

A nukleáris ipar, és a nukleáris szennyezés felderítésének
eszközállománya

Jelige: nukleáris felderítés

Pályamunka lezárásának időpontja: 2014. november

2015.

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	4
A TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA	4
A TÉMA AKTUALITÁSA	5
A TÉMA KÖRÜLHATÁROLÁSA, CÉLKITŰZÉSEK	6
1. A NUKLEÁRIS TECHNOLÓGIA	7
1. 1. A NUKLEÁRIS TECHNOLÓGIA KIALAKULÁSA	7
1.2. SUGÁRVÉDELEM	8
1.2.1. A sugárzás fajtái	8
1. 2. 2. Természetes, és mesterséges sugárforrások	9
1. 2. 3. A sugárzás egészségügyi hatásai	12
1. 3. A TECHNOLÓGIA ALAPJA, ÜZEMANYAGGYÁRTÁS, ÉS A REAKTOROK KATEGORIZÁLÁSA	14
1. 4. KITEKINTÉS A JÖVŐRE	18
2. AZ ATOMENERGIA FELHASZNÁLÁSA MAGYARORSZÁGON	20
2. 1. EURATOM SZERZŐDÉS LEGFONTOSABB ELEMEI	20
2. 2. TÖRVÉNYI SZABÁLYOZÁS	20
2. 3. ATOMENERGIA HASZNÁLATA	22
3. A PAKSI ATOMERŐMŰ	24
3. 1. AZ 1-4. BLOKK TECHNOLÓGIÁJA	24
3. 2. AZ ATOMERŐMŰ TÖRTÉNETE	27
3. 3. ÜZEMZAVAR	30
4. A KATASZTRÓFAVÉDELEM ÁLTAL ALKALMAZOTT KML EGYSÉGEK MÉRÉSÉINEK ÉS SZAKFELSZERELÉSEINEK RÖVID ISMERTETÉSE	33
4. 1. A KML ALKALMAZÁSÁNAK RÖVID ISMERTETÉSE	33
4. 2. BNS-94FM SUGÁRFELDERÍTŐ JÁRMŰFEDÉLZETI RENDSZER	34
4. 3. A SOR/T HARCÁSZATI SUGÁRADAGMÉRŐ, XOM/T ADATLEOLVASÓ KÉSZÜLÉK	35
4. 4. IH-95 V5.5 SUGÁRSZINT- ÉS SZENNYEZETTSÉG-MÉRŐ MŰSZER	36
4. 5. AZ IH-295 TEREPI SUGÁRSZENNYEZETTSÉG-MÉRŐ MŰSZER	37
4. 6. A BNS-98 DÓZISTELJESÍTMÉNY TÁVADÓ	38
ÖSSZEFOGLALÁS	39
FONTOSABB FOGALMAK RÖVID ISMERTETÉSE	40

JOGSZABÁLYGYŰJTEMÉNY	43
IRODALOMJEGYZÉK	45

Bevezetés

A villamos-energia nagyon fontos a mai világban, alapvető létfenntartási eszközeinket ennek segítségével tudjuk működtetni. Ezek az alapvető létfenntartási eszközök a műszerek, készülékek egész variációja lehet. Gondoljunk például a víztisztításra, vagy a palackozott víz gyártására. Mind a kettő elektromos vezérléssel működik. A pénz használatához közvetett módon szükséges az elektronika: a pénzt fel kell venni a bankból, ahol elektronikusan rögzítik az eljárást, vagy ATM-ből, ami szintén elektronikusan működik. Ha bankkártyával vásárolunk, akkor mindenképpen szükséges az elektromos áram. A fűtés is elektromos szabályozás alatt van, ha gázzal fűtünk, hiszen a központban elektromosan vezérlik a kapcsolókat. A közlekedési lámpáknál felborul a forgalom áramkimaradás esetén, legalább addig, míg a rendőrök nem érkeznek ki forgalmat irányítani. Egy komolyabb áramkimaradás esetén már az ő akkumulátorral működtetett eszközeiket is nehéz üzemben tartani. Ugyanígy történik minden közigazgatási szervnél, hatóságnál. Ha nincs áram, jelentősen lecsökken a terhelhetőség. Ez a társadalom egy részét, főként a szegényes körülmények közül kitörni nem tudókat ez arra bátoríthatja, hogy jogellenes magatartást kövessenek el, így javítva életkörülményeiken. Arra viszont nem gondolnak, hogy ezzel egy olyan káoszt alakítanak ki az országban, ami pánikhelyzetet keltve közlekedési baleseteket is okozhatnak, és megzavarhatják a közbiztonságot. A Katasztrófavédelem ezeket a problémákat még kialakulásuk előtt igyekszik megelőzni, jelen esetben a villamos-hálózat folytonosságával, ennek a kritikus infrastruktúrának a védelmével. A katasztrófavédelmi törvény hatálya hiába nem terjed ki az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény 1. § (1) bekezdésében az atomenergia alkalmazásával összefüggésben meghatározott tevékenységekre, jogosultságokra és kötelezettségekre, mégis kiemelten fontos ez a téma, hiszen egy esetleges probléma esetén a Katasztrófavédelem hivatásos állományának a feladata megszervezni a védekezési, és kárenyhítési, valamint helyreállítási munkákat, és a dominó hatás elvén kialakuló egyéb veszélyek elhárítását.

A témaválasztás indoklása [1,2]

A dolgozatom témájaként azért az atomenergiát, annak nukleáris veszélyeit, és a felderítését választottam, mert Magyarország szempontjából a villamos energia előállítás viszonylatában

ez kiemelten fontos, hiszen csak a Paksi Atomerőmű az ország villamos energiájának több mint 50%-át termeli meg. Ha a törvénynek megfelelően a Paksi Atomerőmű két új blokkja megépül, az elkészülte után még legalább 40 évig fedezi a magyar energiaszükséglet egy részét. Ez indított el arra az elhatározásra, hogy ezt a szerteágazó, kiterjedt és veszélyes témakört dolgozzam fel, hiszen fel kell készülni az esetleges veszélyekre, melyek a következő években, évtizedekben, leendő munkásságom alatt megtörténhetnek.

A téma aktualitása

Világunk energia-igénye rendkívül nagy, és többek között az adott ország földrajzi elhelyezkedése, nyersanyag-készletei és hidrológiai viszonyai határozzák meg, hogy milyen típusú energiával gazdálkodhat. Hazánk energiagazdálkodása jelentős részben a fosszilis anyagokra épül, de emellett számottevő az atomenergiából származó energia felhasználása is, a megújuló energiaforrások jelenleg csak töredékei az előbb említett kategóriáknak.

2013 végén, 2014 elején a média folyamatosan a Paksi Atomerőművet emlegette, annak kapcsán, hogy Magyarország és Oroszország egy egyezményt írt alá, melyben megfogalmazza, hogy Oroszország megépít Paksra két új blokkot. Emiatt került előtérbe ez a téma. A Kormány már a Nemzeti Energiastratégiában kifejtette, hogy függetlenedni akar az energiahordozót szolgáltató országoktól. Ezt öt tényező megtartásával, felerősítésével lehet elérni a terv szerint. Ezek között van a biztonságos atomenergia jelenlegi kapacitásának a megtartása, a meglévő blokkok üzemidő-hosszabbítása. Az Energiastratégia több lehetőséget vázol fel, melyből több is megemlíti az új blokkok építését. A fenti egyezménnyel ennek a megvalósítását kezdték el, és leszögezték Magyarország számára azt az irányt, mely felé az elkövetkezendő években tartani fog az energiagazdálkodás területén. Talán az atomenergia - ami alatt ebben a megfogalmazásban azt a villamos energiát értem, ami az atomerőműben lejátszódó hasadási folyamat során az radioaktív ^{235}U -ból a hőenergiából alakul át – nem a legjobb, hosszú távon leggazdaságosabb erőforrás. A megújuló erőforrásokat azonban némiképp ki kell zárni ebből a kérdéskörből. Egyrészt a megújulók magyarországi kapacitása jelentősen korlátozott, másrészt nincs rá kiépült infrastruktúra, ami jelentősen megnöveli azt az összes költséget, amibe a beruházás kerülne az első lépésektől a teljesen kiépült, működő létesítményig. Mindenképpen csak hosszabb távon térülne meg. Ez csak feltételezés, de ha logikusan végiggondolja az ember, ez az eredmény születik. Így teljesen érthető, hogy inkább

egy meglévő rendszert, az atomerőművet, és annak kiépült villamoshálózatát fejlesztik tovább, illetve tartják szinten, miután a jelenlegi blokkokat üzemén kívül helyezik. [3]

A téma körülhatárolása, célkitűzések

Dolgozatom témakörében azt a technológiát szeretném bemutatni, ami alapján az atomerőművekben a hőenergiát villamos energiává alakítják át, továbbá a Paksi Atomerőművet, az egyetlen magyar atomerőművet. A régebbi, és most használt atomerőműveket is kategorizálnám, és az atomerőművekhez üzemanyagként használt uránkapszula gyártási alapjait is leírnám. Természetesen előtte fontos megemlíteni, hogy milyen reakciók eredménye az uránból kinyert hőenergia, és a folyamat okozta sugárzás hogyan hat az emberi szervezetre. A dolgozat első felének zárásaként kitérnék arra is, hogy milyen lehetőségeink vannak a jövőben az energiafelhasználás területén.

A dolgozatom második felében egy rövid részben szeretném megemlíteni az atomenergia-törvényt, és azokat a létesítményeket, tudományos, ipari területeket, amelyeket ez érint. Utána a radioaktív sugárzások elleni védekezés eszközeit szeretném bemutatni a Katasztrófavédelem részéről.

Kutatásomból adódóan hipotézisem az, hogy a dolgozatom elősegíti a Paksi Atomerőmű szélesebb körű megismerését, nem csak a Katasztrófavédelem hivatásos állománya számára, hanem az összes hivatásrend hivatásosai, valamint a katonák számára is új ismereteket nyújt, amik hozzáférhetőek ugyan, de csak bizonyos cikkek, jegyzetek és könyvek elolvasása után, amiket egy átlagos hallgató, tisztjelölt nem feltétlen olvas el. Azok a hallgatók, tisztjelöltek, akik részt vesznek a Tudományos Diákköri Konferencián, vagy a témakörbe vágó dolgozatokat olvas a későbbiekben, valószínűleg az évek múlásával – ha továbbra is aktívak maradnak a tudományos életben – magasabb vezetői beosztásokat töltenek be. Az Ő figyelmüket kívánom felhívni, hogy megismerjék ezt a fontos, nehéz témakört. Célom továbbá az, hogy dolgozatomat fel lehessen használni a katasztrófavédelmi szak, iparbiztonsági szakirányán tanuló hallgatók oktatásánál, amikor a nukleárisbaleset-elhárítás feladatait tanulják. Ezáltal egy összefoglalt anyagban lehet majd megismerni a Katasztrófavédelem nukleárisbaleset-elhárítási feladatához használt eszközöket.

1. A nukleáris technológia

1. 1. A nukleáris technológia kialakulása [4]

Azért, hogy az atomenergia alkalmazásának okát megérthessük, fontos az alapvető energiatermelő reakciót bemutatni, amit kihasználva az atomerőművek villamos energiát termelnek.

Henri Becquerel 1896-ban egy kísérletet végzett, amiben azt kutatta, hogy a különböző anyagok fény hatására milyen nyomot hagynak a fotólemezen. Az első kísérlete sikerült, de amikor meg akarta azt ismételni, az idő rossz lett. Eltette a fiókba a lemezt, a rajta levő uránsóval együtt. Mikor a kísérletre újra alkalmas lett az idő, és elővette a lemezt, azt vette észre, hogy ugyanolyan folt van rajta, mint amit a kísérlet hagyott volna. Bemutatta a felfedezését, hogy az urántartalmú vegyület külső fényhatás nélkül is képes röntgensugárzáshoz hasonló sugárzást kibocsátani. Miután nyilvánosságra hozta a felfedezését, Marie és Pierre Curie, egy lengyel-francia házaspár elkezdett ezzel kísérletezni. Felfedezték, hogy az urán egyes vegyületei aktívabbak a tiszta uránnál: olyan anyag van bennük, ami jobban radioaktív. Marie Curie a kísérletei keretében ezt kutatta. Így fedezte fel (férje segítségével) a polóniumot és a rádiumot. Hihetetlen kutatásvágyukat, és a téma iránti elkötelezettségüket, talán fanatikusságukat mutatja az a tény, hogy négy év alatt nyolc tonna uránszurokércből kinyerték a benne található rádiumot. Ennek a rádiumnak a mennyisége elenyésző volt, csupán 0,1 gramm, és az is vegyület formájában, rádium-kloridként. Az eljárást közkinccsé tették, de mivel az uránércék rádiumtartalma ilyen alacsony, nem gazdaságos az előállítása, hiába nagyobb az aktivitása, mint az uránnak. Kutatásaik legfontosabb eredménye mégis az volt, amit csak feltételeztek, és amit Ernest Rutherford és Frederick Soddy egy 1902-es cikkükben megemléstettek, hogy radioaktív sugárzás közben az elem átalakul. Ez akkoriban elfogadhatatlannak hangzott, a tudomány mégis annyit fejlődött, hogy viszonylag hamar, 1939-ben Hahn, Strassman és Meitner bebizonyították, hogy neutronsugárzás hatására az urán atommagja képes szétesni, amivel két új elemet alakít ki. Ezek az izotópok kedvezőbb állapotba kerülnek energetikailag a hasadás során, ezért több energia szabadul fel, mint amennyi a neutronsugárzáshoz szükséges. Ez egy exoterm reakció, ezért az így kialakult többletenergia hőenergia formájában kerül a környezetbe. Ezt a (nagyon

magas) hőt használják ki az atomerőművek a gőzfejlesztésre, amivel az elektromos áramot gerjesztő turbinákat hajtják.

