

Technická správa

Predprevádzková bezpečnostná správa

Kapitola 06.12 Systémy na zmierňovanie
následkov ťažkých havárií

Stavba: Dostavba 3. a 4. blok JE Mochovce, stavenisko: Jadrová časť
Construction: 3&4 Unit NPP Mochovce Completion, site: Nuclear Island
Stavebník: Slovenské elektrárne, a.s., Bratislava, 3. a 4. blok JE Mochovce
Constructor: Slovenské elektrárne, a.s., Bratislava, 3&4 Unit NPP Mochovce

		LC							
SE Rev	Date / Dátum	IS	Supervision Outcome / Stav schválenia	Supervised by / Overil		Checked by / Kontroloval		Approved by / Schválil	
			Language / Jazyk	S	Safety Class / Bezpečnostná trieda	N	SEC. INDEX / INDEX utajenia	Company use/P	
			Submitted to Client to / Predložené odberateľovi na:	Approval / Schválenie	X	Information Only / Len na informáciu			
			The SE a.s. approval refers to the contract clauses only. All design responsibilities are charged to the Contractor / Schválenie SE a.s. sa vzťahuje iba na zmluvné náležitosti. Za vypracovanie projektu nesie dodávateľ plnú zodpovednosť.						
EPS No / Číslo EPS: PNM34365000		Revision index / Index revízie: 10		Size / Veľkosť	Activity Code / Aktivita	Type / Subtype Typ / Podtyp	Discipline / Profesia	Plant Unit / Blok elektrárne	
File name / Názov súboru:	SE doc. Code / SE číslo dokumentu: PNM34361098			A4	6.01	RS	Z	8	
 * P N M 3 4 3 6 1 0 9 8 1 0 *				Sheet / List	Of / z		Plant System / Systém elektrárne	Component / Komponent	
				1	64				

SE Contract No. / Číslo zmluvy SE: 4600003952				VUJE Contract No. / číslo zmluvy VUJE: 1719/00/09			
Part name / Označenie časti: PNM3436109810_S_C00_V				Issued on / Vydané dňa: 04.07.2019			
Kód citlivosti ¹⁾ / Sensitivity code ¹⁾	3	Name / Meno	Organization / Organizácia	Dept. / Útvar	Date / Dátum	Signature / Podpis	
Author / Vypracoval:	•	•	• VUJE, a.s.	• 0220	• 04.07.2019	•	
Co-author / Spolupracoval:	•	•	•	•	•	•	
Checked by / Kontroloval:	•	•	• VUJE, a.s.	• 0220	• 04.07.2019	•	
Verified by / Overil:	•	•	• VUJE, a.s.	• 0720	• 04.07.2019	•	
Approved by / Schválil:	•	•	• VUJE, a.s.	• 1703	• 04.07.2019	•	

Tento dokument je vlastníctvom Slovenských elektrární, a.s.. Tento dokument, ako aj informácie z neho, môžu byť použité, kopírované, rozmnožované alebo zverejňované iba so súhlasom Slovenských elektrární, a.s.. Uvedené riešenie je obchodným tajomstvom VUJE, a.s..

This document is property of Slovenské elektrárne, a.s. This document as well as information it contains can only be used, copied, reproduced or published with consent of Slovenské elektrárne, a.s. The solution presented is trade secret of VUJE, a.s.

Revision record / Záznam o revízii

Identification / Identifikácia (part/page/chapter/ member/section) (časť/strana/kapitola/ článok/odstavec)	Brief description of modification / Stručná charakteristika úpravy (description of modification and manner of implementation) (popis úpravy a spôsobu zapracovanie)	Reason of modification / Dôvod úpravy (author company, number of comments or other stimulation, name of author, comment document No.) (firma autora a číslo pripomienky, resp. iný podnet, meno autora, č. dokumentu pripomienok)
• Celý dokument	• Zapracovanie pripomienok ÚJD podľa Aarhuského výboru	• V súlade s dokumentom PNM34482979
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•

List of document part

Zoznam častí dokumentu

Por. č. No.	Názov dokumentu Document name	Ev. č. súboru časti dokumentu / File ref. No. of document part	Číslo revízie / Revision No.
1.	• Kapitola 06.12 Systémy na zmierňovanie následkov ťažkých havárií	• PNM3436109810_S_C00_V	• 10
2.	• Kapitola 06.12 Systémy na zmierňovanie následkov ťažkých havárií	• PNM3436109810_S_C01_V	• 10
3.	•	•	•
4.	•	•	•
5.	•	•	•
6.	•	•	•
7.	•	•	•
8.	•	•	•
9.	•	•	•
10.	•	•	•
11.	•	•	•

OBSAH

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ	6
ÚVOD	7
6.12 Systémy na zmierňovanie následkov ťažkých havárií	8
6.12.1 Systém pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany	10
6.12.1.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií	10
6.12.1.1.1 Účel systému	10
6.12.1.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém	10
6.12.1.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie	11
6.12.1.1.4 Hlavné komponenty	11
6.12.1.1.5 Prevádzkové režimy	11
6.12.1.1.6 Systém kontroly a riadenia	11
6.12.1.1.7 Spoľahlivosť systému	11
6.12.1.1.8 Kvalifikácia systému	12
6.12.1.2 Zásahy obsluhy	12
6.12.1.3 Väzby na iné systémy	12
6.12.1.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie	13
6.12.2 Systém pre zaistenie odtlačovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii	16
6.12.2.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií	16
6.12.2.1.1 Účel systému	16
6.12.2.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém	16
6.12.2.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie	17
6.12.2.1.4 Hlavné komponenty	17
6.12.2.1.5 Prevádzkové režimy	17
6.12.2.1.6 Systém kontroly a riadenia	17
6.12.2.1.7 Spoľahlivosť systému	17
6.12.2.1.8 Kvalifikácia systému	17
6.12.2.2 Zásahy obsluhy	18
6.12.2.3 Väzby na iné systémy	18
6.12.2.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie	18
6.12.3 Externé zdroje vody pre ťažké havárie	22
6.12.3.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií	22
6.12.3.1.1 Účel systému	22
6.12.3.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém	22
6.12.3.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie	22
6.12.3.1.4 Hlavné komponenty	23
6.12.3.1.5 Prevádzkové režimy	23
6.12.3.1.6 Systém kontroly a riadenia	24
6.12.3.1.7 Spoľahlivosť systému	24
6.12.3.1.8 Kvalifikácia systému	24
6.12.3.2 Zásahy obsluhy	24
6.12.3.3 Väzby na iné systémy	25
6.12.3.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie	25
6.12.4 Systémy rekombinácie a zapalovania vodíka v atmosfére kontajneru pri ťažkej havárii	29
6.12.4.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií	29
6.12.4.1.1 Účel systému	29
6.12.4.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém	29
6.12.4.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie	30
6.12.4.1.4 Hlavné komponenty	30
6.12.4.1.5 Prevádzkové režimy	30
6.12.4.1.6 Systém kontroly a riadenia	30
6.12.4.1.7 Spoľahlivosť systému	30

6.12.4.1.8	Kvalifikácia systému.....	31
6.12.4.2	Zásahy obsluhy	31
6.12.4.3	Väzby na iné systémy	31
6.12.4.4	Bezpečnostné a technické hodnotenie	31
6.12.5	Systém drenáže vákuobarbotážnych žlabov pri ťažkej havárii	35
6.12.5.1	Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií	35
6.12.5.1.1	Účel systému	35
6.12.5.1.2	Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém	35
6.12.5.1.3	Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie	35
6.12.5.1.4	Hlavné komponenty	36
6.12.5.1.5	Prevádzkové režimy.....	36
6.12.5.1.6	Systém kontroly a riadenia.....	36
6.12.5.1.7	Spoľahlivosť systému.....	36
6.12.5.1.8	Kvalifikácia systému.....	36
6.12.5.2	Zásahy obsluhy	37
6.12.5.3	Väzby na iné systémy	37
6.12.5.4	Bezpečnostné a technické hodnotenie	37
6.12.6	Systém rušiča vákua	41
6.12.6.1	Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií	41
6.12.6.1.1	Účel systému	41
6.12.6.1.2	Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém	41
6.12.6.1.3	Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie	42
6.12.6.1.4	Hlavné komponenty	42
6.12.6.1.5	Prevádzkové režimy.....	42
6.12.6.1.6	Systém kontroly a riadenia.....	43
6.12.6.1.7	Spoľahlivosť systému.....	43
6.12.6.1.8	Kvalifikácia systému.....	43
6.12.6.2	Zásahy obsluhy	43
6.12.6.3	Väzby na iné systémy	44
6.12.6.4	Bezpečnostné a technické hodnotenie	44
6.12.7	Systémy kontroly a riadenia bloku počas ťažkých havárií	48
6.12.8	Systém elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií	49
6.12.8.1	Popis systému	49
6.12.8.1.1	Účel systému	49
6.12.8.1.2	Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém	49
6.12.8.1.3	Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie	50
6.12.8.1.4	Hlavné komponenty	50
6.12.8.1.5	Prevádzkové režimy.....	50
6.12.8.1.6	Systém kontroly a riadenia.....	51
6.12.8.1.7	Spoľahlivosť systému.....	51
6.12.8.1.8	Kvalifikácia systému.....	51
6.12.8.2	Zásahy obsluhy	51
6.12.8.3	Väzby na iné systémy	52
6.12.8.4	Bezpečnostné a technické hodnotenie	52
LITERATÚRA		56
PRÍLOHA 1	ZOZNAM DOKUMENTOV, VYTVÁRAJÚCI ANALYTICKÚ A VEDOMOSTNÚ ZÁKLADŇU PROJEKTU KOMPLEXU SYSTÉMOV PRE RIADENIE ŤAŽKÝCH HAVÁRIÍ	57

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ

I.O.	primárny okruh
II.O	sekundárny okruh
AAC	sieť doplnkových zdrojov striedavého napájania
AZ	aktívna zóna
BD	bloková dozorňa
BT	bezpečnostná trieda
BV	barbotážna veža
DBA	projektové havárie
DG	diesel generátor
DPS	dielčí prevádzkový súbor
EOP	predpisy pre symptómové orientované riešenie núdzového stavu
HA	hydroakumulátory
HČČ	hlavné cirkulačné čerpadlo
HCHZ	(systém) havarijného chladenia AZ
HPS	havarijne riadiace stredisko
HZ	hermetická zóna
KO	kompensátor objemu
LaP	Limity a podmienky prevádzky
LOCA	havária so stratou chladiva (Loss of Coolant Accident)
ND	núdzová dozorňa
PAMS	pohavarijný monitorovací systém
PBS	predbežná bezpečnostná správa
PG	parogenerátor
PS	prevádzkový súbor
RPS	systém ochrany reaktora
SAMG	predpisy pre zmiernenie následkov ťažkých havárií
SAMS	systém pre monitorovanie ťažkých havárií
SBD	spoločná bloková dozorňa
SDG	spoločný dieselgenerátor
SKR	systém kontroly a riadenia
TNR	tlaková nádoba reaktora
ZN	zaistené napájanie

ÚVOD

Kapitola je vypracovaná v súlade s požiadavkami zákona č. 541/2004 Z.z. o mierovom využívaní jadrovej energie, Vyhlášky ÚJD SR č. 31/2012 Z. z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovenia dokumentácie jadrových zariadení potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam, BNS I.1.2/2008 Rozsah a obsah bezpečnostnej správy, pričom bolo v primeranom rozsahu prihliadnuté k novému platnému návodu BNS I.1.2/2014. Predmetom kapitoly je popis a bezpečnostné zhodnotenie technologických zariadení, ktoré sú inštalované na blokoch MO34 a ktoré sú určené pre zmierňovanie následkov ťažkých havárií, t.j. pre ovplyvňovanie (riadenie) priebehu havárií s cieľom minimalizácie únikov a následkov na okolie.

6.12 Systémy na zmiernovanie následkov ťažkých havárií

Predmetom tejto kapitoly je popis a bezpečnostné zhodnotenie technologických zariadení, ktoré sú inštalované na blokoch MO34 a ktoré sú určené pre zmiernovanie následkov ťažkých havárií, t.j. pre ovplyvňovanie (riadenie) priebehu havárií s cieľom minimalizácie únikov a obmedzenia následkov na okolie. Pojmom systém sa v kontexte tejto kapitoly označuje súbor zariadení, určených pre určitý konkrétny účel, spojený so zmiernovaním následkov ťažkej havárie riadením ťažkej havárie. Vo väčšine prípadov sa nejedná o samostatný prevádzkový súbor (PS alebo DPS) ale iba o určitú relatívne samostatnú časť PS či DPS, prípadne súbor zariadení z niekoľkých PS.

Systémy popísané v tejto kapitole sú určené výhradne pre zmiernovanie následkov potenciálnych ťažkých havárií (havárií s vážnym a rozsiahlym poškodením integrity palivových prútikov). Výnimkou je systém externých zdrojov vody, systém rušiča vákua v HZ a systém elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií.

V niektorých scenároch je systém externých zdrojov chladiva možné použiť aj na prevenciu poškodenia AZ aj v rozsahu havarijných predpisov EOP na základe rozhodnutia Strediska technickej podpory (havarijného riadiaceho strediska). Systém rušiča vákua je využiteľný aj v 3. úrovni ochrany do hĺbky, pre riešenie havarijných stavov (projektových havárií) v prípade nevypnutia jednej redundancie sprchového systému. Tiež spoločný DG spolu s prislúchajúcim systémom elektrického napájania môže byť použitý v preventívnej etape ťažkej havárie (napr. strata vonkajšieho napájania).

Zariadenia, určené pre 4. úroveň ochrany do hĺbky sú nezávislé na zariadeniach určených pre riadenie havárií v 3. úrovni ochrany do hĺbky. To zaisťuje efektívnu nezávislosť rôznych úrovní ochrany do hĺbky.

Technická základňa a teoretické aj technické zdôvodnenie koncepcie komplexu systémov, určených pre riadenie ťažkých havárií, ktoré sú predmetom tejto kapitoly, je spoločná pre všetky bloky SE, a.s. na Slovensku. Je výsledkom dlhodobého, viac ako 20 ročného úsilia. Zoznam hlavných dokumentov, preukazujúcich základňu, analýzy, projektové varianty a odôvodnenie technického riešenia je uvedený v Prílohe 1 tejto kapitoly.

Základná stratégia riadenia ťažkých havárií a s ňou súvisiace projektové opatrenia pre zabezpečenie požadovanej miery bezpečnosti bloku sú nasledujúce:

- Je zabránené vysokotlakým scenárom tým, že na bloku je inštalovaný systém pre odtlakovanie primárneho okruhu, určený pre riadenie ťažkých havárií.
- Integrita tlakovej nádoby reaktora po roztavení a relokácii paliva je zabezpečená externým chladením ("in vessel retention", "zadržanie taveniny v TNR"). Je k dispozícii systém pre drenážovanie chladiva z barbotážnej veže a systém pre zaplavenie šachty reaktora. Chladenie je zabezpečené vyparovaním vody v šachte reaktora, spolu s opatreniami na zabezpečený odvod pary do ostatných miestností kontajneru.
- Sprchový systém boxov PG s rozšírenou funkciou pri využívaní chladiva z externého zdroja chladiva obmedzuje úniky štiepných produktov (ako vymievaním štiepných produktov z atmosféry tak aj redukciou vnútorného tlaku v kontajneru) a umožňuje riadenie teploty a tlaku vnútornej atmosféry v podmienkach ťažkej havárie.
- Riziko explózie vodíka vo vnútri kontajneru je riešené inštaláciou rekombinátorov/zapaľovačov, pričom riadenie koncentrácie vodíka a pary je realizované najmä prostredníctvom sprchového systému, vrátane jeho napojenia na externý zdroj chladiva

- Dodávka chladiwa z externého zdroja do primárneho okruhu, bazénu vyhoretého paliva a do otvoreného reaktora tiež prispieva k prevencii vzniku ťažkej havárie v prípade straty chladenia.

Pre dlhodobý odvod tepla z kontajneru je v rámci riadenia ťažkých havárií určený sprchový systém. Pre rozšírenie jeho projektovej základne aj pre ťažké havárie boli všetky relevantné komponenty systému projektované a realizované podľa kvalifikačných požiadaviek pre systémy, určené pre činnosť počas ťažkých havárií.

Dlhodobý odvod tepla z bazénu skladovania vyhoretého paliva je realizovaný tiež štandardnými prevádzkovými systémami. V prípade ich poruchy je pre účel trvalej dodávky chladiwa do bazénu (pre náhradu vypareného chladiwa pri strate chladenia bazéna) určený v tejto kapitole hodnotený systém externých zdrojov vody pre ťažké havárie (viď Kap. 6.12.3).

Dlhodobý odvod tepla z degradovanej aktívnej zóny je osobitým predmetom predpisov a postupov SAMG, ktoré vedú obsluhu k využitiu ľubovoľného prostriedku pre chladenie aktívnej zóny, vrátane dodávky chladiwa do primárneho okruhu, nezávisle od miery (úspešnosti) zaplavenia šachty reaktora.

V rámci aktivít súvisiacich so Závažovými testami (Stress tests), osobitne v súlade s Národným akčným plánom o prijatých opatreniach na plnenie záverov záťažových testov vykonaných na atómových elektrárnach [14], boli do projektu blokov zahrnuté vhodné opatrenia tak, aby boli splnené príslušné bezpečnostné požiadavky, vyplývajúce zo skúseností z havárie vo Fukušime. Národný akčný plán odráža kompiláciu odporúčaní ENSREG, "peer review" - národnej správy, komunikácie európskej komisie osobitne so Slovenskom a výsledky Mimoriadneho posudzovacieho zasadnutia Dohovoru o jadrovej bezpečnosti. V tomto dokumente sú preto uvedené a hodnotené tiež všetky príslušné technické opatrenia, ktoré boli do projektu blokov zahrnuté a realizované v rámci reakcie na Národný akčný plán.

V jednotlivých podkapitolách je pre každý systém uvedený účel a popis systému, potrebné zásahy obsluhy, vzájomné väzby na iné systémy bloku a technické a bezpečnostné zdôvodnenie daného systému v kontexte zmierňovania následkov ťažkej havárie. Preukázanie dostatočnosti charakteristík daného systému z pohľadu kritérií prijateľnosti je predmetom iných kapitol tejto Bezpečnostnej správy.

6.12.1 Systém pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany

6.12.1.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií

6.12.1.1.1 Účel systému

V tejto kapitole je popísaný a hodnotený "systém pre zaplavenie šachty reaktora a chladenie TNR z vonkajšej strany". Jedná sa o súbor zariadení, ktoré v úzkej súčinnosti umožnia (v období medzi prechodom havárie do ťažkej havárie a začiatkom relokácie degradovaných častí aktívnej zóny do dolnej zmiešavacej komory TNR) dodanie dostatočného množstva chladiva do dolnej časti šachty reaktora. Táto dodávka chladiva je potrebná v prechodovej etape z projektovej havárie do ťažkej havárie na začiatku významnej relokácie aktívnej zóny do dolnej zmiešavacej komory.

Po ukončení zaplavovania šachty reaktora systém zabezpečuje trvalé odvádzanie tepla z TNR prostredníctvom vyparovania chladiva v medzere medzi vonkajším povrchom TNR a šachtou reaktora.. Okrem dodania niekoľkých nových komponentov bola v rámci projektu tiež (pre zvýšenie spoľahlivosti a účinnosti tohto opatrení) vykonaná úprava tepelného a biologického tienenia dna TNR. Došlo k zväčšeniu medzery medzi dnom telesa TNR a tepelným tienením a tiež medzi stenou TNR a biologickým tienením. Osobitne bolo nahradené pôvodné biologické tienenie (krúžok).

V porovnaní s pôvodným projektom bolo vykonaných niekoľko špecifických opatrení, ktoré zabezpečujú tesnosť príslušných miestností kontajnementu (napr. dverí a priechodiek) a prevenciu zapchatia prietochných trás [1], ktoré by mohlo ohroziť úspech stratégie.

6.12.1.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém

Systém pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany je určený výlučne pre 4. úroveň ochrany do hĺbky. Podieľa na plnení nasledujúcich základných bezpečnostných funkcií:

- b) odvod tepla,
- c) zadržanie rádioaktívnych materiálov vnútri fyzických bariér,
- d) reguláciu a obmedzenie množstva a druhu rádioaktívnych látok uvoľnených do životného prostredia.

Systém okrem základných bezpečnostných funkcií zaisťuje tiež nasledujúce špecifické bezpečnostné funkcie, vyžadované pre efektívne riadenia ťažkých havárií:

- udržanie integrity primárneho okruhu v maximálnej dosiahnuteľnej miere,
- odvádzanie tepla z iných bezpečnostných systémov mimo kontajnement,
- obmedzenie úniku rádioaktivity z kontajnementu reaktora v podmienkach havárie a po havárii,
- udržiavanie podmienok vo vnútri elektrárne v limitoch pre prevádzku iných bezpečnostných systémov.

Popis opatrení na dosiahnutie spoľahlivosti zaistenia všetkých bezpečnostných funkcií systému je uvedený v ostatných sekciách tejto podkapitoly.

6.12.1.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie

Metodika a postup kategorizácie vybraných zariadení do bezpečnostných tried sú uvedené a hodnotené v kapitole 5.3 „Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried“ tejto BS [1]. Pri stanovovaní základných požiadaviek a princípov zatriedňovania systémov a zariadení do bezpečnostných tried sa vychádzalo z národnej legislatívy SR, kde v Zákone č. 541/2004 Z.z. sú ustanovené požiadavky na jadrovú bezpečnosť a vybrané zariadenia, a ďalej podľa pravidiel pre stanovenie rozsahu a zaradenia vybraných zariadení do bezpečnostných tried, ktoré sú definované vo Vyhláške 430/2011 Z.z. [1].

Všetky zariadenia systému zaplavenia šachty reaktora sú klasifikované ako vybrané zariadenia.

6.12.1.1.4 Hlavné komponenty

Systém sa skladá z niekoľkých súborov komponentov, patriacich k rôznym prevádzkovým súborom. Jedná sa nasledujúce skupiny, zabezpečujúce jednotlivé funkcie systému:

- potrubie systému,
- zaplavovacích armatúr,
- sitové konštrukcie pre odstraňovanie jemných nečistôt v chladive pred jeho vstupom do medzery medzi tepelným tienením a stenou TNR,
- otvor pre zaplavenie TNR v tepelnom tienení a mechanizmus jeho otvárania,
- pretlakové klapky v tepelnom tienení nátrubkov TNR,
- systém drenáže vákuobarbotážnych žľabov.

V ďalšom texte sú jednotlivé skupiny komponentov identifikované podrobnejšie.

