, valamint a biztonsági kultúra kialakításához.

⇒ ENSREG

A kifejezés angol betűszó. Jelentése Európai Nukleáris Biztonsági Hatóságok Csoportja. Ez a csoport egy olyan hatósági szakértőkből álló testület, mely tagjai között ott vannak az Európai Unió tagállamai. Feladata, hogy nemzetközi szinten járjon el a nukleáris biztonság, annak fejlesztési lehetőségei valamint a radioaktív hulladék kezelés kérdéskörében. Továbbá a országok közötti ilyen jellegű kommunikáció fenntartása is ide tartozik.

Az atomenergetikai vonatkozásban érdekelt országok között szükségesek az olyan egyezmények, melyek egy nemzetközi sémát adnak arra vonatkozólag, hogy például bizonyos tevékenységeknek milyen keretek között kell zajlaniuk, vagy bekövetkezett nukleáris balesetek során milyen szabványos teendő sora kerül megvalósításra. Az atomenergia békés célú alkalmazásával kapcsolatos jogszabályok megtalálhatók az Országos Atomenergetikai Hivatal weboldalán.¹¹ (A nukleáris fegyverekkel kapcsolatos törvényekre nem kívánok

¹¹ A jogszabályok közvetlen elérési útja:

http://www.oah.hu/web/v2/portal.nsf/jogi_hatter_hu/C6E117B0A2A1F884C1257109005E7219?OpenDocument

kitérni, mert nem kapcsolódnak az általam vizsgált atomenergia békés felhasználásának témakörébe.) Összességében elmondható, hogy a nukleáris energia biztonsága érdekében globálisnak mondható összefogás alakult ki. Ennek szükségessége megkérdőjelezhetetlen.

4. NAPJAINK KÉRDÉSE: AZ ATOMERŐMŰVI HULLADÉK KEZELÉSE ÉS A BŐVÍTÉS?

Az általam választott téma (Atomerőműünk biztonságtechnikája), elgondolásom szerint napjainkban kifejezetten aktuális kérdéskört feszeget. Ennek kifejeződése a köztudatban elsősorban a radioaktív hulladékok kezelése valamint az esetleges bővítés kérdésköre. Ebben a fejezetben ezeket vizsgáltam, azaz hogy a valós információk fényében mit is mutat a hazai helyzet.

4.1. A hulladék keletkezése

Az atomerőművek működésének elkerülhetetlen velejárója a nukleáris jellegű hulladék jelenléte, keletkezése. Ennek megnyilvánulási formái lehetnek szennyezett munkaruháktól, munkaeszközöktől, illetve alkatrészekről kezdve a kiégett fűtőelemekig terjedően minden olyan dolog mely olyan sugármennyiséget kapott, mely olyan határértéket ér el, hogy tisztítása nem lehetséges. Egy atomerőmű működése során kis-, közepes- és nagy aktivitású hulladék keletkezik. Osztályozásuk Magyarországon az MSZ 14344 számú szabvány alapján történik. Ez az osztályozás történhet halmazállapot, aktivitás-koncentráció, felületi dózisteljesítmény és felezési idő alapján is.

„Aktivitás-koncentráció szerint osztályozva:

- kis aktivitású hulladékok (low level waste - LLW): $< 5 \cdot 10^5$ kBq/kg
- közepes aktivitású hulladékok (intermediate level waste - ILW): $5 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^8$ kBq/kg
- nagy aktivitású hulladékok (high level waste - HLW): $> 5 \cdot 10^8$ kBq/kg

Halmazállapot szerint osztályozva:

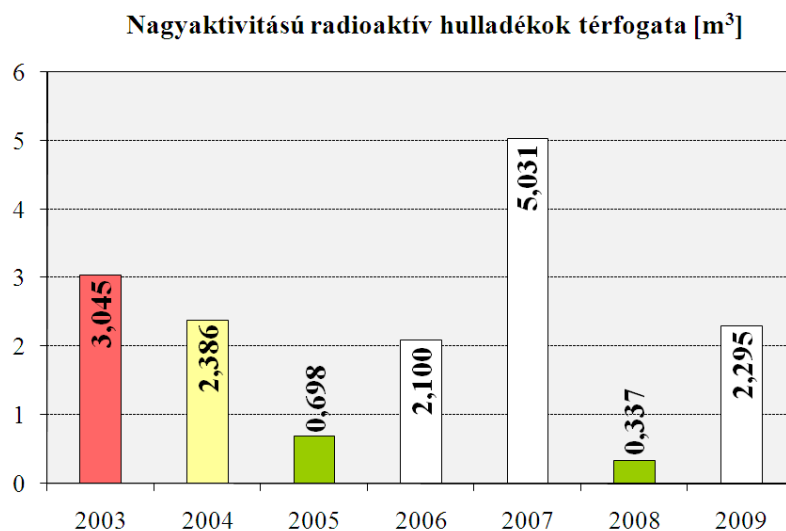
- szilárd hulladékok
- cseppfolyós hulladékok (tűzveszélyes, nem tűzveszélyes)
- légnemű hulladékok