1.2. Sugárvédelem

1.2.1. A sugárzás fajtái [5, 6]

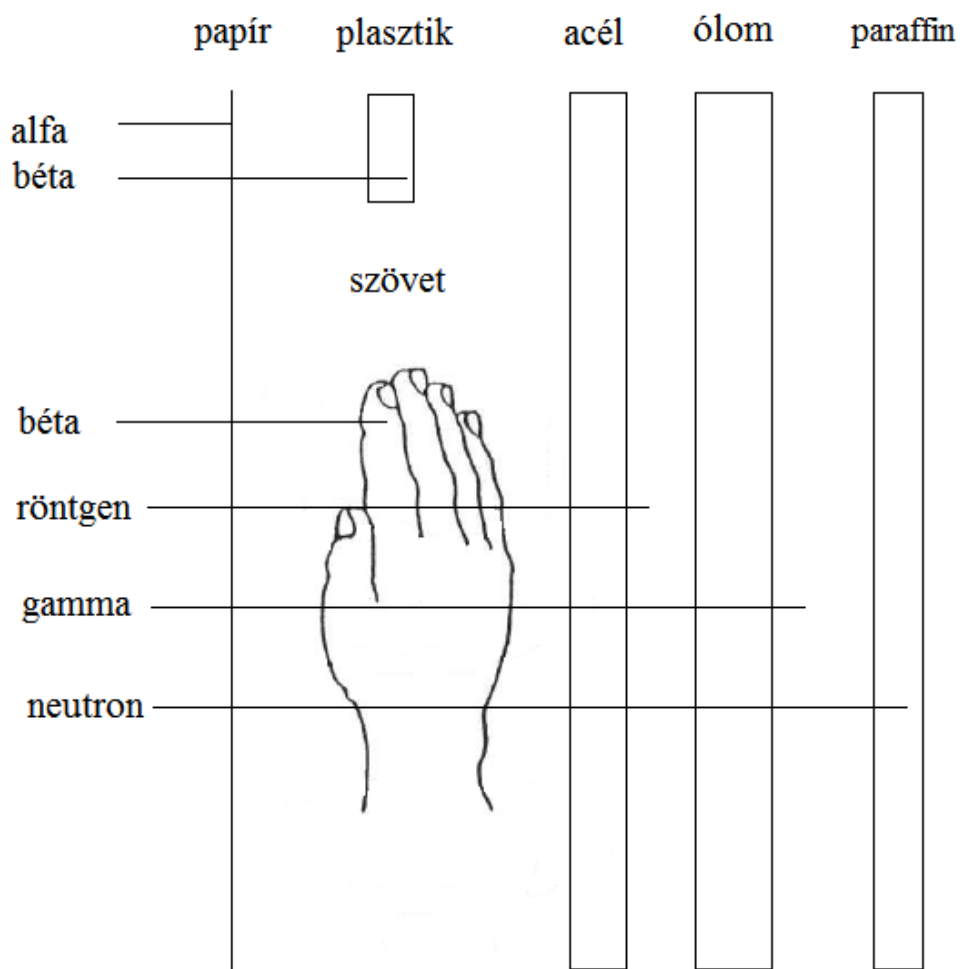
A sugárvédelem szempontjából négy fajta sugárzást szükséges mindenképpen megemlíteni. Az alfa-, béta-, és a gammasugárzást. A neutronsugárzás is fontos, ellene is lehet, és kell is védekezni sugárzás esetén.

Az alfa-sugárzás elleni védekezés nem olyan bonyolult, mivel külső sugárforrásként kevésbé veszélyes, már levegőben is hamar elnyelődik. Akkor a legveszélyesebb, ha bekerül az emberi szervezetbe pl.: radioaktív por formájában. Ellene porálarccokkal, levegőszűrős álarccokkal lehet védekezni, valamint egész bőrfelületet fedő ruházattal (kesztyű, teljes álarc).

A béta-sugárzás nagyobb hatótávolságú, de kevésbé ionizál. Mivel ez is viszonylag könnyen elnyelődik, ezért a szervezetbe bekerülését kell elkerülni, illetve onnan a gyors kiürítését. Azért is fontos ezt a sugárzási fajtát is ismerni, mert az atomerőművekben a hasadványtermékek jó része bétasugárzó. A védekezés legfőbb eszköze ellene a plexiből, alumíniumból készült védekező eszközök.

A gamma-sugárzás a legnagyobb hatótávolságú. Szervezetbe kerülése esetén kevésbé veszélyes, valószínűbb a valamilyen távolságból elszennvedett gamma-sugárzás. Ólommal kell védekezni ellene, abban általában elnyelődik, bár ez függ az ólomlemez, ólomfal vastagságától, és a sugárzás erősségétől, valamint a sugárzó anyag távolságától. A távolság azért fontos, mert a sugárzás gömb alakban terjed, így minél távolabb állunk a sugárzó anyagtól, a képzeletbeli gömb felületének annál kisebb felületét takarjuk ki, tehát kevesebb sugárzó részecske halad át a testünkön.

A neutronsugárzás is veszélyes az ember számára, ugyanis megfelelő sebességű és energiájú neutron egy másik atommaggal való ütközésekor radioaktivitást idéz elő abban, béta-, és gamma-sugárzás kíséretében. A gamma-sugárzás így bekerülhet az élő szervezetbe, jelentősen károsítva azt. Paraffinnal, és bórral lehet ellene védekezni, ezeknek van neutronelnyelő hatásuk. A különböző sugárzások elnyelési tulajdonságait mutatja be az 1. ábra.



1. ábra A sugárzások elnyelődési tulajdonságai [7]

1. 2. 2. Természetes, és mesterséges sugárforrások [5, 8, 9]

A sugárvédelemhez elengedhetetlen megismerni a sugárzások egészségügyi hatásait. Többféleképpen védekezhetünk ellene, de a legfontosabb az, hogy a sugárzást okozó anyagot eltávolítsuk a szervezet közeléből, vagy rosszabb esetben a szervezetből.

Az embert ért sugárzások rendkívül sokrétűek, sok összetevőből állnak össze, egy olyan sugárzássá, ami még károsodás nélkül elviselhető. Ez azért lehet, mert nem csak a 20. században jelent meg a radioaktív sugárzás, hiába csak akkor fedezték fel. Az évmilliók során a világűrben, és a Napból jövő kozmikus sugárzás, valamint a földkérgi sugárzás is

folyamatosan hatottak az élőlényekre, és később, kialakulásuk után az emberekre is. Többféleképpen érte az embereket. Egyrészt közvetlenül, a földkéreg és a kozmikus sugárzás okozta radioaktivitás, illetve közvetetten a földkéregből a forrásokba, az ivóvízbe, az élelembe került az ionizáló sugárzást kibocsátó izotópok, és az építőanyagokban, amikből az ember a házat építi, viszonylag nagymértékben találhatók sugárzó anyagok. A testünk egyes részei, a sejteink egy része is tartalmazhat radioaktív részecskéket. Kis mértékben, de az is számít, a Föld mely részén élünk. A magasabb helyeken lakók valamennyivel nagyobb dózist kapnak, mint az alacsonyabb területek lakói. Az épített környezet is számít, a sok építőanyag nagyobb háttérsugárzási szintet tart fent. A földkérgi eredetű sugárzás nagyságrendekkel nagyobb, mint a kozmikus. Ez egyrészt abból adódik, hogy a Napból, és a távolabbi csillagokból minket ért sugárzás alacsonyabb, és a földkérgi sugárzás fejt ki erősebben a hatását. A sugárzás nem kizárólag egy irányba terjed, hanem mindenfelé. Ezt legjobban úgy lehet elképzelni, hogy sugárzóanyag a gömb középpontja, és a gömb felülete pedig az tér, ameddig a sugárzás eljut. Ez magyarázza azt, hogy a földkérgi sugárzás az alacsonyabban fekvő területeken magasabb, mint pl.: a hegyekben, hiszen minél távolabb tartózkodunk a sugárzó anyagtól, annál kisebb felületen ér minket a sugárzás. A másik ok, amiért magasabb a földkérgi eredetű mesterséges sugárzás, az az, hogy a természetben mindenhol előforduló (csak kis mértékben, de előforduló) urán radioaktív bomlása közben radongáz szabadul fel. Ez a levegővel keveredve az emberi szervezetbe jut, és ott fejt ki káros hatását a tüdőben.

Hazánk szempontjából ez a természetes eredetű sugárdózis kb. 3 mSv/év, magasabb érték, mint az Egyenlítő környékén élőknek, de alacsonyabb, mint a tőlünk északra élőknek. Ez abból adódik, hogy hazánk időjárási viszonyai következtében viszonylag sok időt töltünk épített környezetben, bent a házban, lakásban. Egyrészt az építőanyagokban jelen lévő radioaktív részecskék okozzák a sugárzást, részben pedig az, hogy a radongáz a kis repedéseken, az ablakok szigetelése mellett is képes behatolni a házba, ahol felgyülemlik. Ez ellen gyakori, akár óránkénti szellőztetéssel lehet „védekezni”, bár ez inkább megelőzés.

Megemelkedett sugárzásdózist kapnak a brazil tengerparton, India egy részében, Irán egy részében, Franciaországban, Nigériában és Madagaszkáron élő emberek, mert ott a radioaktív anyagok (főképp tóriumvegyületek) magasabb arányban vannak jelen a kőzetekben. Ez az érték a miénknél 5-10-szer is magasabb lehet átlagosan, de maximálisan akár 50-szer is nagyobb lehet. A kutatásokból, amiket itt végeztek, az derült ki, hogy semmilyen egészségügyi károsodás nem lépett fel, ami a sugárzásnak tudható be.

Ezek miatt az információk miatt mondhatjuk, hogy a természetes eredetű sugárzások ellen védekezni nem kell, az az emberi élet természetes velejárója, mely nem okoz többlet egészségkárosodást az embereknek.

Védekezés szempontjából fontosabb a mesterséges eredetű sugárzás. Ennek kisebb a mértéke, mint ahogyan a 2. ábra is mutatja, de ez ellen lehet, és kell is védekezni, többféleképpen. Mégis, van olyan fajtája a mesterséges sugárzásoknak, melyek ellen nem lehet védekezni, a mindennapi élet részévé váltak.

Vannak nem ionizáló sugárzások is, mint a távvezetékek, az elektromos felszerelések vagy a mobiltelefonok rendszerei. Ezek nem veszélyesek az emberi szervezetre, ellene védekezni sem szükséges. Az ionizáló sugárzások által okozott dózis jelentős részét a következő táblázat mutatja be.

Természetes	(2,4 mSv/év)
kozmikus külső	0,3 mSv
kozmikus belső	0,015 mSv
földkérgi külső	0,5 mSv
földkérgi belső	1,6 mSv
Mesterséges	(0,4 mSv/év)
nukleáris ipar	0,0002 mSv
orvosi célú	0,4 mSv
atomrobbantás	0,01 mSv

2. ábra A Föld népessége sugárterhelésének főbb forrásai és átlagértéke [10]

A legkisebb mértékű mesterséges eredetű sugárzás a nukleáris ipar okozta lakossági sugárszennyezés. Ez a magas szintű biztonsági előírásoknak köszönhető, amit az atomerőművek betartanak. A világító számlapú órák kétszer ennyi sugárdózist okoznak az embereknek. A következő szint, az elsőhöz képest nagyjából ötször magasabb, de még nem túlzott egészségkárosító hatású sugárdózist bocsátanak a nukleáris iparban munkát vállalókra. Ennél tízszer magasabb a korábbi atomrobbantások leülepedő hulladéka, pora. A legmagasabb érték az orvosi diagnosztikai besugárzásokból tevődik össze. Természetesen ez globális szinten értendő.

Az atomenergia békés célú felhasználása olyan kismértékű szennyezést okoz, ami kevésbé káros az egészségre. Az előbbi felsorolás talán soknak tűnhet, de körülbelül ez teszi ki az egész mesterséges eredetű sugárterhelésünket, ami kisebb, mint a természetes sugárterhelés 20%-a. Mindenképpen meg kell említeni a mesterséges sugárterhelés legnagyobb részét kitevő tevékenységet, az orvosi célú diagnosztikai besugárzásokat. Hiába okoz ilyen nagy sugárterhelést, fontos ezt a tevékenységet folytatni, mert a haszon (a betegségek korai diagnosztizálása, a segítség a megfelelő gyógymód kiválasztásában vagy a betegségek megelőzése) sokkal nagyobb, mint a káros hatások összessége.

