



Antal Zoltán, Vass Gyula, Kátai-Urbán Lajos

NUKLEÁRIS BIZTONSÁGI IRÁNYELVEK MAGYARORSZÁGI MEGVALÓSULÁSA

Absztrakt

A magyarországi nukleáris létesítmények működése alapvetően a Nukleáris Biztonsági Szabályzatokban foglaltak alapján valósul meg. A jelenleg hatályos jogszabályok tartalmazzak minden olyan fontos biztonságos üzemeltetésre vonatkozó feltételt, amely alapján ma a nukleáris létesítmények működnek. Az új technológiák hozománya, hogy bizonyos irányelveket frissíteni és aktualizálni kell annak érdekében, hogy a jövőbeli felhasználásuk jogilag és műszakilag biztonságos keretek között valósuljon meg. Ehhez figyelembe kell venni a nemzetközi ajánlásokat és azok releváns pontjait honosítani a magyarországi követelmények közé.

Kulcsszavak: atomerőmű, reaktor, nukleáris létesítmény, üzemeltetés, biztonság.

REALIZATION OF THE NUCLEAR SAFETY DIRECTIVES IN HUNGARY

Abstract

The functioning of Hungarian nuclear facilities is controlled by the Nuclear Safety Regulations. The laws and regulations currently in effect contain all the important conditions applicable to safe operational and functional base of the nuclear facilities. As a result of implementing new technologies, some policies need to be updated in order to ensure the secure legal and technical framework of their utilization. For realizing this, international recommendations have to be considered and their relevant points adjusted to the Hungarian requirements so they may become widespread.

Keywords: nuclear power plant/station, reactor, nuclear facility, operation, safety



1. BEVEZETÉS

A Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (továbbiakban NBSZ) *a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről* szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet mellékleteként, az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvényben megfogalmazottakkal összhangban, a Magyarország területén létesíteni kívánt és üzemelő nukleáris létesítményekre vonatkoznak, beleértve azok rendszereit és rendszerelemeit.

[1]

NBSZ kötetek téma szerint az alábbiak:

- 1 melléklet - Nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági hatósági eljárásai;
- 2 melléklet – Nukleáris létesítmények irányítási rendszerei;
- 3 melléklet - Üzemelő atomerőművek tervezési követelményei;
- 3a melléklet - Új atomerőművi blokkok tervezési követelményei;
- 4 melléklet - Atomerőművek üzemeltetése;
- 5 melléklet - Kutatóreaktorok tervezése és üzemeltetése;
- 6 melléklet - Kiegészített nukleáris üzemanyag átmeneti tárolása;
- 7 melléklet - Nukleáris létesítmények telephelyének vizsgálata és értékelése;
- 8 melléklet - Nukleáris létesítmények megszüntetése;
- 9 melléklet - Új nukleáris létesítmény tervezési és létesítési időszakára vonatkozó követelmények;
- 10 melléklet - Nukleáris Biztonsági Szabályzatok meghatározásai.

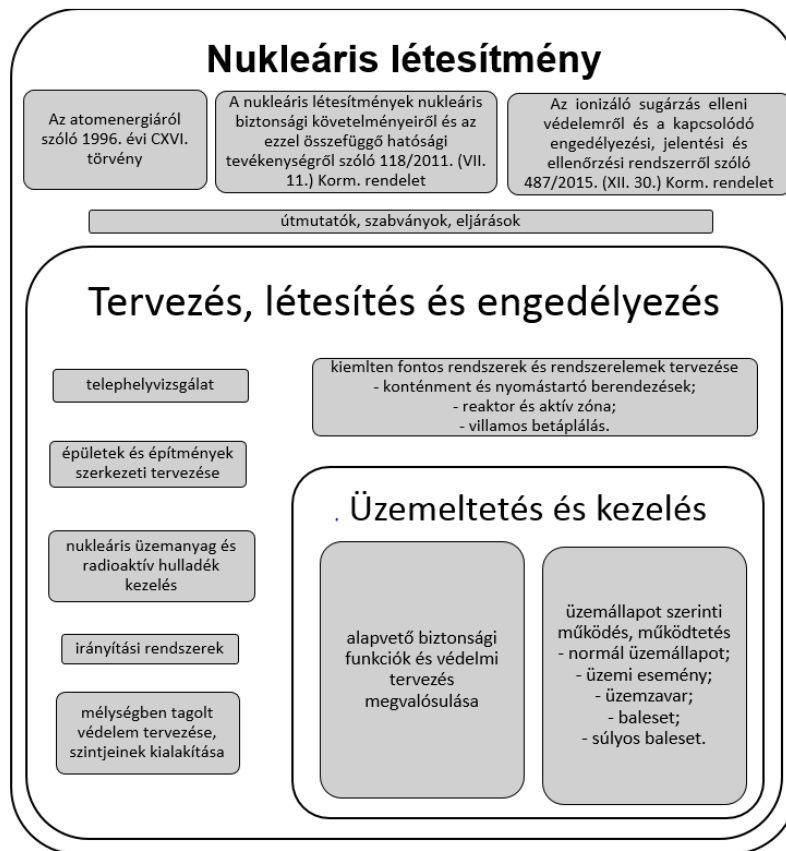
A Nukleáris Biztonsági Szabályzatok alapvető funkciójával, az atomerőmű létesítés alapvető szabályaival és tervezési kritériumainak vizsgálatával, valamint a tűzvédelmi követelmények megvalósulásával már korábbi cikkeimben, szerzőtársaimmal foglalkoztam, melyekben az



NBSZ kapcsán az atomerőművek létesítést megelőző alapvető szabályozóit és tervezési kritériumait valamint az atomerőmű létesítés tűzvédelmi követelményeit taglaltam. [2] [3]

A jelen cikkben kifejezetten az NBSZ kötetekben megvalósult magyarországi szabályozással kívánunk foglalkozni vonatkoztatva az új technológiák biztonsági kritériumainak vizsgálatára, hogy későbbiekben beilleszthetők legyenek az NBSZ kötetek közé. Ezek fényében az NBSZ kötetek közül nem mindet vesszük részletesen vizsgálat alá, de mindegyikben található olyan tartalmi elemek, melyek befolyással vannak vagy irányelveket fogalmaznak meg az új NBSZ kötet kialakításával kapcsolatban, ezért eltérő mértékben, de mindegyik a vizsgálat tárgyát képezi majd.