Felezési idő szerint osztályozva:

- rövid élettartamú hulladékok: max. 30 nap a felezési idő
- közepes élettartamú hulladékok: max. 30 év a felezési idő
- hosszú élettartamú hulladékok: 30 év feletti a felezési idő

Felületi dózisteljesítmény szerint osztályozva:

- kis felületi dózisteljesítményű hulladékok: $< 3 \cdot 10^{-2}$ Gy/óra
- közepes dózisteljesítményű hulladékok: $3 \cdot 10^{-2} - 10^{-2}$ Gy/óra
- nagy dózisteljesítményű hulladékok: $> 10^{-2}$ Gy/óra¹²



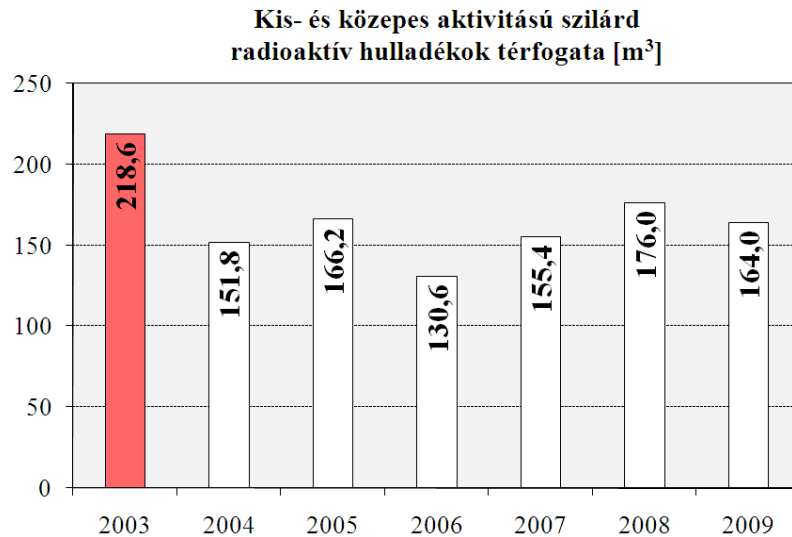
17.sz. ábra: Nagyaktivitású radioaktív hulladék térfogata

Forrás: www.atomeromu.hu/Biztonsagi_ertekeles_2009.pdf

Letöltés ideje: 2012. 10.07. 17:45

A 10. számú ábrán jól megfigyelhető, hogy a keletkezett nagy aktivitású radioaktív hulladékok mennyiségét térfogategységben adják meg, illetve hogy az elmúlt években ez a mennyiség milyen keretek között mozog.

¹² Forrás: <http://www.rhk.hu/ismeret/osztaly/hulladek3.htm> Letöltés ideje: 2012.10.20. 945



18.sz. ábra: A kis- és közepes aktivitású szilárd radioaktív hulladék térfogata

Forrás: www.atomeromu.hu/Biztonsagi_ertekeles_2009.pdf

Letöltés ideje: 2012. 10.07. 17:45

A 11. számú ábrán megfigyelhetjük a keletkezett kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok keletkezésének mennyiségét, azaz azt a mennyiséget, amely a hordókban elhelyezésre előkészített szilárdított hulladékok jelenti.

A különböző kategóriákba sorolt radioaktív hulladékok eltérő kezelést és elhelyezést igényelnek.

4.2. Hulladékkezelési lehetőségek

A keletkező radioaktív hulladékok kezelése magába foglalja a hulladékok összegyűjtését, előzetes minősítését és ideiglenes tárolását, a hulladékok szállítását, azok feldolgozását. (a feldolgozása attól függően eltérő, hogy milyen jellegű hulladékról beszélünk), a már feldolgozott hulladék feldolgozását és szállítását, valamint a hulladék végleges elhelyezését.