Joggal tehetjük fel a kérdést: Csernobil és Fukushima? A nukleáris ipar balesetei ténylegesen jelentős dózist bocsátottak az emberiségre, de annak, hogy ilyen baleset bekövetkezik, nagyon kicsi a valószínűsége. Egyes mérések szerint az atomerőművek 0,04 nappal rövidítik meg az átlagéletkort, míg a hagyományos erőművek 24 nappal, a közúti balesetek 200 nappal, míg a dohányzás akár 2000 nappal is megrövidítheti az átlagéletkort. A hagyományos, tehát a szén-, gáz-, és olajtüzelésű erőművekben 500-1000-szer nagyobb egy halálos baleset valószínűsége, mint az atomerőművekben. A vízerőművek is kevésbé biztonságosak, mert a duzzasztógátak átszakadásának nagyobb a kockázata. Ezért jelenthető ki az, hogy a kockázatoknak, veszélyeknek az esélye ellenére is szükségesek és fontosak az atomerőművek.

Ezek alapján az figyelhető meg, hogy betartva a biztonsági intézkedéseket, szabályokat, a mesterséges eredetű sugárzás sem veszélyes az emberre. De, a kockázatbecslések során mindig a legrosszabb, legnagyobb veszélyességgel járó veszélyt, katasztrófát kell figyelembe venni, azzal kell számolni. Ezért fontos a felkészülés a sugárvédelemre.

1. 2. 3. A sugárzás egészségügyi hatásai [5]

Az elnyelt dózis egy adott térfogatelemben besugárzott energia és a térfogatelem tömegének a hányadosa. Mértékegységei J/kg vagy Gy (gray). Ehhez a fogalomhoz szorosan kapcsolódik a dózisteljesítmény, amely az egységnyi idő alatt elnyelt dózist jelenti. Ez a besugárzott energia az egyik legfontosabb tényező a fent ismertetett egészségügyi hatások esetében. Másik fontos tényező a sugárzás fajtája. Ha ezt is figyelembe vesszük, egyenértékű dózissal kell beszélni. Az egyes szövetek, szervek besugárzása esetén a sugárzásra jellemző súlytényezővel korrigált dózis az effektív dózis. Mértékegysége a Sievert (Sv). Az utolsó fontos tényező a sugárzásnál az egyes szövetek eltérő érzékenysége a sugárzással szemben. Pl.: az ivarszervek sokkal

érzékenyebbek, mint a bőr, vagy a csontfelszín (ezért volt az, hogy a kísérletek során, mikor nyulakat sugároztak be, azok elvesztették szaporodási képességüket). Az effektív dózis mértékegysége is Sv. Ez fejezi ki azt a sugárzást, amelyet az adott személy szerve, szövete ténylegesen elnyelt.

Az ionizáló sugárzás hatása szempontjából a sugárzás hatása négy szakaszra osztható: fizikai, kémiai, kémiai-biokémiai, biológiai. A fizikai fázis csupán 10-15 másodpercig tart, az atomok gerjesztett állapotba kerülnek ez alatt. A kémiai fázis 10-15 másodpercig tart, közben szabadgyökök keletkeznek, illetve reakciók jönnek létre az ép sejtekkel. A kémiai-biokémiai fázis 10-11 másodpercig tart, és ekkor a sejtekben biokémiai folyamatok, enzim, anyagcsere változások zajlanak. A biológiai szakasz a kémiai-biokémiai szakasz végétől kezdődik perceként akár évekig is tarthat. A sejtosztódás károsodása, sejti és szöveti változások zajlanak ebben a szakaszban. Ekkor jelentkeznek az idegrendszeri tünetek, a bőrtünetek, gyomor-béltraktus változásai, vérképző rendszer, és a szaporító szervrendszer károsodása.

Aki 1 Gray elnyelt dózist elszenved, annál az előbb leírt tünetek egyike, esetleg több is belőlük biztosan megjelenik. Ez a küszöbdózis, tehát a tünetek a sugárzás okozta determinisztikus sugárhatásnak köszönhetőek. Nincs a sugárbetegségre jellemző konkrét tünet vagy tünetegyüttes, szinte bármilyen tünet megjelenhet a sugárzást elszenvedett betegnél. Négy szakaszra bontható a lefolyása.

A kezdeti szakasza sugárdózistól függően megjelenik néhány órán belül a hányinger, esetleg hányás, étvágytalanság, émelygés, a fejfájás, levertség, rossz közérzet. Súlyosabb esetben hasmenés, verejtékezés, láz, ingerlékenység és a mozgáskoordináció zavara léphet fel.

A következő szakasz a lappangási szakasz. A tünetek eltűnnek, a sérült jól érzi magát, és munkaképes. A tünetmentesség időtartama változó (pl.: ha a dózis nagyobb, a tünetmentesség rövidebb). Ha valaki csak 2-3 Gy dózist szenved el, akár 3-4 hét is lehet, de 10 Gy dózisinál el is maradhat a lappangási szakasz.

A kritikus szakaszban a kezdeti tünetek súlyosbodnak. Pontszerű bőrbevérvések, véres széklet, s az immunrendszer károsodása, fertőzések jelenhetnek meg. A túlélés szempontjából ez a legkritikusabb időszak (a besugárzás utáni 3-6 hét).

A lábadozási szakaszban megy végbe a felépülés. Lassú, hónapokig, súlyosabb esetben akár évekig is elnyúló időszak ez.

1. 3. A technológia alapja, üzemanyaggyártás, és a reaktorok kategorizálása [11, 12]

Ez a folyamat bonyolultabb, meglátásaim szerint szükséges elmagyarázni, hogy mindenki tisztában legyen azzal, hogy ez egy nagyon nehezen kezelhető állapot. Pátzay György tanár úr, a Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszékének a vezetője ezt megfelelő részletességgel kifejti az Atomenergetika és nukleáris technológia című 2011-es jegyzetében. Főként ebből a jegyzetből dolgoztam ki a témakört a fejezetnek ebben a részében.

A mai technológia az uránt használja fel az atomerőművekben. Az urán összetétele általában a következő: 0,71%-a ^{235}U , és 99,29%-a ^{238}U . Ez nem kedvező, mert csak a ^{235}U hasad könnyen termikus neutronok hatására. Ilyen, átlagos mennyiségnél a reakció szubkritikus lenne vízhűtés esetén, azaz nem indítana be egy önfenntartó reakciót, így nem tudnánk azt felhasználni energiatermeléshez. Tehát világosan látható, hogy több hasadó képes ^{235}U -t kell tartalmazni egy UO_2 pasztillának. Ezért kell dúsítani az uránt. A dúsítás nehéz, költséges folyamat.

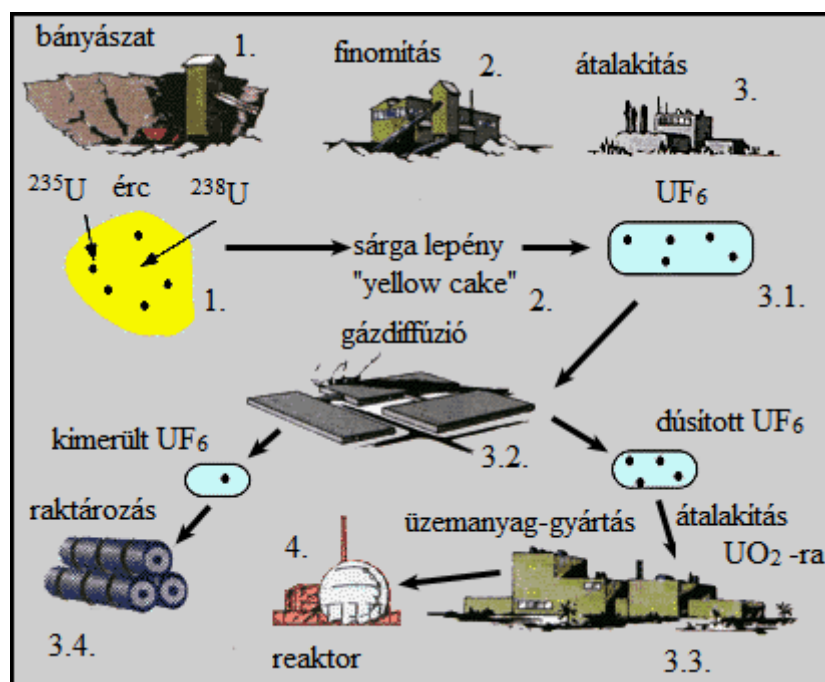
Az uránfeldolgozás első lépése az urán bányászata. Ezt követi az urán elválasztása a kőzet többi részétől. A folyamat után létrejött anyagot a gyakorlatban „sárga lepénynek”, „yellowcake”-nek nevezik. Ezt alakítják át urán-hexafluoriddá (UF_6), ami gáz halmazállapotú. Így könnyebb a ^{235}U tartalom százalékos arányát megnövelni. Erre három technológiát dolgoztak ki.

Az első eljárás a gázdifúziós eljárás. Ennek a lényege, hogy a gáz halmazállapotú UF_6 -ot keresztülvezetik egy porózus membránon (egy vékony, rugalmas akadályon). A különböző izotópok különböző tulajdonságai miatt más sebességgel haladnak át a membránon. Ez csak a ^{235}U izotóp egy részét képes elválasztani az urán többi részétől, így többször kell végrehajtani ezt az eljárást, mire a megfelelő dúsítást képesek a dúsító üzemek elérni, ezért ez rendkívül drága eljárás.

A második eljárás a gázcentrifugálás. A működésének alapja egy erős ipari centrifuga, melybe belevezetik a gáz halmazállapotú UF_6 -ot. Az egyes izotópok tömege miatt válik külön a ^{235}U és a ^{238}U . A nehezebb ^{238}U a centrifuga külső széléhez kerül, míg a könnyebb ^{235}U közel kerül a centrifuga központjához. Ez olcsóbb eljárás az előzőnél, de a centrifuga egymáshoz kapcsolásaitól és a centrifuga méreteitől függ a dúsított urán mennyisége.

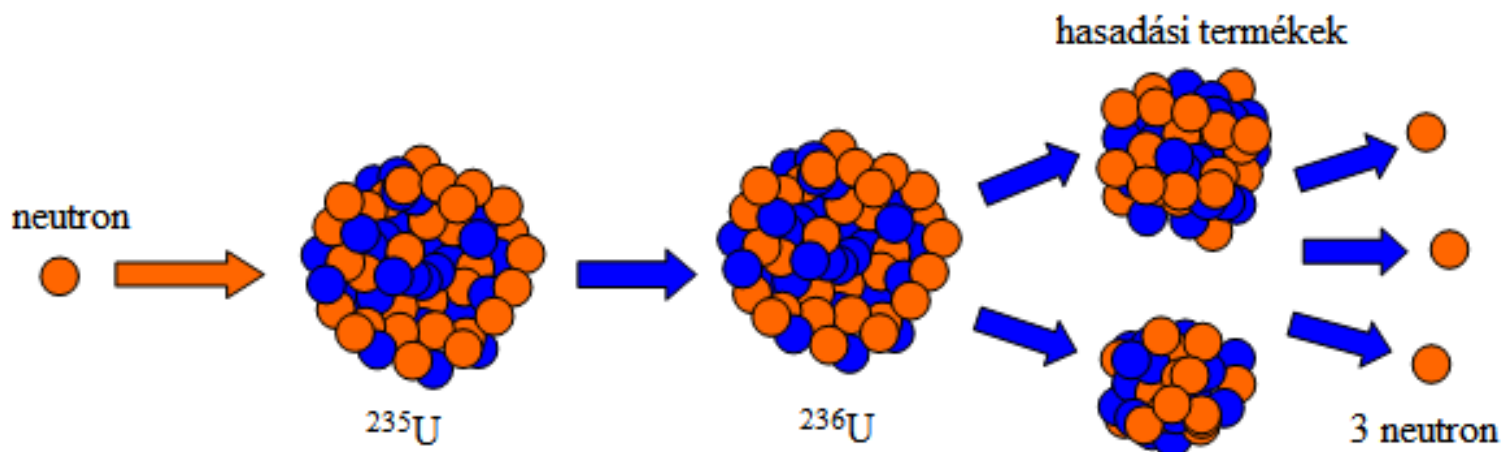
A harmadik eljárás a lézeres szétválasztás. Ennek alapja az, hogy megjelölik az egyik izotópot. Ennek keretében egy elektront elveszít az izotóp, és pozitív töltésűvé válik, míg a

másik izotóp semleges marad. Ezután már elektromágneses térben könnyen szétválaszthatóak az UF_6 -ban jelen lévő izotópok. A következő ábra az uránpasztilla gyártását mutatja be.



3. ábra Az urán gyártása [13]

A leírt módszerek egyikével (leggyakrabban a centrifugáló eljárással) fel kell emelni a természetes állapotban lévő urán ^{235}U tartalmát legalább 1,5, de inkább 3-4 %-ra. Ha megfelelő mennyiségű anyag van jelen, beindul a láncreakció. A 4. ábra mutatja ezt be.



4. ábra A hasadás ^{235}U esetén [14]

Az ábrából látható, a kritikus állapot fenntartásának egyik fontos feltétele: 1-nél több szabad neutronnak kell felszabadulnia a reakció során. A másik fontos feltétel, tényező

pedig az, hogy ezek a felszabadult neutronok átlagosan legalább 1 hasadást hozzanak létre. Ezért kell dúsítani az uránt a feljebb leírt módszerrel, hogy teljesen kordában lehessen tartani a láncreakciót.

Nem csak ezt kell figyelembe venni, hanem más módokon is szabályozni kell a láncreakciót, hogy minél biztonságosabb legyen az atomenergia felhasználása. Ilyen szabályozó még a neutronlassító moderátor, vagy a mozgatható neutronelnyelő szabályozó rudak.