Az új, 3+ generációs atomerőművek többféle új technológiai megoldásokat tartalmaznak, melyek kialakítása, építése és üzembe helyezése azonos szabályozást követelnek meg, akár csak a régebbi erőművek rendszerei és rendszerelemei esetében. Az új erőművek esetében olyan új technológiai megoldásokkal találkozhatunk, mint a zóna olvadék csapda vagy a hidrogén rekombinátorok. Az olvadéktároló hűtésének megvalósításához további kritériumokat kell meghatározni, hogy a láncreakció szabályozás és leállítás megfelelő körülmények között menjen végbe. A hidrogén rekombináció alkalmazása fontos preventív megoldás a kritikus eseményekkor fennálló hidrogénrobbanás megakadályozásához, melynek kialakítása fontos szabályokhoz kötött. A konténment immár külső és belső burkolattal is rendelkezik, melyeknek eltérő védelmi funkcióik és tulajdonságaik vannak, ebből adódóan sajátos biztonsági követelményeknek kell megfelelniük. A konténmenten belül található a pihentető medence is, amelynek követelményei már megfogalmazásra kerültek, de jelen kialakításnál némi módosításra van szükség, hiszen a hűtővízrendszer szükségszerű betáplálásában is részt vesz. A hűtőrendszer alacsony és magasnyomású szivattyúrendszerének kialakítása, valamint a tartalék hűtővízrendszer nitrogénpárnás passzív biztonsági befecskendező rendszerként is üzemelő gőzkondenzátor rendszerek működési elve miatt új biztonsági szabályzati szegmenseket kell meghatározni. [1] [4]



1. ábra: Nukleáris létesítmény biztonsági tervezésének összegző ábrája, készítette: Antal Zoltán

2. AZ NBSZ KÖTETEK ÁLTALÁNOS BIZTONSÁGI ELVEI

Nukleáris létesítmény létesítéséhez olyan különlegesen előkészített kritériumokra, többek között olyan előírásokra van szükség, amelyek esetében az építmények és épületszerkezetek előre meghatározott biztonsági osztályba sorolt rendszerelemekből épülnek fel és a kiépített rendszerek az egyedileg gyártott, beszerzett és beszerelt egységek megfelelő összekapcsolásával válnak végül nukleáris létesítménnyé. A kiépített rendszereknek és rendszerelemeknek szigorú engedélyezési és kiépítési követelményeknek kell megfelelniük. A tervezés és létesítés nemzetközi és hazai jogi szabályozásoknak, valamint nukleáris



irányelveknek tesznek eleget, felhasználva minden olyan meglévő nukleáris létesítményekkel kapcsolatos tapasztalatot, mely által a biztonság jobban szavatolható. Ha vesszük a különböző kontinenseken található, már üzemelő 3+ generációba tartozó atomerőműveit, az ott alkalmazott követelmények és tapasztalatok mindenképpen alapul szolgálnak egy magyarországi vonatkozású új nukleáris létesítmény kivitelezésénél. Ennek legalapvetőbb oka, hogy a magyarországi szabályozás elsődlegesen régebbi konstrukciójú nukleáris létesítményekre vonatkozik, még ha a szabályozás nem konkrétumokat fogalmaz is meg, hanem olyan követelményeket, amelyekre az újabb technológiákra épülő létesítmények alapvető követelményeit azonosíthatni lehet. Eltéréseket és követelménybeli hiányosságokat találunk azonban a 3+ generációs atomerőművek bizonyos lényeges technológiai megvalósítására vonatkoztatva. Vegyük akár az európai AES-2006, akár az orosz VVER-1200 típusú reaktorokat, mindegyiknél szembeötlő, hogy egy kiforrott technológia továbbfejlesztett változatával találkozhatunk, azonban tartalmaznak olyan lényeges fejlesztéseket, melyekről érdembeli említést kell honosítani az NBSZ kötetei közé.

A nukleáris létesítményeket működési szempontból is szemügyre kell venni. A működés alapja egy olyan irányítási rendszer kidolgozása, amely alaposan megtervezett, megfelel a követelményeknek, ugyanakkor folyamatosan fejleszthető a biztonság mindenkori szintjének megtartása vagy esetleges növelése érdekében, hiszen az NBSZ kötetek egyik legalapvetőbb jelmondata, hogy a biztonságnak minden más igénnyel szemben elsődlegesnek kell lennie. Számolni kell azzal, hogy a rendszerek működtetése közben nemmegfelelőségek lépnek fel, amelyek kezelésére a tervezésnek ki kell térnie annak kezelése és a veszélyeztetettség elkerülése érdekében. Ahhoz, hogy ez valóban megvalósuljon, olyan folyamatokat kell kidolgozni, melyek modellezik a követelmények nem teljesülése esetére a következményeket lépésről lépésre úgy, hogy a végeredmény olyan visszacsatolás legyen, ami megelőző és ismétléseket elkerülő protokollokat eredményez.

Ennek következménye például, hogy az atomerőművek biztonsága esetében olyan folyamatok lettek kialakítva, ahol a reaktorhűtés aktív és passzív rendszerek segítségével egyaránt működtethető és a passzív rendszer üzemeltetése nem igényel villamos betáplálást vagy emberi beavatkozást. Hogy ez megvalósulhasson, ahhoz a nukleáris biztonság szempontjából fontos



rendszerek és rendszerelemek tervezési alapelveinek és követelményeinek pontos meghatározása kellett. [1] [5] [6]

Alapvető biztonsági funkciók megvalósulása

Egy nukleáris létesítmény biztonsága azt jelenti, hogy a megfelelő intézkedésekkel kizárásra kerül, hogy az emberi élet, a mostani és a jövő nemzedékének egészsége, a környezet és az anyagi javak az elfogadott kockázati szintet meghaladóan veszélyeztetve lennének. Hogy ez teljesülhessen, a reaktorokban keletkezett hő minden esetben el kell tudni vezetni, leállított állapotában is biztosítottak kell lennie a hűtésnek, ami érvényes a kiégett fűtőelemekre is, a radioaktív anyagok környezetbe kijutását meg kell gátolni, megfelelő szabályozó és biztonságvédelmi protokolloknak kell érvényesülniük és mindennemű üzemzavar esetén szükséges a kezelhető állapotok fenntartása.