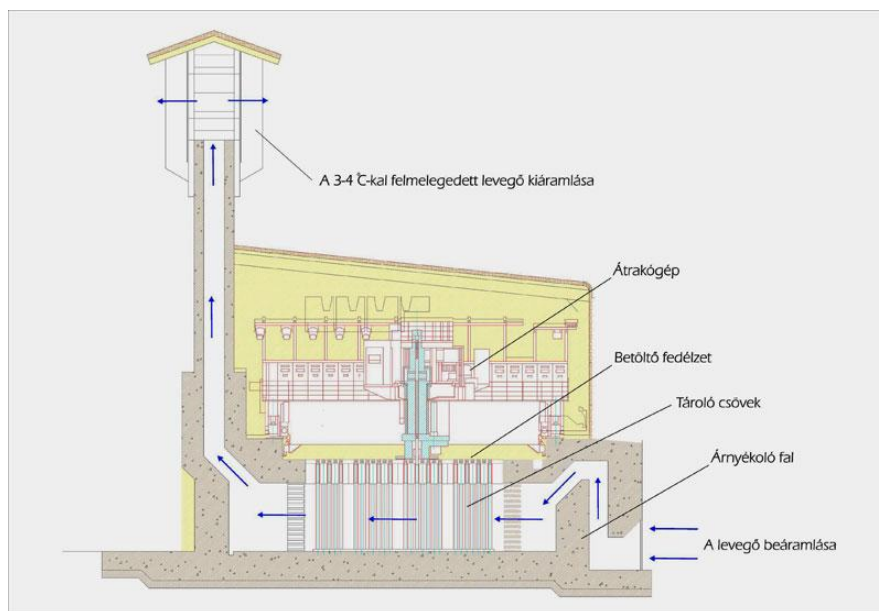
A keletkezett hulladékok kezelését 3 csoportba sorolhatjuk:

- ⇒ Kivárasos ciklus (A fűtőelemek elhelyezése átmeneti tárolókban a későbbi intézkedésig. Ez a momentum megvalósítása minden erőműben bizonyos ideig kötelező.)
- ⇒ Nyitott fűtőelem ciklus (A fűtőelemek közvetlen elhelyezése speciálisan kialakított geológiai tárolókban, mélyen a földfelszín alatt.)

⇒ Zárt fűtőelem ciklus (A fűtőelemek újrahasznosítása, és egyes anyagok kinyerését követően, az immáron kinyert anyagok felhasználása.)

A kiégett fűtőelem kazetták kezeléséről és elhelyezésének lehetőségéről gondoskodni kell. A reaktorból való eltávolítást követően meghatározott időre (3-5 év) a pihentető medencébe kerülnek az üzemanyag kötegek. (Ilyenkor a nukleáris láncreakció már nem áll fenn, kizárólag a radioaktív tevékenységekből származó hő van jelen.) Ezt követően a további teendők lehetőségei a fent említett három osztályba sorolhatók.

Hazai vonatkozásban az atomerőmű tervezett előirányzata az volt, hogy a kiégett fűtőelem kötegeket a Szovjetunió három év úgynevezett pihentetési fázist követően visszaveszi. Ez azonban bizonyos tényezők mellett mindössze 2331 db kazettát jelentett 1989-1998 között. A további, a reaktorban már nem használható fűtőelemek megfelelő elhelyezésére később egy Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója került megépítésre külföldi közreműködéssel.¹³



19.sz. ábra: A KKÁT vázlatos rajza

Forrás: <http://www.rhk.hu/images/letesitmenyeink/kkat-keresztmetszet.jpg>

Letöltés ideje: 2012-09-21 15:00

¹³ Az ide vonatkozó jogszabály a 2001. évi LXXVI. törvény A kiégett fűtőelemek kezelésének biztonságáról és a radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról.



20. sz. ábra: A KKÁT a paksi telephelyen

Forrás: <http://www.rhk.hu/images/letesitmenyeink/kkat-16-kamras.jpg>

Letöltési ideje: 2012-09-21 15:10

Ez az épületegyüttes, mely a kivárási ciklusba sorolható a hulladékok szempontjából, egy kamrás kialakítású földfelszíni épület, mely a kiégett üzemanyag kötegeket speciálisan kialakított acélcsövekben helyezi el. Kapacitása a jelenlegi átalakítások következtében 450-ről 527 db fűtőelemre bővült Biztonságtechnikai szempontból kiemelendő, hogy hűtési rendszere a természetes kéményhuzat effektusra alapozva került megépítésre. Ennek előnye, hogy semmilyen esetleges elektronikai meghibásodás nincs kihatással a folyamatos működésére. A biztonságot megőrizni hivatott további tényezők a folyamatos ellenőrzésből, laboratóriumi mérésekből, valamint a személyzet dozimetriai ellenőrzéséből áll.

A nyitott fűtőelem ciklus, azaz hogy a kiégett fűtőelem kazettákat földfelszín alatt helyezik el speciális tárolókban, jelenleg Magyarországon 2 telephelyen valósul meg. Az egyik a Püspökszilágyi Telephely. (Ld. 21.sz. ábra)Az első radioaktív hulladék szállítmány 1977-ben érkezett az 5000 m³ befogadóképességű tárolóba. A telephelyen kis- és közepes aktivitású radioaktív hulladékok tárolása történik. Jelenlegi állás szerint a tároló kapacitásának bővítése folyik.