Akkoriban még nem létezett kidolgozott technika az atomenergia békés használatára. Külön volt szovjet, és amerikai fejlesztés, mint akkoriban (a második világháború után) szinte minden területen. Természetes az amerikai és szovjet alatt a fő irányadókat értem, de az amerikai vonalba beletartozott például az angliai MAGNOX típusú reaktor is, így inkább helyesebb lenne a nyugati típusú fejlesztés. Ilyen volt még az amerikai fejlesztésű a Shippinport, Dresden és Fermi I is. A szovjet vonalat egy korai prototípus jelentette. Ez rendkívül bonyolult volt, és sok hiányossággal rendelkezett, így nem terjedt el annyira. Ezek az úgynevezett 1. generációs atomerőművek voltak.

Az EURATOM szerződés értelmében a tudósok megosztották egymás között a műszaki fejlesztéseket. A két irányadó terület együttesen kialakította a 2. generációs atomreaktorokat az 1970-es évek elejére, és 1990-ig telepítette is ezeket. Ezeknek fő jellemzőik az korábbiakkal szemben a biztonságosabb üzemben tartás, olcsóbb kiépítés, és a modernebb technikai megoldások. Ezek a PWR, BWR és CANDU reaktorok voltak a nyugati részről, és a Szovjetunió pedig a VVER és RBMK típusú könnyűvízes reaktorokat fejlesztette. 95%-ban ezeket a reaktorokat használják energiatermelésre. Ezt a generációt bővítik a HTGR nagy hőmérsékletű, gázhűtéses, az AGR javított grafitmoderálású gázhűtéses, a Magnox grafitmoderálású gázhűtéses, és az LMFR folyékony fémhűtésű gyors szaporító reaktorok is. Az RBMK reaktorokból összesen 12 blokk működik a világon, ugyanis elég nagy hiányosságok voltak a tervezés során, ami hibákhoz vezetett a működés alatt. Ezt láthattuk Csernobilban is, igaz, emberi mulasztás is közrejátszott ott, de más típusú reaktorral valószínűleg nem történt volna meg ugyanez a baleset.

Csernobil még egy szempontból fontos volt az atomenergia történetében. A balesetet követően sok ország újragondolta az atomenergiáról alkotott elképzelését, és esetleg le is állította az atomerőműveit, hogy valamilyen más, megújuló energiaforrást használjon. Ami mindegyik országra igaz volt, az az, hogy nem rendeltek több új blokkot, leálltak az építkezéssel. Az akkoriban épülő, már elkezdett reaktorokat még befejezték, de újat nem rendeltek, nem építettek, amíg ez a technika volt a legmodernebb. Hiába az EURATOM

szerződés, az emberek a csernobili baleset láttán nagyon megrémültek a reaktoroktól, és mielőtt tovább akarták folytatni az építéseket, új technológiai megoldásokat szerettek volna létrehozni. Ezért a 2. generációs atomreaktorokat újratervezték, kiküszöbölve a hibáit. A teljesítményét is javították. A biztonsága nagymértékkel nőtt, és gazdaságosabb lett üzemeltetni. Előnye volt még a négy éves, rövid építési idő, az egyszerűbb és robosztusabb kialakítás. Az üzemi élettartam is hatvan évre emelkedett. Kisebb lett a zónaolvadási balesetek valószínűsége, és a teljesítmény kihasználása pedig 90% felett volt. A legjelentősebb 3. generációs reaktorokat a következő táblázat mutatja be.

Reaktor	Típus és gyártó-tervező
AP1000	Advanced Pressurized Water Reactor (Westinghouse)
EPR	European Pressurized Water Reactor (Areva)
VVER-1000/640 AES-2006	Atomenergoprojekt
ATMEA	Areva / Mitsubishi
APWR	Advanced PWR (Mitsubishi, 1700 MW)
APR	Advanced Pressurized Reactor (Korea, 1400 MW)
ABWR	Advanced Boiling Water Reactor (GE-Toshiba)
ESBWR	Economic Simplified BWR (General Electric)
SWR-1000	Siedewasser Reactor-1000 (Areva / Siemens)
ACR-700, -1000	Advanced CANDU Reactors (AECL)
PBMR	Pebble Bed Modular Reactor (Eskom)
GT-MHR	Gas Turbine Modular Helium Reactor (G. At.)
EPR	AREVA NP – EPR European Pressurized-Water Reactor

5. ábra A legfontosabb 3. generációs reaktorok [12]

Beszélhetünk még 4. generációs atomreaktorokról is. Ilyenek tulajdonképpen még nincsenek megépítve, még nem üzemelnek, de tervek, elképzelések már születtek. Az irányelvei a következők:

- a 3. generációs erőműveknél gazdaságosabb üzemeltetés
- a természeti erőforrások fenntartása, a keletkező hulladékok minimalizálása
- a biztonság és megbízhatóság, mely a 3. generációnál is magasabb szintű kell, hogy legyen
- az utolsó, de ugyanolyan fontos, a katonai felhasználhatatlanság

Ezek a jövő atomerőművei, velük valószínűleg még sokáig olcsó villamos energia termelhető. Mire eljön a valószínű üzembe helyezésük, 2030 táján, lehet, hogy egy új technológia gyökeresen megváltoztatja az atomenergetikai ipart, így nem lesz szükség rájuk. Jelenleg azonban ezek a legmodernebb elméleti technológiák a villamos energia termelésére.

1. 4. Kitekintés a jövőre [12,15]

Miért is van létjogosultságuk, mind az atomkutatásnak, mind a nukleáris alapon működő villamos, illetve hő-energiatermelésnek? A válasz nagyon egyszerű: szükség van az energiára, a mai világban elképzelhetetlen lenne az élet bármely területe elektromos áram nélkül. Még a legapróbb eszközhasználatunkhoz is kell az elektromosság. Viszont az energiahordozó készültek, amikből az energiát nyerjük, egyszer el fognak fogyni. Azok az elemek, amelyekből a radioaktív hasadás során keletkező hőenergiát hasznosítjuk, azok is fogynak, de több van belőlük, így olcsóbbak, és kevesebb üvegházhatású gázt bocsátanak ki a reakció alatt. Ráadásul ott van a más, hasadóanyagot tartalmazó érc, pl.: a tórium. Ellenben a fosszilis energiahordozó-készletek különböző számítások alapján hamarabb kimerülnek, és az újratermelődésük hosszú évezredek, évmilliók munkája. Bár ha az ember tovább folytatja azt a tendenciát, hogy mindent felhasznál energiahordozóknak, így a szerves anyagok hulladékát, a biomasszát is, akkor a fosszilis energiahordozók sem termelődnek újra, ugyanis az az évezredek, évmilliók során lerakódott biomassza átalakult formája. Elgondolkoztató az az adat, hogy a világ 1950 és 1960 közötti tíz évben ugyanannyi kőolajszármazékból származó energiát használt fel, mint a korábbi évek alapján, és ezután minden tíz évben ugyanannyit használnak fel, mint azt megelőzően. Igaz, ez a fosszilis energiahordozók csak egy része, de ha ez így folytatódik, pár évtized alatt óriási mennyiségeket emészt fel a társadalom energiaszükséglete.

Számításba jöhetnek még a megújuló energiahordozók, mint a szél-, vagy napenergia, vagy a vízenergia, de ezek csak globális szinten képesek megoldani a problémát, illetve annak csak egy részét. Magyarország viszonylatában erre kevés a lehetőség, mert nincs tengerpartunk, ahol a széllel turbinákat tudnánk meghajtani, vagy az ár-apály jelenséggel nem tudjuk kihasználni a tengervíz emelkedését-süllyedését a villamos energia-termelésre. Hazánkban vannak nagy folyók, ezek vízhozama igen, de esése nem elégséges az ország energiaszükségletének ellátására, ráadásul a vízpartok jó része tájvédelmi körzet, így nehéz egy ilyen típusú építményt, erőművet létesíteni, engedélyeztetni. A napsütéses órák számát tekintve a dél-alföldi régió megfelelő lenne a napenergia-termelésre, de egyrészt a

napkollektoroknak költséges a telepítése, másrészt hatalmas termőterületeket vennének el, így táplálék-behozatalra lenne szükségünk. Az áramingadozás sem tenne jót a magyar gazdaságnak, amelyet a nem egyenletesen működő megújuló energiaforrások használata jelentene.

Mindezekből látszik, hogy sem a fosszilis energiahordozók, sem a megújuló energiaforrások döntő módon nem jöhetnek számba energetikai szempontból Magyarországon, hosszútávon, gazdaságosan, más országoktól függetlenül, ezért van a nukleáris technológia fejlesztésének, és az atomerőműnek létjogosultsága hazánkban.

2. Az atomenergia felhasználása Magyarországon

2. 1. EURATOM Szerződés legfontosabb elemei [16]

1957. március 25-én az Európai Gazdasági Közösséget létrehozó szerződéssel egy napon aláírták az EURATOM szerződést. Ez 1958. január 1-én lépett hatályba. Célja az, hogy az atomenergiát békés célra használja az emberiség, energiatermelésre, valamint egészségügyi célokra, és akadályozza a békés célú eszközök katonai alkalmazását. Szervezeteket hoz létre, valamint konkrét feladatot közöl: elő kell mozdítani a kutatást, és biztosítani a műszaki ismeretek terjesztését; a lakosság és a munkavállalók egészségének védelme érdekében egységes biztonsági előírásokat kell megállapítani. Továbbá elő kell segíteni a beruházásokat, és biztosítani az Európai Unióban az atomenergia alkalmazásának fejlesztéséhez szükséges alapvető létesítmények megteremtését, és gondoskodni kell az Európai Unió összes felhasználójának megfelelő érccel és hasadóanyaggal való rendszeres és méltányos ellátásáról. Megfelelő felügyelettel biztosítani kell, hogy a nukleáris anyagokat kizárólag az előírt célokra használják fel. Továbbá gyakorolja a hasadóanyagok tekintetében a ráruházott tulajdonjogot, és a többi országgal és a nemzetközi szervezetekkel együttműködve előmozdítja az atomenergia békés célú alkalmazásának fejlesztését.

2. 2. Törvényi szabályozás [17]

Magyarországon, a világ számos országához hasonlóan az atomenergiára törvényi szabályozás érvényes. Ez ésszerű, és logikus döntés volt a törvényhozás részéről, hiszen ez az iparág az ipar területén belül is egy emelkedett kockázattal jár, amit persze igyekeznek a minimálisra csökkenteni. A fő cél természetesen az, amit az atomenergiáról szóló törvény az alapelvei között is meghatároz: az atomenergia által nyújtott társadalmi előnyöknek nagyobbaknak kell lenniük, mint a nukleáris létesítmény területén tartózkodó személyeket, a lakosságot, a környezetet, és az anyagi javakat fenyegető kockázatoknak. Sőt, ezt általános feltételként fekteti le az 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról, tehát e nélkül az atomerőmű, és a nukleáris létesítmények nem működhetnének. Ezt, és e mellett még sok egyéb szabályt is figyelembe véve felügyeli az atomenergia biztonságos alkalmazását:

- az Országos Atomenergia Hivatal
- a rendészetért felelős miniszter
- a katasztrófák elleni védekezésért felelős miniszter
- a földügyért felelős miniszter
- az építésügyért felelős miniszter
- a környezetvédelemért felelős miniszter
- a honvédelemért felelős miniszter
- és az oktatásért felelős miniszter.

Fő tevékenysége az Országos Atomenergia Hivatalnak van abban az időszakban, amikor nem történik nukleáris baleset. Természetesen a miniszterek hatáskörébe tartozó feladatok is számottevőek, és fontosak, hiszen az ő munkájuk segítségével kerülhető el egy hatalmas méretű, későn észrevett ionizáló sugárterhelés a lakosság tekintetében, de egy nukleáris baleset esetén a minisztereknek több munkájuk lesz az atomenergiával kapcsolatban.

Az Országos Atomenergia Hivatal a radioaktív anyagokról, és ezen belül elkülönítetten a nukleáris anyagokról központi, hatósági nyilvántartást vezet. Ennek a nyilvántartásnak tartalmaznia kell többek között a radioaktív anyagok helyét, fizikai és kémiai tulajdonágait, az egyes nukleáris anyaggal rendelkező szervezetek rendelkezése alá tartozó nukleáris anyagok minőségét és mennyiségét elemenként (urán, plutónium, tórium), valamint hasadóanyag tartalmát, a sugárvédelmi megbízott nevét, és elérhetőségét, és a létesítményi biztosítéki felügyelő nevét és elérhetőségét, hogy csak a legfontosabbakat említsem. Erre azért van szükség, hogy elsősorban az Országos Atomenergia Hivatal, végső soron pedig a Kormány tisztában legyen azzal, hogy Magyarországon hol találhatók sugárzó anyagok, azok milyen veszélyesek, mely területen, és kik között megy végbe a kereskedelem, és balesetvédelmi szempontból a legfontosabb embereknek melyek az elérhetőségeik.

Ezeket a szabályokat nukleáris létesítménynél be kell tartani. Nukleáris létesítményként jelöli meg az atomtörvény a dúsítóüzemet, a nukleáris üzemanyagot gyártó üzem, az atomerőművet, az újrafeldolgozó üzem, a nukleáris üzemanyagot vizsgáló laboratóriumot, a kutatóreaktort, az oktatóreaktort, a nukleáris kritikus és más neutronsokszorozás célját szolgáló rendszert, a friss nukleáris üzemanyag tárolására és kiegészítő üzemanyag átmeneti tárolására szolgáló létesítményt.