A nukleáris létesítmények élete működésük során lebontható meghatározott üzemállapotokra. Ezekben a normál üzemen túlmenően megkülönböztetünk modellezett és biztonsági szempontból relevánsan várható üzemi eseményeket valamint tervezhető üzemzavarokat. Amennyiben ezeken felül komplexebb üzemzavar vagy súlyos baleset következne be, a biztonsági funkcióknak alternatívát kell kínálniuk a megfelelő eljárásokra az adott helyzet függvényében. Ez azt jelenti, hogy a követelményeknek úgy kell megfelelni, hogy a biztonsági funkciók életbe lépésének a hatása az legyen, hogy a nukleáris létesítmény ellenőrzött vagy biztonságosan leállított állapotba kerüljön a folyamat végén. A biztonsági funkciók megvalósítására speciális rendszereket, rendszerelemeket kell tervezni. A tervezett rendszerek valamely az ún. mélységben tagolt védelem szintjeinek egyikéhez kell igazodnia, amelyek a már korábban említett üzemállapotokkal vannak összhangban. A tervezés során a konstrukciók és a szervezeti struktúrák tehát több, egymásba ágyazott védelmi szinten valósulnak meg, lehetőséget teremtve a hibák korrigálására, kompenzálására, mielőtt azok súlyos következményekhez vezetnének. A mélységben tagolt védelem olyan alkalmazott műszaki megoldások és intézkedések egymásra épülő összessége, amelyben bármelyikének hatástalansága esetén is megvalósul a kockázatsökkentett biztonsági célkitűzés. Ebből adódik tehát, hogy a nukleáris létesítmény tervezése számol a belső hibákkal, valamint a lehetséges



külső hatásokkal és ezzel szembeni ellenállása megfelelő mértékű, illetve a belső hibák minél kisebb gyakorisággal fordulnak elő.

Továbbá célja, hogy az egymásba ágyazott biztonsági gátak működése fennmaradjon vagy védje a lakosságot és a környezetet a védelmi rendszerek hatékonyságának csökkenése esetén is.

Üzemállapot	Megnevezés	Esemény gyakoriság (f [1/év])
TA1	normál üzem	-
TA2	várható üzemi események	$f \geq 10^{-2}$
TA3	kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	$10^{-2} > f \geq 10^{-4}$
TA4	nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	$10^{-4} > f \geq 10^{-5}$

1. táblázat: Atomerőmű blokkjainak üzemállapota, készítette: Antal Zoltán

(Forrás: 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet)

A tervezés során a nukleáris biztonság szempontjából meg kell határozni a tervezési alap üzemállapotokra vonatkozó két kiterjesztett (továbbiakban: TAK)[1] kategóriáját:

- TAK1: az üzemzavar során olyan komplex hiba lép fel, mely nem jár az aktív zónában és a pihentető medencében található üzemanyag olvadásával;
- TAK2: jelentős üzemanyag olvadással járó súlyos baleset.

A mélységben tagolt védelem alkalmazásának érdekében négy fizikai gátat is megkülönböztetünk, melyek védelmét biztosítani kell, ezek a következők:

- az üzemanyag-mátrix;
- a fűtőelem burkolata;
- a reaktor primer körének határa;



- a konténment rendszer (hermetikus tér).

Mindezen gátaakat már az atomerőmű tervezési periódusában mérnöki pontossággal át kell gondolni, hiszen az ehhez tartozó rendszerek tervezése és kivitelezése további biztonsági szempontok megvalósulását vetik fel, amelyek által lesz a teljes kivitelezés a végén egy jól működő, biztonságos egység.

A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerelemek kezelhető hibafaktorokkal tervezettek, amihez szintén felhasználásra kerülnek a releváns kutatási eredmények és a felgyülemlett tapasztalatok. A biztonsági funkciók a hibafaktorok és azok következményeinek tekintetében a mélységi védelem és üzemi állapotok figyelembe vételével biztonsági osztályokba vannak sorolva.

A védelmi szintek egymástól függetlenítése érdekében a védelmi funkciók szintekbe sorolása társítva van a mélységben tagolt védelem meghatározott szintjeivel. Az üzemi szintekhez besorolt biztonsági funkciószintek nem csupán preventív és kezelési normákat tartalmaznak, de biztosítják az adott szinthez tartozó védelmek tartósságát is annak érdekében, hogy a többszörös védelem és a helyzetkezelési protokollok életbe lépése és működése hatékony védelmi funkciót valósítsanak meg és olyan üzemállapotot eredményezzenek, ami mindenképpen kezelhető mederben tartja a kialakult helyzetet. Az egyes védelmi funkciók biztonsági besorolása révén pedig elérhető, hogy az esetlegesen kiesett vagy elvesztett védelmi rendszer egyel mélyebb szintje lépjen életbe, ezzel meggátolva a kiesett funkció miatti veszélyhelyzetet. [1] [2] [6] [7]

Mélységi védelem szintje	Célkitűzés	Alkalmazandó eszközök	Radiológiai következmények	Vonatkozó üzemállapot
1.	Normál üzemi állapottól való eltérések és hibák megelőzése	Konzervatív tervezés, magas színvonalú létesítés és üzemeltetés; fő üzemi paraméterek előírt határok között tartása	Nincs a hatósági korlátokat meghaladó telephelyen kívüli radiológiai hatás	Normál üzem (TA1)



2.	Normál üzemi állapottól való eltérések és hibák kezelése	Szabályozó és biztonságvédelmi rendszerek; egyéb felügyeleti módszerek	-	Várható üzemi események (TA2)	
3.	3.a.	Üzemzavarok kezelése a radioaktív kibocsátás korlátozása és az üzemanyag olvadás megelőzése érdekében	Biztonsági rendszerek, üzemzavar-elhárítási utasítások	Nincs vagy csak minimális telephelyen kívüli radiológiai hatás	Tervezési üzemzavar (TA3-4)
	3.b.	-	Hozzáadott biztonsági eszközök komplex üzemzavarok elhárítására, üzemzavar-elhárítási utasítások, telephelyi baleset-elhárítási intézkedések	-	Komplex üzemzavar (Feltételezett többszörös meghibásodás) (TAK1)
4.	A nagy vagy korai kibocsátás gyakorlati kizárása, az üzemanyag olvadással járó balesetek kezelése a telephelyen kívüli kibocsátások korlátozása érdekében	Kiegészítő biztonsági eszközök az üzemanyag olvadás korlátozásához, baleset-kezelési útmutatók, telephelyi baleset-elhárítási intézkedések	A telephelyen kívüli radiológiai hatás térben és időben korlátozott lakossági óvintézkedések bevezetését indokolhatja	Súlyos baleset (TAK2)	
5.	Jelentős radioaktív anyag kibocsátás radiológiai következményeinek csökkentése	Telephelyi és telephelyen kívüli baleset-elhárítási intézkedések; beavatkozási szintek	A telephelyen kívüli radiológiai hatás lakossági óvintézkedéseket indokol	Nagyon súlyos baleset	

2. táblázat: Mélységben tagolt védelem szintjei az üzemállapotok vonatkozásában, készítette: Antal Zoltán

(Forrás: 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet)

Ahhoz, hogy biztonsági funkciókat és védelmi rendszereket lehessen tervezni, meg kell határozni minden olyan keletkező eseményt, amely feltételezhetően befolyásolja a nukleáris



létesítmény biztonságát. A meghatározott eseményeket aztán a keletkezési paramétereik, következményeik és egyéb hatásaik alapján be kell építeni a tervezési alapba, amelyből aztán származtathatóak a különböző üzemállapotok funkcionális kiesései, megbízhatósági jellemzői és a veszélyeztetett körülmények között is megvalósuló üzemi paraméterek. Figyelembe kell venni a nukleáris létesítmény telephelyét és annak környezetével kapcsolatos természeti eredetű hatásokat, a szándékos vagy szándékolatlan, esetlegesen célzottan a telephelyen belüli és azon kívüli tevékenységeket, valamint a nukleáris létesítmény üzemeltetéséből, annak rendszereinek működéséből vagy hibájából adódó következményeket.