6.12.1.1.5 Prevádzkové režimy

Všetky komponenty systému sú v režimoch normálnej prevádzky a počas projektových havárií v pohotovosti, pripravené na plnenie svojej funkcie, prípadne plnia svoju funkciu v rozsahu daného režimu. Nakoľko okrem zaplavovacích armatúr sú všetky komponenty pasívne, prechádzajú tieto do aktívneho režimu bez zásahu operátora.

6.12.1.1.6 Systém kontroly a riadenia

Všetky komponenty systému okrem zaplavovacích armatúr sú pasívne. Nevyžadujú k prechodu do aktívneho stavu a plneniu svojej určenej funkcie zásah operátora. Zaplavovacie armatúry sú ovládateľné a monitorované diaľkovo z blokovej dozorne.

Pre monitorovanie účinnosti stratégie zaplavenia šachty reaktora pri ťažkej havárii sú inštalované merania hladiny vody na niekoľkých miestach v kontajneroch.

6.12.1.1.7 Spoločnosť systému

Spôľahlivosť systému je daná splnením požiadaviek kladených na vybrané zariadenia, vyplývajúcich z ich klasifikácie, pričom všetky zariadenia a komponenty sú zaradené do príslušných tried podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

Dokumentácia, preukazujúca splnenie stanovených požiadaviek v procese výroby, dodávky a montáže je súčasťou projektovej a realizačnej dokumentácie každého zariadenia, podsystému a systému.

6.12.1.1.8 Kvalifikácia systému

Komponenty systému zaplavenia šachty reaktora sú z hľadiska jadrovej bezpečnosti vybraným zariadením podľa Vyhlášky 430/2011 Z.z. [1] a preto plne podliehajú požiadavkám tejto Vyhlášky. Metodika a postup kvalifikácie vybraných zariadení sú uvedené a hodnotené v kap. 5. tejto BS [1].

V súlade s touto metodikou boli vypracované individuálne kvalifikačné požiadavky pre zariadenia všetkých systémov určených pre riadenie ťažkých havárií s prihliadnutím na ich požadovanú funkčnosť v priebehu ťažkej havárie. V tomto prípade je zabezpečená funkčnosť/disponibilita zariadenia v tých etapách ťažkej havárie, pre ktoré je zariadenie vyžadované. Požiadavky na environmentálne podmienky v kontajnmemente, resp. aj v primárnom okruhu pre kvalifikáciu príslušných zariadení boli stanovené na základe výpočtových analýz ťažkých havárií a odborného inžinierskeho odhadu. Systém je odolný podľa požiadaviek [1].

Požiadavky [1] zahŕňajú rozsah parametrov od normálnej prevádzky až po požadovanú činnosť zariadenia, osobitne integrálne zaťaženie teplotou, tlakom a vlhkosťou prostredia a radiáciou. Jednotlivé komponenty spĺňajú požiadavky funkčnosti pre tú etapu ťažkej havárie, v ktorej je ich činnosť požadovaná.

6.12.1.2 Zásahy obsluhy

Všetky komponenty systému okrem zaplavovacích armatúr sú pasíve. Nevyžadujú k prechodu do aktívneho stavu a plneniu svojej určenej funkcie zásah operátora.

Zaplavovacie armatúry sú ovládateľné operátorom diaľkovo z blokovej dozorne, po vyhodnotení potreby zaplavenia šachty reaktora. Zaplavenie je požadované v rámci predpisov SAMG, resp. pri prechode z EOP do SAMG po odtlakovaní I.O..

6.12.1.3 Väzby na iné systémy

Jednotlivé komponenty systému sú súčasťou systému cirkulácie atmosféry v kontajnmemente, prípadne s týmto systémom úzko súvisia. Komponenty systému prechádzajú do aktívneho režimu až po zaplavení šachty reaktora vodou, takže na činnosť a charakteristiky cirkulačného systému v režimoch bez ťažkej havárie nemajú žiadny vplyv (systém v dotknutých vetvách je počas aktívnej činnosti týchto komponentov objektívne nefunkčný).

6.12.1.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie

Zásadné požiadavky legislatívy SR pre oblasť ťažkých havárií sú formulované v [1] v časti II. Osobitné požiadavky na projekt jadrového zariadenia s jadrovým reaktorom. Dodatočne k požiadavkám v oblasti projektových havárií sa k ťažkým haváriám vzťahujú nasledujúce (časť II.D, [1]):

- (18) Tesnosť ochrannej obálky nesmie byť výrazne znížená na primerane dlhý čas po ťažkej havárii. *Jednotlivé komponenty systému pre zaplavenie šachty reaktora vytvárajú vhodné podmienky pre zaistenie tesnosti kontajnementu, osobitne tým, že prakticky vylučujú poškodenie šachty reaktora, súčasne prispievajú k ochrane ostatných častí hranice kontajnementu (viď ďalej)*
- (19) Tlak a teplota vo vnútri ochrannej obálky musia byť počas ťažkej havárie riadené. *Systém pre zaplavenie šachty reaktora svojou činnosťou vytvára paru, ktorá je dobrým médiom na prenos energie. To umožňuje efektívne riadenie zmien tlaku a teploty prostredníctvom ostatných systémov pre riadenie ťažkých havárií.*
- (20) Koncentrácia horľavých plynov musí byť počas ťažkej havárie riadená. *Systém pre zaplavenie šachty reaktora generuje paru, tým prispieva k inertizácii atmosféry v kontajmente v podmienkach vysokej koncentrácie vodíka vyprodukovaného z AZ. Prevenciou etáp ťažkej havárie s porušením TNR systém prakticky eliminuje vývin veľkých objemov horľavých plynov z interakcie taveniny s betónom.*
- (21) Ochranná obálka musí byť počas ťažkej havárie chránená proti vnútornému pretlaku. *Systém pre zaplavenie šachty reaktora prispieva k ochrane kontajnementu tým, že prakticky eliminuje vývin veľkých objemov horľavých plynov z interakcie taveniny s betónom. Ďalej tiež tým, že sprostredkováva prenos energie z paliva do atmosféry prostredníctvom pary, ktorá umožňuje v súčinnosti so sprchovým systémom efektívnu redukciu tlaku*
- (22) Musí byť zabránené scenárom tavenia aktívnej zóny pri vysokom tlaku. *Systém pre zaplavenie šachty reaktora sa priamo nepodieľa na prevencii vysokotlakých scenárov. Úspech stratégie ochrany TNR vonkajším chladením závisí na riadnej činnosti systému pre odtlakovanie primárneho okruhu.*
- (23) Poškodeniu ochrannej obálky vyvolanému roztaveným palivom musí byť zabránené do takej miery, ako je to rozumne dosiahnuteľné. *Systém pre zaplavenie šachty reaktora prakticky eliminuje poškodenie TNR a tým prezentuje dostatočnú ochranu kontajnementu pre interakciu jeho hranice s taveninou.*

Ako vyplýva z hodnotenia hore, systém spĺňa jednotlivé požiadavky Vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011.

Legislatíva SR, najmä bezpečnostné návody priamo vychádzajú z dokumentov MAAE. Dokumenty MAAE „INSAG-12, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants“ [9] a „INSAG-10, Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)“ [8] však obsahujú požiadavky, relevantné pre zmierňovanie následkov ťažkých havárií.

Všeobecne formulované požiadavky z hľadiska zmierňovania (mitigation) následkov ťažkých havárií u budúcich JE obsahuje INSAG-10 "Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)", ktorý odporúča:

- zvýšenie odolnosti systémov kontajnementu proti vysokým parametrom,
- zabezpečenie odolnosti proti následkom horenia vodíka
- prevenciu poškodenia základovej dosky taveninou.

Systém pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany zabezpečuje podstatné zvýšenie odolnosti bloku proti vysokým parametrom (zvýšeniu parametrov v dôsledku poškodenia TNR), zvýšenie odolnosti proti následkom horenia vodíka (zníženie potenciálne generovaného množstva v dôsledku vylúčenia interakcie betónu s roztavenou AZ), prakticky eliminovať generáciu horľavých plynov prostredníctvom prevenciu interakcie taveniny a betónu a je zásadným systémom pre prevenciu poškodenia základovej dosky bloku taveninou.

Návod „Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series NS-G-1.10“ rozlišuje medzi požiadavkami platnými pre projektovanie novej JE a medzi posudzovaním systémov kontajneru prevádzkovej JE, vybudovanej podľa starších noriem. Bez ohľadu na vek JE platia pre systémy kontajneru všeobecné odporúčania, zamerané na zmiernenie následkov ťažkých havárií. Komplex zariadení pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany znižuje pravdepodobnosť havárií s únikom taveniny z TNR na minimum, jeho príspevok je teda vo zvýšení odolnosti blokov principiálne na úroveň súčasne projektovaných blokov.

Požiadavky na hardvérové prostriedky na zvládnutie ťažkých havárií zhrňujú dva dokumenty, TECDOC-905 [10] a TECDOC-986 [11]. Na najvšeobecnejšej úrovni je uvedený celý rad relevantných požiadaviek, napr.:

- Odolnosť proti ťažkej havárii musí byť projekčne zabezpečená systémami zvláštnej kategórie.
- Systémy projektované a inštalované pre zvládnutie ťažkých havárií musia mať vysokú spoľahlivosť / kvalitu, nemusia však splňovať kvalifikačné požiadavky používané v prípade bezpečnostných systémov.
- Hlavný dôraz je kladený na schopnosť kontajneru plniť bezpečnostné a rádiologické ciele (prevencia poškodenia tlakového rozhrania – integrita a zachovanie tesnosti) pre všetky ťažké havárie uvažované v projekte.
- Stratégie návodov SAMG musia mať podporu v inštalovaných hardvérových funkciách.

Systém pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany spĺňa príslušné kvalifikačné požiadavky, je určený iba na riešenie ťažkých havárií, prakticky eliminuje možné poškodenie HZ pri úniku taveniny z TNR a vytvára zásadnú hardvérovú podporu pre realizáciu stratégií SAMG.

Podobné odporúčania sú uvedené aj v EUR 2001, resp. 2012 [12]. Dokument EUR obsahuje explicitné odporúčanie, aby projekt elektrárne zohľadňoval väčší počet udalostí zo skupiny nadprojektových udalostí. Na základe tohto odporúčania musia byť do projektu zahrnuté systémy alebo zariadenia alebo musia byť dimenzované s dostatočnou rezervou, systémy, ak sú potrebné pre realizáciu postupov riadenia ťažkých havárií. Bez ohľadu na pravdepodobnosť vzniku príslušných havarijných sekvencií musí projektant uplatniť špecifické projekčné postupy (technické opatrenia), ktoré umožnia splnenie nasledujúcich odporúčaní:

- Úplne zabrániť skorému zlyhaniu kontajneru.
- Zmierniť následky ťažkých havárií sprevádzaných rozsiahlym poškodením aktívnej zóny.

Systém pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany rozširuje významne spektrum systémov a zariadení, ktoré sú súčasťou projektu, do oblasti nadprojektových havárií riešených havárií, napriek veľmi nízkej pravdepodobnosti takýchto havárií. Systém sa podstatne podieľa na zabránení skorého zlyhania kontajneru a na zmiernení následkov ťažkých havárií.

Systém a jeho komponenty sú navrhnuté tak, aby neovplyvňovali bezpečnosť bloku v režimoch normálnej prevádzky ani počas prevádzkových havárií. Je určený pre zaistenie požadovanej úrovne bezpečnosti v 4. úrovni ochrany do hĺbky.

Dodatočné požiadavky sú dôsledkom reakcií na haváriu vo Fukušime [3], [4], vyplynuli zo záverov tzv. "stres testov" [3], [5]. Jedná sa najmä nasledujúce požiadavky na systémy pre riadenie ťažkých havárií:

- Fyzická a elektrická nezávislosť systémov na bezpečnostných systémoch
Všetky komponenty systému pre zaplavenie šachty reaktora a vonkajšie chladenie sú nezávislé na systémoch pre 3. úroveň ochrany do hĺbky vrátane elektrického napájania.
- Seizmická kvalifikácia systémov
Systém je seizmicky odolný, kvalifikovaný.
- Verifikácia použiteľnosti dostupných opatrení na situácie so súčasným vznikom havárie na niekoľkých blokoch
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní.
- Riešenie dlhodobých havárií, prebiehajúcich súčasne na viacerých blokoch, pri devastačných podmienkach v lokalite pri náročných podmienkach a kontaminácii okolitého prostredia
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní, je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach v okolitom prostredí nezávislý.
- Zabezpečenie odolnosti príslušných zariadení (vrátane inštrumentácie a komunikačných prostriedkov) voči externým vplyvom
Systém je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach mimo HZ nezávislý.
- Zabezpečenia ochrany prípadných mobilných prostriedkov pred extrémnymi prírodnými podmienkami.
K činnosti systému sa neviažu žiadne mobilné prostriedky.

Ako vyplýva z hodnotenia čiastkových požiadaviek, systém vyhovuje aj uvedeným dodatočným požiadavkám.

Ďalším z relevantných nadnárodných dokumentov je štúdia WENRA [13]. Táto štúdia však zatiaľ nemá charakter záväzného dokumentu, je relevantná osobitne na nové projektované reaktory a je preto iba nepriamo relevantná pre bloky MO34. Výsledky štúdie však zhŕňajú aktuálne požiadavky, ktoré sú obsiahnuté v už uvedených dokumentoch a hodnotené hore.

Vzhľadom na určenie systému nie je požadovaná odolnosť voči jednoduchšej poruche, odolnosť voči poruche so spoločnou príčinou, redundancia a separácia podsystémov, automatická činnosť ani ostatné požiadavky na bezpečnostné systémy. Napriek tomu sú niektoré komponenty realizované s redundantnosťou (trasy pre zaplavenie šachty reaktora, pretlakové klapky v tepelnom tienení nátrubkov). Systém je nezávislý na systémoch určených pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky a okrem pasívnych komponentov (potrubia) je systém od systémov pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky aj funkčne oddelený.

Detailné kvantitatívne hodnotenie dostatočnosti systému zaplavenia šachty reaktora počas ťažkých havárií je uvedené v príslušných technických správach.

6.12.2 Systém pre zaistenie odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii

6.12.2.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií

6.12.2.1.1 Účel systému

Účelom systému odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii je zaistenie spoľahlivého otvorenia trasy z I.O. do HZ aj v prípade, keď všetky ostatné systémy, použiteľné pre daný účel zlyhali. Po otvorení odvádza tento systém chladivo, resp. vodnú paru a plyny vznikajúce počas degradácie AZ z I.O. (z kompenzátora objemu) do boxov PG. Systém je kapacitne riešený tak, aby v dostatočne krátkom čase poklesol tlak v I.O. na prijateľnú hodnotu.

Primárnym cieľom a určením systému odtlakovania je také zníženie tlaku v I.O., aby:

- bola vylúčená etapa ťažkej havárie s natlakovaným primárnym okruhom (a prípadné poškodenie TNR pri vysokom tlaku),
- bolo možné zahájenie externého chladenia TNR bez nebezpečia jej porušenia pri vysokom/zvýšenom tlaku,
- bolo možné pokračovať v pokusoch o dodávku chladiva do I.O. a o obnovenie pokusov o chladenie paliva vo vnútri I.O..

Systém je určený výlučne pre použitie po prechode do ťažkej havárie, resp. pre stavy, v ktorých hrozí bez odtlakovania bezprostredné a nevyhnutné nebezpečie porušenia primárneho okruhu. Jeho použitie v inej situácii nie je povolené.

6.12.2.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém

Systém pre zaistenie odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii je určený výlučne pre 4. úroveň ochrany do hĺbky. V tomto rámci sa podieľa na plnení nasledujúcich základných bezpečnostných funkcií:

- c) zadržanie rádioaktívnych materiálov vnútri fyzických bariér,
- d) reguláciu a obmedzenie množstva a druhu rádioakt. látok uvoľnených do životného prostredia.

Systém okrem základných bezpečnostných funkcií zaisťuje tiež nasledujúce špecifické bezpečnostné funkcie, vyžadované pre efektívne riadenia ťažkých havárií:

- udržanie integrity primárneho okruhu v maximálnej dosiahnuteľnej miere,
- obmedzenie úniku rádioaktivity z kontajneru reaktora v podmienkach havárie a po havárii (sprostredkované cez prevenciu porušenia TNR pri vysokom tlaku).

Popis opatrení na dosiahnutie spoľahlivosti zaistenia všetkých bezpečnostných funkcií systému je uvedený v ostatných sekciách tejto podkapitoly.

6.12.2.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie

Metodika a postup kategorizácie vybraných zariadení do bezpečnostných tried sú uvedené a hodnotené v kapitole 5.3 „Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried“ tejto BS. Pri stanovovaní základných požiadaviek a princípov zatriedňovania systémov a zariadení do bezpečnostných tried sa vychádzalo z národnej legislatívy SR, kde v Zákone č. 541/2004 Z.z. sú ustanovené požiadavky na jadrovú bezpečnosť a vybrané zariadenia, a ďalej podľa pravidiel pre stanovenie rozsahu a zaradenia vybraných zariadení do bezpečnostných tried, ktoré sú definované vo Vyhláške 430/2011 Z.z. [1].

Systém je zaradený do príslušnej kategórie seizmickej odolnosti (pretrvanie funkčnosti aj po seizmickej udalosti) a do bezpečnostnej triedy podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

6.12.2.1.4 Hlavné komponenty

Systém odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii sa skladá z potrubnej trasy, armatúr a výstupnej časti potrubnej trasy ústiacej do HZ.

6.12.2.1.5 Prevádzkové režimy

Systém odtlakovania primárneho okruhu je pri ťažkej havárii vo všetkých prevádzkových režimoch prvej až tretej úrovne ochrany do hĺbky (až po projektové havárie vrátane) v pohotovosti, t.j. armatúry systému sú uzatvorené, systém ovládania pripravený.

Pri vzniku požiadavky na činnosť systému sa systém uvádza do činnosti zásahom operátora, zahájením otvárania armatúr. Po roztesnení armatúr je systém v trvalej prevádzke, prepúšťa pasívne médium z I.O. do HZ, pričom kapacita prúdenia cez systém je určená hydraulickými charakteristikami systému a tlakovým rozdielom.

6.12.2.1.6 Systém kontroly a riadenia

Systém spoľahlivého odtlakovania I.O. je ovládaný a monitorovaný samostatne z blokovej dozorne.

Napájanie systému je zabezpečené zo zaisteného napájania.

6.12.2.1.7 Spoľahlivosť systému

Spoľahlivosť systému je daná splnením požiadaviek kladených na vybrané zariadenia, vyplývajúcich z ich klasifikácie, pričom všetky zariadenia a komponenty sú zaradené do príslušných tried podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

Dokumentácia, preukazujúca splnenie stanovených požiadaviek v procese výroby, dodávky a montáže je súčasťou projektovej a realizačnej dokumentácie systému.

6.12.2.1.8 Kvalifikácia systému

Systém odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii je z hľadiska jadrovej bezpečnosti vybraným zariadením podľa Vyhlášky 430/2011 Z.z. [1] a preto plne podlieha požiadavkám tejto Vyhlášky.

V súlade s touto metodikou boli vypracované individuálne kvalifikačné požiadavky pre zariadenia všetkých systémov určených pre riadenie ťažkých havárií s prihliadnutím na ich požadovanú funkčnosť v priebehu ťažkej havárie. V tom prípade je zabezpečená disponibilita a funkčnosť (podľa [1]) zariadení v tých etapách ťažkej havárie, pre ktoré je dané zariadenie určené. Požiadavky na environmentálne podmienky v kontajneroch, resp. aj v primárnom okruhu pre kvalifikáciu príslušných zariadení boli stanovené na základe analýz ťažkých havárií a odborného inžinierskeho odhadu. Systém je odolný podľa relevantných požiadaviek.

Požiadavky zahŕňajú rozsah parametrov od normálnej prevádzky až po požadovanú činnosť zariadenia, osobitne integrálne zaťaženie teplotou, tlakom a vlhkosťou prostredia a radiáciou, vrátane zaťaženia od zvyšujúcich sa parametrov prostredia v potrubí. Systém odtlakovania primárneho okruhu pre ťažké havárie spĺňa požiadavky funkčnosti pre tie etapy ťažkých havárií, pre ktoré sú určené.

6.12.2.2 Zásahy obsluhy

Systém vyžaduje pre uvedenie do činnosti zásah operátora. Po iniciácii otvárania armatúr sa už žiadny zásah operátora nevyžaduje.

Zásah obsluhy je vyžadovaný v príslušných predpisoch EOP. Opätovné zatvorenie sa v prípade ťažkej havárie neuvažuje, je však možné v prípade, že armatúry ostanú funkčné aj po procese uvoľnenia tlaku a prepustení vysokoenergetického média z I.O.. Toto zatvorenie by bolo súčasťou postupov likvidácie havarijných stavov - t.j. buď diaľkové v prípade pretrvávajúcej funkčnosti prvkov ovládania a manipulácie alebo podľa špecifického postupu, ktorý nie je predmetom projektu.

6.12.2.3 Vázby na iné systémy

Systém odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii nemá žiadne priame väzby na iné bezpečnostne významné systémy. Vykonáva svoju činnosť autonómne.

Médium vypúšťané z odtlakovacej trasy je nasmerované tak, aby nepoškodilo ani žiadne komponenty dôležité z pohľadu riadenia ťažkej havárie ani integritu bezpečnostne významných zariadení.

6.12.2.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie

Zásadné požiadavky legislatívy SR pre oblasť ťažkých havárií sú formulované v [1] v časti II. Osobitné požiadavky na projekt jadrového zariadenia s jadrovým reaktorom. Dodatočne k požiadavkám v oblasti projektových havárií sa k ťažkým haváriám vzťahujú nasledujúce (časť II.D, [1]):

- (18) Tesnosť ochrannej obálky nesmie byť výrazne znížená na primerane dlhý čas po ťažkej havárii.
Systém pre odtlakovanie primárneho okruhu vytvára vhodné podmienky pre zachovanie tesnosti kontajneru prostredníctvom udržiavania nízkeho tlaku v primárnom okruhu a tak podporuje realizovateľnosť a úspešnosť stratégie externého chladenia TNR (zaplavenia šachty reaktora).
- (19) Tlak a teplota vo vnútri ochrannej obálky musia byť počas ťažkej havárie riadené.
Systém pre odtlakovanie primárneho okruhu vytvára vhodné podmienky pre udržanie integrity TNR a v spolupráci so systémom pre zaplavenie šachty reaktora umožňuje efektívne riadenie tlaku a teploty ostatnými systémami určenými pre riadenie ťažkých havárií.
- (20) Koncentrácia horľavých plynov musí byť počas ťažkej havárie riadená.

Systém pre odtlakovanie primárneho okruhu, spolu so systémom pre zaplavenie šachty reaktora, prakticky eliminuje vývin horľavých plynov v dôsledku interakcie taveniny s betónom. Tým významne zvyšuje pravdepodobnosť úspešnosti riadenia koncentrácie vodíka.