Ez az 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról feldolgozása a teljesség igénye nélkül. Fontosabb részeket nehezen lehet kiemelni, hiszen egyaránt fontos az összes szakasz, összes bekezdés, ahhoz hogy az atomenergiát biztonságosan lehessen felhasználni. Mégis, egyes alapvető elemeit szükséges bemutatni, ezek olvashatók az előbbi sorokban.

2. 3. Atomenergia használata [18]

Ezek közül, ami Hazánk számára igazán fontos, az az atomerőmű, a kutató és oktatóreaktor, illetve a friss nukleáris üzemanyag tárolására és a kiégett üzemanyag átmeneti tárolására szolgáló létesítmény. Nukleáris anyagot az atomerőműben, az oktató- és kutatóreaktorban használnak fel, ezért biztonság szempontjából ezek a legfontosabbak. Az atomerőmű által kibocsátott radioaktív anyagok aktivitása alatta marad a hatósági korlátnak.

Fontos még az erőműben dolgozó emberek egyéni sugárterhelése. Mindenkinek van egy egyéni dózismérője, amely az ő általa felfogott sugárzás értékét mutatja, valamint egy munkához kapcsolódó sugárzásmérője, amely minden egyes különböző tevékenységnél más és más. Így más értékeket is mutat. Ezek úgy vannak beállítva, hogy már az emberre veszélyes dózis 90%-nál jelezzék a műszer, így akadályozva meg az egészségkárosodást. A Paksi Atomerőmű működése alatt ezeknek a dóziskorlátoknak a túllépése még nem következett be. Ezzel is láthatjuk az erőmű biztonságát.

A budapesti kutatóreaktor a csillebérci KFKI telephelyén van. Célja orvosi célú radioaktív izotópok előállítására. Üzemszerű használat során nem történhet károsanyag-kibocsátás, üzemzavar esetén pedig a biztonsági berendezések megakadályozzák, hogy a megengedettnél több radioaktív anyag kerüljön a környezetbe. A másik budapesti nukleáris létesítmény pedig az oktatóreaktor, mely a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem területén található. Tulajdonképpen ezt tekinthetjük a legbiztonságosabbnak, hiszen olyan fizikai negatív visszacsatolások vannak benne, amelyek miatt szinte lehetetlen, hogy beinduljon egy leállíthatatlan láncreakció egy műszaki meghibásodás vagy akár az emberi mulasztás miatt. Több mint harminc éve üzemel ez a reaktor, de még nem történt olyan üzemzavar, ami a reaktor biztonságát megzavarhatta volna.

Magyarországon nem csak az energiatermeléshez használják fel a radioaktív anyagok hatásait. Az egyik ilyen terület az orvosi alkalmazás. Magyarországon a mesterséges sugárterhelést nézve ez a legjelentősebb. Különböző sugárzásokat használnak fel a szűrővizsgálatok során (pl.: tüdőszűrés), vagy sugár- valamint izotópterápia közben. A röntgendiagnosztikánál is kap a páciens egy adott sugárterhelést. Az ipari alkalmazási területen a különböző anyagok roncsolásmentes átvizsgálása során is a röntgen-technikát alkalmazzák, de ugyanezt használják a repülőtereken a poggyász átvilágításánál. Példaként megemlíteném, hogy az orvosi célú besugárzások egy főre eső éves átlaga 1 mSv, ehhez hozzájön a háttérsugárzás, ami körülbelül 2,5-3 mSv/év. Mivel ezek az értékek a

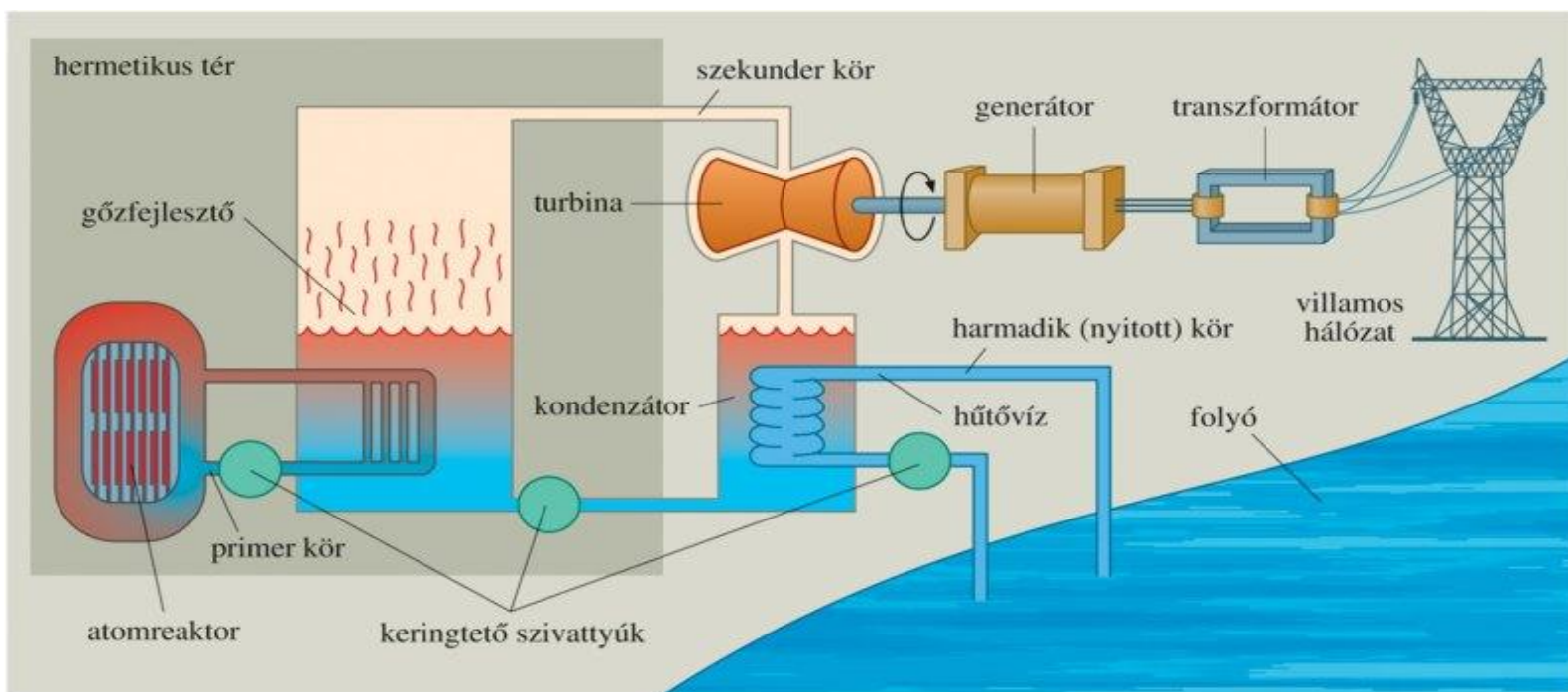
legnagyobbak, elegendő ezeket megemlíteni, hiszen ebből bőven láthatjuk, hogy jóval alatta marad annak a sugárterhelésnek, amit a test már nem képes elviselni roncsolódás nélkül (2 Sv/év).

Az un. besugárzástechnikai alkalmazások több területet érintenek, így az élelmiszeripart, a gyógyászatot, a különböző anyagmegmunkálást, és a mezőgazdaságot is. Az élelmiszeriparnál élelmiszertartósításra, pl.: konzervek csíráatlanítására, a mezőgazdaságban kártevők elleni védelemre, a gyógyászatban egyszer használatos orvosi eszközök fertőtlenítésére, az anyagmegmunkálásnál pedig az anyagszerkezet és felület átalakítására használják. Külön területhez tartozik még a vízforrások kutatása, vagy a biztonsági célú alkalmazás, ami abból áll, hogy különböző csomagokat és a rakományok egy részét is átvizsgálják, átvilágítják. A kutatási célú alkalmazás nem olyan nagymértékű, de azért fontos megemlíteni, hiszen ez is bocsáthat ki háttérsugárzást Magyarországon. Ami nem Magyarország iparára, vagy kutatás-fejlesztésére vonatkozik, de mégis sugárterhelést okoz, az a világűr, aminek a kozmikus sugárzásából ugyanúgy kap országunk, mint a Föld bármely pontja.

Végezetül meg kell még említeni a Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszert, ami több ágazatban, az ország több területén végez speciális méréseket, és azt az Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer összesíti és rendszerezi, annak érdekében, hogy a környezetre, és így közvetve az emberekre is ható sugárterhelést meghatározzák. Erre azért van szükség, mert ha az emberektől távol történik egy nukleáris baleset, vagy ha a kezelőszemélyzet elhalálozott a balesetben, és a helyi ellenőrző rendszer is elromlott, a lehető leghamarabb lehessen a katasztrófáról tájékozódni.

3. A Paksi Atomerőmű

3. 1. Az 1-4. blokk technológiája [12]



6. ábra A Paksi Atomerőmű elvi felépítése [19]

A Paksi Atomerőműben jelenleg 4 blokk található, ezek teljes egészében azonos felépítésűek. Típuszámuk VVER-440/213. Ez a 2. generációs típusok között van számon tartva. Eredeti teljesítménye 440 MW_e , tehát a 4 blokk összteljesítménye 1760 MW_e . Mára a folyamatos fejlesztések következtében a teljesítmény meg lett növelve, így blokkonként ~ 500 , tehát $\sim 2000 \text{ MW}_e$ a teljesítménye az erőműnek.

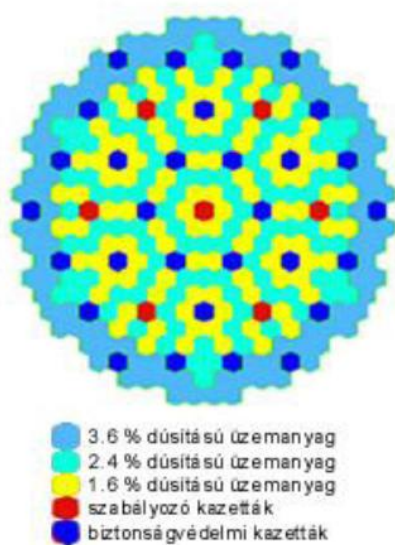
Ez a VVER-440/213 reaktor a nyomottvizes reaktorok közé tartozik. A neve orosz mozaikszó, víz-vizes energetikai reaktor rövidítése. Termikus teljesítménye 1515 MW_t , tehát a blokkok hatásfoka kb. 33%.

Az aktív zóna, ahol a reakció folytatódik, tehát az egész reaktor szíve, egy függőleges elhelyezkedésű, 13,75 m magas reaktortartályban helyezkedik el, aminek a külső átmérője 3,84 méter. Ezt az akkori csehszlovák Skoda gyár készítette, mivel ez a cég volt a legolcsóbb azok közül, akik a megfelelő minőségűre tudták elkészíteni. Jó minőségű acélból gyártották a 14 cm-es falvastagságú, és belülről 9 mm-es rozsdamentes acéllal bélelt tartályt. A rozsdamentes acél korrózió-védelemet biztosít, de ez nem védi meg a tartály anyagának

szerkezetét a neutronsugárzás káros hatásairól. Ez ugyanis megváltoztatja az anyag szerkezetét, folyamatosan, lassan roncsolja azt. Emiatt csak 30-50 év az üzemideje normál körülmények között a reaktoroknak, mivel a tartályok nagysága és költsége miatt cserélni sem éri meg azt.

Az aktív zónában a fűtőelemek pontos számítások alapján vannak elhelyezve, hogy egyrészt a legkevésbé terhelje a tartályt, másrészt az üzemanyag kihasználása is a legjobb legyen. Az 7. ábra mutatja meg a VVER-440/213 típusú blokkok fűtőelem-elrendezését.

A reaktortartály védelmére több megoldás is született. Az egyik az, amit jelenleg a Paksi Atomerőműben is alkalmaznak, hogy az aktív zóna szélére már kiégett, a negyedik évet a zónában töltő kazettákat tesznek (a kazettákban helyezik el a fűtőelem-pasztillákat). Ez azért jó módszer, mert a kiégett fűtőanyagban kevés a ^{235}U , tehát azokból kevesebb neutron lép ki, és a kifelé tartó neutronok egy jó részét is felfogják, így kisebb neutronsugárzás éri a tartályt. A reaktortartály anyagában bekövetkezett változásokat vissza lehet fordítani, ha a tartályt nagyon magas hőmérsékletre hevítik, így a szerkezete újra a régi lesz, mintha még nem lett volna használva a reaktor, olyan.



7. ábra A VVER-440/213 típusú blokkok fűtőelem-elrendezése [12]

Az aktív zóna után a következő, fontos része a reaktornak a gőzfejlesztő. Ennek a lényege, hogy a reakció termikus energiáját kihasználva gőzt fejlesszenek. A primer körnek van meleg és hideg ága, részei pedig a következők: reaktortartály, fűtőelemek, szabályozó rudak,

szabályozórúd-hajtás, nyomásszabályozó, gőzfejlesztő, primerköri keringető szivattyú, betonvédelem.

