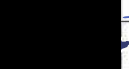
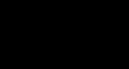
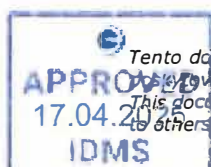


		Safety Analysis Report							
		Číslo dokumentu / Document no. PNM34361612						Strana / Sheet 1 z of 32	
Projekt / Project MOCHOVCE POWER PLANT Completion of Units 3 and 4		Stupeň dôvernosti / Security Index Company Use / P							
		Názov / Title Annex 1 Plant response to severe accidents Príloha 1 Odozva JE na následky ťažkých havárií							
Komponent / Component N/A		Typ dokumentu / Document Type RS		Disciplína / Discipline Z		Súbor / File PNM3436161204.pdf			
Scope of issue Účel vydania FOR USE		Job No. N012B		BT komponentu / Component safety class N/A					
Blok/Unit 8		PS/DPS/CS set/subset/c. Structure				00A			
REV 04		Popis zmeny / Description of Revisions Zpracovanie vyhodnotenia spúšťania 3. bloku MO34 a formálne úpravy textu							
04		17-04-2025		LC					
REV		Dátum / Date		Účel / Purpose		Spracoval / Prepared by		Spolupracoval / Co-operations	
						Kontroloval / Checked by		Overil / Verified by	
								Odsúhlasil / Approved by	



Tento dokument je vlastníctvom SLOVENSKÝCH ELEKTRÁRNÍ a.s.. Je prísne zakázané rozmnožovať tento dokument vcelku, alebo v časti poskytovať iným stranám akékoľvek súvisiace informácie bez predchádzajúceho písomného súhlasu.
 This document is property of Slovenské Elektrárne a.s. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent.

	MOCHOVCE POWER PLANT Completion of Unit 3 and 4	Číslo dokumentu <i>Document no.</i> PNM34361612
	<i>Annex 1 Plant response to severe accidents</i> Príloha 1 Odozva JE na následky ťažkých havárií	REV.04 17-04-2025
		Strana <i>Sheet</i> 2 <i>z of</i> 32

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 pripo- mienok)
• Celý dokument	• Zapracovanie vyhodnotenia spúšťania 3. bloku MO34 a formálne úpravy textu	• PNM34361140
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•

	MOCHOVCE POWER PLANT Completion of Unit 3 and 4	Číslo dokumentu Document no. PNM34361612
	<i>Annex 1 Plant response to severe accidents</i> Príloha 1 Odozva JE na následky ťažkých havárií	REV.04 17-04-2025
		Strana Sheet 3 <i>z of</i> 32

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.	• Príloha PpBS - Odozva JE na následky ťažkých havárií	• PNM3436161204_S_C00_V	• 04
2.	• Príloha PpBS - Odozva JE na následky ťažkých havárií	• PNM3436161204_S_C01_V	• 04

OBSAH

OBSAH	4
ZOZNAM OBRÁZKOV	5
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ	6
1 ÚVOD	7
2 POPIS POUŽITÉHO PRÍSTUPU	8
2.1 Konzervativizmus bezpečnostných analýz, počiatočné a okrajové podmienky	8
2.2 Identifikácia a kategorizácia postulovaných iniciačných udalostí	9
2.3 Zásahy prevádzkového personálu	10
2.4 Popis výpočtových programov a modelov	10
3 KRITÉRIÁ PRIJATEĽNOSTI PRE ŤAŽKÉ HAVÁRIE	12
4 ODOZVA JE NA NÁSLEDKY ŤAŽKÝCH HAVÁRIÍ	13
4.1 Dlhodobá strata vnútorných zdrojov i vonkajších zdrojov elektrického napájania počas špecifikovanej doby	14
4.1.1 Charakteristika udalosti	14
4.1.2 Použité kritériá prijateľnosti	14
4.1.3 Špecifikácia analyzovaných variantov vrátane počiatočných a okrajových podmienok	14
4.1.4 Popis a rozbor výsledkov	15
4.1.5 Vyhodnotenie kritérií prijateľnosti DEC2	17
4.1.6 Vyhodnotenie kritérií prijateľnosti DEC3	19
4.2 Únik primárneho chladiva kombinovaný so zlyhaním havarijného chladenia aktívnej zóny	21
4.2.1 Charakteristika udalosti	21
4.2.2 Použité kritériá prijateľnosti	21
4.2.3 Špecifikácia analyzovaných variantov vrátane počiatočných a okrajových podmienok	21
4.2.4 Popis a rozbor výsledkov	22
4.2.5 Vyhodnotenie kritérií prijateľnosti DEC2	24
4.2.6 Vyhodnotenie kritérií prijateľnosti DEC3	26
5 BEZPEČNOSTNÉ ZRHNUTIE	28
LITERATÚRA	29
ZOZNAM TABULIEK	32