- (21) Ochranná obálka musí byť počas ťažkej havárie chránená proti vnútornému pretlaku.

Systém pre odtlakovanie primárneho okruhu vytvára vhodné podmienky pre udržanie integrity TNR a v spolupráci so systémom pre zaplavenie šachty reaktora umožňuje efektívne riadenie tlaku ostatnými systémami určenými pre riadenie ťažkých havárií. Riadené odtlakovanie primárneho okruhu umožní riadený transport energie z primárneho okruhu do kontajneru a tým jeho účinnejšiu ochranu.

- (22) Musí byť zabránené scenárom tavenia aktívnej zóny pri vysokom tlaku.

Systém pre odtlakovanie primárneho okruhu je zásadným systémom pre prevenciu scenárov tavenia aktívnej zóny pri vysokom tlaku. Je určený pre zabezpečenie práve tejto požiadavky a svojou činnosťou týmto scenárom účinne zabráni.

- (23) Poškodeniu ochrannej obálky vyvolanému roztaveným palivom musí byť zabránené do takej miery, ako je to rozumne dosiahnuteľné.

Systém pre odtlakovanie primárneho okruhu, v spolupráci so systémom pre zaplavenie šachty reaktora prakticky zabráni interakcii kontajneru roztaveným palivom a tým zabráni poškodeniu integrity kontajneru.

Ako vyplýva z hodnotenia hore, systém spĺňa jednotlivé požiadavky Vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011.

Legislatíva SR, najmä bezpečnostné návody priamo vychádzajú z dokumentov MAAE. Dokumenty MAAE „INSAG-12, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants“ [9] a „INSAG-10, Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)“ [8] však obsahujú požiadavky, relevantné pre zmierňovanie následkov ťažkých havárií.

Všeobecne formulované požiadavky z hľadiska zmierňovania (mitigation) následkov ťažkých havárií u budúcich JE obsahuje INSAG-10 "Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)", ktorý odporúča:

- zvýšenie odolnosti systémov kontajneru proti vysokým parametrom,
- zabezpečenie odolnosti proti následkom horenia vodíka
- prevenciu poškodenia základovej dosky taveninou.

Systém pre zaistenie odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii je primárne určený k ochrane primárneho okruhu. Táto ochrana je však prevenciou poškodenia TNR pri vysokom tlaku, pretože pri takomto poškodení TNR je vysoká pravdepodobnosť indukovaného poškodenia integrity HZ.

Návod „Safety Guide on Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series NS-G-1.10“ rozlišuje medzi požiadavkami platnými pre projektovanie novej JE a medzi posudzovaním systémov kontajneru prevádzkovej JE, vybudovanej podľa starších noriem. Bez ohľadu na vek JE platia pre systémy kontajneru všeobecné odporúčania, zamerané na zmiernenie následkov ťažkých havárií. Systém pre zaistenie odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii je podstatnou súčasťou systémov na zmiernenie následkov ťažkých havárií s rozsiahlym poškodením AZ, je ochranou pred katastrofickým poškodením TNR a následne HZ.

Požiadavky na hardvérové prostriedky na zvládnutie ťažkých havárií zhrňujú dva dokumenty, TECDOC–905 [10] a TECDOC-986 [11]. Na najvšeobecnejšej úrovni je uvedený celý rad relevantných požiadaviek, napr.:

- Odolnosť proti ťažkej havárii musí byť projekčne zabezpečená systémami zvláštnej kategórie.
- Systémy projektované a inštalované pre zvládnutie ťažkých havárií musia mať vysokú spoľahlivosť / kvalitu, nemusia však spĺňať kvalifikačné požiadavky používané v prípade bezpečnostných systémov.
- Hlavný dôraz je kladený na schopnosť kontajnementu plniť bezpečnostné a rádiologické ciele (prevencia poškodenia tlakového rozhrania – integrita a zachovanie tesnosti) pre všetky ťažké havárie uvažované v projekte.
- Stratégie návodov SAMG musia mať podporu v inštalovaných hardvérových funkciách.

Systém pre zaistenie odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii spĺňa príslušné kvalifikačné požiadavky na osobitné zariadenia, je konštrukčne riešený tak, aby bola zabezpečená vysoká spoľahlivosť jeho požadovanej činnosti. Systém pre zaistenie odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii vytvára zásadnú hardvérovú podporu pre realizáciu stratégií SAMG v oblasti osobitne nebezpečných havárií s vysokým tlakom v I.O. aj po začiatku ťažkej havárie.

Podobné odporúčania sú uvedené aj v EUR 2001, resp. 2012 [12]. Dokument EUR obsahuje explicitné odporúčanie, aby projekt elektrárne zohľadňoval väčší počet udalostí zo skupiny nadprojektových udalostí. Na základe tohto odporúčania musia byť do projektu zahrnuté systémy alebo zariadenia alebo musia byť dimenzované s dostatočnou rezervou, ak sú potrebné pre realizáciu postupov riadenia ťažkých havárií. Bez ohľadu na pravdepodobnosť vzniku príslušných havarijných sekvencií musí projektant uplatniť špecifické projekčné postupy (technické opatrenia), ktoré umožnia splnenie nasledujúceho:

- Úplne zabrániť skorému zlyhaniu kontajnementu.
- Zmierniť následky ťažkých havárií sprevádzaných rozsiahlym poškodením aktívnej zóny.

Systém pre zaistenie odtlakovania primárneho okruhu pri ťažkej havárii je dimenzovaný výlučne na podmienky ťažkých havárií. Je určený osobitne na extrémne nepravdepodobné havárie, ktoré však majú veľmi vážne dôsledky na okolie, ktoré by mohli bez činnosti systému viesť k rozsiahlej deštrukcii HZ.

Dodatočné požiadavky sú dôsledkom reakcií na haváriu vo Fukušime [3], [4], vyplynuli zo záverov tzv. "stres testov" [3], [5]. Jedná sa najmä nasledujúce požiadavky na systémy určené pre riadenie ťažkých havárií:

- Fyzická a elektrická nezávislosť systémov na bezpečnostných systémoch
Všetky funkčné komponenty systému pre odtlakovanie PO sú nezávislé na systémoch pre 3. úroveň ochrany do hĺbky vrátane elektrického napájania.
- Seizmická kvalifikácia systémov
Systém je seizmicky odolný.
- Verifikácia použiteľnosti dostupných opatrení na situácie so súčasným vznikom havárie na niekoľkých blokoch
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní.
- Riešenie dlhodobých havárií, prebiehajúcich súčasne na viacerých blokoch, pri devastačných podmienkach v lokalite pri náročných podmienkach a kontaminácii okolitého prostredia
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní, je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach v okolitom prostredí nezávislý.

- Zabezpečenie odolnosti príslušných zariadení (vrátane inštrumentácie a komunikačných prostriedkov) voči externým vplyvom
Systém je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach v mimo HZ nezávislý.
- Zabezpečenia ochrany prípadných mobilných prostriedkov pred extrémnymi prírodnými podmienkami.
K činnosti systému sa neviažu žiadne mobilné prostriedky.

Ako vyplýva z hodnotenia čiastkových požiadaviek, systém vyhovuje aj týmto dodatočným požiadavkám.

Ďalším z relevantných nadnárodných dokumentov je štúdia WENRA [13]. Táto štúdia však zatiaľ nemá charakter záväzného dokumentu, je relevantná osobitne na nové projektované reaktory a je preto iba nepriamo relevantná pre bloky MO34. Výsledky štúdie však zhŕňajú aktuálne požiadavky, ktoré sú obsiahnuté v už uvedených dokumentoch a hodnotené hore.

Systém a jeho komponenty sú navrhnuté tak, aby neovplyvňovali bezpečnosť bloku v režimoch normálnej prevádzky ani počas prevádzkových havárií. Je určený pre zaistenie požadovanej úrovne bezpečnosti v 4. úrovni ochrany do hĺbky.

Systém tvorí hranicu primárneho okruhu. Jeho potenciálne negatívny vplyv na bezpečnosti bloku v projektových podmienkach je eliminovaný technickými aj organizačnými prevádzkovými opatreniami, ktoré zaisťujú zatvorené ventily v situácii, kedy odtlakovanie nie je vyžadované.

Systém je nezávislý na systémoch určených pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky a okrem pasívnych komponentov (prípájacieho potrubia) je systém od systémov pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky aj funkčne oddelený.

Systém bol projektovaný a je realizovaný na základe analytických výpočtov príslušného spektra scenárov ťažkých havárií. Bolo preukázané, že systém zabezpečí včasné odtlakovanie I.O. aj v najkritickejšom scenári, v ktorom sa predpokladá súčasné zaplavovanie AZ, nahriatej na vysokú teplotu, a odtlakovanie I.O.. Aj pri tomto scenári je zabezpečené, že dôjde k zaplaveniu AZ a súčasne k zníženiu tlaku na prijateľnú hodnotu pred zahájením zaplavovania šachty reaktora. Všetky ostatné prípady (napr. odtlakovanie I.O. bez dodávky chladiwa do I.O.) sú podstatne menej náročné na kapacitu systému a systém zabezpečí splnenie bezpečnostných požiadaviek a kritérií s rezervou.

Po uvedení systému do činnosti počas ťažkej havárie (s AZ nahriatou na vysokú teplotu) môže médium z I.O. obsahovať aj vodík. Dôsledky činnosti systému odtlakovania z pohľadu zvýšenie rizika výbuchu vodíka boli tiež analyzované. Táto analýza uvažovala komplexne všetky relevantné procesy a vplyvy a viedla k záveru, že príslušné scenáre sú tiež zvládnuteľné.

Detailné kvantitatívne hodnotenie systému odtlakovania primárneho okruhu určeného pre ťažké havárie, v súvislosti s činnosťou všetkých ostatných systémov, pre reprezentatívne scenáre nadprojektových a ťažkých havárií, je uvedené v príslušných technických správach.

6.12.3 Externé zdroje vody pre ťažké havárie

6.12.3.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií

6.12.3.1.1 Účel systému

Systém dodávky chladiva pre ťažké havárie je záložným zdrojom chladiva, určeného pre riešenie osobitných havarijných stavov na bloku, najmä v oblasti ťažkých havárií. Umožňuje nezávislú, zaistenú dodávku chladiva do sprchového systému HZ, do primárneho okruhu (uzatvoreného aj otvoreného) a do bazénu vyhoretého paliva. Systém je riešený tak aby bol schopný riešiť ťažké havárie na oboch blokoch súčasne.

6.12.3.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém

Systém externých zdrojov vody pre ťažkého havárie je určený pre 3. a 4. úroveň ochrany do hĺbky. V tomto rámci sa podieľa na plnení nasledujúcich základných bezpečnostných funkcií:

- b) odvod tepla,
- c) zadržanie rádioaktívnych materiálov vnútri fyzických bariér,
- d) reguláciu a obmedzenie množstva a druhu rádioakt. látok uvoľnených do životného prostredia.

Dodatočne tento systém tiež prispieva dodávkou chladiva s vysokým obsahom kyseliny bóritej k zabezpečeniu riadenia reaktivity a k udržaniu podkritičnosti.

Systém okrem základných bezpečnostných funkcií zaisťuje tiež nasledujúce špecifické bezpečnostné funkcie, vyžadované pre efektívne riadenia ťažkých havárií:

- udržovanie dostatočnej zásoby chladiva reaktora pre chladenie aktívnej zóny v havarijných a po havarijných podmienkach, vo všetkých udalostiach, ktoré sú uvažované v projekte,
- odvádzanie tepla z aktívnej zóny po porušení tlakového okruhu chladiva reaktora a tým obmedzovanie poškodenia paliva,
- obmedzovanie únikov rádioaktívneho materiálu z kontajneru reaktora v podmienkach havárie a po havárii,
- udržovanie podmienok prostredia vo vnútri elektrárne v limitoch pre prevádzku bezpečnostných systémov a pre pobyt personálu, nevyhnutný pre umožnenie vykonania operácií dôležitých pre bezpečnosť,
- udržanie pod kontrolou rádioaktívnych únikov z vyhoretého paliva transportovaného alebo uskladneného mimo chladiaceho systému reaktora, ale vo vnútri elektrárne.

Popis opatrení na dosiahnutie spoľahlivosti zaistenia všetkých bezpečnostných funkcií systému je uvedený v ostatných sekciách tejto podkapitoly.

6.12.3.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie

Metodika a postup kategorizácie vybraných zariadení do bezpečnostných tried sú uvedené a hodnotené v kapitole 5.3 „Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried“ tejto BS. Pri stanovovaní základných požiadaviek a princípov zatriedňovania systémov a zariadení do bezpečnostných tried sa vychádzalo z národnej legislatívy SR, kde v Zákone č. 541/2004 Z.z. sú ustanovené požiadavky na jadrovú

bezpečnosť a vybrané zariadenia, a ďalej podľa pravidiel pre stanovenie rozsahu a zaradenia vybraných zariadení do bezpečnostných tried, ktoré sú definované vo Vyhláške 430/2011 Z.z. [1].

Systém je zaradený do príslušnej kategórie seizmickej odolnosti (pretrvanie funkčnosti aj po seizmickej udalosti) a do bezpečnostnej triedy podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

6.12.3.1.4 Hlavné komponenty

Systém dodávky chladiva pre ťažké havárie obsahuje nasledujúce funkčne (z pohľadu využitia systému pre riadenie ťažkých havárií) významné komponenty:

- nádrže roztoku kyseliny bórtej,
- dodávacie čerpadlá,
- čerpadlo pre miešanie a ohrev chladiva a prepojovacie potrubia,
- dodávacie potrubia systému,
- armatúry,
- prepojovacie potrubia a clony, vrátane recirkulačnej slučky (pre zabezpečenie minimálneho prietoku cez čerpadlo v prípade vysokého protitlaku), plniacich a manipulačných potrubí.

Okrem hore uvedených komponent sú súčasťou systému tiež ventily a potrubia, určené pre plnenie nádrží, manipulácie s chladivom a riadenie zloženia a teploty roztoku, ako aj a ohrievač roztoku. Tieto komponenty sú z hľadiska bezpečnostnej funkcie systému pomocné a nie sú predmetom tejto kapitoly.

Nádrže systému sú umiestnené tak, že aj v prípade úniku chladiva zo všetkých nádrží bude toto chladiva zachytené v bazénoch a bude ho možné použiť späť do systému.

Systém neobsahuje žiadne ventily na obmedzovanie prietoku. Potrebné dodávané množstvo chladiva je nastavené hydraulickými charakteristikami príslušných vetví, osobitne odpormi na potrubí umiestnených clôn a otváraním alebo zatvorením obtokových ventilov. Na strane výtlaku dodávacieho čerpadla sú inštalované spätné klapky pre prevenciu spätného prietoku chladiva.

Pre obnovenie zásoby chladiva v nádržiach systému sú na potrubíach systému príslušné vstupné miesta pre pripojenie požiarnych áut a mobilných čerpadiel na lokalite alebo aj externých. Čerpadlá z externých zdrojov sú zaistené zmluvami s príslušnými majiteľmi vhodných zariadení a špecifikované vo Vnútorom havarijnom pláne.

6.12.3.1.5 Prevádzkové režimy

Vo všetkých nehavarijných prevádzkových režimoch bloku ako aj počas projektových havárií je systém v pohotovosti, s požadovanou zásobou roztoku kyseliny bórtej s koncentráciou vyššou ako je odstavná koncentrácia. Systém je udržiavaný prevádzkyschopný, t.j. okrem iného je zabezpečené aby teplota chladiva v nádržiach a v potrubných trasách umiestnených mimo budov neklesla na veľmi nízke hodnoty. Tepelný výkon systému (elektrické ohrievače) udržiavania teploty chladiva v systéme je dostatočný pre udržiavanie konštantnej teploty chladiva aj pri extrémnej teplote vonkajšej atmosféry.

V pracovnom režime dôjde po prepojení nádrží s príslušným miestom dodávky chladiva a po spustení čerpadla/čerpadiel k postupnému premiestneniu chladiva. Podľa schémy prepojenia transportných potrubí sú možné rôzne režimy, pre zabezpečenie dodávky dostatočného množstva chladiva do určených systémov (bazénov, potrubí) a požadovaným tlakom na výstupe zo systému.

Po spotrebovaní základného objemu chladiva na dodávku pre niektorý blok je prostredníctvom prevádzkového predpisu vyžadované odstavenie dodávky chladiva na tento blok a prehodnotenie stratégie využitia zvyšku chladiva v systéme, podľa inštrukcií Strediska technickej podpory. Systém bude uvedený opäť do pohotovostného režimu až pri obnovení zásoby chladiva v nádržiach.

Obnovovanie pohotovostného režimu, vrátane využitia vstupov na potrubíach systému pre pripojenie mobilných, externých čerpadiel ako napr. požiarňých áut alebo iných externých zdrojov je predmetom príslušných prevádzkových a havarijných predpisov.

6.12.3.1.6 Systém kontroly a riadenia

Ovládanie a monitorovanie zariadení je z blokových dozorní aj z dozorne systému, s príslušnými obmedzeniami pre zaistenie spoľahlivej činnosti systému.

6.12.3.1.7 Spoľahlivosť systému

Spoľahlivosť systému je daná splnením požiadaviek kladených na vybrané zariadenia, vyplývajúcich z ich klasifikácie, pričom všetky zariadenia a komponenty sú zaradené do príslušných tried podľa požiadaviek slovenskej legislatívy. Dokumentácia, preukazujúca splnenie stanovených požiadaviek v procese výroby, dodávky a montáže je súčasťou projektovej a realizačnej dokumentácie každého zariadenia alebo podsystému.

6.12.3.1.8 Kvalifikácia systému

Systém dodávky chladiva z externých nádrží je z hľadiska jadrovej bezpečnosti vybraným zariadením podľa Vyhlášky 430/2011 Z.z. [1] a preto plne podliehajú požiadavkám tejto Vyhlášky. Metodika a postup kvalifikácie vybraných zariadení a ich komponentov sú uvedené a hodnotené v kap. 5. tejto BS [1]. Jednotlivé komponenty sú zaradené do bezpečnostných tried v súlade s danou vyhláškou [1].

V súlade s touto metodikou boli vypracované individuálne kvalifikačné požiadavky pre zariadenia všetkých systémov určených pre riadenie ťažkých havárií s prihliadnutím na ich požadovanú funkčnosť v priebehu ťažkej havárie. V tomto prípade je zabezpečená funkčnosť/disponibility (podľa [1]) zariadenia v tých etapách ťažkej havárie, pre ktoré je zariadenie vyžadované. Požiadavky zahŕňajú rozsah parametrov od normálnej prevádzky až po požadovanú činnosť zariadenia, osobitne integrálne zaťaženie teplotou, tlakom a vlhkosťou prostredia a radiáciou. Jednotlivé komponenty spĺňajú požiadavky funkčnosti pre tú etapu ťažkej havárie, v ktorej je ich činnosť požadovaná. Systém je umiestnený mimo časti bloku, ktoré sú v priebehu ťažkej havárie vystavené extrémnym zmenám parametrov prostredia. Je však kvalifikovaný na extrémne podmienky, stanovené pre zariadenia daného umiestnenia a účelu.

6.12.3.2 Zásahy obsluhy

Systém k prechodu do aktívneho režimu potrebuje zásah obsluhy. Neobsahuje žiadne automatické prvky.

Po uvedení systému do prevádzky je činnosť systému samovoľná, chladivo je dodávané na príslušné miesto určenia v množstve, určenom protitlakom a dodávacími charakteristikami systému.

Zásahy obsluhy pre obnovenie zásoby chladiva v nádržiach a pre prípadné obnovenie činnosti systému po predchádzajúcom vyčerpaní nádrží sú podmienené výlučne manuálnymi činnosťami obsluhy. Tieto sú zahrnuté do príslušných postupov SAMG a príslušných dokumentov.

6.12.3.3 Vázby na iné systémy

Systém dodávky chladiva z externých zdrojov pre ťažké havárie nemá žiadne priame väzby na ostatné systémy bloku, okrem systému určených pre riadenie ťažkých havárií. Počas projektových režimov a v priebehu projektových havárií ostáva v trvalej pohotovosti, v autonómnom režime.

Uvedenie systému do prevádzky je podmienené zásahom operátora. Rozhodnutie zahájiť dodávku chladiva zo systému dodávky chladiva vychádza z návodov SAMG, pri prechode z EOP do SAMG po konzultácii s HPS. V týchto návodoch sú riešené tiež všetky prípadné interferencie s ostatnými systémami.

6.12.3.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie

Zásadné požiadavky legislatívy SR pre oblasť ťažkých havárií sú formulované v [1] v časti II. Osobitné požiadavky na projekt jadrového zariadenia s jadrovým reaktorom. Dodatočne k požiadavkám v oblasti projektových havárií sa k ťažkým haváriám vzťahujú nasledujúce (časť II.D, [1]):

- (18) Tesnosť ochrannej obálky nesmie byť výrazne znížená na primerane dlhý čas po ťažkej havárii.

Systém dodávky chladiva z externých zdrojov poskytuje dodatočné prostriedky k ochrane hranice kontajnementu a k predĺženiu času, ktorý je k dispozícii pre riadenie ťažkej havárie. V spolupráci s ostatnými systémami to umožní efektívne riadenie parametrov vo vnútri kontajnementu a ochranu jeho tesnosti.

- (19) Tlak a teplota vo vnútri ochrannej obálky musia byť počas ťažkej havárie riadené.

Systém dodávky chladiva z externých zdrojov poskytuje dodatočné prostriedky k redukcii/riadeniu vnútorného tlaku a teploty v kontajmente pod stanovené limity. V spolupráci s ostatnými systémami to umožní efektívne riadenie vnútorného tlaku a teploty v kontajmente prostredníctvom ostatných systémov pre riadenie ťažkých havárií.

- (20) Koncentrácia horľavých plynov musí byť počas ťažkej havárie riadená.

Systém dodávky chladiva z externých zdrojov neprispieva priamo k riadeniu horľavých plynov, umožňuje však rozšírené použitie sprchového systému kontajnementu pri jeho aplikácii v rámci zmieňovanie rizika horenia vodíka.

- (21) Ochranná obálka musí byť počas ťažkej havárie chránená proti vnútornému pretlaku.

V spolupráci s ostatnými systémami umožňuje tento systém efektívne riadenie vnútorného tlaku v kontajmente a tým umožňuje jeho ochranu.

- (22) Musí byť zabránené scenárom tavenia aktívnej zóny pri vysokom tlaku.

Systém dodávky chladiva z externých zdrojov neprispieva priamo k prevencii vysokotlakých scenárov ale je dôležitým príspevkom k riadeniu havárie po to, čo bude primárny okruh odtlakovaný.

- (23) Poškodeniu ochrannej obálky vyvolanému roztaveným palivom musí byť zabránené do takej miery, ako je to rozumne dosiahnuteľné.