Abban az esetben, ha a nukleáris létesítmény több atomerőművi blokkot üzemeltet vagy más nukleáris létesítmény közelében található, olyan elemzést kell végezni, amiből egyértelműen származtatható, hogy a létesítmények és blokkok egymásra milyen hatást gyakorolhatnak valamennyi üzemállapotot figyelembe véve, az összes veszélyeztető tényező által létrehozott körülményt beleszámítva. Ide tartoznak azoknak a védelmi rendszereknek az elemzése is, amelyek több blokk által közösen használt biztonsági rendszerekként működnek. A biztonsági rendszerek és rendszerelemek ennek fényében aktív és passzív megoldásokkal egyaránt rendelkeznek. Minden üzemállapot és mélységben tagolt biztonsági szint olyan tervezéssel készül el, hogy a szükséges balesetkezelési és beavatkozási lehetőségek biztosítottak legyenek. A védelmi funkcióknak minden esetben automatikusan életbe kell lépniük a súlyosabb következmények kialakulásának meggátolása érdekében. Ugyanakkor a védelmi funkciók kiiktatására lehetőséget nem lehet kínálni és működtetésre vonatkozó kezelői beavatkozás is csak abban az esetben lehetséges, ha a kialakult esemény észlelésének és a szükséges intézkedés végrehajtásának időintervalluma erre bizonyítottan lehetőséget ad. A biztonsági funkciók ellátását ezen felül nem akadályozhatja semmilyen normál üzemi folyamat működtetésére fenntartott meghibásodás. [1] [2] [5] [7]

Biztonsági osztályba sorolt rendszerek

Nukleáris létesítmények esetében, hogy az NBSZ tervezési kritériumok teljesüljenek, olyan rendszerek kerülnek kiépítésre, melyek esetében szerteágazó, több egymástól független rendszer elemet alkalmaznak, hogy minden lehetséges módon teljesüljenek a védelmi



protokollok, ráadásul lehetőleg olyan módon, hogy a rendszerek egymástól függetlenül is képesek legyen egy-egy komplex védelmi funkciót kiszolgálni.

A funkcionális elkülönítés egyfajta redundáns többletet eredményez, hogy szükség szerint egymástól független segédrendszerek lássák el a védelmi feladatokat. Ehhez járul hozzá, hogy lehetőség szerint passzív rendszerekkel kell ellátni a védelmet, amelyek egymástól nem csak függetlenítettek, hanem külső beavatkozás nélkül is magukban rejtik a nukleáris biztonság szempontjából fontos végrehajtó intézkedéseket, a normál üzemállapot megtartása és az esetlegesen kialakult helyzet kezelése érdekében. Az NBSZ értelmében az egyes függetlenített biztonsági funkciók kötöttek a mélységben tagolt védelem egyes szintjeihez, továbbá a nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek tervezése és kialakítása során külön figyelmet fordítanak arra, hogy az egyes alacsonyabb osztályba sorolt rendszer vagy rendszerelem ne okozzon meghibásodást egy magasabb biztonsági osztályba sorolt rendszer működésében. A fentiek minél könnyebb megvalósíthatóságához tartozik továbbá, hogy az ésszerűség határain belül az egyszerűség elvét is követni kell, ahol a beavatkozások védett működésűek és számuk a lehető legalacsonyabb. A reaktor automatikus leállítására és az aktív biztonsági funkciókat ellátó rendszerekre is érvényes, hogy az automatikusan működő biztonsági funkciók vezérlését végző rendszer indulásának és működésének megakadályozását az üzemviteli személyzet részéről meg kell gátolni, tehát a tervezésnek ki kell térnie arra, hogy az operátori tervezett beavatkozásokon túl a biztonsági funkciókat ellátó rendszerek kiiktatására ne legyen lehetőség.

A nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek és rendszerelemek szerkezeti anyagainak kipróbálnak és minősítettnek kell lenniük, a tervezési szabványban rögzített specifikált határértékeken belül. A neutronsugárzásnak kitett rendszerelemek esetében a felaktiválódásra legkevésbé hajlamos szerkezeti anyagokat kell alkalmazni, amihez figyelembe kell venni, hogy ezek a fizikai paraméterek a sugárzási hatásra is korrózió-állóak kell, hogy maradjanak és anyagtulajdonsági változásaik a nukleáris létesítmény teljes élettartama alatt ellenőrizhető és a lehető legkisebb legyen. A fent említettekhez hozzá tartozik, hogy a primer és szekunder köri, valamint a segéd- és kiszolgáló rendszerek vízüzeménél figyelembe kell venni a technológiai közegek és segédanyagok kémiai összetételét és a korróziós hatások



mértékét a rendszerelemek integritásának érdekében. A vízüzemek szabályozására alkalmazott vegyszerek befolyásolhatják a szennyezőanyagok és a korrózió paramétereit, ezért a hőmérséklet, nyomás és áramlási viszonyok figyelembevételével minimalizálni kell a szerkezetekre gyakorolt, esetleges káros hatásokat, a kialakult lerakódások esetleges mértékét és a hőátadás fizikai befolyásoló tényezőjét.