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 Pribeh tlaku v reprezentatívnych objemoch kontejnmentu	18
Obrázok 2 Pribeh tlaku AICC v reprezentatívnych objemoch kontejnmentu	18
Obrázok 3 Úniky RaL vzácne plyny, alkalické kovy, alkalické zeminy a halogény do okolia bloku	19
Obrázok 4 Pribeh tlaku v reprezentatívnych objemoch kontejnmentu	25
Obrázok 5 Pribeh tlaku AICC v reprezentatívnych objemoch kontejnmentu	25
Obrázok 6 Úniky RaL vzácne plyny, alkalické kovy, alkalické zeminy a halogény do okolia bloku	26

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ

AICC	adiabaticko-izochorické úplné horenie
AZ	aktívna zóna
DEC	kategória havárie - havária v podmienkach rozšíreného projektu
EOP	predpisy pre symptómovu orientované riešenie núdzového stavu
HA	hydroakumulátory
HČČ	hlavné cirkulačné čerpadlo
HCS	hlavná cirkulačná slučka
HCHZ	(systém) havarijného chladenia AZ
HZ	hermetická zóna
HVB	hlavný výrobný blok
IAEA	International Atomic Energy Agency
I.O.	primárny okruh
II.O.	sekundárny okruh
IVR	stratégia zachytenia roztavených trosiek aktívnej zóny v tlakovej nádobe reaktora
JE	jadrová elektrárňa
KO	kompensátor objemu
LOCA	havária so stratou chladiva (Loss of Coolant Accident)
MAAE	Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu
NRPB	National Radiological Protection Board
PAMS	pohavarijný monitorovací systém
PG	parogenerátor
PpBS	predprevádzková bezpečnostná správa
RZV	rýchlo zatvárací ventil
SAMG	predpisy pre zmiernenie následkov ťažkých havárií
SZB	systém zaistenia bezpečnosti
TNR	tlaková nádoba reaktora
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association

1 ÚVOD

Táto príloha PpBS MO34 je vypracovaná v súlade s požiadavkami zákona č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a Vyhlášky č. 430/2011 Z. z. o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť [II.1].

Príloha obsahom, cieľom a určením patrí do kapitoly 7 PpBS MO34 a z toho vyplýva jej vnútorná štruktúra, spôsob spracovania a rozsah. Osobitne sa táto príloha viaže ku Kap. 07.02.01.15 tejto PpBS s tým, že predmetom Kap. 07.02.01.15 je hodnotenie tých scenárov udalostí v podmienkach rozšíreného projektu (udalosti DEC), v ktorých sa pomocou systémov a charakteristík bloku predišlo závažnému poškodeniu jadrového paliva. Táto príloha obsahuje deterministické bezpečnostné analýzy vybraných udalostí DEC, ktoré predstavujú obáľkové prípady scenárov riadenej ťažkej havárie, t.j. havárie so závažným poškodením paliva, v ktorej sa pomocou určených technických a organizačných opatrení podarilo obmedziť/zmierniť jej následky.

Analogicky ako u všetkých analytických častí kapitoly 7 PpBS MO34, je cieľom tejto prílohy preukázať, že fyzikálne a technologické vlastnosti blokov MO34 spĺňajú požadované podmienky jadrovej bezpečnosti, t.j. že v prípade vzniku iniciačnej udalosti a priebehu príslušného scenára, podľa špecifik tu analyzovaných udalostí, nenastane porušenie kritérií prijateľnosti stanovených pre danú kategóriu procesov.

V rámci riešenia kapitoly 7 PpBS MO34, ako aj tejto prílohy boli uvažované tieto okrajové podmienky:

- Počiatočný výkon reaktora 1375 MW.
- Je uvažované Gd-II palivo s priemerným obohatením 4,87 %.
- Stav zariadení blokov MO34 je uvažovaný podľa vykonávacieho projektu.