Systém poskytuje dodatočné chladiva pre zaplavenie šachty reaktora, prispieva k minimalizácii času potrebného na zahájenie zaplavovania šachty reaktora a tým zvyšuje pravdepodobnosť úspechu stratégie zadržania taveniny v tlakovej nádobe reaktora.

Ako vyplýva z hodnotenia hore, systém spĺňa jednotlivé požiadavky Vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011.

Legislatíva SR, najmä bezpečnostné návody priamo vychádzajú z dokumentov MAAE. Dokumenty MAAE „INSAG-12, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants" [9] a „INSAG-10, Defence in Depth in

Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)" [8] však obsahujú požiadavky, relevantné pre zmiernovanie následkov ťažkých havárií.

Všeobecne formulované požiadavky z hľadiska zmiernovania (mitigation) následkov ťažkých havárií u budúcich JE obsahuje INSAG-10 "Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)", ktorý odporúča:

- zvýšenie odolnosti systémov kontajnementu proti vysokým parametrom,
- zabezpečenie odolnosti proti následkom horenia vodíka
- prevenciu poškodenia základovej dosky taveninou.

Systém dodávky chladiva z externých zdrojov, určený pre ťažké havárie prispieva k ochrane HZ proti vysokým parametrom a dodaním chladiva do HZ k prevencii poškodenia základovej dosky taveninou.

Návod „Safety Guide on Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series NS-G-1.10“ rozlišuje medzi požiadavkami platnými pre projektovanie novej JE a medzi posudzovaním systémov kontajnementu prevádzkovej JE, vybudovanej podľa starších noriem. Bez ohľadu na vek JE platia pre systémy kontajnementu všeobecné odporúčania, zamerané na zmiernenie následkov ťažkých havárií. Systém dodávky chladiva z externých zdrojov, určený pre ťažké havárie je dôležitou súčasťou systémov, rozširujúcich možnosti obmedzenia poškodenia AZ, ako aj na zmiernenie následkov ťažkých havárií s rozsiahlym poškodením AZ.

Požiadavky na hardvérové prostriedky na zvládnutie ťažkých havárií zhrňujú dva dokumenty, TECDOC–905 [10] a TECDOC-986 [11]. Na najvšeobecnejšej úrovni je uvedený celý rad relevantných požiadaviek, napr.:

- Odolnosť proti ťažkej havárii musí byť projekčne zabezpečená systémami zvláštnej kategórie.
- Systémy projektované a inštalované pre zvládnutie ťažkých havárií musia mať vysokú spoľahlivosť / kvalitu, nemusia však spĺňať kvalifikačné požiadavky používané v prípade bezpečnostných systémov.
- Hlavný dôraz je kladený na schopnosť kontajnementu plniť bezpečnostné a rádiologické ciele (prevencia poškodenia tlakového rozhrania – integrita a zachovanie tesnosti) pre všetky ťažké havárie uvažované v projekte.
- Stratégie návodov SAMG musia mať podporu v inštalovaných hardvérových funkciách.

Systém dodávky chladiva z externých zdrojov, určený pre ťažké havárie spĺňa príslušné kvalifikačné požiadavky, je významnou súčasťou opatrení umožňujúcich prevenciu poškodenia tlakového rozhrania aj v najvážnejších haváriách a vytvára hardvérovú podporu pre realizáciu stratégií SAMG.

Podobné odporúčania sú uvedené aj v EUR 2001, resp. 2012 [12]. Dokument EUR obsahuje explicitné odporúčanie, aby projekt elektrárne zohľadňoval väčší počet udalostí zo skupiny nadprojektových udalostí. Na základe tohto odporúčania musia byť do projektu zahrnuté systémy alebo zariadenia alebo musia byť dimenzované s dostatočnou rezervou, systémy, ak sú potrebné pre realizáciu postupov riadenia ťažkých havárií. Bez ohľadu na pravdepodobnosť vzniku príslušných havarijných sekvencií musí projektant uplatniť špecifické projekčné postupy (technické opatrenia), ktoré umožnia splnenie nasledujúcich odporúčaní:

- Úplne zabrániť skorému zlyhaniu kontajnementu.
- Zmierniť následky ťažkých havárií sprevádzaných rozsiahlym poškodením aktívnej zóny.

Systém dodávky chladiva z externých zdrojov je určený pre nadprojektové a ťažké havárie. Pri dodávke chladiva do AZ po prípadnom neúspechu činností na zvládnutie projektovej havárie alebo pri dodávke chladiva do otvoreného reaktora je tak do projektových základov zahrnuté potenciálne úspešné vyriešenie

väčšieho počtu pôvodne nadprojektových udalostí. Systém je dimenzovaný aj na podmienky ťažkých havárií, pre priamu aj nepriamu ochranu kontajnementu, pri funkcii dodania dodatočného inventára vody na chladenia ako TNR tak aj sprchovania HZ. Systém sa podstatne podieľa na zabránení skorého zlyhania kontajnementu (redukcia tlaku pri nefunkčnosti normálneho sprchového systému) aj na zmierňovaní následkov ťažkých havárií.

Dodatočné požiadavky sú dôsledkom reakcií na haváriu vo Fukušime [3], [4], vyplynuli zo záverov tzv. "stres testov" [3], [5]. Jedná sa najmä nasledujúce požiadavky na systémy určené pre riadenie ťažkých havárií:

- Fyzická a elektrická nezávislosť systémov na bezpečnostných systémoch
Funkčné komponenty systému dodávky chladiva z externých zdrojov sú nezávislé na systémoch pre 3. úroveň ochrany do hĺbky, majú oddelené elektrické napájanie.
- Seizmická kvalifikácia systémov
Systém je seizmicky odolný, vrátane potrubných trás.
- Verifikácia použiteľnosti dostupných opatrení na situácie so súčasným vznikom havárie na niekoľkých blokoch
Systém je pre spoločný pre dva bloky. Je však projektovaný tak, aby bol schopný splniť svoju funkciu aj v prípade súčasne prebiehajúcej ťažkej havárie na oboch blokoch.
- Riešenie dlhodobých havárií, prebiehajúcich súčasne na viacerých blokoch, pri devastačných podmienkach v lokalite pri náročných podmienkach a kontaminácii okolitého prostredia
Systém je schopný plniť svoje funkcie aj pri súčasne prebiehajúcej ťažkej havárii na oboch blokoch. Zásoba chladiva, ktorou systém disponuje v pohotovostnom režime, postačuje pre efektívne zastavenie nepriaznivého vývoja havárie na 12 až niekoľko desiatok hodín, prípadne až prerušenie ťažkej havárie. Tento čas je určený k obnovovaniu činnosti ostatných zariadení a k obnovení zásoby chladiva v systéme. Pre obnovovacie činnosti je ďalej k dispozícii ešte relatívne dlhá doba (desiatky hodín až dni), počas ktorej môžu narastať parametre v HZ bez narušenia integrity HZ. Obnovená činnosť systému v situácii, v ktorej je potrebná dodávka chladiva z externých zdrojov bloku je založená na obnovení zásoby chladiva z mobilných zdrojov. Systém je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov vrátane očakávaných extrémnych externých vplyvov.
- Zabezpečenie odolnosti príslušných zariadení (vrátane inštrumentácie a komunikačných prostriedkov) voči externým vplyvom
Systém je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov.
- Zabezpečenia ochrany prípadných mobilných prostriedkov pred extrémnymi prírodnými podmienkami.
K činnosti systému sa viažu mobilné prostriedky na obnovu zásoby chladiva. Tieto prostriedky sú skladované na chránených miestach, externé prostriedky zahŕňajú rôzne zdroje v rôznych lokalitách.

Ako vyplýva z hodnotenia čiastkových požiadaviek, systém vyhovuje aj týmto dodatočným požiadavkám.

Ďalším z relevantných nadnárodných dokumentov je štúdia WENRA [13]. Táto štúdia však zatiaľ nemá charakter záväzného dokumentu, je relevantná osobitne na nové projektované reaktory a je preto iba nepriamo relevantná pre bloky MO34. Výsledky štúdie však zhŕňajú aktuálne požiadavky, ktoré sú obsiahnuté v už uvedených dokumentoch a hodnotené hore.

Systém a jeho komponenty sú navrhnuté tak, aby neovplyvňovali bezpečnosť bloku v režimoch normálnej prevádzky ani počas prevádzkových havárií. Je určený pre zaistenie požadovanej úrovne bezpečnosti v 4. úrovni ochrany do hĺbky.

Systém je nezávislý na systémoch určených pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky a okrem pasívnych komponentov (pripájacích potrubných trás k cieľovým spotrebičom chladiva) je systém od systémov pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky aj funkčne oddelený.

Technické riešenie systému vychádza z požiadavky zabezpečenia primeranej bezpečnostnej zásoby chladiva a zodpovedajúcich parametrov systému, t.j. z požadovanej zásoby chladiva a dodávaného množstva chladiva pri očakávanom protitlaku pre niekoľko rozdielnych spôsobov jeho použitia.

Detailné kvantitatívne hodnotenie plnenia bezpečnostných funkcií systému dodávky chladiva z externých zdrojov v oblasti ťažkých havárií je uvedené v príslušných technických správach.

6.12.4 Systémy rekombinácie a zapalovania vodíka v atmosfére kontajneru pri ťažkej havárii

6.12.4.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií

6.12.4.1.1 Účel systému

Účelom systému rekombinácie a zapalovania vodíka je minimalizácia rizika porušenia HZ pri výbušnom horení vodíka alebo prechodu k výbušnému horeniu vodíka vo všetkých prevádzkových stavoch, najmä v prípade ťažkých havárií s únikom veľkého množstva vodíka z primárneho okruhu do HZ. Jeho bezpečnostnou funkciou v oblasti ťažkých havárií je ochrana integrity a tesnosti poslednej funkčnej bariéry proti šíreniu štiepných produktov do okolia, t.j. je určený pre štvrtú úroveň ochrany do hĺbky. Systém sa podieľa tiež na likvidácii vodíka v prípade projektových havárií, pričom táto oblasť použitia je bezpečnostne iba málo významná, pretože produkcia vodíka je zanedbateľná v porovnaní so scenármi ťažkých havárií.

Základným princípom plnenia požadovaných funkcií systému je pasívna oxidácia vodíka na katalytických povrchoch rekombinátorov, bez možnosti akéhokoľvek priameho zásahu obsluhy bloku do tohto procesu (t.j. bez priamej možnosti ovplyvnenia intenzity oxidácie). Systém je realizovaný tak, aby v prevažnej väčšine scenároch prebiehala oxidácia formou katalytickej rekombinácie vodíka a kyslíka na povrchoch rekombinátorov, v niektorých prípadoch formou nevýbušného horenia v atmosfére niektorých miestností, s iba zvyškovou pravdepodobnosťou prechodu horenia k výbušnému.

Operátor môže nepriamo ovplyvniť prevádzku systému rekombinácie vodíka prostredníctvom ovplyvňovania činnosti spích HZ. Znižovaním obsahu pary v atmosfére HZ je možné zvýšiť pravdepodobnosť zapálenia a následného horenia vodíka.

6.12.4.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém

Systém rekombinácie a zapalovania vodíka v atmosfére kontajneru pri ťažkej havárii je určený výlučne pre 4. úroveň ochrany do hĺbky. V tomto rámci sa podieľa na plnení nasledujúcich základných bezpečnostných funkcií:

- c) zadržanie rádioaktívnych materiálov vnútri fyzických bariér,
- d) reguláciu a obmedzenie množstva a druhu rádioakt. látok uvoľnených do životného prostredia.

Systém okrem základných bezpečnostných funkcií zaisťuje tiež nasledujúce špecifické bezpečnostné funkcie, vyžadované pre efektívne riadenia ťažkých havárií:

- obmedzovanie únikov rádioaktívneho materiálu z kontajneru reaktora v podmienkach havárie a po havárii,
- udržiavanie podmienok prostredia vo vnútri elektrárne v limitoch pre prevádzku bezpečnostných systémov a pre pobyt personálu, nevyhnutný pre umožnenie vykonania operácií dôležitých pre bezpečnosť,

Popis opatrení na dosiahnutie spoľahlivosti zaistenia všetkých bezpečnostných funkcií systému je uvedený v ostatných sekciách tejto podkapitoly.

6.12.4.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie

Metodika a postup kategorizácie vybraných zariadení do bezpečnostných tried sú uvedené a hodnotené v kapitole 5.3 „Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried“ tejto BS. Pri stanovovaní základných požiadaviek a princípov zatriedňovania systémov a zariadení do bezpečnostných tried sa vychádzalo z národnej legislatívy SR, kde v Zákone č. 541/2004 Z.z. sú ustanovené požiadavky na jadrovú bezpečnosť a vybrané zariadenia, a ďalej podľa pravidiel pre stanovenie rozsahu a zaradenia vybraných zariadení do bezpečnostných tried, ktoré sú definované vo Vyhláške 430/2011 Z.z. [1].

Zariadenia systému sú zaradené do príslušných kategórií seizmickej odolnosti (pretrvanie funkčnosti aj po seizmickej udalosti) a do bezpečnostnej triedy podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

6.12.4.1.4 Hlavné komponenty

Systém sa skladá z pasívnych rekombinátorov niekoľkých typov. Jedná sa o pasívne autokatalytické rekombinátory s funkciou Dual-PAR, t.j. s funkciou rekombinácie aj zapalovania vodíka, líšiace sa v podstate iba rekombinačnou kapacitou.

6.12.4.1.5 Prevádzkové režimy

Systém rekombinácie a zapalovania vodíka je autonómny, pasívny, nachádza sa vo všetkých prevádzkových režimoch, vrátane všetkých havarijných režimoch, v trvalej pohotovosti. Systém nie je možné uviesť do prevádzky iba počas odstávky, kedy sú rekombinátory zakryté z dôvodu ich ochrany pred rôznymi vplyvmi počas údržbových prác.

Bezprostredne po tom, čo do vnútorného priestoru ľubovoľného rekombinátora vnikne atmosféra obsahujúca vodík a kyslík, prechádza daný komponent do pracovného režimu. Pracovný režim sa (dočasne) preruší vždy v prípade vymiznutia (pokles pod prahovú koncentráciu) kyslíka alebo vodíka z atmosféry. Systém má neobmedzený počet prechodov zo stavu pohotovosti do pracovného režimu.

6.12.4.1.6 Systém kontroly a riadenia

Systém rekombinácie a zapalovania vodíka je autonómny, pasívny, nevyžaduje ani neobsahuje žiadny prvok pre jeho kontrolu alebo riadenie. Nevyžaduje ani neobsahuje žiadne prvky elektrického napájania ani žiadne podporné systémy (okrem testovacích zariadení a ochrany počas odstávok).

V kontajneroch je však inštalovaný systém monitorovania koncentrácie vodíka. Tento systém poskytuje obsluhu bloku informácie pre riadenie činnosti príslušných zariadení pre riadenie ťažkej havárie.

6.12.4.1.7 Spôľahlivosť systému

Spôľahlivosť systému je daná splnením požiadaviek kladených na vybrané zariadenia, vyplývajúcich z ich klasifikácie, pričom všetky zariadenia a komponenty sú zaradené do príslušných tried podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

Dokumentácia, preukazujúca splnenie stanovených požiadaviek v procese výroby, dodávky a montáže je súčasťou projektovej a realizačnej dokumentácie systému. Udržanie deklarovaných charakteristík

rekombinátorov je zabezpečené technickými prostriedkami aj organizačným systémom ich údržby a testovania počas prevádzky.

6.12.4.1.8 Kvalifikácia systému

Systém rekombinácie a zapalovania vodíka je z hľadiska jadrovej bezpečnosti vybraným zariadením podľa Vyhlášky 430/2011 Z.z. [1] a preto plne podlieha požiadavkám tejto Vyhlášky.

V súlade s touto metodikou boli vypracované individuálne kvalifikačné požiadavky pre zariadenia všetkých systémov určených pre riadenie ťažkých havárií s prihliadnutím na ich požadovanú funkčnosť v priebehu ťažkej havárie. Požiadavky na environmentálne podmienky v kontajneroch, resp. aj v primárnom okruhu pre kvalifikáciu príslušných zariadení boli stanovené na základe analýz ťažkých havárií a odborného inžinierskeho odhadu. Systém je odolný podľa relevantných požiadaviek.

Požiadavky [1] zahŕňajú rozsah parametrov od normálnej prevádzky až po požadovanú činnosť zariadenia, osobitne integrálne zaťaženie teplotou, tlakom a vlhkosťou prostredia a radiáciou. Systém rekombinácie a zapalovania vodíka spĺňa požiadavky funkčnosti pre počiatočnú a strednú etapu ťažkej havárie, v ktorých je očakávaná generácia vodíka a prevádzka rekombinátorov.

6.12.4.2 Zásahy obsluhy

Systém rekombinácie a zapalovania vodíka je autonómny, pasívny, nevyžaduje v žiadnom režime zásah operátora.

6.12.4.3 Väzby na iné systémy

Systém rekombinácie a zapalovania vodíka je autonómny, pasívny, nemá žiadne priame väzby na ostatné systémy. Jeho činnosť je príslušným spôsobom rešpektovaná v návodoch SAMG.

6.12.4.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie

Zásadné požiadavky legislatívy SR pre oblasť ťažkých havárií sú formulované v [1] v časti II. Osobitné požiadavky na projekt jadrového zariadenia s jadrovým reaktorom. Dodatočne k požiadavkám v oblasti projektových havárií sa k ťažkým haváriám vzťahujú nasledujúce (časť II.D, [1]):

- (18) Tesnosť ochrannej obálky nesmie byť výrazne znížená na primerane dlhý čas po ťažkej havárii.

Systém rekombinácie a zapalovania vodíka minimalizuje riziko poškodenia integrity kontajneru v dôsledku deflagrácie vodíka, prípadne prechodu k detonácii vo všetkých prevádzkových režimoch, najmä v prípade ťažkej havárie s vývinom a uvoľnením veľkého množstva vodíka z primárneho okruhu do kontajneru.

- (19) Tlak a teplota vo vnútri ochrannej obálky musia byť počas ťažkej havárie riadené.

Systém rekombinácie a zapalovania vodíka minimalizuje riziko narastania tlaku a teploty v dôsledku deflagrácie vodíka a prípadne prechodu k detonácii vo všetkých prevádzkových režimoch, najmä v prípade ťažkej havárie s vývinom a uvoľnením veľkého množstva vodíka z primárneho okruhu do kontajneru.

- (20) Koncentrácia horľavých plynov musí byť počas ťažkej havárie riadená.

Systém rekombinácie a zapaľovania vodíka minimalizuje riziko vzniku vysokých koncentrácií horľavých plynov tým, že sprostredkováva rekombináciu vodíka a tým zabezpečuje prevenciu deflagrácie vodíka, prípadne prechodu k detonácii vo všetkých prevádzkových režimoch, najmä v prípade ťažkej havárie s vývinom a uvoľnením veľkého množstva vodíka z primárneho okruhu do kontajneru. Systém v spolupráci so systémom pre zaplavenie šachty reaktora prakticky eliminuje prechod z deflagrácie k detonácii rekombináciou vodíka v podmienkach inertizácie atmosféry parou.

(21) Ochranná obálka musí byť počas ťažkej havárie chránená proti vnútornému pretlaku.

Systém rekombinácie a zapaľovania vodíka v spolupráci so systémom zaplavenia šachty reaktora, s externým zdrojom chladiva a sprchovým systémom prakticky eliminuje dosahovanie neprijateľného tlaku v kontajneroch.

(22) Musí byť zabránené scenárom tavenia aktívnej zóny pri vysokom tlaku.

Systém rekombinácie a zapaľovania vodíka sa priamo nepodieľa na prevencii vysokotlakových scenárov, táto funkcia nie je súčasťou jeho projektových funkcií.

(23) Poškodeniu ochrannej obálky vyvolanému roztaveným palivom musí byť zabránené do takej miery, ako je to rozumne dosiahnuteľné.

Systém rekombinácie a zapaľovania vodíka neprispieva k prevencii ochrany kontajneru taveninou, táto funkcia nie je súčasťou jeho projektových funkcií.

Ako vyplýva z hodnotenia hore, systém spĺňa jednotlivé požiadavky Vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011.

Legislatíva SR, najmä bezpečnostné návody priamo vychádzajú z dokumentov MAAE. Dokumenty MAAE „INSAG-12, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants“ [9] a „INSAG-10, Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)“ [8] však obsahujú požiadavky, relevantné pre zmiernenie následkov ťažkých havárií.

Všeobecne formulované požiadavky z hľadiska zmiernenia (mitigation) následkov ťažkých havárií u budúcich JE obsahuje INSAG-10 "Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)", ktorý odporúča:

- zvýšenie odolnosti systémov kontajneru proti vysokým parametrom,
- zabezpečenie odolnosti proti následkom horenia vodíka
- prevenciu poškodenia základovej dosky taveninou.

Systém rekombinácie vodíka zabezpečuje podstatné zvýšenie odolnosti bloku proti následkom horenia vodíka.

Návod „Safety Guide on Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series NS-G-1.10“ rozlišuje medzi požiadavkami platnými pre projektovanie novej JE a medzi posudzovaním systémov kontajneru prevádzkovej JE, vybudovanej podľa starších noriem. Bez ohľadu na vek JE platia pre systémy kontajneru všeobecné odporúčania, zamerané na zmiernenie následkov ťažkých havárií. Systém rekombinácie vodíka je podstatnou súčasťou systémov na zmiernenie následkov ťažkých havárií s rozsiahlym poškodením AZ.

Požiadavky na hardvérové prostriedky na zvládnutie ťažkých havárií zhrňujú dva dokumenty, TECDOC-905 [10] a TECDOC-986 [11]. Na najvšeobecnejšej úrovni je uvedený celý rad relevantných požiadaviek, napr.:

- Odolnosť proti ťažkej havárii musí byť projekčne zabezpečená systémami zvlášťnej kategórie.

- Systémy projektované a inštalované pre zvládnutie ťažkých havárií musia mať vysokú spoľahlivosť / kvalitu, nemusia však splňovať kvalifikačné požiadavky používané v prípade bezpečnostných systémov.
- Hlavný dôraz je kladený na schopnosť kontajnementu plniť bezpečnostné a rádiologické ciele (prevencia poškodenia tlakového rozhrania – integrita a zachovanie tesnosti) pre všetky ťažké havárie uvažované v projekte.
- Stratégie návodov SAMG musia mať podporu v inštalovaných hardvérových funkciách.

Systém rekombinácie vodíka ako plne pasívny systém splňa príslušné kvalifikačné požiadavky, je podstatnou súčasťou opatrení umožňujúcich prevenciu poškodenia tlakového rozhrania aj v najvážnejších haváriách a vytvára zásadnú hardvérovú podporu pre realizáciu stratégií SAMG.