Minden biztonsági osztályba sorolt rendszer és rendszerelem tekintetében figyelembe kell venni az öregedési folyamatokat a nukleáris létesítmény élettartamára vonatkoztatva. Az öregedéskezelési eljárásokat ennek fényében kell kialakítani, összekapcsolva a karbantartási és javítási folyamatokkal járó befolyásoló tényezőkkel, hogy funkcióvesztés ne következhesen be. A primerkör nyomástartó berendezéseire és csővezetékeire, azoknak is leginkább a neutronsugárzásnak kitett részeire ezen felül külön öregedési folyamatokat ellenőrző felügyeleti programot kell kidolgozni és üzemeltetni. [1] [7] [8]

3. KIEMELTEN FONTOS RENDSZEREK ÉS RENDSZERELEMEK

Konténment és nyomástartó berendezések

A nukleáris létesítmény nyomástartó rendszereiben olyan kialakításokat használnak, melyek speciális törésmechanikai követelményeknek felelnek meg. Éppen ezért a tervezés során meg kell határozni a nyomástartó berendezések és csővezetékek üzemi körülményeit és a mechanikai terhelések ciklusait, beleértve minden veszélyeztető hatást. A konténmentet a nyomástartó berendezések elvével kell tervezni és méretezni úgy, hogy a nyomástartó képessége a teljes élettartama alatt monitorozható legyen. Konténment alatt az atomreaktort és az ahhoz közvetlenül kapcsolódó rendszereket, rendszerelemeket értjük, egy olyan nyomásálló, hermetikusan kialakított építmény, amely funkciója, hogy a normál üzemen felül a várható üzemi események vagy üzemzavarok során megakadályozza vagy korlátozza a radioaktív anyagok környezetbe jutását. Az ilyen rendszerelem anyagának olyan szívóssággal kell rendelkeznie, hogy a tervezési üzemzavarok során nem keletkezhetnek rajta újabb repedések, törések és megfelelő ellenállással rendelkeznek a meglévő repedések terjedésével szemben. A



nukleáris biztonság szempontjából fontos nyomástartó berendezéseket és csővezetékeket a rájuk ható mechanikai és áramlási rezgések miatt fellépő romboló hatások ellen tervezni és védeni kell. A kiépítés határoló falán áthaladó fővízköri nyomáshatárral vagy magával a légtérrel közvetlen kapcsolatban lévő csővezetékeket legalább két, segédenergiával működtetett, egymástól független, egy-egy a konténment falán kívüli és belüli elzáró szerelvényrel kell ellátni.

A régebbi atomerőművek esetében egy szimpla falú építményről beszélünk, amelyek lehetnek vasbeton, feszített vasbeton, acél, teljes vagy csökkentett nyomású hermetikus terek. A 3+ generációba tartozó atomerőművek konténmentje két különálló részből áll, egy külső és egy belső burokból, melyek sajátos védelmi funkciókkal rendelkeznek.

A külső burkolat 80 cm vastag és elbírja egy utasszállító repülőgép becsapódását is, továbbá ellenáll a földrengésnek és nagynyomású lökeshullámoknak. A belső burkot belülről egy vastag acéllemez fedi, amit egy csőrácsháló is erősít. A megerősített belső burok ellenáll a nagy nyomásnak és a magas hőmérsékletnek.

Minden nyomástartó berendezés esetében figyelembe kell venni a neutronfluxus hatására bekövetkező változásokat, tehát azt, hogy az egységnyi idő alatt egységnyi felületen átáramló neutronok milyen hatással vannak a szerkezeti elemekre. Ennek fényében kell beépíteni a biztonsági funkciókat ellátó rendszereket, és a funkcionális vagy tervezett karbantartási és javítási rendszerelemek kizárására szolgáló szerelvényeket. Azokban a nyomástartó rendszerelemekben, ahol a megengedettnél nagyobb nyomás alakulhat ki, nyomáshatároló eszközöket kell felszerelni, figyelembe véve a biztonsági funkciókat ellátó rendszerek működésének következményét és szem előtt tartva azt, hogy a nyomáshatárolók működése esetén is a környezetbe kikerült radioaktív anyag mennyisége az ésszerűen legalacsonyabb szinten legyen tartva.

A paksi atomerőműben működő lokalizációs torony, annak működési mechanizmusa és sajátosságai, a hozzá tartozó sprinkler rendszer, valamint a zóna üzemzavari hűtővíz aktív és passzív rendszerei hivatottak teljesíteni a nyomáscsökkentést. A 3+ generációba tartozó atomerőművek esetében a konténmenten belül a sérült reaktorból származó gőz kondenzálására, továbbá nyomás és hőmérsékletcsökkentésre külön vízköddel oltó



befecskendező rendszer kerül kiépítésre és a kiegészítő fűtőelemek átmeneti tárolójához tartozó 2000 m³-es hűtővíz jelentős része alacsony- és magasnyomású rendszereken keresztül felhasználható pótvízként.

A magas nyomású rendszerek kis szivárgás esetén, az alacsony nyomású szivattyúk nagy elfolyásos csőtöréskor lépnek működésbe. Ehhez a tartalék hűtővízrendszereket nitrogénnel helyezik nyomás alá, hogy megfelelő legyen a passzív befecskendezés a reaktorba. Az aktív és passzív biztonsági rendszerek a primerköri csővezeték törése esetén is 72 órás hűtést biztosítanak a reaktornak. A hidrogénrobbanás megakadályozására pedig a belső burkon belül hidrogén rekombinátorokat is alkalmaznak, amivel a belső, a konténmentre belülről ható nagy nyomást lehet csökkenteni. A hidrogénrekombinátorok megakadályozzák a gőz és olvadt cirkónium reakciójaként felszabaduló hidrogénrobbanást úgy, hogy felgyorsítják a hidrogén-oxigén egyesülést, melynek eredményeként robbanóképes hidrogén elegy helyett víz keletkezik.

A tervezések során a nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszereket és rendszer elemeket úgy tervezik, hogy amennyiben két különböző, de egymással kapcsolatban lévő üzemi nyomású rendszert terveznek, akkor a nagyobb nyomásértékűt veszik figyelembe, gondoskodva arról, hogy meghibásodás esetén se lépje túl a rendszer nyomási értékeit. [1] [5] [6] [7] [8]

Reaktor és aktív zóna

Az atomreaktor tervezésének alapvető szempontja, hogy a reaktorra közvetett vagy közvetlen hatással lévő események tényezőivel kalkulálni kell, annak teljes élettartamára vonatkoztatva. A behatások meghatározásával kell megalapozni, hogy minden üzemállapotban biztonságos legyen a működés. Ehhez hozzá tartozik, hogy a reaktort és a hozzá tartozó rendszer elemeket a nem tervezett elmozdulásai ellen biztosítani kell. Azon környezeti és emberi tényezők, melyek negatívan befolyásolhatják a reaktor üzemelését, potenciális veszélyforrások, melyekre a biztonsági funkciók tervezése során ki kell térni. A reaktornak leállíthatónak kell lennie a biztonsági rendszerek által, függetlenül a kiváltó okok káros hatásaitól úgy, hogy a



maradványhő elvezetése és a radioaktív anyagok környezetbe kerülése megakadályozható legyen. A nyomottvizes reaktor leállítására, mint amilyen a paksi atomerőműben is megtalálható, bóros vizet és 37 db szabályozó és biztonságvédelmi rudat használnak, melyből 7 db a normál üzemi szabályozás során is a reaktorban található, 30 db pedig biztonságvédelmi szempontból felső véghelyzetben van a reaktorban, amelyek vészhelyzet esetén automatikusan a vízközeg engedte szabadeséssel beesnek az aktív zónába, nagyjából 20 cm/s sebességgel. Egy 3+ generációs atomerőműnél, mondjuk például az orosz fejlesztésű VVER 1200-as esetében, amely gyakorlatilag a paksi atomerőmű továbbfejlesztett nyomottvizes reaktorú változata, ahol a szabályozó rudak száma 121, maga a reaktor pedig egy 20 cm vastag falú, speciális lengéscsillapítókra ültetett, négy gőzfejlesztő kivezetéses atomreaktor, ezen felül, az európai fejlesztésű EPR-hez hasonlóan rendelkezik zónaolvadék csapdával ahol egy speciális anyaggal leállítják a láncreakciót és külön hűtőrendszer gondoskodik az olvadáktároló hűtéséről.