A primer körben a reaktorba belépő könnyűvizet 123 bar nyomáson, és 267 °C-on tartják. Ezen a nyomáson, és ekkora hőmérsékleten a víz még folyékony, így könnyen áthalad a reaktor aktív zónáján, ahol felmelegszik ~ 297 °C-ra. Az előbb említett meleg ágon kilép a zónából, és eljut a hat gőzfejlesztőbe. Ezek közül az egyik előtt még a víz egy ún. térfogat-kompenzátor előtt halad el. Ennek a feladata fenntartani a megfelelő nyomást úgy, hogy vagy a gőz egy részét lehűtik, így az lecsapódik, vagy a vizet elektromos fűtőtestekkel melegítik, így több gőz fejlődik. Ha nem lenne benne ez a kompenzátor, akkor a berendezések sokkal hamarabb elhasználnának, ugyanis a nyomáskülönbségek is roncsolják az anyagokat. A gőzfejlesztők másik oldalán van a hideg ág, ami visszajuttatja a lehűlt (267 °C-os) vizet a reaktorba a keringető-szivattyú segítségével. Ez a hideg ág is csatlakozik a térfogat-kompenzátorhoz, a hűtést ebből oldják meg.

A gőzfejlesztőkkel meg kell oldani egy problémát: a primerköri radioaktív szennyezett vizet nem szabad eljuttatni a turbinákhoz, mert azok úgy könnyen károsodhatnak. Ezért is kell tulajdonképpen a gőzfejlesztő. Itt kapcsolódik össze a szekunder kör a primer körrel. A szekunder kör részei: frissgőz, tápvíz, nagynyomású turbina, kisnyomású turbina, kondenzátor, tápvízszivattyú, tápvíz-előmelegítő. Itt található az elektromosenergia-előállító rész, a generátor és a gerjesztőgép. A szekunder kör csöveket melegíti fel a gőz, annak adja át a radioaktív hasadásból származó hőenergiát a víz. Már itt van egy kis hőveszteség, ami később tovább növekszik azzal a veszteséggel, amit a cseppleválasztó zsaluk okoznak. Ezek a lemezek szűrik ki a gőzből a vízcseppeket, amik károsíthatnák a turbinákat. Ez a gőz áramlik a nagynyomású turbinába, ahol a termikus energia mechanikus energiává alakul. A gőz lehűl ~140 °C-ra, a nedvességtartalma megnő, így újra le kell választani a vízcseppeket. Melegítés után a kisnyomású turbinákba kerül, ahol kihasználják a maradék kinyerhető energiát, majd a kondenzátorban a Duna vizével lehűtik. A Duna vize sem keveredik a szekunder körrel, az számtalan csövön keresztül hűti ~25 °C-ra a vizet, és emellett kondenzálja is. Ebben a kondenzátorban vákuum van, ami azért fontos, mert ez hajtja át a gőzt a turbinákon. Miután ez megtörtént, a vizet újra felmelegítik, részben a gőz hőenergiáját felhasználva egy kilenc lépcsős folyamaton keresztül ~ 223 °C-ra. Ez a tápvíz, és ez megy be a gőzfejlesztőkbe, hogy felvegye újra a primer kör hőenergiáját. Ez a tápvíz, és ez megy be a gőzfejlesztőkbe, hogy felvegye újra a primer kör hőenergiáját.

A VVER-440/213 típusú reaktorok üzemanyaga urán-dioxid. Ezt urán-oxid porból állítják elő, úgy hogy összepréselik 9 mm magas, és 7,6 mm átmérőjű hengerekre, a középvonalánál

1,6 mm-es belső furattal. Ez a belső furat a hőmérsékletet és a nyomást csökkenti. 3,6%-os dúsítású uránból készítik a pasztillákat, amit egy 2,5 m hosszú és 9 mm átmérőjű csőbe töltenek. Megtöltik héliumgázzal, utána hermetikusan lezárják. A pasztilla és ez a burkolat együtt jelenti az üzemanyagpálcát. 126 üzemanyagpálcát raknak egy hatszögletes kazettába. Ezek között a kazetták között helyezkednek el a szabályozó kazetták, a 5. ábrának megfelelően, bóracélból. Összesen 37 szabályozó és biztonságvédelmi kazetta van. Ezek közül 30 állandóan ki van húzva, és az alján egy fűtőelem-kazetta helyezkedik el. A szabályozókazettákkal a reaktor bármikor biztonságosan leállítható, de az a 7 szabályozókazetta, ami mindig bent van a reaktorban, csak az üzem közbeni teljesítményszabályozásra használható.

3. 2. Az atomerőmű története [4]

A második világháború után folytatódhatott az a folyamat, amit a 1939-ben kezdődő „nagy világégés” szakított meg. A maghasadáson alapuló energiát már nem csak katonai célra használták fel, hanem a további fejlesztések következtében elektromos energiát is képesek voltak előállítani. A megépítés fő szempontja az üzemanyag ára volt, ami olcsóbb, és régebben még olcsóbb volt, mint a hasonló teljesítményű szén- vagy gázüzemű erőmű üzemanyagköltsége. Akkoriban a környezetvédelem még nem volt fontos, ez nem játszott szerepet a megépítésében, csak majd az ózonréteg folyamatos vékonyodása miatt került előtérbe az atomerőműveknek ez az előnyös tulajdonsága. A kezdeti beruházásokban Magyarország még nem vett részt, noha 1957-ben már elkezdtek építeni egy kutatóreaktort. Ez a budapesti Csillebércen volt, ahol a KFKI telephelyén 1959-ben üzembe is helyezték azt. Ez 1967-re 3,2 MW_t teljesítményűre nőtt. Az akkor már megalakult Országos Atomenergia Bizottság (OAB) szorgalmazta az atomenergia szélesebb körű, akár ipari felhasználását. Ehhez viszont az a szakembergárda hiányzott, aki képes lett volna szakszerűen és biztonságosan kezelni azt. A Budapesti Műszaki Egyetem ezért elkezdte oktatni ezt, már 1957-től, bár az első ilyen irányú szakmérnöki képzés csak 1960-ban indult el. Ennek a hatására az OAB 1961-ben megbízást adott egy egyetemi oktató-reaktor megtervezésére. A tervek kész is lett, 1967-ben elkezdték építeni a BME-n, és 1971-ben üzembe helyezték a 10 kW hőteljesítményű reaktort, ami teljes egészében magyar tervezés és gyártmány.

Megvolt már a szakembergárda is, sőt, egyre több hallgató került ki a BME falai közül, akik képesek voltak kezelni egy atomerőművet. A szovjet fejlesztések miatt Magyarországon is egyre nagyobb lett az igény egy biztonságos atomerőmű kiépítésére. Az első erre vonatkozó

nemzetközi megállapodást 1966-ban írták alá, mely arról szólt, hogy a Szovjetunió és a Magyar Népköztársaság együttműködik egy atomerőmű felépítésében a Magyar Népköztársaság területén. A kezdeti tervek még VVER-440/230 típusú atomerőművekről szóltak. Ezek kevésbé voltak biztonságosak, mint a most üzemben levő blokkok. Kettő 400 MW-os teljesítményű blokkot terveztek. Egy fontos kérdés ezután következett: hol lehetne létesíteni az erőművet? Dr. Lévai András professzor kezdeményezte ezeknek a területeknek a felkutatását. Atomerőmű-létesítésre alkalmas területek a következő ismérvekkel bírnak. Aránylag kevésbé lakott, nincs a közelében nagyobb város, ipari, katonai létesítmény, jó a közműellátás, a közlekedés, a szállítás megteremtésének a lehetősége, továbbá biztosítható a szükséges ipari víz. Kivédhetők a természeti csapások (földrengés, árvíz, vagy más extrém hatások), a térség általaja az építésre alkalmas, és a meteorológiai viszonyok ismertek vagy megismerhetők.

Magyar és szovjet mérnökök is vizsgálták az országot, számos helyet alkalmasnak találtak, többek között Paks mellett, és Szekszárd mellett a Sió torkolata. A szakértői gárda a Paks és Dunaszentgyörgy közötti területet tartotta megfelelőbbnek, így ez lett a projekt telephelye. Mivel ezt a területet a szovjetek javasolták, már itt megvolt az első vita, és nehézség a beruházásban. Később egyre többször, és egyre komolyabb dolgoknál előjöttek a problémák, mivel a magyar mérnökeink nem tudtak elég jól oroszul, az oroszok pedig magyarul, és a szakkifejezések még jobban nehezítették a helyzetet. Másik probléma a szabványok voltak, például a beton esetében. A magyar szabványnak megfelelő homokos kavicsbeton kisebb testsűrűségű, mint a szovjet zúzott kőbeton. Végül, több számolás, mérés (biológiai-védelmi, statikai) után elfogadták a magyar szabványt. Különbség volt még például az orosz „a folyó tízezer éves árvízszintje” kifejezés, ami a magyar gátkoronaszintnek felel meg.

Miután kijelölték a telephelyet, ott meteorológiai állomást létesítettek, és elkezdték rendezni a terepet. Közben 1967-ben magyar szakemberek betanítása folyt a novovoronyezsi és a bjelajarszki atomerőműben egy hónapos turnusokban, elméleti és gyakorlati képzésben. Az építetők itt tudták meg, hogy a hazai kapacitás nem elég nagy, hogy kielégítse az atomerőmű építőipari szükségletét.

Később, 1968-ban Moszkvában a magyar szakemberek átvették az atomerőmű terveit, amiből kiderült, hogy az eredetileg tervezett 400 MW-os teljesítményt felemelték 440 MW-ra, és a szabályzás a szabályzórudakban történik bór segítségével, ellentétben az eredeti tervvel, ahol a vízbe rakták volna a bört. Benne volt még a változtatások között reaktorüzem és az erőmű biztonsági tervei is. Ezek ma szigorúan titkos minősítésűek, csak azok

tekinthetnek bele, akik rendelkeznek C típusú nemzetbiztonsági ellenőrzéssel, és jogosultak a betekintésre.

A hazai nukleáris szakértők (a KFKI munkatársai segítségével) megvizsgálták a tervet, és egy szakmai vita kapcsán egyeztettek a szovjet tervezőkkel, majd a tervet közösen elfogadták. A munkálatok folytak, már kész volt a talajrendezés, elkezdték építeni az erőmű épületeit, kiszolgáló-állomásokat létesítettek, mikor 1970-ben a Kormány úgy döntött, hogy az atomerőmű építését elhalasztja, mert a vegyipari és energetikai területen a szénhidrogénbázist részesítené előnyben. Csak a bekötőút építése, és a további tereprendezés munkafolyamatai folytatódtak.

1972 februárjában mégis az építés mellett döntöttek. Mivel a korábbi építkezés leállt, módosítani kellett az 1966-os államközi egyezményt. Az új tervek, melyeknek 1973 decemberére kellett elkészülniük, már 1900-2000 MW-os erőműről szóltak, aminek az első reaktorát 1980-ban, a teljes erőművet pedig 1985-ben üzembe kell állítani.

Az erőmű épületeit, egyes szerkezeti és erőművi elemeit főként magyar gyárak gyártották le a projekthez, azonban a csehszlovák Skoda is kapott megrendelést. Az így kapott tervek és az ígért minőség alapján a műszaki tervet 1974 decemberében elfogadták, ezért elkezdődhetett a reaktorcsarnok építése is. Az építkezés az I.-II. csarnok viszonylatában 1975 közepén kezdődött az alaplemez lerakásával. Ez egy két méter vastag vasalt vasbeton volt. Az ehhez tartozó vasanyag szovjet gyártmány volt, a beton és a talajvíz elleni szigetelés is magyar. 1977 elejére elkészült. Ezután az építkezés további folyamata során kétfajta betont kellett használni. Egyrészt egy kötött térfogatsúlyú betont, ez megfelelt a hazai általánosan felhasznált betonnak, és egy olyan nehézbetont, amiben egyenlő arányban van vassörét, vasérc és homok, sóder. Ez a biológiai védelmet is megvalósította. A reaktorcsarnokban használt padló és fal burkolásának a megválasztása is problémás volt. Végül egy olyan anyagot választottak, amely időtálló, a felületet jól zárja, és képes kibírni a sokszori, forró vegyszeres oldattal való lemosást. Addigra a szekunder-köri gépház épületei is építés alatt álltak. 1976-ban kezdték ezt el építeni, párhuzamosan a később az atomerőműben dolgozó szakemberek felkészítésével, oktatásával. Folyamatosan folyt az építkezés, míg végül 1980 első felére elkészítette a Skoda a reaktortartályt, és leszállította. Az év második felében helyezték be a tartályt a helyére, ezt az időpontot tekinthetjük az építkezés végének az I. csarnok esetén. A többi csarnokban a munkák hasonlóképpen folytak, időeltolódással.

Az üzembe helyezés során meg kellett állapítani, hogy az addig felépített épületek, kiépített cső- és villamosvezetékek valamint a gépház alkalmas-e az biztonságos működésre. Ehhez a csövekben nyomáspróbákat tartottak, kitisztították őket, majd üzemi folyadék

keretében melegen járatták, végül leállították és ellenőrizték az állapotát. A melegen járatás azt jelenti, hogy a berendezésrendszer elvégzi azt a feladatot, melyet majd a teljes működés során kell, de villamos energia termelése nélkül. Minden egyes berendezésnél szükséges volt a folyamat, el kellett végezni az összes berendezésrendszernek az összes részfeladatot, csak ez után kerülhetett sor a teljes blokk próbájára.