21. ábra: Püspökszilágyi telephely

Forrás: <http://www.rhk.hu/letesitmenyeink/rhft/>

Letöltés ideje: 2012. 10.08. 11:00

A másik hazai kis- és közepes aktivitású atomerőművi hulladékok végleges tárolására kialakított tároló Bábaapáti mellett került kialakításra és a Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló nevet kapta. (Ld. 22. sz. ábra) Ezen a telephelyen egy olyan tárolót alakítottak ki, mely 270 méter mélységben húzódik a földfelszín alatt. Jelenlegi állás szerint a 2008 óta működő egység, idén decemberben kezdi meg a mélységi feltöltést, tárolást.



22. sz. ábra: Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló

Forrás: <http://www.rhk.hu/letesitmenyeink/rhft/>

Letöltés ideje: 2012.10.08. 11:00

Azonban felvetődhet a kérdés, hogy mi történik Magyarországon a nagy aktivitású radioaktív hulladékkal? Jelenleg ezeket a KKÁT-ban helyezik el, de végleges elhelyezésük

ügyében már zajlanak az események. Jelenleg tervben van Boda település melletti telephelyű ilyen tároló kialakításának terve.

4.3. Bővítés

Napjaink másik előtérben lévő kérdése az atomerőművel kapcsolatban a lehetséges bővítés kérdése. Rengeteg pro és kontra sorakoztatható fel, azonban ezek elfogadásához vagy éppen az elutasításához szükséges információk nincsenek az emberek birtokában. Hogyan áll Magyarország a bővítést illetően? Milyen korlátok között mozognak a lehetőségeink? Mikorra várható az új blokk megépülése? A kérdések száma végtelen. Először is azt vizsgáljuk meg nagyvonalakban, hogy tulajdonképpen miért is lenne előnyös a bővítés. Magyarországon a villamos energia tekintetében az atomerőművi energia ára a legalacsonyabb. Így ha sikerülne csökkenteni az import energia mennyiségét, akkor az kihatással lehetne a hazai fogyasztókra is. Világ és hazai viszonylatban is igaz, hogy a villamos energia igény - egyfajta stagnálás mellett is - növekedni fog az elkövetkező években. Ennek kielégítésére egy hazai nukleáris erőmű megfelelő kapacitással kielégítő válasz lehetne. Jelenleg hogyan áll ez a kérdés? 2009. március 30-án az Országgyűlés megadta az elvi hozzájárulását a leendő bővítés előkészítésére irányuló tevékenység megkezdéséhez. Ezzel valami elkezdődött a lehetséges blokk/blokkok megvalósítása terén. Milyen szempontok figyelembevételével kerülne kialakításra a fejlesztés? Az energiapolitikai célkitűzések alapján a gazdaságosság (a már többször említett alacsony fogyasztói ár), ellátásbiztonság (a megnövekedett kapacitás magával vonja a nagyobb üzemanyag raktározási lehetőséget), környezetvédelem (széndioxid mentes technológia előnyei). Nem elhanyagolható szempont, hogy a beruházás állami támogatást nem igényelne, illetve az üzemeltetésre és működtetésre vonatkoztatva a szervezeti és humán feltételei biztosítottak már most. Az erőművek egyik legfőbb meghatározója a reaktor típusa. Milyen lehetőségek között dől majd el a választás? A lehetséges bővítésre eddig négy típus került meghatározásra.

- ⇒ AP 1000 (1000 MW)
- ⇒ AES-92/AES-2006 (1150 MW)
- ⇒ EPR (1600 MW)
- ⇒ ATMEA1 (1000-1200 MW)



23. sz. ábra: A tervezett blokkok helye a paksi telephelyen

Forrás: [http://atomeromu.hu/galeria/tervezett blokkok helye.jpg](http://atomeromu.hu/galeria/tervezett_blokkok_helye.jpg)

Letöltés ideje: 2012.10.02. 14:00

Az új blokk/blokkok üzembeállítását illetően az Energiastratégia még nem határozott, azonban várhatóan az 5. blokk 2025-ig, a 6. blokk pedig 2030-ig kerül megvalósításra. Kovács Pál a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium államtitkára 2012. október 10-én Közép-európai Atomenergetikai Ipari Fórumon Prágában azt nyilatkozta, hogy várhatóan 2012 végén vagy 2013 elején kiírásra kerül a bővítésre vonatkozó pályázat. A pályázat 2 további blokk építésére fog vonatkozni a jelenlegi telephelyen. Előzetes számítások alapján több mint 200 magyar cég kapcsolódna be a munkába. A Paks Press Hírügynökség 2012. október 11-én megjelent rovatában arról számol be, hogy Orbán Viktor a Pannon Televíziónak adott interjújában a Paksi Atomerőmű üzemidő hosszabbítását, illetve a bővítést is támogatja. Beszédében kiemelte, hogy a jelentős energia import miatt, a hazai termelésű villamos energia kiemelkedően értékes.