Az atomerőművek aktív zónájának tervezésekor figyelembe kell venni a hőmérsékletváltozások, rezgések, geometriai elváltozások lehetőségét valamint a hűtővíz és hűtőközeg paramétereiben fellépő hibafaktorokat. A reaktorvédelem tervezése során a normál üzemállapottól eltérő esetekben specifikus szabályozási vagy leállítási folyamatoknak kell megvalósulniuk, amihez a biztonsági határértékek meghatározása elengedhetetlen, hiszen azok túllépése esetén kell működésbe lépniük az automatikus reaktorvédelmi intézkedéseknek.

A primerkörü és szekunderkörü víz egymással szembeni gátjai a gőzfejlesztők, melyeknek mindenkor ki kell szolgálniuk az egymástól való elválasztást. Az aktív zónában a víz kényszercirkuláció biztosításával szállítja el a megtermelt vagy maradványhőt, de abban az esetben, ha a keringtetés leállított állapotba kerül, elegendő hatékonyságú természetes cirkulációval kell hűteni a rendszert. Minden besugárzott fűtőelemkötegre vonatkozó biztonsági protokoll, hogy a leállított reaktornál vagy a pihentető medence esetében is törekedni kell olyan megoldások alkalmazására, amelyek esetén a hőelvitel passzív módon is megvalósul. Az NBSZ vonatkozó pontja szerint amennyiben a maradványhő végső hőelnyelőbe juttatása nem oldható meg teljes biztonsággal bármely üzemállapotot tekintve, akkor másodlagos végső hőelnyelőt kell kiépíteni, a hozzá tartozó működtető rendszerekkel, amely biztonsági



funkcióival ellátva működőképes marad minden üzemállapotban és minden külső veszélyeztető tényező ellenére is.

A jelenlegi és a 3+ generációs atomerőművek esetében is hidroakkumulátorok vannak beépítve annak érdekében, hogy a primerköri nyomás egy bizonyos szint alá csökkenése esetén a nitrogénpárnával nyomás alatt tartott bóros hűtővizet a visszacsapó szelepeken keresztül a rendszerbe benyomja, melyhez nincs szükség villamos betáplálásra. Ezen felül a gőzfejlesztőkre külön maradványhő elvezető rendszer van kiépítve, mely szintén villamos energia betáplálás nélkül képes hűtést biztosítani a gőzfejlesztőkön keresztül. Üzemzavar esetére üzemzavari zónahűtőrendszer kiépítéséről kell gondoskodni, mely a primer körben és a hozzá kapcsolódó rendszerekben fellépő hűtőközeg veszteség kezeléséről gondoskodik illetve hűtést biztosít a fűtőelemkötegeknek. A zónahűtő rendszernek biztosítani kell azt is, hogy a maradványhő elvezetésén felül a primer körből kiömlő víz recirkulációja képes legyen arra, hogy a szilárd és kémiai szennyeződések káros hatásait szűrőberendezések segítségével eltávolítsa. [1] [2] [7]

Villamos betáplálás

Az atomerőművek blokkjainak folyamatos villamos betáplálásra van szükségük, melyet akkor is biztosítani kell, ha villamos betáplálás valamely okból elveszik. Éppen ezért a rendszerekre vonatkozó tervezési kritérium, hogy minden üzemállapotban rendelkezésre kell álljon a külső villamos betáplálás, amihez szünetmentes átvezető forrásnak is kell tartoznia. Ezt más blokkokról történő visszacsatolással, működés-helyettesítő akkumulátorokkal, illetve automatikusan induló üzemzavar elhárítás támogató, külső betáplálásos aggregátorok segítségével valósítják meg. A villamos hálózatok tervezése kiterjed a gőzturbinák kifutásos idejére vonatkozó villamos energia, a természetes forgás-lassulás útján termelt áram hálózatokba történő továbbítására. [1] [8]



4. ÜZEMELTETÉSI ÉS KEZELÉSI IRÁNYELVEK

Építmény és szerkezeti tervezés

A nukleáris létesítmény építményeinek tervezése során az általános műszaki szabályokon felül a nukleáris rendszerekre megállapított sajátos követelményeket is figyelembe kell venni. Az NBSZ kitér arra is, ha egy építmény már üzemelő nukleáris létesítmény közelében kerül kivitelezésre, akkor a környezet talaj- és rétegviszonyainak megváltozása kihatással lehet a nukleáris létesítményre. A biztonsági osztályba sorolt építmények tervezésekor a talajmozgásokat figyelembe kell venni, amihez a talaj rétegeinek és mozgásainak tulajdonságait és az azokat befolyásoló tényezőket kutatni és elemezni kell. A potenciális földrengések okozta káros hatások modellezésével kell meghatározni az igénybevétel függvényében az építmények szerkezeti tulajdonságait és kialakításukat. A konténment hermetikusságának fenntartása mellett ezt ellenőrizhetővé kell tenni. Az ellenőrzés mértékadóságára a nukleáris létesítmény rendszereit földrengés-biztonsági osztályok alapján kell elemezni. Az aktív és passzív rendszerek besorolása és funkcionális jelentősége alapján az üzemzavari körülményekre vonatkozó korlátokat minden építménytervezésnél figyelembe kell venni. A földrengésjelző rendszereket biztonsági osztályba sorolt rendszernek kell tekinteni, amelyek az automatikus védelmi funkciókat ellátó rendszerekre befolyással bírnak. [1] [5] [8]

Nukleáris üzemanyag és radioaktív hulladékok

A nukleáris üzemanyagok és radioaktív hulladékok megfelelő kezelését biztosítani kell. Ehhez meg kell határozni a tárolási, szállítási, csomagolási, felhasználási és emelési követelményeket. A fűtőelemekben a kritikusság, a feszültség kialakulása, a fizikai védelmi paraméterek, beleértve a külső behatások során létrejövő sérülések, szennyeződések bejutása, olyan biztonsági kérdések, melyekre műszaki intézkedéseket kell kidolgozni. A besugárzott nukleáris üzemanyagoknál a friss üzemanyagokra vonatkozó kritériumokon felül számolni kell a maradványhő elvezetésével is, valamint további fizikai védelmi intézkedések megvalósítását kell teljesíteni. Ide tartozik az is, hogy a hermetikusságot fent kell tartani és ellenőrizni. A



fűtőelem sérülések elkerülése végett a pihentető medencét a konténmenten belül helyezik el, lehetővé téve annak megfelelő védelmét és megvalósítva az alternatív hűtési lehetőségeket. A radioaktív hulladékokat kezelő rendszerek tervezése során figyelmet kell fordítani arra, hogy a végtermékként keletkező hulladék megfeleljen a szállítási, az átmeneti tárolási valamint a végső elhelyezési követelményeknek.