Metodický prístup, použitý špecificky v tejto prílohe sa v rámci jej jednotlivých revízií v čase postupne vyvíjal, spolu s rozvojom požiadaviek národnej legislatívy. Ako taký zodpovedal požiadavkám príslušných návodov ÚJD SR, najmä [II.3] a [II.4].

2 POPIS POUŽITÉHO PRÍSTUPU

2.1 Konzervativizmus bezpečnostných analýz, počiatočné a okrajové podmienky

Vybrané obáľkové prípady ťažkých havárií v tomto dokumente sú súčasťou vybraných havárií v podmienkach rozšíreného projektu, ktoré boli pôvodne označované ako nadprojektové havárie.. Podľa [II.3] sa jedná o havárie, ktoré zahŕňajú závažné poškodenie aktívnej zóny alebo palivových článkov, ktoré si vyžadujú aplikáciu ochranných opatrení na ochranu obyvateľstva. Z kontextu bezpečnostného konceptu projektu jadrových blokov sú to havárie, ktoré sú vyvolané viacnásobným zlyhaním zariadení, obsluhy a/alebo bezpečnostných systémov, počas ktorých poškodenie jadrového paliva a rádiologické následky na obyvateľstvo (v zóne havarijného plánovania, prípadne aj za hranicou zóny havarijného plánovania v závislosti od konkrétnej situácie) môžu dosiahnuť rozsah, ktorý si vyžiada iniciovanie aktívnych opatrení na zmiernenie rádiologických následkov. Jedná sa tak o scenáre s extrémne nízkou pravdepodobnosťou výskytu podmienok ich vzniku. Podľa súčasných požiadaviek medzinárodných štandardov zároveň platí, že hodnotené bloky sú vybavené špeciálne určenými systémami, ktoré sú schopné zastaviť rozvoj týchto scenárov a signifikantne obmedziť ich potenciálne radiačné následky na okolie, ak by podmienky pre výskyt a rozvoj takejto havarijnej udalosti predsa len nastali.

Scenáre ťažkých havárií sú charakterizované spoločnými fenoménmi a procesmi, ktoré nastávajú najmä počas degradácie aktívnej zóny. Tieto procesy nie sú významne ovplyvnené konkrétne definovanou iniciačnou udalosťou, ale fyzikálnou fenomenológiou rozvoja týchto udalostí. Opatrenia na zmiernenie následkov ťažkých havárií sú preto navrhnuté tak, aby sa vyrovnali so sekvenciou procesov a s fenoménmi, ktoré sú pre tento druh scenárov spoločné.

Prístup k analýzam vybraných obáľkových scenárov a hodnoteniu následkov ťažkých havárií vychádzal z [II.3] ako aj z [II.1]. To znamená, že všetky vykonané analýzy boli vykonávané bez nadmerných konzervativizmov a s primerane realistickým prístupom, pričom boli rešpektované nasledovné zásady:

- Počiatočné podmienky boli vybrané ako očakávané nominálne hodnoty, charakterizujúce príslušný režim prevádzky bloku, bez nepresností a chýb;
- Systémy, určené pre riadenie bloku v rámci režimov, spadajúcich do 1. až 3. úrovne ochrany do hĺbky (t.j. systémy určené pre odozvu bloku na havarijné podmienky, ktoré projekt predvídal) vrátane radiacií sa vo vykonaných analýzach neuvažovali. To neplatí pre systémy, ktorých uvažovanie bolo potrebné z hľadiska definície scenára. Tento prístup vyplýva z predpokladu, že pri správnej činnosti týchto systémov by ťažká havária spravidla nemohla nastať, a teda zlyhanie týchto systémov je nutnou nie však postačujúcou podmienkou ťažko havarijnej udalosti. Počas simulácie všetkých scenárov boli k dispozícii iba systémy, ktorých činnosť je pasívna, alebo ktorých zlyhanie je prakticky vylúčené. Jedná sa o nasledovné havarijné systémy bloku:
 - a. automatická ochrana – odstavenie reaktora, SZB,
 - b. poistné ventily kompenzátoru objemu,
 - c. poistné ventily parogenerátorov,
 - d. hydroakumulátory a rýchlozatváracie ventily na vstupe do turbín;
- Naopak pre všetky systémy patriace do 4. úrovne ochrany do hĺbky, teda systémy určené na bránenie rozvoja a zmiernenie následkov ťažkých havárií, sa vo vykonaných analýzach ťažkých havárií predpokladalo, že sú k dispozícii a pracujú podľa projektu. To značí, že osobitne nie je nadhodnotené oneskorenie začiatku ich činnosti, ani zavedená odchýlka nastavenia pre inicializáciu signálov a podobne. Tento predpoklad vychádza zo skutočnosti, že systémy 4. úrovne ochrany do hĺbky boli navrhnuté pre