Úgy gondolom, hogy egy esetleges bővítés a jelenlegi telephelyen kifejezetten jó hatással lenne hazánk gazdaságára.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkám összegzéseként összefoglalom a vizsgálódásom során tapasztaltakat, valamint választ adok a dolgozat elején feltett kérdéseimre.

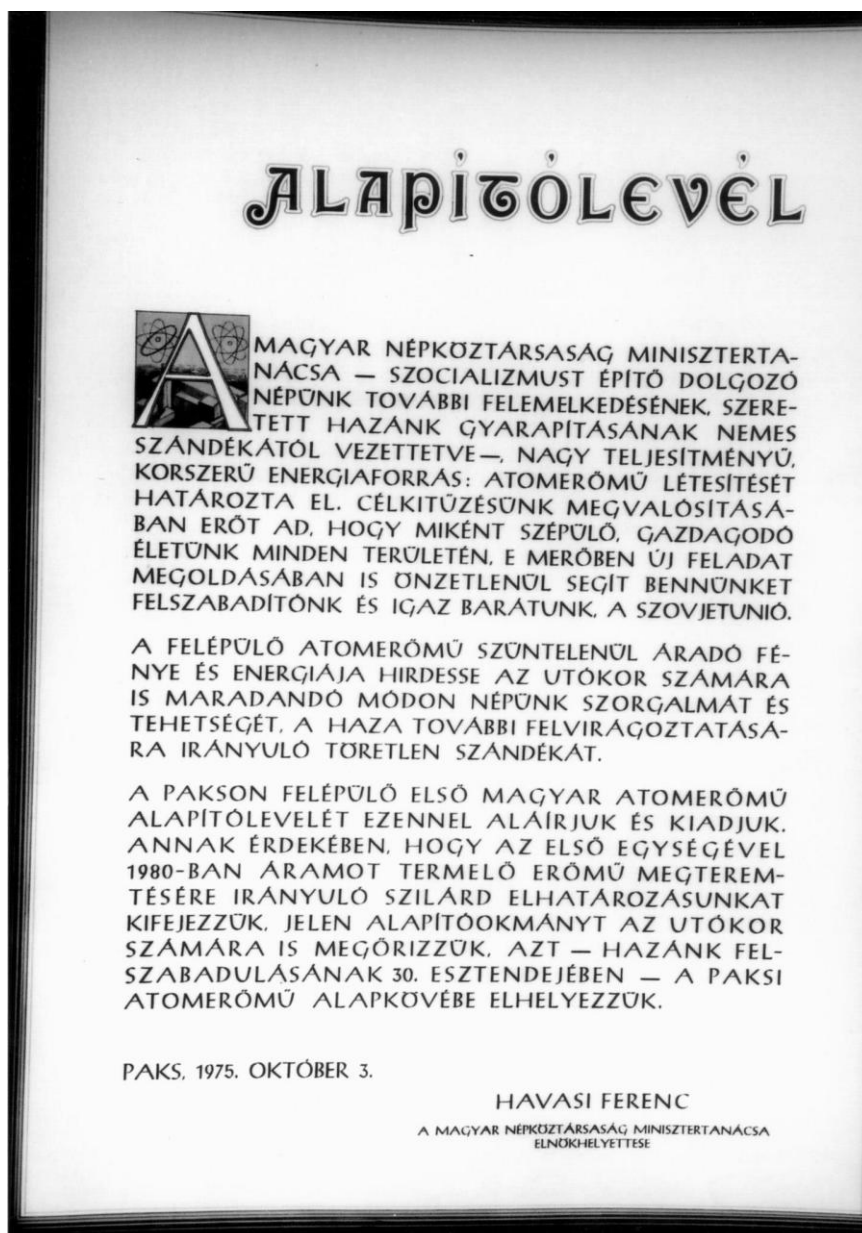
Dolgozatom témája, az atomerőművek biztonságának kérdése két táborra osztja az embereket. Legyen szó akár a hozzáértők csoportjáról, akár a laikus emberek csoportjáról. A múlt rengeteg borzalma, mely ilyen jellegből eredeztethető, kitörölhetetlen nyomott hagyott a történelemben, és az emberekben is. Az elutasító félelem, mely minden ilyen jellegű (nukleáris) tényezővel szemben áll, nagyban megnehezíti azt a globális igyekezetet, mely az atomenergia békés célú felhasználásának szükségességéről való meggyőzést hivatott szolgálni. Napjainkban a globális energiaigény növekedéséből, valamint a fogyatkozó szén, kőolaj, földgáz tényéből fakadóan a nukleáris erőművek szükségessége egyre fontosabb szerepet kap.