Podobné odporúčania sú uvedené aj v EUR 2001, resp. 2012 [12]. Dokument EUR obsahuje explicitné odporúčanie, aby projekt elektrárne zohľadňoval väčší počet udalostí zo skupiny nadprojektových udalostí. Na základe tohto odporúčania musia byť do projektu zahrnuté systémy alebo zariadenia alebo musia byť dimenzované s dostatočnou rezervou, systémy, ak sú potrebné pre realizáciu postupov riadenia ťažkých havárií. Bez ohľadu na pravdepodobnosť vzniku príslušných havarijných sekvencií musí projektant uplatniť špecifické projekčné postupy (technické opatrenia), ktoré umožnia splnenie nasledujúcich odporúčaní:

- Úplne zabrániť skorému zlyhaniu kontajnementu.
- Zmierniť následky ťažkých havárií sprevádzaných rozsiahlym poškodením aktívnej zóny.

Systém rekombinácie vodíka je ako plne pasívny systém využívaný už v priebehu projektovej havárie. Je však dimenzovaný na podmienky ťažkých havárií, pri ktorých sa v extrémne krátkom čase uvoľní do HZ viac ako sto násobné množstvo vodíka (v porovnaní s maximálnou projektovou haváriou). Systém sa podstatne podieľa na zabránení skorého zlyhania kontajnementu a na zmierňovaní následkov ťažkých havárií.

Dodatočné požiadavky sú dôsledkom reakcií na haváriu vo Fukušime [3], [4], vyplynuli zo záverov tzv. "stres testov" [3], [5]. Jedná sa najmä nasledujúce požiadavky na systémy určené pre riadenie ťažkých havárií:

- Fyzická a elektrická nezávislosť systémov na bezpečnostných systémoch
Všetky komponenty systému rekombinácie vodíka nezávislé na systémoch pre 3. úroveň ochrany do hĺbky.
- Seizmická kvalifikácia systémov
Systém je seizmicky odolný.
- Verifikácia použiteľnosti dostupných opatrení na situácie so súčasným vznikom havárie na niekoľkých blokoch
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní.
- Riešenie dlhodobých havárií, prebiehajúcich súčasne na viacerých blokoch, pri devastačných podmienkach v lokalite pri náročných podmienkach a kontaminácii okolitého prostredia
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní, je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach v okolitom prostredí nezávislý.
- Zabezpečenie odolnosti príslušných zariadení (vrátane inštrumentácie a komunikačných prostriedkov) voči externým vplyvom
Systém je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach v mimo HZ nezávislý.

- Zabezpečenia ochrany prípadných mobilných prostriedkov pred extrémnymi prírodnými podmienkami.

K činnosti systému sa neviažu žiadne mobilné prostriedky.

Ako vyplýva z hodnotenia čiastkových požiadaviek, systém vyhovuje aj týmto dodatočným požiadavkám.

Ďalším z relevantných nadnárodných dokumentov je štúdia WENRA [13]. Táto štúdia však zatiaľ nemá charakter záväzného dokumentu, je relevantná osobitne na nové projektované reaktory a je preto iba nepriamo relevantná pre bloky MO34. Výsledky štúdie však zhŕňajú aktuálne požiadavky, ktoré sú obsiahnuté v už uvedených dokumentoch a hodnotené hore.

Systém a jeho komponenty sú navrhnuté tak, aby neovplyvňovali bezpečnosť bloku v režimoch normálnej prevádzky ani počas prevádzkových havárií. Je určený pre zaistenie požadovanej úrovne bezpečnosti v 4. úrovni ochrany do hĺbky.

Systém je nezávislý na systémoch určených pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky a je od nich funkčne oddelený.

Technické riešenie systému, počty rekombinátorov a ich rozmiestnenie bolo navrhnuté na základe podporných analýz reprezentatívnych ťažkých havárií.

Počas ťažkej havárie môže dôjsť k ohrozeniu integrity kontajneru v dôsledku výbušného horenia vodíka. Súbor rekombinátorov, ktoré sú rozmiestnené do jednotlivých miestností na základe predpovedi vývoja koncentrácií vodíka počas rôznych ťažkých havárií, zabezpečuje priebežnú oxidáciu vodíka a udržiavanie jeho koncentrácie pod limitom prechodu k výbušnému horeniu (DDT, Detonation to Deflagration Transition). Pri tom je v rámci postupov a návodov SAMG využívaná aj prípadná dočasná inertizácia atmosféry parou.

Systém je riešený tak, že pri prípadnom zvýšení koncentrácie vodíka nad limit jeho zapálenia je činnosťou zariadení systému zabezpečené jeho zapálenie a oxidácia nevýbušným horením vo voľnom priestore kontajneru. Nevýbušné horenie vedie síce k zvýšeniu vnútorného tlaku v HZ, absencia dynamických tlakových efektov však umožňuje zachovanie integrity HZ aj v takýchto najnepriaznivejších scenároch.

Detailné kvantitatívne hodnotenie účinnosti a dostatočnej bezpečnostnej funkcie systému rekombinácie a zapalovania vodíka v HZ v priebehu ťažkých havárií je uvedené v príslušných technických správach.

6.12.5 Systém drenáže vákuobarbotážnych žľabov pri ťažkej havárii

6.12.5.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií

6.12.5.1.1 Účel systému

Systém drenáže barbotážnych žľabov, určený pre ťažké havárie, je určený pre riadený transport chladiva zo žľabov na podlahu HZ (spojovacieho koridoru a boxov PG). Jedná sa o časť jestvujúceho prevádzkového systému, ktorá je kategorizovaná pre daný účel.

Systém umožňuje využitie chladiva, lokalizovaného v barbotážnej veži, pre potreby riadenia ťažkých havárií.

6.12.5.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém

Systém drenáže vákuobarbotážnych žľabov pri ťažkej havárii je určený výlučne pre 4. úroveň ochrany do hĺbky. V tomto rámci sa podieľa na plnení nasledujúcich základných bezpečnostných funkcií:

- b) odvod tepla,
- c) zadržanie rádioaktívnych materiálov vnútri fyzických bariér,
- d) reguláciu a obmedzenie množstva a druhu rádioakt. látok uvoľnených do životného prostredia.

Systém okrem základných bezpečnostných funkcií zaisťuje tiež nasledujúce špecifické bezpečnostné funkcie, vyžadované pre efektívne riadenia ťažkých havárií:

- udržiavanie dostatočnej zásoby chladiva reaktora pre chladenie aktívnej zóny v havarijných a po havarijných podmienkach, vo všetkých udalostiach, ktoré sú uvažované v projekte,
- odvádzanie tepla z aktívnej zóny po porušení tlakového okruhu chladiva reaktora a tým obmedzovanie poškodenia paliva,
- obmedzovanie únikov rádioaktívneho materiálu z kontajneru reaktora v podmienkach havárie a po havárii,
- udržiavanie podmienok prostredia vo vnútri elektrárne v limitoch pre prevádzku bezpečnostných systémov a pre pobyt personálu, nevyhnutný pre umožnenie vykonania operácií dôležitých pre bezpečnosť.

Popis opatrení na dosiahnutie spoľahlivosti zaistenia všetkých bezpečnostných funkcií systému je uvedený v ostatných sekciách tejto podkapitoly

6.12.5.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie

Metodika a postup kategorizácie vybraných zariadení do bezpečnostných tried sú uvedené a hodnotené v kapitole 5.3 „Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried“ tejto BS. Pri stanovovaní základných požiadaviek a princípov zatriedňovania systémov a zariadení do bezpečnostných tried sa vychádzalo z národnej legislatívy SR, kde v Zákone č. 541/2004 Z.z. sú ustanovené požiadavky na jadrovú bezpečnosť a vybrané zariadenia, a ďalej podľa pravidiel pre stanovenie rozsahu a zaradenia vybraných zariadení do bezpečnostných tried, ktoré sú definované vo Vyhláske 430/2011 Z.z. [1].

Armatúry a potrubia systému sú zaradené do príslušnej kategórie seizmickej odolnosti (pretrvanie funkčnosti aj po seizmickej udalosti) a do bezpečnostnej triedy podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

6.12.5.1.4 Hlavné komponenty

Do systému pre drenáž barbotážnych žľabov v prípade ťažkej havárie patria armatúry na drenážnych potrubíach a armatúry na plniacich potrubíach, časti potrubí systému barbotážnych žľabov a systém napájania a ovládania príslušných armatúr.

6.12.5.1.5 Prevádzkové režimy

V normálnej prevádzke bloku je systém v pohotovosti. Všetky armatúry systému sú uzatvorené a blokované.

Systém nie je aktivovaný v žiadnom prípade automaticky. Pri vzniku ťažkej havárie a po zahájení vykonávania postupov podľa návodov SAMG vykonáva obsluha činnosti na zistenie potreby drenážovania barbotážnych žľabov. V prípade potreby operátor manuálne, diaľkovo uvedie systém do prevádzky.

Po zdrenážovaní všetkých barbotážnych žľabov (okrem najnižšieho) ostávajú armatúry otvorené, ich zatvorenie pred ukončením likvidácie havárie nie je bezpečnostne významné, t.j. nepožaduje sa obnovenie pohotovostného režimu systému.

6.12.5.1.6 Systém kontroly a riadenia

Ovládanie a monitorovanie systému je diaľkové z BD. Napájanie systémov je realizované zo zdroja zaisteného napájania určeného pre potreby ťažkých havárií a zaisteného napájania kategórie III/I.

Podrobný popis systémov kontroly a riadenia je predmetom samostatnej kapitoly 6.5 tejto BS 0 a jej príslušných podkapitol.

6.12.5.1.7 Spoľahlivosť systému

Spoľahlivosť systému je daná splnením požiadaviek kladených na vybrané zariadenia, vyplývajúcich z ich klasifikácie, pričom všetky zariadenia a komponenty sú zaradené do príslušných tried podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

Dokumentácia, preukazujúca splnenie stanovených požiadaviek v procese výroby, dodávky a montáže je súčasťou projektovej a realizačnej dokumentácie systému.

6.12.5.1.8 Kvalifikácia systému

Systém drenáže barbotážnych žľabov, t.j. komponenty, zaradené do systému, sú z hľadiska jadrovej bezpečnosti vybraným zariadením podľa Vyhlášky 430/2011 Z.z. [1] a preto plne podlieha požiadavkám tejto Vyhlášky.

V súlade s touto metodikou boli vypracované individuálne kvalifikačné požiadavky pre zariadenia všetkých systémov určených pre riadenie ťažkých havárií s prihliadnutím na ich požadovanú funkčnosť v priebehu jednotlivých etáp ťažkej havárie. Požiadavky na podmienky prostredia v kontajnmmente, resp. aj v primárnom okruhu pre kvalifikáciu príslušných zariadení boli stanovené na základe analýz ťažkých havárií a odborného inžinierskeho odhadu. Systém je odolný podľa príslušných požiadaviek.

Požiadavky zahŕňajú rozsah parametrov od normálnej prevádzky až po požadovanú činnosť zariadenia, osobitne integrálne zaťaženie teplotou, tlakom a vlhkosťou prostredia a radiáciou. Systém drenáže barbotážnych žľabov pri ťažkej havárii spĺňa požiadavky funkčnosti pre počiatočnú a strednú etapu ťažkej havárie.

6.12.5.2 Zásahy obsluhy

Systém k prechodu do aktívneho režimu potrebuje zásah obsluhy. Neobsahuje žiadne automatické prvky.

Pri vzniku požiadavky na drenážovanie barbotážnych žľabov aktivuje operátor systém ovládania armatúr. Po otvorení drenážnych ventilov je činnosť systému samovoľná, chladivo je drenážované z barbotážnych žľabov samospádom.

6.12.5.3 Väzby na iné systémy

Systém drenážovania barbotážnych žľabov pri ťažkej havárii je autonómny systém, bez priamej väzby na iné systémy.

Činnosť systému môže byť v niektorých scenároch nevyhnutná pre zaistenie základnej stratégie ochrany bloku pri ťažkej havárii, t.j. pre zaplavenie šachty reaktora a pre externé chladenie TNR, t.j. možnosť činnosti a splnenia funkcií systémov pre externé chladenie TNR.

6.12.5.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie

Zásadné požiadavky legislatívy SR pre oblasť ťažkých havárií sú formulované v [1] v časti II. Osobitné požiadavky na projekt jadrového zariadenia s jadrovým reaktorom. Dodatočne k požiadavkám v oblasti projektových havárií sa k ťažkým haváriám vzťahujú nasledujúce (časť II.D, [1]):

- (18) Tesnosť ochrannej obálky nesmie byť výrazne znížená na primerane dlhý čas po ťažkej havárii.
Systém drenážovania barbotážnych žľabov pri ťažkej havárii vytvára vhodné podmienky pre zabezpečenie tesnosti kontajneru tým, že poskytuje chladiva pre systém zaplavenia šachty reaktora. Tým sa spolupodieľa na praktickej eliminácii možného poškodenia šachty reaktora.
- (19) Tlak a teplota vo vnútri ochrannej obálky musia byť počas ťažkej havárie riadené.
Systém drenážovania barbotážnych žľabov pri ťažkej havárii rozširuje zásobu chladiva pre vonkajšie chladenie TNR. Tým sú vytvorené podmienky pre transport energie z paliva prostredníctvom pary a podmienky pre účinné riadenie tlaku a teploty ostatnými systémami pre riadenie ťažkých havárií.
- (20) Koncentrácia horľavých plynov musí byť počas ťažkej havárie riadená.
Systém drenážovania barbotážnych žľabov pri ťažkej havárii v spolupráci s ostatnými systémami prakticky zabráni vývinu veľkých objemov horľavých plynov v dôsledku kontaktu taveniny s betónom ako aj umožní inertizáciu atmosféry kontajneru parou.
- (21) Ochranná obálka musí byť počas ťažkej havárie chránená proti vnútornému pretlaku.
Systém drenážovania barbotážnych žľabov pri ťažkej havárii v spolupráci so systémom pre zaplavenie šachty reaktora rozširuje možnosti riadenia tlaku a teploty v kontajneru, osobitne prevenciou porušenia TNR a interakcie taveniny s betónom a tiež v dôsledku produkcie pary pri zaplavenej TNR.
- (22) Musí byť zabránené scenárom tavenia aktívnej zóny pri vysokom tlaku.

Systém drenážovania barbotážnych žľabov pri ťažkej havárii neprispieva k prevencii vysokotlakých scenárov, táto funkcia nie je súčasťou jeho projektových funkcií.

- (23) Poškodeniu ochrannej obálky vyvolanému roztaveným palivom musí byť zabránené do takej miery, ako je to rozumne dosiahnuteľné.

Systém drenážovania barbotážnych žľabov pri ťažkej havárii podporuje systém pre zaplavenie šachty reaktora a je tak súčasťou komplexu opatrení na zabránenie poškodenia kontajneru roztaveným palivom.

Ako vyplýva z hodnotenia hore, systém spĺňa jednotlivé požiadavky Vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011.

Legislatíva SR, najmä bezpečnostné návody priamo vychádzajú z dokumentov MAAE. Dokumenty MAAE „INSAG-12, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants“ [9] a „INSAG-10, Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)“ [8] však obsahujú požiadavky, relevantné pre zmierňovanie následkov ťažkých havárií.

Všeobecne formulované požiadavky z hľadiska zmierňovania (mitigation) následkov ťažkých havárií u budúcich JE obsahuje INSAG-10 "Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)", ktorý odporúča:

- zvýšenie odolnosti systémov kontajneru proti vysokým parametrom,
- zabezpečenie odolnosti proti následkom horenia vodíka
- prevenciu poškodenia základovej dosky taveninou.

Systém drenáže barbotážnych žľabov je podporný systém najmä pre externé chladenie TNR, prispieva k spoľahlivosti prevencie poškodenia základovej dosky taveninou.

Požiadavky na hardvérové prostriedky na zvládnutie ťažkých havárií zhrňujú dva dokumenty, TECDOC-905 [10] a TECDOC-986 [11]. Na najvšeobecnejšej úrovni je uvedený celý rad relevantných požiadaviek, napr.:

- Odolnosť proti ťažkej havárii musí byť projekčne zabezpečená systémami zvlášťnej kategórie.
- Systémy projektované a inštalované pre zvládnutie ťažkých havárií musia mať vysokú spoľahlivosť / kvalitu, nemusia však spĺňať kvalifikačné požiadavky používané v prípade bezpečnostných systémov.
- Hlavný dôraz je kladený na schopnosť kontajneru plniť bezpečnostné a rádiologické ciele (prevencia poškodenia tlakového rozhrania – integrita a zachovanie tesnosti) pre všetky ťažké havárie uvažované v projekte.
- Stratégie návodov SAMG musia mať podporu v inštalovaných hardvérových funkciách.

Systém drenáže barbotážnych žľabov ako podporný systém predstavuje rozšírenie použitia existujúceho systému, zvyšuje pravdepodobnosť úspešnosti a rozširuje spektrum havárií, v ktorých ďalšie systémy môžu významne zmierniť následky ťažkých havárií. Je podporou pre realizáciu stratégie SAMG, najmä v oblasti zaplavenia šachty reaktora v rýchlo sa vyvíjajúcich scenároch. Vytvára tak dôležitú hardvérovú podporu pre realizáciu stratégií SAMG.

Podobné odporúčania sú uvedené aj v EUR 2001, resp. 2012 [12]. Dokument EUR obsahuje explicitné odporúčanie, aby projekt elektrárne zohľadňoval väčší počet udalostí zo skupiny nadprojektových udalostí. Na základe tohto odporúčania musia byť do projektu zahrnuté systémy alebo zariadenia alebo musia byť dimenzované s dostatočnou rezervou, systémy, ak sú potrebné pre realizáciu postupov riadenia ťažkých havárií. Bez ohľadu na pravdepodobnosť vzniku príslušných havarijných sekvencií musí projektant uplatniť špecifické projekčné postupy (technické opatrenia), ktoré umožnia splnenie nasledujúcich odporúčaní:

- Úplne zabrániť skorému zlyhaniu kontajneru.
- Zmierniť následky ťažkých havárií sprevádzaných rozsiahlym poškodením aktívnej zóny.

Systém drenáže barbotážnych žľabov je kvalifikovaný a dimenzovaný na podmienky ťažkých havárií. Podieľa sa na zabránení skorého zlyhania kontajneru a na zmiernení následkov ťažkých havárií.

Dodatočné požiadavky sú dôsledkom reakcií na haváriu vo Fukušime [3], [4], vyplynuli zo záverov tzv. "stres testov" [3], [5]. Jedná sa najmä nasledujúce požiadavky na systémy určené pre riadenie ťažkých havárií:

- Fyzická a elektrická nezávislosť systémov na bezpečnostných systémoch
Všetky komponenty systému pre drenážovanie barbotážnych žľabov pri ťažkej havárii sú nezávislé na systémoch pre 3. úroveň ochrany do hĺbky. Armatúry systému majú zaistené napájanie zo zdrojov určených pre ťažké havárie.
- Seizmická kvalifikácia systémov
Systém je seizmicky odolný.
- Verifikácia použiteľnosti dostupných opatrení na situácie so súčasným vznikom havárie na niekoľkých blokoch
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní.
- Riešenie dlhodobých havárií, prebiehajúcich súčasne na viacerých blokoch, pri devastačných podmienkach v lokalite pri náročných podmienkach a kontaminácii okolitého prostredia
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní, je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach v okolitom prostredí nezávislý.
- Zabezpečenie odolnosti príslušných zariadení (vrátane inštrumentácie a komunikačných prostriedkov) voči externým vplyvom
Systém je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach v mimo HZ nezávislý.
- Zabezpečenia ochrany prípadných mobilných prostriedkov pred extrémnymi prírodnými podmienkami.
K činnosti systému sa neviažu žiadne mobilné prostriedky.

Ako vyplýva z hodnotenia čiastkových požiadaviek, systém vyhovuje aj týmto dodatočným požiadavkám.

Ďalším z relevantných nadnárodných dokumentov je štúdia WENRA [13]. Táto štúdia však zatiaľ nemá charakter záväzného dokumentu, je relevantná osobitne na nové projektované reaktory a je preto iba nepriamo relevantná pre bloky MO34. Výsledky štúdie však zhŕňajú aktuálne požiadavky, ktoré sú obsiahnuté v už uvedených dokumentoch a hodnotené hore.

Systém a jeho komponenty sú navrhnuté tak, aby neovplyvňovali bezpečnosť bloku v režimoch normálnej prevádzky ani počas prevádzkových havárií. Je určený pre zaistenie požadovanej úrovne bezpečnosti v 4. úrovni ochrany do hĺbky.

Systém je nezávislý a funkčne oddelený od systémov určených pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky v takom rozsahu, že v tých prevádzkových režimoch, v ktorých by mohlo byť použitie systému požadované, nie je tento systém používaný v 1. až 3. úrovni ochrany do hĺbky. Jeho použitie počas riadenia ťažkých havárií je

rozšírenie jeho primárneho projektového využitia, pre ktoré má zaistené potrebné zdroje energie a ovládania v týchto špecifických režimoch.

Detailné integrálne kvantitatívne hodnotenie použitia systému pri ťažkých haváriách je uvedené v príslušných technických správach.

6.12.6 Systém rušiča vákua

6.12.6.1 Popis systému z pohľadu využitia pre zmieňovanie ťažkých havárií

6.12.6.1.1 Účel systému

Účelom systému rušiča vákua (systému pre potlačenie neprijateľného podtlaku v hermetickej zóne) je umožnenie návratu tej časti atmosféry, ktorá bola v predchádzajúcej etape havárie premiestnená z hlavných priestorov HZ do plynojemov. V oblasti DBA sú plynojemy vypúšťané naspäť do HZ v prípade, že hrozí také vytvorenie nebezpečne hlbokého podtlaku v kontajmente, ktoré by mohlo ohroziť integritu oblicovky kontajmentu.

V režime ťažkej havárie je funkcia rušiča vákua dvojaká:

- Systém umožňuje návrat nekondenzujúcich plynov z plynojemov do priestoru HZ, zvyčajne po ukončení manažmentu vodíka v HZ. Zadržiavaním nekondenzujúcich plynov v plynojemoch počas prebiehajúceho manažmentu vodíka v kontajmente sa zadržiava aj významný podiel kyslíka, ktorý tak nevstupuje do neriadenej pasívne prebiehajúcej rekombinácie a zapalovania vodíka. V prípade nedostatku kyslíka v priestoroch HZ s rekombinátormi je tak možné cielene rozhodnúť o využití alebo pokračujúcej izolácii atmosféry, t.j. aj kyslíka z plynojemov
- Systém slúži na prevenciu nebezpečného tlakového zaťaženia stropných konštrukcií plynojemov, ktoré by mohlo, v prípade kritického nárastu tlakovej diferencie medzi susednými plynojemami (napr. pri netesnosti tlakovej hranice niektorého plynojemu alebo pri dosiahnutí nadmerného tlakového rozdielu medzi plynojemom a šachtou barbotážnej veže), viesť k poškodeniu stavebnej barbotážnej veže a tým k strate integrity kontajmentu.
- Systém zabraňuje nadmernému tlakovému zaťaženiu štruktúr kontajmentu v prípade nadmerného podtlaku v kontajmente

Základnou funkciou systému je prepojenie plynojemov a barbotážnej veže a uvoľnenie zadržaných nekondenzujúcich plynov do priestoru HZ (zabezpečuje iba presun plynov medzi vnútornými priestormi kontajmentu, neprepojuje kontajment s vonkajším prostredím).