A hatékony kezelés érdekében a radioaktív hulladékokat halmazállapot szerint szét kell válogatni, és osztályozni kell, ehhez figyelembe kell venni a felezési időt, a fizikai és kémiai tulajdonságokat, a radionuklid összetételt, aktivitáskoncentrációt és a térfogatot. [1] [7] [8]

Nukleárisbaleset-elhárítás

A nukleárisbaleset-elhárítás a nukleáris létesítményben megvalósuló üzemi állapotok elemzésének eredményei alapján kerül megtervezésre figyelembe véve az összes reaktorban egyszerre fellépő üzemi állapot változásokat és nukleáris veszélyhelyzeteket. A veszélyhelyzeti-eljárásokat az azonosított veszélyforrások potenciális súlyossága alapján kell felépíteni és tervezési kategóriákba sorolni. Figyelembe kell venni a reaktorral közvetetten és közvetlenül összefüggő kockázati tényezőket, valamint a kiégett üzemanyagokkal, pihentető medencékkel, radioaktív hulladékokkal kapcsolatos baleseti helyzeteket. További súlyozott tényezők, a létesítményen kívüli környezeti és egyéb létesítmények nukleáris létesítményre gyakorolt hatásai, kiemelt tekintettel más nukleáris létesítményekre. A tervezésnek a lehetséges legsúlyosabb baleset kezelésére kell irányulnia úgy, hogy a megfelelő intézkedések végrehajtása optimálisan megvalósuljon az osztályozás, az értesítés és a nukleárisbaleset-elhárítási intézkedések tekintetében. Az elhárítást végzők számára megfelelő irányítási pontot kell kialakítani, megfelelő műszeres felszereltséggel és kommunikációs eszközökkel. A nukleárisbaleset-elhárítás tervezés során figyelemmel kell lenni a nagy sugárzású terekben indokolt munkavégzés és az ahhoz szükséges közlekedés szükségességét.

A tervezés során az egyes veszélyhelyzetek kiválasztásánál meghatározásra kerülnek a hozzájuk tartozó eseménycsoportok és következmények, hogy egyértelműek legyenek az elhárításhoz és helyzetkezeléshez szükséges erő és eszköz igények. Az atomerőmű a



veszélyhelyzet kialakulásának kockázatával járó rendkívüli események, illetve azok bekövetkezése esetére olyan szervezetet működtet, amely sajátos irányítási, vezetési mód szerint, meghatározott Nukleárisbaleset-elhárítási Intézkedési Terv szerint működik. [1] [5] [8]

Üzemeltetés és telephely vizsgálat

Nukleáris létesítmények üzemeltetésének legfontosabb elemei a biztonság szempontjából fontos rendszerek és rendszerelemek megfelelősége, az állapotfenntartás és monitorozás, az átalakítások és felülvizsgálatok alaposan megtervezett végrehajtása és a nukleárisbaleset-elhárítás megfelelő működése a meghatározott biztonsági követelmények alapján. A megszerzett tapasztalatok, a tudomány és a technika fejlődése folyamatosan befolyásolja a nukleáris létesítmények üzemeltetési követelményeit, melyekhez igazodni kell.

Az üzemeltetés elsődleges fontosságú kritériuma tehát a biztonságra törekvés, melyet technológiailag, emberileg és szabályzatokban foglaltak betartásával igazolni kell. Az üzemeltetési kritériumok meghatározottak a létesítéstől a teljes leszerelésig, vagyis a nukleáris létesítmény teljes élethosszának tekintetében. A megfelelő és biztonságos üzemeltetéshez az üzemeltető szervezetnek biztosítani kell az összes vonatkozó jogszabályi és hatósági követelményt kielégítő működést a biztonsági irányítási rendszerén keresztül. Az üzemelés egyik fontos alapeleme a sugárvédelmi szabályok betartása, így a sugárvédelmi módszerek és eljárások teljesülése érdekében illetve minden tervezett radioaktív kibocsátás az ésszerűen legalacsonyabb szinten tartása végett sugárvédelmi program kerül kidolgozásra, melyben a rendszerek és rendszerelemek, a környezet és a munkavállalók monitorozása, az üzemi munkaterületek zónákba sorolása, és az egészségügyi határértékek mindenkori betartása adja a nukleáris létesítmény működésének alapját. A nukleáris létesítmény minden üzemállapotában, annak teljes üzemideje alatt monitorozni kell a biztonsági problémákat és vezetni a problémák listáját, a megoldásra tett intézkedésekkel.

Az üzemeltetéséhez olyan bevizsgált és értékelt jellemzőkkel rendelkező telephelyre van szükség, amely a kizáró tényezők paramétereit figyelembe véve megfelel a követelményeknek. A természeti vagy emberi eredetű veszélyeztető tényezők pontos meghatározásra szorulnak, és



megfelelő távolságot kell meghatározni a telephelytől az egyéb veszélyeztető tényezők figyelembe vételével. A műszaki paraméterek, a tapasztalatok felhasználása és a normatív határértékek szintén beleszámítanak a nukleáris létesítmény sérülékenységének elemzésébe, ami által valószínűségi veszélyeztetési diagramokat határoznak meg, melyeket a gyakorisági függvényekkel és a veszélyeztető tényezők intenzitásának meghatározásával párosítanak. Mindezen vizsgálatok formailag, terjedelemben és részletességét tekintve, összhangban kell lennie az adott nukleáris létesítmény típusára vonatkozó tervezési és nukleáris biztonsági követelményekkel. [1] [7]

Nukleáris létesítmény megszüntetése

A nukleáris létesítmény megszüntetésére már a tervezés során ki kell térni, kiváltképp fontos szempontok, a nukleáris biztonság szempontjából fontos rendszerek és rendszerelemek, hiszen az üzemeltetés és az élettartam alatt biztonsági, védelmi funkciókat valósítanak meg, azonban a megszüntetéskor külön leszerelési feltételeket kell szabni a megváltozott nukleáris biztonsági követelmények függvényében. A leszerelési stratégia lényege, hogy annak már a tervezési időszakban is megvalósíthatónak kell lennie technológiailag úgy, hogy közben a keletkező radioaktív hulladék az ésszerűen elérhető legkisebb mértékű legyen és a leszerelés során elkerülhetővé váljon a környezet radioaktív elszennyeződése.