A reaktorblokk üzembe helyezése előtt már voltak próbák, de nem a reaktorbloknál, hanem azon kívül. Az akkor telepített 120 méter magas meteorológiai tornyot tesztelték, valamint a külső sugárvédelmi ellenőrző műszereket, amelyeket az erőmű 3 és 30 km-es körzetében helyeztek el. Mire az I. blokk megépült, ezek biztonságosan működtek.

További vizsgálatok folytak a hermetikus térben. Annak tömörségét vizsgálták. Az összes hegesztési varratnak, ajtónak, csővezetéknek, kábelnek a furatait egyenként át kellett nézni, a talált hibákat javítani kellett. Ezután 1,5 bar nyomás alatt tartották a hermetikus teret, és meghatározták, hogy mennyi idő alatt szivárog el a levegő annyira, hogy a hermetikus téren belül normál légköri nyomás legyen. Ez 24 óra alatt 2/3-a volt a megengedett sugárvédelmi értékeknek. Ez volt az egyik legkényesebb pontja az üzembe helyezési ellenőrzéseknek, méréseknek.

1982. december 28-án indították el az I. blokkot, majd fokozatos terheléssel 1983 júniusára érte el a 100%-os teljesítményt. 1983 novemberében az akkori Kormány képviselője beszédet mondott és megköszönte az építők becsületes, és kitartó munkáját, mely során egy olyan biztonságos erőművet építettek, ami Magyarország energiaellátását nagymértékben függetleníti a külföldi erőforrásoktól.

3. 3. Üzemzavar [20]

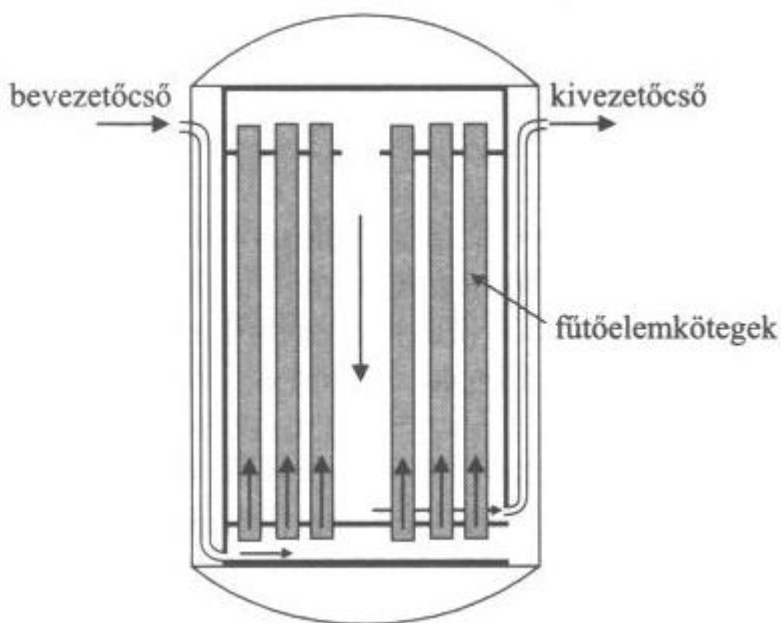
2003. április 10-én súlyos üzemzavar történt a Paksi Atomerőműben, az üzemanyag feltöltése közben.

A reaktor friss üzemanyaggal való feltöltése egy rendkívül körülményes folyamat. Első lépése, hogy ki kell szedni a korábban használt fűtőelemeket, majd egy meghatározott séma szerint a reaktoron belül egy másik pozícióba kell helyezni. Azokat a fűtőelemkötegeket, amelyek már három évet töltöttek a reaktorban, a pihentetőmedencébe rakják. Helyére kerülnek a két évet bent töltött fűtőelemek, és azok helyére pedig az egy évet bent töltöttek. Az új, friss üzemanyagot az egyéves kötegek helyére teszik.

Mivel a hasadóanyag-tartalom miatt a fűtőelempálcák a reaktor leállítása után is hőenergiát bocsátanak ki, a túlhevülés elkerülése végett hűteni kell azokat. Ez a folyamat hosszú ideig

tart. Az egyik ilyen, hosszú, de fontos feladat a fűtőelemkötegekre kivált oxidok eltávolítása. A másik, hogy az üzemanyag-feltöltés közben a reaktoron belüli karbantartási munkákat is elvégzik.

2003. április 10-én teljesen szokványos módon folyt a művelet az erőműben. A technikusok hamarabb végeztek a fűtőlempálcák felületének mosatásával, mint ahogy a reaktortartályt karbantartók elkészültek volna, ezért a tisztítótartályban hagyták azt a harminc fűtőelemköteget, ami benne volt. Mivel a tisztítás befejeződött, ezért a technikusok az oxálsavas mosató-folyadék áramát lecsökkentették 250 m³/óráról körülbelül 20 m³/óra. Ez a mennyiség elegendő lett volna a fűtőelemek hűtésére, de a tisztítótartály hibás szerkezeti felépítéséből probléma adódott. A tisztítótartály felépítését mutatja be a 8. ábra.



8. ábra A tisztítótartály felépítése [20]

Az ábrából látható, hogy a víz útja nem törvényszerű, hogy az egész tartályon keresztuláramoljon, hiszen a kivezetőcső bemeneti nyílása nem sokkal a tartály alja fölött helyezkedik el. A víz alacsony tömegárama miatt következett be az, hogy a fűtőelemek felső része lényegesen kevesebb vizet kapott, mint az alsó. A felső részen a víz forni kezdett, és a felszabaduló légbuborékok egy nagy légbuborékká egyesültek. Ebben gőz volt, aminek, ha nem áramlik, lényegesen rosszabb a hűtő hatása, mint a víznek. A kialakult magas hőmérséklet miatt a fűtőelemkötegek burkolata felrepedt, és lehetséges, hogy a tisztítótartályban lévő vízzel reakcióba is lépett. A gőzbuborékba ekkor kerültek radioaktív

nemesgázok, illetve illékony hasadási termékek. A tartály szellőzőcsövén keresztül ezek egy része kiáramlott, és miután a műszerek jelezték a megemelkedett sugárszintet, a tartályt megpróbálták felnyitni. A gőzbuborék nagy része ekkor szabadult ki, és a helyébe lépő hideg víz megrongálta a túlhevült fűtőelemkötegeket.

A környezetbe kilépő radioaktív szennyezés nem volt jelentős mértékű, bár több helyen mérhető volt, mégis, a lakosság számára egészségügyi kockázatot nem jelentett ez a többletdózis.

Az üzemzavar okait hosszasan lehetne sorolni, de a legfontosabb talán a tisztítótartály hibás felépítése volt. Korábban azért nem láthatták ezt a hibás konstrukciót, mert ebben az esetben alkalmazták először ezt a fajta tisztítóberendezést.

4. A Katasztrófavédelem által alkalmazott KML egységek mérésének és szakfelszereléseinek rövid ismertetése

4. 1. A KML alkalmazásának rövid ismertetése [21]

A KML a Katasztrófavédelmi Mobil Labor mozaikszavas rövidítése. Ez a gépjármű fel van szerelve az ABV felderítés eszközeivel. Az ABV felderítés azt jelenti, hogy a gépjármű képes az atom-, biológiai-, és vegyi felderítésre. Birtokában van azoknak az eszközöknek, melyekkel felismerhető, beazonosítható a kárhelyszínen a veszélyes anyag, hogy az ellen megfelelően lehessen védekezni. Másfelől, a beavatkozó tűzoltók, mentők, rendőrök munkáját is segíti az adott kárhelyszín felderítésével, és a mentési munkálatok koordinálásával a KML egységek beosztott állománya.

Ezt a felderítést minden veszélyes anyagot szállító kamion, vasúti szerelvény balesete, a vegyi üzemek, kórházak, hulladéktárolók, és hasonló, veszélyes anyagot kezelő és felhasználó létesítmények, üzemek területén történő rendkívüli események kapcsán el kell végezni. Természeti és civilizációs katasztrófák esetén is szükségesek a mérések, ugyanis mind a kettő esetben szabadulhat ki veszélyes anyag, illetve egy természeti katasztrófa könnyen átalakulhat civilizációs katasztrófává, ha egy veszélyes anyagot felhasználó, tároló létesítmény területét is érinti az adott természeti katasztrófa.

A mérésre azért is szükség van, mert a mért adatok kiértékelése feltétlenül szükséges, ha a katasztrófa nem marad meg lokális szinten. Ilyen esetben az adatszolgáltatás a felsőbb vezetésnek szükséges, hogy a megfelelő döntéseket hozhassák meg a helyzet, káresemény mielőbbi felszámolására.

A KML gépjármű a veszélyes anyagok közúti ellenőrzésében (az ADR ellenőrzésben) is részt vesz, együttműködve többek között a Rendőrséggel, és a Nemzeti Adó és Vámhivatallal.

Az országban 1 nagyobb (ebben a gépjárműben a szakfelszerelések arzenálja szélesebb), és 19 kisebb típusú KML gépjármű van rendszerben jelenleg. A fővárosban található a nagyobb gépjármű, a megyei igazgatóságokon pedig a kisebb gépjárművek találhatóak. A jobban felszerelt gépjárművet mutatja a 9. ábra.



9. ábra Mercedes Vario típusú KML gépjármű [22]

4. 2. BNS-94FM Sugárfelderítő járműfedélzeti rendszer [23]

A KML gépjárművek szakfelszerelése közé tartozik a Gamma Műszaki Zrt. által fejlesztett és gyártott BNS-94FM Járműfedélzeti Sugárfelderítő Rendszer. Ezt a 9. ábra mutatja be. Ezzel folyamatosan vizsgálható egy terület gammasugárzása állványról vagy járműről. Az eszközzel radioaktív szennyezettség vagy a rejtett sugárforrások is biztonsággal is felismerhetők. Akár 30-40 km/h sebességgel haladó tárgy sugárzását és sugárszennyezettségét is képes felismerni, de minél kisebb a sebesség, annál kisebb az a küszöb, amelynél riaszt. A gammasugárzás mellett a neutronsugárzást is érzékeli. Jelzés esetén a műszer is jelez, valamint a gépjármű fedélzeti számítógépére küldött adatok alapján is nyomon követhető a sugárszint mozgása.

Más, hasonló funkciójú műszernél jobb tulajdonságokkal rendelkezik, mert nem igényel állandó üzemi hőmérsékletet, nincs túlméretezett ólomárnyékolás benne, vagy kiegészítő detektor a háttérsugárzás kompenzálására. Előny továbbá, hogy nem igényel kalibrálást használat közben.



10. ábra A BNS-94FM Járműfedélzeti Sugárfelderítő Rendszer [23]

4. 3. A SOR/T Harcászati Sugáradagmérő, XOM/T Adatleolvasó Készülék [23]

A SOR/T Harcászati Sugáradagmérőt (mely a 10. ábrán látható) a RespirátorZrt. készítette. A KML gépjárművek szakfelszerelése között ez is szerepel. Az egyéni, elszennvedett dózisteljesítményt méri. Gamma- és neutronsugárzás mérésére is alkalmas. Az adatokat megőrzi a műszer még akkumulátor nélkül is 10 évig. Képes egy előre beállított küszöb előriasztására, és riasztására. Ez rendkívül fontos olyan személy számára, aki erősen sugárszennyezett területen méréseket végez, vagy ott dolgozik. A központi XOM/T adatleolvasó készülékhez lehet csatlakoztatni, ez végzi a mérési adatok leolvasását visszamenőlegesen, és a műszer konfigurálását. Tájékoztatja a kezelőt a SOR/T műszer rendellenességeiről, és az összegyűjtött, és kezdetlegesen feldolgozott adatokat számítógépre továbbítja. A XOM/T adatleolvasó készülék a gépjárművön marad, a SOR/T harcászati sugáradagmérő pedig minden személynél. A ruházat belső részébe kell tenni, minél közelebb a testhez, hogy a testet ért dózis mérése a lehető legpontosabb legyen.



11. ábra A SOR/T harcászati sugáradagmérő [24]

4. 4. IH-95 v5.5 Sugárszint- és Szennyezettség-mérő Műszer [23]

A 11. ábrán látható IH-95 v5.5 sugárszint- és szennyezettség-mérő műszer is a KML gépjárművek szakfelszerelése közé tartozik. Ez az eszköz alkalmas a gamma sugárszint mérésére, a gamma sugárszint gyors, folyamatos keresésére a Gy/h mértékegységben, a gamma dózis mérésére Gy mértékegységben. Ha ezek egy bizonyos, előre beállított szintet elérnek, a műszer jelez is. Felületi alfa- és béta szennyezettséget is mér Bq/cm², béta radioaktív koncentrációt Bq/l mértékegységben, valamint 10 Bq/cm²-t meghaladó szennyezettség esetén riaszt is. A műszer alkalmas a terep sugárfederítésére nukleáris környezetellenőrzés, és nukleáris baleset-elhárítás során, akár szélsőséges körülmények között is.