6.12.6.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém

Systém rušiča vákua je určený pre 3. a 4. úroveň ochrany do hĺbky. V tomto rámci sa podieľa na plnení nasledujúcich základných bezpečnostných funkcií:

- c) zadržanie rádioaktívnych materiálov vnútri fyzických bariér,
- d) reguláciu a obmedzenie množstva a druhu rádioakt. látok uvoľnených do životného prostredia.

Systém okrem základných bezpečnostných funkcií zaisťuje tiež nasledujúce špecifické bezpečnostné funkcie, vyžadované pre efektívne riadenia ťažkých havárií:

- obmedzovanie únikov rádioaktívneho materiálu z kontajmentu reaktora v podmienkach havárie a po havárii,
- udržiavanie podmienok prostredia vo vnútri elektrárne v limitoch pre prevádzku bezpečnostných systémov a pre pobyt personálu, nevyhnutný pre umožnenie vykonania operácií dôležitých pre bezpečnosť.

Popis opatrení na dosiahnutie spoľahlivosti zaistenia všetkých bezpečnostných funkcií systému je uvedený v ostatných sekciách tejto podkapitoly.

6.12.6.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie

Metodika a postup kategorizácie vybraných zariadení do bezpečnostných tried sú uvedené a hodnotené v kapitole 5.3 „Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried“ tejto BS. Pri stanovovaní základných požiadaviek a princípov zatriedňovania systémov a zariadení do bezpečnostných tried sa vychádzalo z národnej legislatívy SR, kde v Zákone č. 541/2004 Z.z. sú ustanovené požiadavky na jadrovú bezpečnosť a vybrané zariadenia, a ďalej podľa pravidiel pre stanovenie rozsahu a zaradenia vybraných zariadení do bezpečnostných tried, ktoré sú definované vo Vyhláške 430/2011 Z.z. [1].

Z dôvodu určenia systému aj pre riešenie projektových havárií je rušič vákua kategorizovaný ako bezpečnostný systém. Vzhľadom na charakter systému je zaradený podľa vyhlášky ÚJD SR 430/2011 [1] do príslušnej kategórie seizmickej odolnosti (pretrvanie funkčnosti aj po seizmickej udalosti) a do bezpečnostnej triedy podľa požiadaviek slovenskej legislatívy. Pre jeho použitie pre zmierňovanie následkov ťažkých havárií vyplynuli zo záťažových testov niektoré jeho rozšírené projektové charakteristiky, najmä technické riešenie zmeny spôsobu napájania a duálne ovládanie systému.

6.12.6.1.4 Hlavné komponenty

Systém rušiča vákua je nainštalovaný na potrubí systému vzduchotechniky pripojených ku každému z plynojemov, z ktorých je vyvedená odbočka s nainštalovanými komponentmi systému. Odbočky sú pripojené na časti potrubí, ktoré sú neoddeliteľné od plynojemov. Systém okrem potrubia pozostáva z armatúr a spätných klapiek, ktoré sú umiestnené na potrubí.

6.12.6.1.5 Prevádzkové režimy

V nominálnom stave bloku s uzatvorenou a tesnou HZ je systém v pohotovosti, spätné klapky sú funkčné a armatúry uzatvorené.

V prípade požadovanej činnosti systému sú armatúry otvárané buď automaticky alebo diaľkovo manuálne. Počas otvárania armatúr a po ich otvorení je systém v činnosti až do vyrovnania tlakov v plynojemoch a v barbotážnej veži. Vzhľadom na to, že na potrubí sú inštalované spätné klapky, umožňuje systém v režime po otvorení armatúr prúdenie atmosféry iba z plynojemov do barbotážnej veže. Pri následnom zvýšení tlaku v barbotážnej veži preto atmosféra neprúdi cez potrubie systému rušiča vákua ale cez barbotážne žľaby (projektová funkcia barbotážnych žlabov nie je narušená). Automatické zatvorenie armatúr nie je realizované, zatvorenie nie je bezpečnostne významným faktorom. Je preto podmienené manuálnou činnosťou operátora a zachovaním si tejto schopnosti aj po vykonaní projektovej funkcie.

6.12.6.1.6 Systém kontroly a riadenia

V režimoch projektových udalostí (do tretej úrovne ochrany do hĺbky vrátane) sú armatúry ovládané automaticky podľa hodnoty tlaku v HZ.

V režime ťažkej havárie nie je automatické otvorenie armatúr rušiča vákua vyžadované, armatúry je možné otvoriť diaľkovo.

Všetky armatúry systému rušiča vákua sú štandardne napájané zo systémov zaisteného napájania.

6.12.6.1.7 Spoľahlivosť systému

Spoľahlivosť systému je daná splnením požiadaviek kladených na vybrané zariadenia, vyplývajúcich z ich klasifikácie, pričom všetky zariadenia a komponenty sú zaradené do príslušných tried podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

Dokumentácia, preukazujúca splnenie stanovených požiadaviek v procese výroby, dodávky a montáže je súčasťou projektovej a realizačnej dokumentácie systému.

6.12.6.1.8 Kvalifikácia systému

Systém rušiča vákua je z hľadiska jadrovej bezpečnosti vybraným zariadením podľa Vyhlášky 430/2011 Z.z. [1] a preto plne podlieha požiadavkám tejto Vyhlášky.

V súlade s touto metodikou boli vypracované individuálne kvalifikačné požiadavky pre zariadenia všetkých systémov určených pre riadenie ťažkých havárií s prihliadnutím na ich požadovanú funkčnosť v priebehu ťažkej havárie. Požiadavky na environmentálne podmienky v kontajnmemente, resp. aj v primárnom okruhu pre kvalifikáciu príslušných zariadení boli stanovené na základe analýz ťažkých havárií a odborného inžinierskeho odhadu. Systém je odolný podľa príslušných požiadaviek.

Požiadavky zahŕňajú rozsah parametrov od normálnej prevádzky až po požadovanú činnosť zariadenia, osobitne integrálne zaťaženie teplotou, tlakom a vlhkosťou prostredia a radiáciou. Systém rušiča vákua spĺňa požiadavky funkčnosti pre tú etapu havárie, pre ktorý je projektovaný (otváranie armatúr sa očakáva v počiatkovej a strednej etape ťažkej havárie). Rušič vákua je projektovaný a kvalifikovaný tiež pre projektové havárie.

6.12.6.2 Zásahy obsluhy

Systém pre svoju aktiváciu (otvorenie), pri vykonávaní funkcie priamej ochrany hermetickej zóny pred neprijateľným podtlakom, nepotrebuje k svojej činnosti zásah operátora (prevažne v priebehu riadenia projektových havárií). Pri riadení ťažkých havárií môže byť potrebný manuálny zásah operátora.

Pre ochranu kontajnementu pred hlbokým podtlakom alebo nebezpečnou tlakovou diferenciou medzi dvoma plynojemami alebo medzi plynojemom a šachtou barbotážnej veže a pri vypúšťaní plynojemov po ukončení manažmentu vodíka sa používa diaľkové manuálne otvorenie.

6.12.6.3 Vázby na iné systémy

Systém rušiča vákua využíva potrubný rozvod systému "odvetrania plynojemov v režimoch odstávky bloku". Systém tak nemá žiadne funkčné väzby na iné dôležité prevádzkové systémy.

Uvedenie systému do činnosti (otvorenie armatúr) v stavoch prebiehajúcej ťažkej havárie má priame dôsledky na riadenie priebehu havárie, najmä z pohľadu riešenia problematiky horenia vodíka. Tieto väzby sú riešené v príslušných častiach návodov SAMG.

6.12.6.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie

Zásadné požiadavky legislatívy SR pre oblasť ťažkých havárií sú formulované v [1] v časti II. Osobitné požiadavky na projekt jadrového zariadenia s jadrovým reaktorom. Dodatočne k požiadavkám v oblasti projektových havárií sa k ťažkým haváriám vzťahujú nasledujúce (časť II.D, [1]):

- (18) Tesnosť ochrannej obálky nesmie byť výrazne znížená na primerane dlhý čas po ťažkej havárii.

Systém rušiča vákua prispieva k tesnosti kontajmentu tým, že umožňuje udržanie podtlaku v kontajmente v prijateľných hraniciach. Tým zabezpečuje zachovanie integrity oblicovky a udržanie prípustných tlakových diferencií medzi jednotlivými miestnosťami barbotážnej veže.

- (19) Tlak a teplota vo vnútri ochrannej obálky musia byť počas ťažkej havárie riadené.

Systém rušiča vákua prispieva k účinnému riadeniu tlaku v kontajmente tým, že umožňuje udržanie podtlaku a prípustných tlakových diferencií medzi jednotlivými miestnosťami barbotážnej veže v prijateľných hraniciach.

- (20) Koncentrácia horľavých plynov musí byť počas ťažkej havárie riadená

Systém rušiča vákua v spolupráci so systémom rekombinácie a zapalovania vodíka prispieva k efektívnemu riadeniu koncentrácie horľavých plynov v tých situáciách, v ktorých dochádza v dôsledku rekombinácie vodíka k vyčerpaní zásoby kyslíka v miestnostiach kontajmentu mimo plynojemov tým, že umožňuje návrat nekondenzujúcich plynov z plynojemov späť do ostatných častí kontajmentu. Tento kyslík je tak využiteľný pre rekombináciu.

- (21) Ochranná obálka musí byť počas ťažkej havárie chránená proti vnútornému pretlaku.

Systém rušiča vákua neprispieva priamo k ochrane kontajmentu proti vnútornému pretlaku. Zabezpečuje však ochranu pred neprijateľnými tlakovými rozdielmi medzi plynojemami alebo medzi plynojemami a barbotážnou vežou.

- (22) Musí byť zabránené scenárom tavenia aktívnej zóny pri vysokom tlaku.

Systém rušiča vákua neprispieva k prevencii vysokotlakových scenárov, táto funkcia nie je súčasťou jeho projektových funkcií.

- (23) Poškodeniu ochrannej obálky vyvolanému roztaveným palivom musí byť zabránené do takej miery, ako je to rozumne dosiahnuteľné.

Systém rušiča vákua neprispieva k prevencii poškodenia kontajmentu taveninou, táto funkcia nie je súčasťou jeho projektových funkcií.

Ako vyplýva z hodnotenia hore, systém spĺňa jednotlivé požiadavky Vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011.

Hore uvedené špecifické požiadavky odrážajú iba požiadavky vzťahujúce sa k oblasti ťažkých havárií. Rušič vákua je projektovaný tiež na riešenie projektových havárií, preto spĺňa tiež príslušné požiadavky na bezpečnostné systémy, tak ako je popísané v Kapitole 6.4.2 tejto BS.

Legislatíva SR, najmä bezpečnostné návody, priamo vychádzajú z dokumentov MAAE. Dokumenty MAAE „INSAG-12, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants“ [9] a „INSAG-10, Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)“ [8] však obsahujú požiadavky, relevantné pre zmiernovanie následkov ťažkých havárií. Systém rušiča vákua je reakciou na tieto požiadavky.

Všeobecne formulované požiadavky z hľadiska zmiernovania (mitigation) následkov ťažkých havárií u budúcich JE obsahuje INSAG-10 "Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)", ktorý odporúča:

- zvýšenie odolnosti systémov kontajneru proti vysokým parametrom,
- zabezpečenie odolnosti proti následkom horenia vodíka
- prevenciu poškodenia základovej dosky taveninou.

Systém rušiča vákua zabezpečuje zvýšenie odolnosti HZ voči vysokému podtlaku a chráni statiku stavby pri vzniku vysokých tlakových rozdielov medzi jednotlivými miestnosťami HZ.

Návod „Safety Guide on Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series NS-G-1.10“ rozlišuje medzi požiadavkami platnými pre projektovanie novej JE a medzi posudzovaním systémov kontajneru prevádzkovej JE, vybudovanej podľa starších noriem. Bez ohľadu na vek JE platia pre systémy kontajneru všeobecné odporúčania, zamerané na zmiernenie následkov ťažkých havárií. Bloky MO34 ako bloky budované podľa pôvodného projektu, ale s významným priblížením sa štandardom nových blokov, preto obsahujú aj systém rušiča vákua.

Požiadavky na hardvérové prostriedky na zvládnutie ťažkých havárií zhrňujú dva dokumenty, TECDOC-905 [10] a TECDOC-986 [11]. Na najvšeobecnejšej úrovni je uvedený celý rad relevantných požiadaviek, napr.:

- Odolnosť proti ťažkej havárii musí byť projekčne zabezpečená systémami zvláštnych kategórií.
- Systémy projektované a inštalované pre zvládnutie ťažkých havárií musia mať vysokú spoľahlivosť / kvalitu, nemusia však spĺňať kvalifikačné požiadavky používané v prípade bezpečnostných systémov.
- Hlavný dôraz je kladený na schopnosť kontajneru plniť bezpečnostné a rádiologické ciele (prevencia poškodenia tlakového rozhrania – integrita a zachovanie tesnosti) pre všetky ťažké havárie uvažované v projekte.
- Stratégie návodov SAMG musia mať podporu v inštalovaných hardvérových funkciách.

Systém rušiča vákua spĺňa hore uvedené požiadavky, pretože má významnú úlohu v niektorých scenároch ťažkých havárií. Postavenie systému rušiča vákua je špecifické v tom, že plní bezpečnostné funkcie aj v prípade projektových havárií. Z tohto dôvodu je rušič vákua zaradený do bezpečnostných systémov a spĺňa príslušné požiadavky.

Podobné odporúčania sú uvedené aj v EUR 2001, resp. 2012 [12]. Dokument EUR obsahuje explicitné odporúčanie, aby projekt elektrárne zohľadňoval väčší počet udalostí zo skupiny nadprojektových udalostí. Na základe tohto odporúčania musia byť do projektu zahrnuté systémy alebo zariadenia alebo musia byť dimenzované s dostatočnou rezervou, systémy, ak sú potrebné pre realizáciu postupov riadenia ťažkých havárií. Bez ohľadu na pravdepodobnosť vzniku príslušných havarijných sekvencií musí projektant uplatniť špecifické projekčné postupy (technické opatrenia), ktoré umožnia splnenie nasledujúcich odporúčaní:

- Úplne zabrániť skorému zlyhaniu kontajneru.
- Zmierniť následky ťažkých havárií sprevádzaných rozsiahlym poškodením aktívnej zóny.

Systém rušiča vákua ako v oblasti riešenia projektových havárií tak aj v oblasti ťažkých havárií podstatne prispieva k zníženiu pravdepodobnosti skorého zlyhania integrity HZ a tým k zmierneniu ich následkov.

Dodatočné požiadavky sú dôsledkom reakcií na haváriu vo Fukušime [3], [4], vyplynuli zo záverov tzv. "stres testov" [3], [5]. Jedná sa najmä nasledujúce požiadavky na systémy určené pre riadenie ťažkých havárií:

- Fyzická a elektrická nezávislosť systémov na bezpečnostných systémoch
Systém rušiča vákua je fyzicky spoločný pre 3. aj 4. úroveň ochrany do hĺbky. Jeho špecifikom je to, že pri prípadnom uvedení do činnosti v 3. úrovni môže ostať otvorený a jeho opätovná aktivácia v 4. úrovni nie je potrebná. Elektrické napájanie pre každú úroveň ochrany do hĺbky je realizované nezávisle.
- Seizmická kvalifikácia systémov
Systém je seizmicky odolný.
- Verifikácia použiteľnosti dostupných opatrení na situácie so súčasným vznikom havárie na niekoľkých blokoch
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní.
- Riešenie dlhodobých havárií, prebiehajúcich súčasne na viacerých blokoch, pri devastačných podmienkach v lokalite pri náročných podmienkach a kontaminácii okolitého prostredia
Systém je pre každý blok samostatný, oddelený a nezávislý, havária na druhom bloku preto jeho činnosť neovplyvní, je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Dve z armatúr rušiča vákua, ktoré nie sú určené pre riešenie ťažkých havárií a všetky spätné klapky musia byť v prípade ťažkej havárie tesné. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach v okolí prostredí nezávislý.
- Zabezpečenie odolnosti príslušných zariadení (vrátane inštrumentácie a komunikačných prostriedkov) voči externým vplyvom
Systém je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Vzhľadom na jeho umiestnenie v HZ je na podmienkach v mimo HZ nezávislý.
- Zabezpečenia ochrany prípadných mobilných prostriedkov pred extrémnymi prírodnými podmienkami.
K činnosti systému sa neviažu žiadne mobilné prostriedky.

Ako vyplýva z hodnotenia čiastkových požiadaviek, systém vyhovuje aj týmto dodatočným požiadavkám.

Ďalším z relevantných nadnárodných dokumentov je štúdia WENRA [13]. Táto štúdia však zatiaľ nemá charakter záväzného dokumentu, je relevantná osobitne na nové projektované reaktory a je preto iba nepriamo relevantná pre bloky MO34. Výsledky štúdie však zhŕňajú aktuálne požiadavky, ktoré sú obsiahnuté v už uvedených dokumentoch a hodnotené hore.

Systém a jeho komponenty sú navrhnuté tak, aby neovplyvňovali bezpečnosť bloku v režimoch normálnej prevádzky ani počas prevádzkových havárií. Je určený pre zaistenie požadovanej úrovne bezpečnosti v 4. úrovni ochrany do hĺbky.

Vzhľadom na určenie systému a jeho význam v oblasti DBA je požadovaná a zaistená odolnosť voči jednoduchej poruche (v rozsahu projektového použitia systému).

Technické riešenie a nastavenie otváracích tlakov pre systém rušiča vákua bolo navrhnuté na základe podporných analýz havárií. V oblasti projektových havárií je predpokladom pre vzniknutie nebezpečne hlbokého podtlaku v HZ zlyhanie automatického odstavenia aspoň jednej redundancie sprchového systému. V oblasti ťažkých havárií môže nebezpečných podtlak v HZ vzniknúť z analogickej príčiny, vzhľadom na potenciál dosahovania podstatne vyšších tlakov v HZ je však potenciál dosiahnutia neprijateľného podtlaku podstatne vyšší.

Nastavenie tlaku otvárania systému v režime automatického otvárania je také, aby riešilo stav, v ktorom je už zrejmé, že došlo k zlyhaniu sprchového systému a otvorenie rušiča vákua je nevyhnutné. Pritom charakterizuje stav, v ktorom sa absolútny tlak v HZ už blíži k hodnote, pri ktorej je ohrozená integrita oceľových obkladov (oblicovky) a kedy je zrejmé, že ďalší pokles tlaku je nevyhnutné zvrátiť. Nastavenie rešpektuje tiež časové oneskorenie odozvy sprchového systému na signál pre jeho odstavenie a rýchlosť s akou sa vytvára nebezpečne hlboký podtlak v miestnostiach HZ.

Systém je projektovaný tak, aby zabezpečil (v závislosti od rozdielu tlakov medzi plynojemom a barbotážnou vežou v čase otvorenia) po otvorení armatúr dostatočnú kapacitu prepúšťania atmosféry, t.j. takú kapacitu, ktorá zastaví ďalší pokles tlaku a zabezpečí jeho postupný nárast.

Detailné kvantitatívne hodnotenie dostatočnosti rušiča vákua pre oblasť nadprojektových a ťažkých havárií je uvedené v príslušných technických správach.

6.12.7 Systémy kontroly a riadenia bloku počas ťažkých havárií

Monitorovací systém, ktorý je určený pre sledovanie vývoja ťažkej havárie, je popísaný v Kap. 06.05.04.02 "Monitorovací systém pre ťažké havárie - SAMS". Dodatočné informácie vzťahujúce sa k tomuto systému sú uvedené v príslušných kapitolách tejto BS.

Pre účely riadenia havárií je možné tiež používať systém PAMS a systém PICS, ak je v danom stave funkčný a dôveryhodný.

Riadenie a monitorovanie zariadení, relevantných pre ťažké havárie je možné tiež z ND. Je to realizované prostredníctvom PICS (opatrenie v rámci doplnenia zariadení po záťažových testoch).

Systémy kontroly a riadenia systémom, určených k riadeniu priebehu a k zmierňovaniu následkov ťažkých havárií sú súčasťou jednotlivých systémov a sú popísané v príslušných podkapitolách hore.

Pre zaistenie obývateľnosti BD v prípade SBO (spojenej s únikom rádioaktivity do okolia) alebo po dobu počiatočnej etapy od vzniku ťažkej havárie (t.j. po dobu v ktorej sa očakáva najintenzívnejší únik štiepnych produktov) je v projekte MO34 implementovaný vzduchotechnický systém pre zaistenie dodávky filtrovaného vzduchu na BD. Systémy pre dodávku vzduchu a zaistenie obývateľnosti BD sú kvalifikované tak, aby boli k dispozícii aj v prípade vonkajšieho ohrozenia, vrátane zemetrasenia.

6.12.8 Systém elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií

6.12.8.1 Popis systému

6.12.8.1.1 Účel systému

Systém elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií (sieť doplnkových zdrojov striedavého napájania, AAC) je určený pre napájanie rozhodujúcich zariadení bloku najmä v podmienkach straty napájania vlastnej spotreby alebo straty napájania v priebehu ľubovoľnej ťažkej havárie. Systém AAC je odolný systém ktorý kombinuje možnosti stacionárnych a mobilných zdrojov napájania.

Sieť AAC zaisťuje nasledujúce funkcie:

- Možnosť priameho prepojenia medzi blokmi
- Možnosť napájania vybraných systémov obidvoch blokov zo spoločného DG
- Možnosť napájania vybraných systémov obidvoch blokov z AAC zdrojov EMO12 alebo napájania EMO12 a MO34
- Možnosť napájania systémov pre ťažké havárie v danom móde odpojením systémov určených pre riešenia SBO
- Možnosť riadenia SBO (bez obnovenia 6kV AAC) s napájaním vybraných nízkonapäťových spotrebičov z mobilných DG.

6.12.8.1.2 Bezpečnostné funkcie ktoré plní systém

Systém elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií je určený výlučne pre 4. úroveň ochrany do hĺbky. V tomto rámci sa podieľa na plnení nasledujúcich základných bezpečnostných funkcií:

- b) odvod tepla,
- c) zadržanie rádioaktívnych materiálov vnútri fyzických bariér,
- d) reguláciu a obmedzenie množstva a druhu rádioakt. látok uvoľnených do životného prostredia.