Magyarországi vonatkozásban megismerkedtünk a telephely adottságaival, az erőmű felszereltségével, biztonsági zónáival, valamint a jövőre vonatkoztatott terveivel. Rálátást kaptunk a biztonságot fenntartó rendszerek működésére, valamint az ott dolgozók biztonsággal kapcsolatos viszonyulásának alakítására vonatkozó törekvésekre. Utóbbi, a biztonsági kultúra kialakítása, a lakosság vonatkozásában egy jó kommunikációs háló kialakításával egyenértékű. Ez a munka az atomenergia megismeréséért valamint elfogadottságáért dolgozik. A megismerést követően arra jutottam, hogy a jelenlegi kommunikációs csatorna megfelelően működik, valamint kellőképpen nyitott az emberek irányában. Azonban, mivel egy nukleáris erőműről beszélünk, így elgondolkodtató hogy mennyire jó az, hogy az erőmű ennyire nyitott a nagyközönség előtt. Ezzel a dolgozatban már megismert emberi tényezőre utalnék, annak is a szándékos fajtájára. A megismerés fontos, de első a biztonság. Így például a meglévő ismeretterjesztő létesítmények (pl. Atomenergetikai Múzeum, Látogató Központ) helye is lehetne máshol, a telephelyen kívül, ezzel is a biztonságot szolgálva. Vizsgálódásom során, a működés és a bővítés kérdésköre voltak a legizgalmasabb részek. Utóbbi ugyanis a megismert és alkalmazott biztonsági tényezők időbeli fejlődését figyelemmel kísérve - amennyiben ez a tendencia megmarad - a leendő blokkok színvonala igen magas lehet. A rengeteg technológia újdonság, melyet a bővítés magával hozhat, meghatározó lehet a magyarországi villamos energia termelésben. Az új blokkok egyik kiemelkedő különbsége, véleményem szerint az lenne, hogy a hazai

vonatkozásban hiányosságnak tekinthető containment kiépítésre kerülne. Ez a szerkezeti egység, más típusú erőművekben már számtalanszor bizonyította alkalmasságát. A fent említett négy típus közül, mindegyik rendelkezik ilyennel, így ez a nem lenne tovább probléma. Ezen kívül maga a kivitelezés számos magyar cég bevonásával történhet, így új munkahelyeket is teremt majd a bővítés.

Dolgozatommal, kutatásommal arra felvetésre kerestem a választ, hogy mennyire lehet biztonságos egy nukleáris erőmű. A biztonság egy komplex fogalom. Minden összetevője befolyásolja annak létét. Személyes tapasztalataim alapján azt mondhatom, hogy kutatásom során az erőmű biztonságának összetevői rendeltetésszerűen üzemeltek, működtek. Lehetőségeimhez mérten vizsgáltam ezeket, gyűjtöttem információkat. Ezek írásos valamint digitalizált formában, például videók formájában kerültek megismerésre. A megismerést követően elmondhatom, hogy a vizsgált biztonság a megfelelő tervezés, kivitelezés és üzemeltetés szempontjából fenntartható bizonyos tényezők függvényében. (Például anyagi tőke, kivitelezési technológia, lakossági elfogadottság...) Így dolgozatom a bevezetésben tett állítás igazolja. A jövőre vonatkoztatva pedig az esetleges üzemidő hosszabbítás, valamint a két új blokk építése kedvezően hatna Magyarországra, annak energia termelésére, és egyéb területeire is.

MELLÉKLETEK



Az atomerőmű alapítólevele

Forrás:

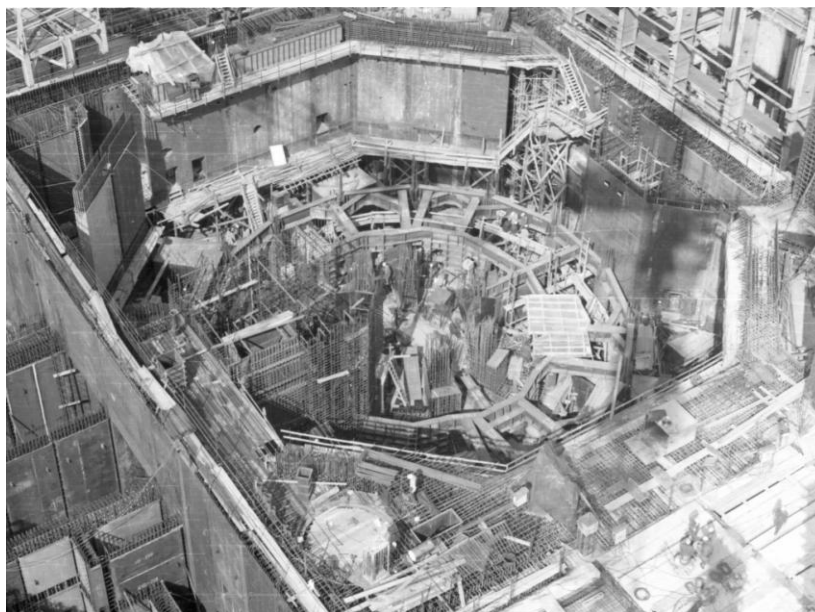
<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=517738411573905&set=a.511869712160775.131563.393851873962560&type=3&theater> Letöltés ideje: 2012-09-25 21:00