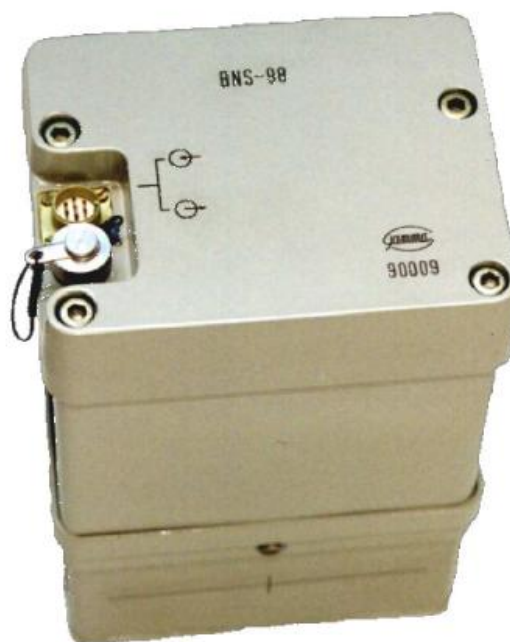
12. ábra Az IH-95 Sugárszint- és szennyezettség-mérő műszer [23]

4. 5. Az IH-295 Terepi Sugárszennyezettség-mérő Műszer [23]

Az IH-295 Terepi Sugárszennyezettség-mérő Műszer hasonló az IH-95-höz, de annyiban különbözik tőle, hogy egyszerre képes mérni gamma-sugárzást és felületi alfa-, valamint béta szennyezettséget, akár magas gamma háttérsugárzás jelenléte mellett is. A központi egységét továbbra is, hasonló módon az IH-95-höz nyakba akasztva lehet hordani, míg a felületi sugárszennyezettséget mérő egységét a műszernek egy mankószerű nyéllel látták el. Ez tartalmazza az eszköz GPS egységét, mellyel a KML gépjárműből pontosan meghatározható a beosztott GPS-koordináták szerinti helye. Ezzel egyrészt pontosan lokalizálható a szennyezettség helye, másrészt a beosztott balesete esetén pontosan meghatározható a helye, könnyebb megmenteni.

4. 6. A BNS-98 Dózisteljesítmény Távadó [23]

A KML gépjárművek utolsó sugaras műszerét, a BNS-98 Dózisteljesítmény Távadót a 12. ábra mutatja be. Ez a TVS-3 Környezetvédelmi Ellenőrző Állomás részeként a környezetben méri a gamma-sugárzást. Nem tartalmaz vezérlő gombokat, vagy kijelzőt, hanem a KML gépjármű fedélzeti számítógépére küldi az információkat kábeles, vagy Wi-Fi összeköttetéssel. Az eszköz rendelkezik hitelesítéssel, tehát joghatással járó mérésre is alkalmazható.



13. ábra A BNS-98 Dózisteljesítmény távadó [23]

Összefoglalás

Törekedtem arra, hogy dolgozatomnak egy rövid kivonata az iparbiztonsági szakirányon felhasználható legyen oktatási célzattal, a nukleárisbaleset-elhárítás, mint a Katasztrófavédelem által meghatározott iparbiztonsági feladat végrehajtásának elméleti oktatásánál.

Véleményem szerint a nukleáris ipar témakörét alapszinten meg lehetett ismerni pályamunkámból. Az eljárásokat, melyekkel a hasadó-anyagot dúsítják, szintén leírtam, valamint a jelenleg üzemelő, és a jövőben majd üzemelő reaktorok irányvonalait, legfontosabb tulajdonságait is. Az atomenergiára vonatkozó jogszabályok egy részét is ismertettem.

Magyarországon a nukleáris energia felhasználását is bemutattam, nem csak az atomerőműnél, hanem az mindennapi élet más területein is. A sugárvédelem alapismereteit is összegyűjtöttem, a sugaras műszerekkel együtt, amelyet a KML egységek használnak nukleáris sugárszint felmérésére, terepen, és ADR ellenőrzésen is.

Fontosabb fogalmak rövid ismertetése

„Beavatkozás

Emberi tevékenység, amely a sugárforrásra, a besugárzás útvonalára és magukra az egyénekre gyakorolt hatás révén megelőzi vagy csökkenti a személyek olyan sugárterhelését, amely nem szabályszerű tevékenységből vagy az ellenőrzés alól kikerült forrásokból ered.” [25]

„Belső sugárterhelés

Valamilyen módon (belégzés, lenyelés, bőrön át történt felszívódás, nyílt sebbe jutás) a szervezetbe került radioaktív anyag hatására létrejött sugárterhelés.” [25]

„Egészségkárosodás

Népességi csoportban az ionizáló sugárzással történt besugárzás következtében előforduló élettartam- és életminőség csökkenés becsült kockázata. Magában foglalja a szervi vagy szöveti sugárhatásokból eredő károsodást, daganatokat és a súlyos örökletes rendellenességeket.” [25]

„Elkerülhető dózis

A védelmi intézkedés nélkül és annak végrehajtásával várható dózisok különbsége.” [25]

„Elnyelt dózis

A besugárzott anyag egységnyi tömegében a sugárzásból elnyelt energia. Egysége a Gy (gray). $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.” [25]

„Elnyelt dózisteljesítmény

Egységnyi idő alatt elnyelt dózis. Egységei: Gy/h, mGy/h, mGy/h.” [25]

„Felületi szennyezettség

Az egységnyi felületre jutó aktivitás. Egysége: 1 Bq/cm^2 .” [25]

„Izotópok

Egy adott elem különböző tömegszámú változatai. Az jellemző rájuk, hogy a megegyező protonszám mellett különböző számú neutron található az atommagjukban. Kémiai szempontból nincs közöttük különbség.” [25]

„Külső sugárterhelés

A szervezeten kívül elhelyezkedő sugárforrás hatására létrejött sugárterhelés.” [25]

„Radioaktív anyag

A természetben előforduló vagy mesterségesen előállított bármely anyag, amelynek egy vagy több összetevője ionizáló sugárzást bocsát ki, valamint az ilyen anyagot tartalmazó készítmény, amennyiben a benne lévő radioaktív anyagok aktivitása, vagy az aktivitáskoncentrációja meghaladja a 23/1997.(VII.8.) NM rendeletben meghatározott értéket.” [25]

„Radioaktivitás

Bizonyos atommagoknak az a tulajdonsága, hogy minden külső hatás nélkül ionizáló sugárzás kibocsátása közben más tulajdonságú atommaggá alakulnak. A bomlás sebességét pl. a felezési idővel lehet jellemezni. A felezési idő alatt a kezdeti aktivitás a felére csökken.” [25]

„Radioaktív szennyezés

Bármely anyag, felület vagy személy, vagy a környezet szennyeződése radioaktív anyaggal. Az emberi test radioaktív szennyeződése magában foglalja mind a bőr külső, mind a szervezet belső szennyeződését, tekintet nélkül a radionuklid-felvétel útvonalára.” [25]

„Sievert (Sv)

Az egyenérték és effektív dózis speciális egysége: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$.” [25]

„Sugárforrás

Radioaktív anyag és olyan készülék vagy berendezés, amely ionizáló sugárzás kibocsátására szolgál. Az atomerőművi gyakorlatban sugárforrásnak nevezzük továbbá mindazokat a berendezéseket, eszközöket és tárgyakat, melyek ionizáló sugárzást bocsátanak ki.” [25]

„Sztochasztikus sugárhatások

Olyan sugárhatások, amelyeknek küszöbdózisuk nincs, előfordulásuk valószínűsége arányos a dózissal, súlyosságuk azonban független a dózistól.” [25]

„Veszélyhelyzeti sugárterhelés

Olyan önkéntes személyeknek a dóziskorlátok egyikét meghaladó sugárterheléssel járó sugárterhelése, akik

- a) veszélyeztetett személyek segítségére szolgáló sürgős intézkedést hajtanak végre,
- b) elősegítik népességi csoport(ok) sugárterhelésének megelőzését vagy csökkentését,
- c) közreműködnek létesítmény(ek), vagy javak megóvásában.” [25]

„Zárt sugárforrás

Olyan forrás, amelynek felépítése - szabályszerű használat mellett – megakadályozza a radioaktív anyagok kijutását a környezetbe.” [25]

Jogszabálygyűjtemény

A témakörre vonatkozó egyes jogszabályok a következők:

2011. évi CXXVIII. Törvény 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról

http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=139408

234/2011. (XI. 10.) Korm. Rendelet 234/2011. (XI. 10.) Korm. rendelet a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény végrehajtásáról

http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=140039

290/2011. (XII.22.) Korm. Rendelet 290/2011. (XII.22.) Korm. rendelet a honvédelemről és a Magyar Honvédségről, valamint a különleges jogrendben bevezethető intézkedésekről szóló 2011. évi CXIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról

http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=140215

62/2011. (XII. 29.) BM rendelet 62/2011. (XII. 29.) BM rendelet a katasztrófák elleni védekezés egyes szabályairól

http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=142890

61/2012. (XII. 11.) BM rendelet 61/2012. (XII. 11.) BM rendelet a települések katasztrófavédelmi besorolásáról, valamint a katasztrófák elleni védekezés egyes szabályairól szóló 62/2011. (XII. 29.) BM rendelet módosításáról

http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=156828

26/2012. (VI.15.) BM utasítás 26/2012. (VI.15.) BM utasítás BM utasítás a Belügyminisztérium és a belügyminiszter által irányított szervek készenlétbe helyezéséről, a különleges jogrend bevezetésére történő felkészülés szabályairól, valamint személyi

állományának értesítéséről

http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=150206

219/2011. (X. 20.) Korm. Rendelet 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről

http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=139993

65/2013. (III.8.) Korm. Rendelet 65/2013. (III.8.) Korm. rendelet a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről

http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=159312

1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról

http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=27331.254079

Irodalomjegyzék

[1]

<http://www.atomeromu.hu/> (letöltve 2014.03.13.)

[2]

2014. évi II. törvény (2014. 03.13-án hatályos)

[3]

<http://www.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf> (letöltve 2014. 03. 13.)

[4]

Dr. Aszódi Attila, Bajszt József, Bilecz Ferenc, Buday Gábor, Cserháti András, Dr. Elter József, Kiss István, Laczai Szabó Tibor, Lovass Gyula, Maróthy László, Ördögh József, Dr. Szatmáry Zoltán, Dr. Trampus Péter: Prométheusz magyar unokái

[5]

http://www.atomeromu.hu/download/3217/Alapfokozatu_sugarvedelmi_ismeretek_jegyzet.pdf (letöltve 2014. 03. 30.)

[6]

<http://www.atomeromu.hu/download/199/Sug%C3%A1reg%C3%A9sz%C3%A9g%C3%BCgyi%20ismeretek.pdf> (letöltve 2014. 03. 30.)

[7]

http://www.atomeromu.hu/download/3217/Alapfokozatu_sugarvedelmi_ismeretek_jegyzet.pdf ábra alapján saját készítés (letöltve 2014. 04. 20.)

[8]

<http://hamaoka.chuden.jp/english/radioactivity/dailylife.html> (letöltve 2014. 03. 30.)

[9]

<http://www.arpansa.gov.au/radiationprotection/basics/understand.cfm>
(letöltve 2014. 03. 30.)

[10]

<http://www.atomeromu.hu/download/199/Sug%C3%A1reg%C3%A9sz%C3%A9g%C3%BCgyi%20ismeretek.pdf> ábra alapján saját készítés (letöltve 2014. 03. 30.)

[11]

Pátzay György: Atomenergetika és nukleáris technológia

[12]

<http://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/ur-enrichment.html> (letöltve 2014. 04.24.)

[13]

<http://web.evs.anl.gov/uranium/guide/uf6/index.cfm> ábra alapján saját készítés (letöltve 2014. 04. 24.)

[14] [http://www.schoolphysics.co.uk/age14-](http://www.schoolphysics.co.uk/age14-16/Nuclear%20physics/text/Nuclear_fission/index.html)

[16/Nuclear%20physics/text/Nuclear_fission/index.html](http://www.schoolphysics.co.uk/age14-16/Nuclear%20physics/text/Nuclear_fission/index.html) ábra alapján saját készítés (letöltve 2014. 04. 24.)

[15] Szili Ferenc, Sugár Dániel, Györfi László Krisztián, Karádi Viktor: Miért nincs az atomerőmű üzemidő-hosszabbításának ésszerű alternatívája Magyarországon?

[16]

EURATOM szerződés

[17]

1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról (hatályos 2014. 03. 19.)

[18]

[http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5F12930AD38AF595C1257C38002794DA/\\$FILE/OAH-ismerteto-web2.pdf](http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5F12930AD38AF595C1257C38002794DA/$FILE/OAH-ismerteto-web2.pdf) (letöltve 2014. 03. 19)

[19]

https://www.mozaweb.hu/Lecke-Fizika-Fizika_11-3_2_Villamos_energia_termelese_atomeromuvekben_Az_eromuvek_biztonsaga_es_kornyezeti_hatasaik_Kiegeszito_anyag-105047 (letöltve 2014. 03. 30.)

[20]

<http://epa.oszk.hu/00300/00342/00162/szatmary0308.html> (letöltve 2014. 11. 10.)

[21]

http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=nuklearis_kml (letöltve 2014. 04. 20.)

[22] http://vedelem.hu/kep.php?pageid=kepgaleria_view&hirazon=1397&kepazon=2954

(letöltve 2014. 04.20.)

[23]

<http://www.gammatech.hu/?module=downloads&lang=hun&category=datasheets> (letöltve 2014. 04.20.)

[24]

Saját készítésű fénykép

[25]

<http://www.atomeromu.hu/download/1281/Sug%C3%A1rv%C3%A9delmi%20fogalmak.pdf>

(letöltve 2014. 04. 20.)