Systém okrem základných bezpečnostných funkcií zaisťuje tiež potrebné služby (ako napr. elektrické, pneumatické, hydraulické napájanie, mazanie) ako podporné funkcie pre ostatné bezpečnostné a bezpečnostne významné systémy.

Popis opatrení na dosiahnutie spoľahlivosti zaistenia všetkých bezpečnostných funkcií systému je uvedený v ostatných sekciách tejto podkapitoly.

6.12.8.1.3 Klasifikácia zariadení do bezpečnostnej triedy a seizmickej kategórie

Metodika a postup kategorizácie vybraných zariadení do bezpečnostných tried sú uvedené a hodnotené v kapitole 5.3 „Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried“ tejto BS. Pri stanovovaní základných požiadaviek a princípov zatriedňovania systémov a zariadení do bezpečnostných tried sa vychádzalo z národnej legislatívy SR, kde v Zákone č. 541/2004 Z.z. sú ustanovené požiadavky na jadrovú bezpečnosť a vybrané zariadenia, a ďalej podľa pravidiel pre stanovenie rozsahu a zaradenia vybraných zariadení do bezpečnostných tried, ktoré sú definované vo Vyhláške 430/2011 Z.z. [1].

Systém je zaradený celkovo do príslušnej kategórie seizmickej odolnosti (pretrvanie funkčnosti aj po seizmickej udalosti) a do bezpečnostnej triedy podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

6.12.8.1.4 Hlavné komponenty

Sieť AAC zahŕňa zdroje stacionárneho napájania a rozvodov a mobilné zdroje.

Systém je určený na napájanie systémov pre riadenie nadprojektových havárií, čo zahŕňa prevenciu a zmierňovanie ťažkých havárií. Je spoločný pre oba bloky MO34 a z funkčného hľadiska je súčasťou siete AAC.

Systém stacionárneho zdroja sa skladá z nasledujúcich hlavných komponentov:

- Spoločná diesel generátorová stanica SDGS
- Spoločná rozvodňa

Prostredníctvom prepojenia je možné prepojenie napájacích systémov na blokoch EMO12. Systém tiež umožňuje vzájomné prepojenie 1. a 4. bloku.

Systém zaisteného napájania z mobilných zdrojov je pre každý blok samostatný a z pohľadu funkcionality je tiež súčasťou siete AAC. Skladá sa z nasledujúcich zariadení:

- Nezávislého mobilného dieselgenerátora, je kvalifikovaného na extrémne poveternostné podmienky.
- Hlavného rozvádzača
- Blokových rozvádzačov

6.12.8.1.5 Prevádzkové režimy

Popis režimov, podmienok a postupov použitia siete AAC je uvedený v Kap. 7.5.2, v Kap. 6.6 tejto BS a v príslušných predpisoch. Obsahuje popis prepojení a využitie zdrojov pre rôzne kombinácie havárií a problémov na jednom aj oboch blokoch, pri použití alebo bez použitia zdrojov zo susedného bloku, prípadne pri použití mobilného zdroja.

Systém stacionárneho zdroja je prevádzkovaný v nasledujúcich prevádzkových režimoch:

- Normálny režim - DG je v základnom odstavenom stave, pripravený na vykonávanie svojej bezpečnostnej funkcie,
- Režim prepojenia - Systém môže zaistiť prepojenie rôznych elektrických systémov, vrátane možného prepojenia s EMO12,
- Ostrovný režim - DG štartuje a preberá záťaž, systém dodáva energiu až do obnovenia normálneho napájania spotrebičov, systém je odpojený od normálnych zdrojov.
- Testovací režim - DG štartuje do krátkodobej prevádzky bez zaťaženia.

- Režim testu fázovania - DG štartuje manuálne z DG stanice. Je synchronizovaný a pripojený k sieti. Tento režim je určený k skúšaniam SDG pri plnom zaťažení.

Systém mobilného zdroja je počas normálnej prevádzky bloku odpojený, vývody k rozvádzačom sú odpojené. Po uvedení systému do prevádzky je pripojený k sieti AAC a dodáva energiu.

6.12.8.1.6 Systém kontroly a riadenia

Popis podmienok a postupov použitia siete AAC je uvedený v Kap. 7.5.2, v Kap. 6.6 tejto BS a v príslušných predpisoch.

Spúšťanie spoločného DG a riadenie stacionárneho zdroja je buď manuálne alebo automaticky. Manuálny postup spúšťania je tiež uvažovaný pri SBO s prechodom do ťažkej havárie, vrátane zaistenia záložného napájania z EMO 12.

Všetky činnosti k uvedeniu systému mobilného zdroja do prevádzky sú manuálne, podľa stavu elektrického napájania na bloku.

6.12.8.1.7 Spôľahlivosť systému

Spôľahlivosť systému je daná splnením požiadaviek kladených na vybrané zariadenia, vyplývajúcich z ich klasifikácie, pričom všetky zariadenia a komponenty sú zaradené do príslušných tried podľa požiadaviek slovenskej legislatívy.

Dokumentácia, preukazujúca splnenie stanovených požiadaviek v procese výroby, dodávky a montáže je súčasťou projektovej a realizačnej dokumentácie systému.

6.12.8.1.8 Kvalifikácia systému

Sieť AAC je z hľadiska jadrovej bezpečnosti vybraným zariadením podľa Vyhlášky 430/2011 Z.z. [1] a preto plne podlieha požiadavkám tejto Vyhlášky. Systém je umiestnený mimo objekty kontajneru, nepredpokladá sa významné ovplyvnenie podmienkami ťažkej havárie. Je kvalifikovaný na extrémne podmienky, stanovené pre zariadenia daného umiestnenia a účelu.

6.12.8.2 Zásahy obsluhy

Uvedenie siete AAC do aktívneho režimu a vytváranie potrebných schém napájania je realizované podľa rôznych schém, v prípade riadenia ťažkej havárie najmä manuálne operátorom, pri zaistení niektorých čiastkových operácií automatikami.

Systém stacionárneho zdroja je možné ovládať z blokových dozorní 3 a 4 bloku ako aj vybraných iných miest. V nadväznosti na spustenie stacionárneho DG (automatické alebo manuálne) vykonáva obsluha rad operácií na zabezpečenie zvolenej schémy napájania (podľa vývoja situácie na bloku a na elektrárni). Okrem automatického spustenia a zmien v schéme napájania v dôsledku činnosti automatiky podpäťového vypínania sú zásahy vykonávané manuálne, z príslušného panelu podľa voľby miesta ovládania a podľa dostupnosti jednotlivých zdrojov energie a podľa požiadaviek na prevádzku jednotlivých systémov potrebných pre riadenie ťažkej havárie.

Systém mobilného zdroja sa aktivuje a pripája k sieti AAC manuálne a vyžaduje prítomnosť obsluhy v mieste mobilného zdroja.

6.12.8.3 Vázby na iné systémy

Systémy stacionárneho aj mobilného zdroja sú konštruované tak, aby boli schopné autonómnej prevádzky v podmienkach ťažkej havárie. Nevyžadujú žiadne dodatočné podporné a pomocné systémy, okrem dopĺňania zásoby paliva počas trvalej prevádzky.

Sieť AAC je záložným zdrojom pre určené spotrebiče. Jeho činnosť preto podmieňuje možnosť plnenia bezpečnostných funkcií príslušných systémov.

Vázby systému na ostatné systémy, bez priamej väzby na riadenie ťažkých havárií nie sú predmetom tejto kapitoly.

6.12.8.4 Bezpečnostné a technické hodnotenie

Zásadné požiadavky legislatívy SR pre oblasť ťažkých havárií sú formulované v [1] v časti II. Osobitné požiadavky na projekt jadrového zariadenia s jadrovým reaktorom. Dodatočne k požiadavkám v oblasti projektových havárií sa k ťažkým haváriám vzťahujú nasledujúce (časť II.D, [1]):

- (18) Tesnosť ochrannej obálky nesmie byť výrazne znížená na primerane dlhý čas po ťažkej havárii.
Systém elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií prispieva k ochrane tesnosti kontajnementu prostredníctvom zabezpečenia elektrického napájania všetkých zariadení, nutných pre riadenia ťažkej havárie, t.j.:
- systém pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany,
 - externých zdrojov vody pre ťažké havárie,
 - systém pre drenážovanie vákuobarbotážnych žlabov,
 - systém rušiča vákua,
 - systémy pre monitorovanie a riadenie ťažkých havárií.
- (19) Tlak a teplota vo vnútri ochrannej obálky musia byť počas ťažkej havárie riadené.
Systém elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií prispieva k riadeniu tlaku a teploty vo vnútri kontajnementu tým, že poskytuje elektrické napájanie pre :
- systém pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany,
 - externých zdrojov vody pre ťažké havárie,
 - systém pre drenážovanie vákuobarbotážnych žlabov,
 - systém rušiča vákua,
 - sprchový systém kontajnementu,
 - systémy pre monitorovanie a riadenie ťažkých havárií.
- (20) Koncentrácia horľavých plynov musí byť počas ťažkej havárie riadená.
Systém elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií prispieva k riadeniu tlaku a teploty vo vnútri kontajnementu tým, že poskytuje elektrické napájanie pre:
- systém pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany,
 - systém pre drenážovanie vákuobarbotážnych žlabov,
 - systém rušiča vákua,
 - systémy pre monitorovanie a riadenie ťažkých havárií.
- (21) Ochranná obálka musí byť počas ťažkej havárie chránená proti vnútornému pretlaku.
Systém elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií prispieva k riadeniu vnútorného pretlakovania kontajnementu tým, že poskytuje elektrické napájanie pre:
- systém rušiča vákua,
 - sprchový systém kontajnementu,

- *systemy pre monitorovanie a riadenie ťažkých havárií.*

(22) Musí byť zabránené scenárom tavenia aktívnej zóny pri vysokom tlaku.

System elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií prispieva k riadeniu scenárov s potenciálnym únikom taveniny pri vysokom tlaku tým, že poskytuje elektrické napájanie pre:

- *system pre odtlakovanie primárneho okruhu určený pre ťažké havárie,*
- *systemy pre monitorovanie a riadenie ťažkých havárií*

(23) Poškodeniu ochrannej obálky vyvolanému roztaveným palivom musí byť zabránené do takej miery, ako je to rozumne dosiahnuteľné.

System elektrického napájania pre oblasť nadprojektových havárií prispieva k prevencii poškodenia kontajneru roztaveným palivom tým, že poskytuje elektrické napájanie pre:

- *system pre zaplavenie šachty reaktora a pre chladenie TNR z vonkajšej strany,*
- *system pre drenážovanie vákuobarbotážnych žlabov,*
- *systemy pre monitorovanie a riadenie ťažkých havárií.*

Ako vyplýva z hodnotenia hore, systém spĺňa jednotlivé požiadavky Vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011.

Legislatíva SR, najmä bezpečnostné návody priamo vychádzajú z dokumentov MAAE. Dokumenty MAAE „INSAG-12, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants“ [9] a „INSAG-10, Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)“ [8] však obsahujú požiadavky, relevantné pre zmiernenie následkov ťažkých havárií.

Všeobecne formulované požiadavky z hľadiska zmiernenia (mitigation) následkov ťažkých havárií u budúcich JE obsahuje INSAG-10 "Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)", ktorý odporúča:

- zvýšenie odolnosti systémov kontajneru proti vysokým parametrom,
- zabezpečenie odolnosti proti následkom horenia vodíka
- prevenciu poškodenia základovej dosky taveninou.

Návod „Safety Guide on Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series NS-G-1.10“ rozlišuje medzi požiadavkami platnými pre projektovanie novej JE a medzi posudzovaním systémov kontajneru prevádzkovej JE, vybudovanej podľa starších noriem. Bez ohľadu na vek JE platia pre systémy kontajneru všeobecné odporúčania, zamerané na zmiernenie následkov ťažkých havárií. System elektrického napájania pre oblasť ťažkých havárií je neoddeliteľnou, zásadnou súčasťou súboru opatrení a systémov, určených na zmiernenie následkov ťažkých havárií s rozsiahlym poškodením AZ.

Požiadavky na hardvérové prostriedky na zvládnutie ťažkých havárií zhrňujú dva dokumenty, TECDOC-905 [10] a TECDOC-986 [11]. Na najvšeobecnejšej úrovni je uvedený celý rad relevantných požiadaviek, napr.:

- Odolnosť proti ťažkej havárii musí byť projekčne zabezpečená systémami zvláštnej kategórie.
- Systémy projektované a inštalované pre zvládnutie ťažkých havárií musia mať vysokú spoľahlivosť / kvalitu, nemusia však spĺňať kvalifikačné požiadavky používané v prípade bezpečnostných systémov.
- Hlavný dôraz je kladený na schopnosť kontajneru plniť bezpečnostné a rádiologické ciele (prevencia poškodenia tlakového rozhrania – integrita a zachovanie tesnosti) pre všetky ťažké havárie uvažované v projekte.
- Stratégie návodov SAMG musia mať podporu v inštalovaných hardvérových funkciách.

Systém elektrického napájania pre oblasť ťažkých havárií spĺňa príslušné kvalifikačné požiadavky, oddeleným systémom zvláštnej kategórie s vysokou spoľahlivosťou aj v najvážnejších haváriách a vytvára zásadnú hardvérovú podporu pre realizáciu stratégie SAMG.

Podobné odporúčania sú uvedené aj v EUR 2001, resp. 2012 [12]. Dokument EUR obsahuje explicitné odporúčanie, aby projekt elektrárne zohľadňoval väčší počet udalostí zo skupiny nadprojektových udalostí. Na základe tohto odporúčania musia byť do projektu zahrnuté systémy alebo zariadenia alebo musia byť dimenzované s dostatočnou rezervou, systémy, ak sú potrebné pre realizáciu postupov riadenia ťažkých havárií. Bez ohľadu na pravdepodobnosť vzniku príslušných havarijných sekvencií musí projektant uplatniť špecifické projekčné postupy (technické opatrenia), ktoré umožnia splnenie nasledujúcich odporúčaní:

- Úplne zabrániť skorému zlyhaniu kontajneru.
- Zmierniť následky ťažkých havárií sprevádzaných rozsiahlym poškodením aktívnej zóny.

Systém elektrického napájania pre oblasť ťažkých havárií je dimenzovaný na podmienky ťažkých havárií. V súčinnosti s ostatnými systémami pre riadenie ťažkých havárií je podstatnou súčasťou opatrení na zabránenie skorého zlyhania kontajneru a na zmiernenie následkov ťažkých havárií.

Dodatočné požiadavky sú dôsledkom reakcií na haváriu vo Fukušime [3], [4], vyplynuli zo záverov tzv. "stres testov" [3], [5]. Jedná sa najmä nasledujúce požiadavky na systémy určené pre riadenie ťažkých havárií:

- Fyzická a elektrická nezávislosť systémov na bezpečnostných systémoch
Sieť AAC je nezávislá na systémoch pre 3. úroveň ochrany do hĺbky. Vytvárajú nezávislé napájanie elektrických spotrebičov.
- Seizmická kvalifikácia systémov
Systém je seizmicky odolný.
- Verifikácia použiteľnosti dostupných opatrení na situácie so súčasným vznikom havárie na niekoľkých blokoch
Časti systému ktoré sú zdieľané pre obidva bloky sú projektované pre situáciu súčasných havárií na obidvoch blokoch. Podstatne rozširuje možnosti riadenia nadprojektových havárií, vrátane súčasne prebiehajúcich havárií na obidvoch blokoch.
- Riešenie dlhodobých havárií, prebiehajúcich súčasne na viacerých blokoch, pri devastačných podmienkach v lokalite pri náročných podmienkach a kontaminácii okolitého prostredia
Systém je určený aj pre zvládanie súčasne prebiehajúcich havárií, je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov.
- Zabezpečenie odolnosti príslušných zariadení (vrátane inštrumentácie a komunikačných prostriedkov) voči externým vplyvom
Systém je kvalifikovaný na podmienky prostredia v mieste umiestnenia komponentov. Je zaistená odolnosť pre externými vplyvmi.
- Zabezpečenia ochrany prípadných mobilných prostriedkov pred extrémnymi prírodnými podmienkami.
Systém mobilného zdroja je umiestnený v objekte, ktorý poskytuje primeranú ochranu pred externými prírodnými podmienkami.

Ako vyplýva z hodnotenia čiastkových požiadaviek, systém vyhovuje aj týmto dodatočným požiadavkám.

Ďalším z relevantných nadnárodných dokumentov je štúdia WENRA [13]. Táto štúdia však zatiaľ nemá charakter záväzného dokumentu, je relevantná osobitne na nové projektované reaktory a je preto iba

nepriamo relevantná pre bloky MO34. Výsledky štúdie však zhŕňajú aktuálne požiadavky, ktoré sú obsiahnuté v hore uvedených dokumentoch.

Systém a jeho komponenty sú navrhnuté tak, aby neovplyvňovali bezpečnosť bloku v režimoch normálnej prevádzky ani počas prevádzkových havárií. Je určený pre zaistenie požadovanej úrovne bezpečnosti v 4. úrovni ochrany do hĺbky.

Systém je nezávislý na systémoch určených pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky a okrem pasívnych komponentov (prepojení na konečné spotrebiče) je systém od systémov pre nižšie úrovne ochrany do hĺbky aj funkčne oddelený.

Technické riešenie systému spĺňa požiadavky na vybrané systémy, významné pre bezpečnosť bloku. Dimenzovanie systému stacionárneho zdroja vychádza z potrieb zaisteného napájania spotrebičov v jednotlivých etapách ťažkej havárie.

LITERATÚRA

- [1] Vyhláška 430/2011 Z.z. Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zo 16. novembra 2011 o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť
- [2] Matejovič P. a kol: Analýza stratégií pre rýchle vylievanie barbotážnych žľabov, Správa IVS 7/2004, Zákazka 107-01-03 pre SE, a.s., jún 2004
- [3] Národná správa zo záťažových testov jadrových elektrární na Slovensku, ÚJD SR, 30. decembra 2011
- [4] Stress Tests and Peer Review Process - Joint statement of ENSREG and the European Commission, 26 April 2012
- [5] Peer review report, "Záťažové testy vykonané na európskych jadrových elektrárňach", ENSREG
- [6] Amendment No. 0048 - Implementation of Stress Tests measures into MO34 BD - DPS 3.94.01 Technical Report, PNM3460436302
- [7] Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, NS-G-1.10, MAAE dokument, sept. 2004
- [8] INSAG-10, Defence in Depth in Nuclear Safety, MAAE dokument, 1996
- [9] INSAG-12, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants" and „INSAG-10, Defence in Depth in Nuclear Safety, IAEA, Vienna (1996)
- [10] IAEA-TECDOC-905, Approach to the safety of future nuclear power plants, MAAE dokument, 1996
- [11] IAEA-TECDOC-986, Implementation of defence in depth for next generation light water reactors, MAAE dokument, 1997
- [12] European Utility Requirements for LWR power plants, Revision C, 2001 and Revision D, 2012
- [13] Safety of new NPP designs - Study by WENRA Reactor Harmonization Working Group, Draft 9, október 2012
- [14] Národný akčný plán o prijatých opatreniach na plnenie záverov záťažových testov vykonaných na atómových elektrárňach, Marta Žiaková, dec. 2012
- [15] BNS I.1.2/2008 Rozsah a obsah bezpečnostnej správy, ÚJD SR, Bratislava, 11/2008
- [16] BNS I.1.2/2014 Rozsah a obsah bezpečnostnej správy, ÚJD SR, Bratislava, 01/2014

PRÍLOHA 1 ZOZNAM DOKUMENTOV, VYTVÁRAJÚCI ANALYTICKÚ A VEDOMOSTNÚ ZÁKLADŇU PROJEKTU KOMPLEXU SYSTÉMOV PRE RIADENIE ŤAŽKÝCH HAVÁRIÍ

Základom pre poznanie správania sa blokov VVER440 na Slovensku v podmienkach ťažkých havárií bol projekt PHARE 4.2.7a, realizovaný v rokoch 1996 až 1999. V rámci projektu bola vydaná nasledujúca dokumentácia:

- WENX-96-18, Westinghouse Energy Systems Europe SA, Prior R, "Review & Categorization of Accident Sequences", June 1996.
- Bujan A. and Cvan M., "Summary of BDBA and Severe Accident Analyses Responses by VÚJE for VVER-440/213 units", 45/96, VÚJE Trnava, March 1996.
- Téchy Zs., et al., "Phare 4.2.7.a VVER-440/213. Beyond Design Basis Accident Analysis and Accident Management, tasks 1a & 7d, BDBA and Severe Accident Analyses Performed in Hungary", VEIKI Budapest Report 20.52-108/1, March 1996.
- Dienstbier J., et al., Overview of Severe and Beyond Design Basis Accident Analyses of the VVER-440/213 Type Plants in the Czech Republic", PHARE 427a-4001, NRI Rež, March 1996.
- Mauersberger H., "Beyond Design Basis and Severe Accident Analysis and Management - Summary of Activities Performed within Projects of the International Atomic Energy Agency", NSS/427a/1c report, March 1996.
- Cillik I. "Summary of Level1 PSA Study for Unit 3 of J. Bohunice V2 NPP", Summary Report, 46/96, VÚJE Trnava, March 1996.
- MAAP4/VVER Code Qualification Programme, August 1996.
- Cvan M. and Bujan A., "Proposed Codes and Experiments to be Used for MAAP4/VVER qualification", 122/96, VÚJE Trnava, June 1996.
- Téchy Zs., et al., "Phare 4.2.7.a VVER-440/213 Beyond Design Basis Accident Analysis and Accident Management, Task 3b, Selection of Codes, Models and Experiments for the Qualification of MAAP4/VVER", Final Report, 20.52-108/2, VEIKI Budapest, June 1996.
- Prior R and Van haesendonck M., "MAAP4/VVER Training Course", WENX-96-26, Westinghouse Energy Systems Europe SA, September 1996.
- Prior R, "Qualification of MAAP4/VVER for VVER-44-/213 Plants - Executive Summary Report", WENX-97-28, Westinghouse Energy Systems Europe SA, September 1997.
- Prior R, "Qualification of MAAP4/WER for VVER-44-/213 Plants", WENX-97-26, Westinghouse Energy Systems Europe SA, September 1997.
- Cvan M., et al., "PHARE 4.2.7.a Task 6 Code and Model Qualification Report", rev.2, ZOV 220/0997/004, VÚJE Trnava, 25 September 1997.
- Rohár M., "LOCAs to Qualify MAAP Mass and Energy Release Curves during Blowdown Phase", rev.3, ZOV 220/0797/001, VÚJE Trnava, 26 September 1996.
- Cvan M., MLOCAs for Two Phase Flowrate Calculations and Two Phase Separation Criterion", rev.3, ZOV 220/0397/002, VÚJE Trnava, 25 September 1996.
- Rohár M., "The Analysis to Qualify Proper Function of the Pressuriser Relief and Safety Valves for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4/VVER Computer Code", rev.2, ZOV 220/0797/002, VÚJE Trnava, 26 September 1997.