A főépület építése

Forrás:

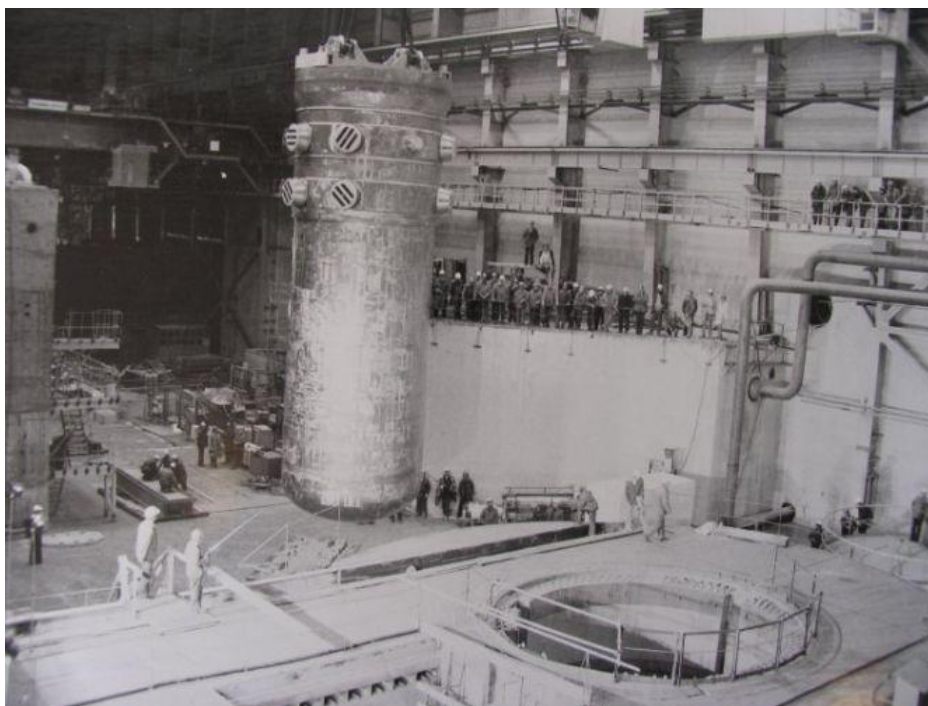
<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=525972274083852&set=a.511869712160775.131563.393851873962560&type=3&theater> Letöltés ideje: 2012-10-10 14:25



A reaktortartály helye

Forrás:

<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=520674114613668&set=a.511869712160775.131563.393851873962560&type=3&theater> Letöltés ideje: 2012-09-25 17:40



A reaktortartály beemelése

Forrás:

<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=505052679509145&set=a.511869712160775.131563.393851873962560&type=3&theater> Letöltés ideje: 2012-09-25 17:50

2. sz. melléklet

INES skála

Szint, megnevezés	Kritériumok	Példák
7. Nagyon súlyos baleset	A reaktor zónájában lévő anyag nagy részének környezetbe való kibocsátása, beleértve jellemzően a rövid és hosszú élettartamú radioaktív hasadási termékek keverékét (több tízezer TBq jód-131 egyenérték mennyiségben). Akut egészségkárosodás lehetősége fennáll. Késői egészségi hatások nagy területen, feltehetőleg több, mint egy országot érintően. Hosszú távú környezeti következmények.	Csernobil, Szovjetunió, 1986
6.	Hasadási termékek kibocsátása a környezetbe	-