A leszerelési terv több alternatív koncepciót is tartalmaz, melyek tartalmazzák a tevékenységek, ütemtervek és a munkaerőigények paramétereit, valamint a leszerelés szempontjából releváns egyéb információkat. A végleges leszerelésben a nukleáris biztonsági hatóság is részt vesz, mely fázist közvetlenül megelőzően elemzésre kerül a létesítmény minden életciklus-szakasza. A végleges üzemen kívül helyezés a nukleáris létesítmény teljes nukleáris üzemanyag és radioaktív anyag mentesítését jelenti. [1] [2] [8]



5. ÖSSZEGZÉS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Kijelenthetjük, hogy az NBSZ kötetek tartalmazznak minden olyan nukleáris létesítmény életére vonatkozó követelményi felsorolást, melyek szavatolják a biztonságot a tervezés első fázisától a végleges leszerelés és sugárzó anyag mentesítés végső pontjáig. A technológia fejlődése ugyan nem okoz lényegi követelménybeli változási igényt az NBSZ köteteket tekintve, azonban elengedhetetlen, hogy az új létesítmények technológiai megvalósításainak fényében elemzésre kerüljenek olyan új technológiák, mint amilyenekkel például a 3+ generációba tartozó atomreaktorok kapcsán találkozhatunk.

Nemzetközi viszonylatban már vannak olyan erőművek, melyek ezen technológiákkal üzemelnek, így a vonatkozó szabályozások harmonizálása is megkezdődött. Ezeket az irányelveket áttekintve, a jövőbeni magyarországi fejlesztéseket szem előtt tartva, relevánssá vált, hogy az új technológiákat érintő tervezési, kivitelezési és üzemeltetési követelmények honosításra kerüljenek az NBSZ kötetekben. Amennyiben a jelenleg üzemelő paksi atomerőmű fejlesztését nézzük, és figyelembe vesszük, hogy az erőmű területének közvetlen szomszédságában egy másik atomerőmű építése van tervezés alatt, fontos, hogy olyan irányelv-fejlesztések valósuljanak meg, amelyek nem csupán az új technológiák alkalmazhatóságát szavatolják, hanem két atomerőmű rendszereinek egymásra gyakorolt hatásait is figyelembe veszik. Fontos például, hogy a reaktorvédelmi intézkedések, amelyeknek fizikailag egymástól függetlenül el kell indítaniuk az atomreaktor leállítását, olyan információtovábbítással rendelkezzenek, amelyek a másik erőműben a védelmi funkcióval ellátott rendszerelemeknek a működését is elindíthatja, a kiváltó védelmi funkcióra vonatkozó üzemiállapot függvényében.

Az új erőmű biztonságos működésének érdekében a feltételek szavatolása olyan módszerekkel és eljárásokkal kell, hogy megtörténjen, melyek nincsenek kihatással a régebbi erőmű biztonsági rendszereire és semmilyen, az új erőműben alkalmazott eljárás vagy annak kiesése nem okozhat dominó effektust a régi erőműre vonatkoztatva.

Továbbá a jelenleg üzemelő Paksi atomerőmű meglévő biztonsági követelményeinek összegzését fel kell használni arra, hogy az ugyanazon természetes vízforrásra létesített új, a



már működő erőmű mellé létesítendő atomerőműnek milyen sajátos biztonsági követelményeknek kell megfelelnie annak érdekében, hogy az a nemzetközi elvárásoknak eleget tegyen.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. A nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet
2. ANTAL Z.; VASS GY.; KÁTAI-URBÁN L.: *Atomerőművek létesítést megelőző alapvető szabályozóinak és tervezési kritériumainak vizsgálata*. BOLYAI SZEMLE XXVI. évf. 2017/1: pp. 126-138.
3. ANTAL Z.; VASS GY.; KÁTAI-URBÁN L.: *Atomerőmű létesítés tűzvédelmi követelményeinek vizsgálata*. *Katasztrófavédelem Online Tudományos Folyóirat* II. évf. 2017/1: pp.17-30.
4. ANTAL Z.; VASS GY.; KÁTAI-URBÁN L.: *Atomerőmű generációk fejlődésének vonzatai*. *Hadmérnök* XII.I évf. 2018/3: pp.150-163.
5. Atomerőmű Tűzoltóság, ATOMIX Kft. Tűzoltási és Kárelhárítási Szakágazat, Szakmai Ismeretek Oktatási anyag, ATOMIX at-me-6.2.2.-1-v2: *Üzemzavar elhárítási oktatási anyag*, 2013. 07. 01
6. Atomerőmű Tűzoltóság, ATOMIX Kft. Tűzoltási és Kárelhárítási Szakágazat, Szakmai Ismeretek Oktatási anyag, ATOMIX at-me-6.2.2.-11-v2: *Atomerőműves rendszerek*, 2012. 08. 01
7. BOGNÁR B., KÁTAI-URBÁN L., KOSSA Gy., KOZMA S., SZAKÁL B., VASS G.: *Iparbiztonságtan I. - Kézikönyv az iparbiztonsági üzemeltetői és hatósági feladatok ellátásához*. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Nemzeti Közszolgálati és Tankönyv Kiadó Zrt., 2013.



8. Safety of Nuclear Power Reactors World Nuclear Association – Energy For Sustainable Development, 2003.
<http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/safety-of-nuclear-power-reactors.aspx> (A letöltés dátuma: 2017.10.30.)

Antal Zoltán

MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Atomix Kft. Létesítményi Tűzoltóság,

Szerparancsnok

antalzmax@gmail.com

Zoltán Antal

MVM Paks Nuclear Power Plant Ltd, Atomix.Ltd Industrial Fire Brigade

Unit leader on fire service

orcid.org/0000-0001-9373-3454

Dr. habil. Vass Gyula tűzoltó ezredes PhD, intézetigazgató egyetemi docens,

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet

gyula.vass@uni-nke.hu

Col. Gyula Vass PhD, head of the Institute of Disaster Management, National University of Public Service (NUPC)

orcid.org/0000-0002-1845-2027

Dr. habil. Kátai-Urbán Lajos tűzoltó ezredes, PhD, tanszékvezető egyetemi docens,

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék

lajos.katai@uni-nke.hu



Col. Lajos Kátai-Urbán PhD, head of Department for Industrial Safety for the Institute of Disaster Management, NUPS

orcid.org/0000-0002-9035-2450