- Cvan M., "Containment Behaviour Simulation Verification Against CONTAIN Calculation", rev.5, ZOV 220/0397/004, VÚJE Trnava, 12 September 1997.
- Horváth G., Kostka P. and Lajtha G., "Task 6a Computer Code Analysis Performed for MAAP4IVVER Code Qualification", Final Report, 20.52-108/7, VEIKI Budapest, August 1997.
- VEIKI Budapest, Griger A, Téchy Zs., Taubner, R and Horváth G., "MAAP/WER Code Input for the Paks Plant Containment", rev.1, 20.52-108/3, November 1996.
- Duspiva J. and Dienstbier J., "Comments to MAAP Applications to VVER-440/213", NRI Rež Report, PHARE427A-96-4012, June 1996.
- VEIKI Budapest, Griger Á. and Horváth G., "Review of Preliminary Parameter File Reports of the MAAP4IVVER Modifications for Paks NPP", 20.52-108/4, November 1996.
- Rohár M., Cvan M., Bujan A, and Vranka L, "Inputs for MAAP4IVVER Parameter File", rev A, ZOV 220/0896/004, VÚJE Trnava 17 December 1996.
- Cvan M., Rohár M. and Bujan A, "Inputs for MAAP4IVVER Parameter File - Review and Modifications of VEIKI Budapest parts", rev.1, ZOV 220/1296/001 VÚJE Trnava,, 12 December 1996.
- Bujan A, Rohár M. and Cvan M., " Inputs for MAAP4IVVER Parameter File - Review and Modifications of ÚJV Rež parts", rev.1, ZOV 220/1296/002, VÚJE Trnava, 14 December 1996.
- Prior R., "Analysis of BOBA and Severe Accidents without Operator Actions - Executive Summary. Report", WENX-97-24, Westinghouse Energy Systems Europe SA, September 1997.
- Prior R., "Analysis of BOBA and Severe Accidents without Operator Actions", WENX-97-25, Westinghouse Energy Systems Europe SA, September 1997.
- Cvan M., et al., "PHARE 4.2.7.a Task 8/9 Summary Report", rev.3, ZOV 220/0897/011, VÚJE Trnava, 25 July 1997.
- Rohár M., "Analysis of the S1S Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev.3, ZOV 220/0597/001, VÚJE Trnava, 7 September 1997.
- Rohár M., "Analysis of the S2SSS Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev.3 IOV 220/0597/004, VÚJE Trnava,, 13 June 1997.
- Bujan A., "Analysis of the M2S Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev.1, ZOV 710/0597/007, VÚJE Trnava, 19 May 1997.
- Bujan A, "Analysis of the A1xFS Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev.1, ZOV 710/0397/004, VÚJE Trnava, 28 March 1997.
- Bujan A, "Analysis of the A1xSS Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev.1, ZOV 710/0497/003, VÚJE Trnava, 3 March 1997.
- Bujan A, "Analysis of the W2S Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev.1, ZOV 710/0397/001, VÚJE Trnava, 24 March 1997.
- Rohár M., "Analysis of the Ts1 F Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev A, ZOV 220/0597/003, VÚJE Trnava, 8 September 1997.
- Rohár M., "Analysis of the Ts1 Fb Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev.1 ZOV 220/0597/006, VÚJE Trnava,, 9 May 1997.
- Cvan M., "Ts2S - Unisolated Steam Line Break Outside Containment", rev.1, ZOV 220/0597/002, VÚJE Trnava, 12 May 1997.

- Cvan M., "Ts2S - Unisolated Steam Line Break Inside the Containment", rev.1, ZOV 220/0597/005, VÚJE Trnava, 17 May 1997.
- Cvan M., "Ts3F - Isolated Steam Line Break Outside Containment", rev.3, ZOV 220/0397/005, VÚJE Trnava, 7 June 1997.
- Bujan A., "Analysis of the T3F Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4NVER Computer Code", rev.1, ZOV 710/0397/002, VÚJE Trnava, 17 March 1997.
- Bujan A., "Analysis of the B2F Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev.1, ZOV 710/0597/006, VÚJE Trnava, 14 May 1997.
- Bujan A.: Analysis of the B2S Sequence for EBO V-2 Reactor Unit by Using MAAP4IVVER Computer Code", rev.1, ZOV 710/0597/005, VÚJE Trnava, 5 May 1997.
- Lajtha G., "Task 9a - Analyses of Accident Sequences and Identification of Vulnerabilities", Draft Report, 20.52-108/6, VEIKI Budapest, June 1997.
- Prior R., "Accident Management Study", WENX-98-13, Westinghouse Energy Systems Europe SA, March 1998 Main report.
- Prior R., "Accident Management Study", WENX-98-12, Westinghouse Energy Systems Europe SA, March 1998.
- Cvan M., "Secondary and Primary Depressurisation Strategies - Station Blackout", rev.2, ZOV 220/1197/001, VÚJE Trnava, 9 January 1998.
- Rohár M., "Depressurisation of All Steam Generators - Impact on Safety Injection Termination and Reduction Criteria", rev.2, ZOV 220/1197/002, VÚJE Trnava, 11 January 1998.
- Rohár M., "Inadequate Core Cooling Symptoms and Recovery Action", rev.2, ZOV 220/1197/003, VÚJE Trnava, 14 January 1998.
- Bujan A., "Primary System Bleed and Feed - Symptoms for Actuation", rev.O ZOV 710/1197/01, VÚJE Trnava, 28 November 1997.
- Prior R., "Accident Management Analysis", WENX-98-13, Westinghouse Energy Systems Europe SA, March 1998.
- Prior R., "Accident Management Analysis", WENX-98-12, Westinghouse Energy Systems Europe SA, March 1998.
- Bujan A., "Hydrogen Mixing and Deflagration / DDT", rev.1, 10 ZOV 710/1097/02, VÚJE Trnava, January 1998.
- Rohár M., "Induced Primary System Failure", rev.2, ZOV 220/0997/002, VÚJE Trnava, 10 January 1998.
- Bujan A., "Analysis of Reactor Vessel and Debris Coolability", rev.1, ZOV 710/1097/01, VÚJE Trnava, 8 December 1997.
- Cvan M., "Overpressurisation and Filtered Venting", rev.2, ZOV 220/0997/003, VÚJE Trnava, 8 January 1998.
- Prior R., "Development of Bohunice V-2 SAMG Diagnostics", WENX-98-11, Energy Systems Europe SA, March 1998.
- Cvan M., "Bohunice SAMG Diagnostics Setpoint Calculation Requirements", rev.1, ZOV 220/1197/004, VÚJE Trnava, 28 November 1997.

- Prior R., "PHARE Project 4.2.7.a /93: VVER-440/213 Beyond Design Basis Analysis and Accident Management Final Report and Project Summary" I WENX-98-15, Westinghouse Energy Systems Europe SA, March 1998.
- Mauersberger H., "Evaluation of Applicability of Project Results to Non-Reference Plants", WENX-98-14, February 1998.
- Lajtha G. and Horváth G., "Evaluation of Applicability of Project Results to Paks NPP", Final Report, 20.52-108/6, VEIKI Budapest, December 1997.
- Dienstbier J., Vokác P. and Rýdl A., "Application of the VVER-440/213 Results Obtained in the Phare 4.2.7.a Project to the Dukovany NPP", Final Report, ÚJV Z-267-T, NRI Rež, December 1997

V nadväznosti na Phare 4.2.7.a projekt bol riešený projekt „Analýzy šírenia plynov v kontajneru blokov VVER 440/V213 ", ktorý rozpracovával získané poznatky najmä z pohľadu riešenia problematiky vodíka a ostatných problémov riadenia zloženia atmosféry, ktorý vyústil do nasledujúcich dokumentov:

- Cvan M.: Zdroje vodíka v priebehu etapy ťažkých havárií pred porušením TNR - rešerš existujúcich informácií, VÚJE 118/2002, Trnava 2002.
- Jančovič J. a kol.: Zdroje vodíka v priebehu etapy ťažkých havárií pred porušením TNR, Správa VÚJE 3/2003, VÚJE Trnava, April 2003.
- Bujan A. a kol.: Overenie a posúdenie výsledkov analýzy ťažkých havárií podľa modelu VÚJE pre kód ASTEC V1.0, Správa VÚJE 28/2003, VÚJE Trnava, Máj 2003.
- Jančovič J. a kol.: Zdroje vodíka v priebehu etapy ťažkých havárií pred porušením TNR - stanovenie neurčitostí výsledkov pre aplikáciu výsledkov pre SAMG, Správa VÚJE 44/2003, dec. 2003.
- Jančovič J. a kol.: Zdroje vodíka v priebehu etapy ťažkých havárií pred porušením TNR, Vplyv zásahov operátora, Správa VÚJE 20/2003, december 2003.
- Bujan A. a kol.: Overenie a posúdenie výsledkov analýzy ťažkých havárií podľa modelu VÚJE pre kód ASTEC V1.0 - vplyv zásahov operátora, Správa VÚJE 125/2003, VÚJE Trnava, december 2003.
- Jančovič J. a kol.: Zdroje vodíka v priebehu etapy ťažkých havárií pred porušením TNR - Súhrnné hodnotenie riešenia etapy E01, Správa VÚJE 126/2003, december 2003
- Cvan M. a kol.: Šírenie vodíka v hermetickej zóne pred porušením TNR - analýzy kódom MELCOR a CONTAIN, Správa VÚJE 2/2003, Správa VÚJE 2/2003, Trnava 2003.
- Cvan M. a kol.: Šírenie vodíka v hermetickej zóne pred porušením TNR - súhrnné hodnotenie E02A, Správa VÚJE 51/2003, VÚJE Trnava, Júl 2003.
- Remiš J. a kol.: Analýza priestorového šírenia vodíka v HZ CFD kódom FLUENT, Správa VÚJE 93/2003, december 2003.
- Jančovič J. a kol.: Zdroje vodíka a nekondenzujúcich plynov v HZ po porušení TNR - rešerš existujúcich informácií, Správa VÚJE 46/2003, Júl 2003.
- Jančovič J. a kol.: Zdroje vodíka a nekondenzujúcich plynov v HZ po porušení TNR - nezávislé overenie výsledkov z MAAP4/VVER, Správa VÚJE 47/2003, Júl 2003.
- Cvan M. a kol.: Analýza odozvy HZ na vývin NCG v šachte reaktora, Správa VÚJE 128/2003, december 2003.
- Cvan M. a kol.: Vplyv stratégie zaplavenia šachty reaktora na zdroje NCG, Správa VÚJE 129/2003, december 2003.

- Cvan M. a kol.: Manažment atmosféry HZ v priebehu ťažkých havárií, Správa VÚJE 14/2003, marec 2003.
- Jančovič J. a kol.: Horenie vodíka a riadená oxidácia vodíka v HZ - Možnosti a nebezpečia neriadeného horenia vodíka, Správa VÚJE 21/2003, november 2003.
- Cvan M., Jančovič J.: Horenie vodíka a riadená oxidácia vodíka v HZ - Možnosti riadeného spaľovania a rekombinácie vodíka, Správa VÚJE 94/2003, Trnava 2003.
- Jančovič J. a kol.: Horenie vodíka a riadená oxidácia vodíka v HZ - Možnosti a perspektívy modelovania riadeného spaľovania a rekombinácie vodíka, Správa VÚJE 131/2003, december 2003.
- Cvan M., Jančovič J.: Horenie vodíka a riadená oxidácia vodíka v HZ - Komplexné hodnotenie zaťaženia HZ v dôsledku horenia vodíka, Správa VÚJE 95/2003, Trnava 2003.
- Jančovič J. a kol.: Výpočtové preukázanie účinnosti vybraných stratégií SAMG, Správa VÚJE 132/2003, december 2003.
- Cvan M. a kol.: Súhrnná záverečná správa projektu UTR 9075, december 2003.
- Barnák M., Matejovič P.: Analýza ťažkých havárií reaktorov VVER-440/V213 programom ASTEC V1.0, Správa IVS 6/2003, IVS Trnava s.r.o., Máj 2003.
- Barnák M., Matejovič P.: Analýzy vplyvov zásahov operátora na priebeh ťažkých havárií reaktorov VVER440/V213 programom ASTEC V1.0, Správa IVS 13/2003, IVS Trnava s.r.o., sept. 2003.
- Barnák M., Matejovič P.: Analýza šírenia plynov v kontajneroch reaktorov VVER-440/V213 pri ťažkých haváriách programom ASTEC, Správa IVS 10/2003, IVS Trnava s.r.o., jún 2003.
- Matejovič P., Bachratý M.: Koncept zdržania roztavenej aktívnej zóny v tlakovej nádobe reaktora VVER-440/V213, IVS 3/2003, apríl 2003.
- Matejovič P., Bachratý M.: Analýza chladenia tlakovej nádoby reaktora VVER-440/V213 programom RELAP5-3D, IVS 4/2003, apríl 2003.
- Matejovič P., Barnák M.: Vplyv stratégie so zaplavením šachty reaktora na hermetickú zónu JE typu VVER-440/V213, Správa IVS 8/2003, IVS Trnava s.r.o., jún 2003.

Zhrnutie v danej dobe existujúcich informácií a prístupov a návrhov na projektové a organizačné zmeny bolo uvedené v dokumente:

- Cvan M., Jančovič J.: Návrh opatrení a modifikácií projektu pre riadenie ťažkých havárií, Správa VÚJE V01-VS/0220/2004.10, Trnava 2004.

V rámci Bezpečnostného konceptu pre dostavbu blokov MO34 bol pripravený prvý návrh konkrétnych modifikácií pôvodného projektu VVER440/V213 pre daný cieľ. Boli vytvorené nasledujúce dokumenty:

- Cvan M.: Safety concept 1st phase for the Mochovce Units 3 and 4, S17 - Hydrogen removal system, Report VÚJE V01-TS/1711/0220/2005.1, sept. 2005.
- Cvan M.: Safety concept 1st phase for the Mochovce Units 3 and 4, TH02 - Controlled flooding of the reactor cavity, outside cooling of the reactor pressure vessel, Report VÚJE V01-TS/1711/0220/2005.8, sept. 2005.
- Cvan M.: Safety concept 1st phase for the Mochovce Units 3 and 4, TH03 - Upgrade of the long term operation of the spray system, Report VÚJE V01-TS/1711/0220/2005.9, sept. 2005.

- Cvan M.: Safety concept 1st phase for the Mochovce Units 3 and 4, TH04 - Deep underpressure prevention in the containment, Report VUJE V01-TS/1711/0220/2005.10, sept. 2005.
- Cvan M.: Safety concept 1st phase for the Mochovce Units 3 and 4, TH05 - Strengthening of the reactor cavity , Report VUJE V01-TS/1711/0220/2005.11, sept. 2005.
- Rohár M., Cvan M.: Evaluation of the possibility of the outside cooling of the reactor pressure vessel of the Bohunice V2 a Mochovce unit by flooding of the cavity, Report VUJE V01-TS/2815/0220/2005.6, nov. 2005.
- Baláž J., Cvan M.: Limits and acceptable leakages of the containments of the Slovak NPPs , Report VUJE V01-VS/0220/2005.16, nov. 2005.
- Lacková K. a kol.: Koncept udržania roztavenej aktívnej zóny v tlakovej nádobe reaktora typu VVER-440/V213 TECHNICKÉ RIEŠENIE, ST-ADV-010, Adving, august 2004

Nadväzným projektom, ktorý bol už orientovaný priamo na projektové zmeny na blokoch bol projekt „Riešenie problematiky riadenia ťažkých havárií (SAMG)“ s nasledujúcou výstupnou dokumentáciou:

- Slanina a kol.: Zmena rozsahu snímača tlaku v hermetickej zóne (EMO), Správa VUJE, V01-VS/0240/2006.4, september 2006.
- Slanina a kol.: Umiestenie snímača merania hladiny v boxe PG (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0240/2006.5, september 2006.
- Slanina a kol.: Meranie hladiny v šachte reaktora (EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0240/2006.3, september 2006.
- Baláž a kol.: Utesnenie otvorov v šachte reaktora (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2006.2, september 2006
- Baláž a kol.: Hermetické dvere šachty reaktora (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2006.3, september 2006.
- Baláž a kol.: Drenáž šachty reaktora (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2005.4, september 2006.
- Cvan a kol.: Zaplavenie šachty reaktora, snímanie dolného tepelného štítu TNR (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2006.8, september 2006.
- Hermanský a kol.: Napäťovo-deformačná analýza TNR v podmienkach zaplavenia šachty reaktora (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2006.9, september 2006.
- Jančovič a kol.: B(Spaľovanie vodíka v hermetických priestoroch, analýza využitia rekombinátorov (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2005.18, september 2006.
- Rohár, Tkáč .: Venting kontajnementu (pre riešenie vodíka), (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2006.10, september 2006.
- Slanina a kol.: Úprava SPDS v EMO, Správa VUJE, V01-VS/0240/2006.1, september 2006.
- Slanina a kol.: Úprava SPDS v EBO, Správa VUJE, V01-VS/0240/2006.2, september 2006.
- Baláž a kol.: Rušič vákua (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2005.17, september 2006.
- Baláž a kol.: Dopĺňovanie vody do primárneho okruhu z externých zdrojov (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2006.12, september 2006.
- Cvan, Rohár a kol.: Analýza dlhodobého odvodu tepla z kontajnementu po havárii (EBO, EMO) , Správa VUJE, V01-VS/0220/2005.20, september 2006.

- Jančovič a kol.: Realizácia jednotlivých opatrení zavedenia návodov SAMG (EBO, EMO) - Súhrnná správa, Správa VUJE, V01-VS/0220/2006.14, september 2006.

Práce pokračovali vypracovávaní bezpečnostného konceptu pre 3. a 4. blok JE Mochovce (výsledky ktorého boli tiež základom pre projektové zmeny na blokoch EBO V2 a EMO12), s nasledujúcou dokumentáciou:

- Cvan M. a kol.: Koncepčná štúdia riešení pre ťažké havárie, TBK 2. etapa pre 3. a 4. blok JE Mochovce, správa VUJE V01-0170TS.05/1712/2005, december 2005
- Baláž J. a kol.: Dodatočný systém dodávky chladiča do I.O. alebo kontajneru z nádrží mimo kontajner, Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2811/T, VUJE 2007.
- Baláž J. a kol.: Modifikácia drenážnej trasy zo šachty reaktora, Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2803/T, VUJE 2007.
- Baláž J. a kol.: Modifikácia pre zaistenie spoľahlivého odtlačovania I.O., Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2805/T, VUJE 2007.
- Baláž J. a kol.: Modifikácia žlabov barbotážnej veže, Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2804/T, VUJE 2007.
- Baláž J. a kol.: Prostriedky pre riadenie zloženia atmosféry v kontajneru počas ťažkých havárií, Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2809/T, VUJE 2007.
- Baláž J. a kol.: Rušič vákua, Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2810/T, VUJE 2007
- Baláž J. a kol.: Súbor opatrení na zaplavenie šachty reaktora, Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2802/T, VUJE 2007.
- Baláž J. a kol.: Systém havarijného doplňovania vody do otvoreného reaktora, Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2808/T, VUJE 2007.
- Šimor S.: Pohavarijný monitorovací systém PAMS, Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2921/T, VUJE 2007
- Cvan M. a kol.: Koncepcia opatrení na zmiernenie následkov ťažkých havárií, Podrobný bezpečnostný koncept, DMO/022/2801/T, VUJE 2007

Dodatočne k uvedeným dokumentom boli realizované ďalšie projekty, obsahujúce deterministické výpočtové analýzy a teoretické rozborov podmienok a priebehov pri ťažkých haváriách na blokoch, ako napr. podporné analýzy pre PSA 2. úrovne blokov EBO a EMO, výpočty v rámci medzinárodných projektov (vývoj programu ASTEC), deterministické analýzy pre stanovenie pásiem ohrozenia a ďalšie.

Uvedené dokumenty boli podkladom pre projekt systémov, zahrnutých a realizovaných v rámci projektov SAM EBO V2 a EMO12 (*Riadenie ťažkých havárií IPR EBO10045 a IPR EMO 30100, IPR EBO 86700 A IPR EMO 29800 Bezpečnostný koncept a špecifikácie požiadaviek pre prevádzkované bloky jadrových elektrární, dokument EBO10045-23 600, rev. 3, 18.2.2010*). Relevantné závery boli priebežne (t.j. počas projektovania a realizácie systémov pre riadenie ťažkých havárií na MO34) zahrňané do projektov systémov. Celkové zhodnotenie komplexu opatrení na riadenie ťažkých havárií bolo predmetom projektu "Vypracovanie komplexného deterministického zhodnotenia Projektu implementácie SAM - Riadenie ťažkých havárií", č. VUJE 2003313, č. SE, a.s. 4600009350, júl 2013 až december 2013). Vzhľadom na to, že súbor opatrení a systémov je na všetkých blokoch SE, a.s. prakticky rovnaký, sú závery daného projektu, uvedené v dokumentácii projektu (viď nasledujúci zoznam) relevantné aj pre MO34.

- Cvan M. a kol.: Metodika pre vypracovanie „Komplexného integrálneho deterministického zhodnotenia projektu implementácie riadenia ťažkých havárií (SAM)“, V01-TS/2003313/0220/2013.43, dokument VUJE, august 2013
- Jančovič J. a kol.: Popis a vyhodnotenie analýz ťažkých havárií pre podporu hodnotenia projektu SAM), dokument VUJE V01-TS_2003313_0220_2013-57, december 2013
- Cvan M. a kol.: Vypracovanie komplexného integrálneho deterministického zhodnotenia projektu implementácie SAM - Riadenie ťažkých havárií, dokument VUJE V01-TS_2003313_0220_2013-58, december 2013
- Fogel M. a kol.: Analytické hodnotenie dôsledkov vonkajšieho chladenia TNR počas ťažkej havárie na jej integritu, dokument VUJE V01-TS_2003313_0220_2013-50, december 2013
- Hermanský Peter, Krajčovič Marián: Napätovo-deformačná analýza vplyvu zaliatia šachty reaktora na integritu TNR v podmienkach ťažkej havárie, dokument VUJE V01-TS/2003313/0350/2013, december 2013
- Fogel M.: Nezávislé posúdenie zmien v predpisoch pre riešenie núdzových stavov JE V2 V01-TS/2003313/0220/2013.50, 2.vydanie/1.rev.
- Jančovič J. a kol.: Hlavná správa projektu „Vypracovanie komplexného deterministického zhodnotenia Projektu implementácie SAM - Riadenie ťažkých havárií“, dokument VUJE V01-TS_2003313_0220_2013-56, december 2013
- Jančovič J. a kol.: Main report of the project „Complex Deterministic Evaluation of the SAM Implementation Project - Severe accident control“, dokument VUJE V01-TS_2003313_0220_2013-55, december 2013