Súlyos baleset	(ezer-tízezer TBq jód-131 egyenérték mennyiségben). A helyi balesetelhárítási terv teljes körű alkalmazására nagy valószínűséggel szükség van a súlyos egészségi hatások korlátozása érdekében	
5. Telephelyen kívüli kockázattal járó baleset	Hasadási termékek kibocsátása a környezetbe (száz-ezer TBq jód-131 egyenérték mennyiségben). A balesetelhárítási tervek részleges végrehajtása (pl. helyi elzárkóztatás, kitelepítés) szükséges egyes esetekben az egészségi hatások valószínűségének csökkentésére. A zóna nagy részének súlyos károsodása mechanikus hatások és/vagy megolvadás következtében.	Windscale, Nagy Britannia, 1957 Three Mile Island, USA, 1979
4. Elsősorban létesítményen belüli hatású baleset	Radioaktivitás környezeti kibocsátása, amely a környezetben a legjobban veszélyeztetett személynél néhány mSv dózist eredményez. általában nem valószínű, hogy a telephelyen kívül védelmi intézkedésre legyen szükség, kivéve esetleg az élelmiszerek helyi ellenőrzését. A reaktor zónájának károsodása mechanikai hatások és/vagy megolvadás következtében. A dolgozók sugárterhelése olyan mértékben, ami akut egészségi hatásokkal járhat (1 Sv nagyságrendben)	Saint Laurent, Francia-ország, 1980 Tokai Mura, Japán, 1999
3. Súlyos üzemzavar	Radioaktivitás környezeti kibocsátása, a megállapított korlátnál nagyobb mértékben, amely a környezetben a legjobban veszélyeztetett személynél néhány tized mSv dózist eredményez. A telephelyen kívüli védelmi intézkedésre nincs szükség. A berendezéshibák vagy üzemviteli zavarok következtében magas sugárszint és/vagy	Vandellós, Spanyol-ország, 1989 Paks, 2003

	szennyeződés a telephelyen. A dolgozóknak a korlátnál nagyobb mértékű sugárterhelése (50 mSv-et meghaladó egyéni dózisok). üzemzavarok, amelyekben a biztonsági rendszerek egy további hibája baleseti körülményeket teremthetett volna, vagy olyan helyzetek, amelyekben a biztonsági rendszerek nem tudták volna megakadályozni a balesetet, ha bizonyos kiváltó események felléptek volna.	
2. Üzemzavar	Műszaki üzemzavarok, vagy rendellenességek, amelyek ugyan közvetlenül vagy azonnal nem befolyásolták az erőmű biztonságát, de a biztonsági intézkedések újraértékeléséhez vezethetnek.	-
1. Rendellenesség	Működési vagy üzemviteli rendellenességek, amelyek nem járnak kockázattal, de a biztonsági intézkedések hiányosságát jelzik. Ez adódhat berendezéshibából, emberi tévedésből, vagy eljárásrendi hiányosságból. (Ezeket a rendellenességeket meg kell különböztetni azoktól a helyzetektől, amikor az üzemviteli korlátokat és feltételeket nem sértik meg, és amelyeket a vonatkozó eljárás szerint megfelelően kezeltek. Ezek jellemzően "Skála alattiak".)	

Forrás: http://www.haea.gov.hu/web/v2/portal.nsf/html_files/INES

Letöltés ideje: 2012-09-28 17:00

Felhasznált irodalom

- Atomerőmű Magyarországon (TIT Kiadó, Budapest, 1982. ISBN 963-411-872-0)
- Bencze-Benczéné-Nagy-Beregnyei-Rózsai: Húsz év, a Paksi Atomerőmű története (Paksi Atomerőmű Rt., 1995. ISBN 963-02-9813-9)
- Büki-Csom-Petz: Atomerőművek felépítése és berendezése (Tankönyvkiadó, Budapest, 1962.)
- David JC Mackay: Fenntartható energia mellébeszélés nélkül (Vertis Typotex, Budapest, 2011. ISBN 978-963-279-575-1)
- Dr. Földiák Gábor: Atomerőművi vegyészmérnökök sugárhatás kémiája (Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.)
- Dr. Germán Endre: A Paksi Atomerőmű környezeti hatása (Környezetvédelmi Füzetek, Budapest, 1993. ISSN 0866-6091)
- Dr. Sztanyik B. László: Sugársérülések megelőzése és gyógykezelése (Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1989.)
- Energia Klub Környezetvédelmi Egyesület: Reaktorta – Nukleáris erőművek és környezetük (ETO-Print Nyomdaipari Kft., Budapest, 2001, ISBN 963-00-9365-0)
- Helmut Lindner: Atomenergia (Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1975. ISBN 963-280-288-8)
- Kiss Sándor, Simon Ákos: Energia- és környezetgazdálkodás (NKE jegyzet, Budapest, 2010.)
- Léka Gyula: Atomerőművi balesetek elhárítása (magyar Hadtudományi Társaság folyóirata, 1998. 3. szám)
- Nemzeti Energiastratégia 2030 (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012, ISBN 978-963-89328-1-5)
- Stoltmár Aladár: Az én Csernobilom – Mi a gond az atomerőművekkel? (Silenos, Budapest, 2009. ISBN 978-963-06-6888-0)
- Szatmáry-Aszódi: Csernobil – Tények, okok, hiedelmek (Typotex, Budapest, 2005. ISBN 963-9548-68-5)
- <http://atomeromu.hu>
- <http://oah.hu>

- <http://paksihirnok.hu>
- <http://katasztrofavedelem.hu>
- <http://rhk.hu/>