postulované podmienky vzniku havárie v podmienkach rozšíreného projektu, s ohľadom na predpokladané zlyhanie systémov 1. až 3. úrovne ochrany do hĺbky, ktorých úlohou bolo vzniku ťažkej havárie brániť, a s uvažovaním predpokladaných parametrov prostredia, v ktorých tieto systémy majú vykonať požadovanú funkciu pre bránenie ďalšieho rozvoja udalosti a zmiernenie jej následkov;

- Vo vykonaných analýzach nebola uvažovaná žiadna kombinácia iniciačných udalostí. Stav bloku a rozsah nutných zlyhaní pre vznik podmienok príhodných na iniciáciu ťažkej havárie bol vzhľadom na extrémne nízku pravdepodobnosť jednoducho postulovaný. Po odstavení reaktora je uvažovaná strata elektrického napájania. Zároveň však platí, že strata napájania vlastnej spotreby neovplyvňuje činnosť systémov určených pre zníženie následkov ťažkých havárií, nakoľko tieto sú napájané zo špecializovaného a na to určeného zdroja elektrického napájania;
- Pre účely dosiahnutia obálkového prípadu simulovanej udalosti sa neuvažovali žiadne zásahy operátora pre oneskorenie alebo zvrátenie vývoja havárie do ťažkej havárie. Po prechode do ťažkej havárie sa uvažovali zásahy operátora podľa návodov SAMG. Predpokladaná doba na prípravu a vykonanie zásahov bola stanovená na základe skúseností z výcviku prevádzkového personálu a z inžinierskeho odhadu samotných operátorov jadrového bloku;
- Na základe vykonaných analýz, medzinárodných skúseností a spätnej väzby z výcviku prevádzkového personálu sa konzervatívne pre všetky udalosti predpokladá, že jediná redundancia sprchového systému kontajnementu [II.12], bude uvedená do prevádzky až po troch dňoch od iniciácie udalosti;
- Odvod tepla z kontajnementu bude obnovením systému technickej vody dôležitej (rovnako ako v predchádzajúcom prípade) uvedený do prevádzky až po troch dňoch od iniciácie udalosti.

Primeraná konzervatívnosť okrajových podmienok riešenia bola zabezpečená aplikáciou nasledovných predpokladov:

- Stav AZ vo všetkých scenároch reprezentoval koniec kampane (maximálny zostatkový výkon, maximálny inventár štiepných produktov);
- Systémy, ktoré sú určené pre riadenie ťažkých havárií, sú popísané v Kap. 6.12 tejto bezpečnostnej správy;
- Počiatkové a okrajové podmienky, ktoré boli uvažované v analýzach vybraných obáľkových udalostí boli odvodené od prevádzkových parametrov bloku pracujúcom na nominálnom výkone 1 375 MWt. Netesnosť kontajnementu bola uvažovaná 2%/24 hod. Použité parametre sú taxatívne uvedené v [I.18];
- Počiatkový inventár rádionuklidov v palive bol stanovený v [III.15], a to pre koniec nominálnej prevádzkovej kampane a zodpovedajúce vyhorenie;
- Inventár pod pokrytím (vo forme aktivity vybraných nuklidov) bol poskytnutý dodávateľom paliva.

2.2 Identifikácia a kategorizácia postulovaných iniciačných udalostí

Výber reprezentatívnych scenárov a iniciačných udalostí ťažkých havárií vychádzal zo zoznamu iniciačných udalostí v kategórii havárií v podmienkach rozšíreného projektu [II.3]. Súbor vybraných udalostí pre analýzy ťažkých havárií zohľadňuje (príloha č.3, časť B, II., písm. E., ods.(5) vyhlášky ÚJD SR č.430/2011 Z. z. [II.1]):

- a) možnosť viacnásobného zlyhania bezpečnostných systémov s následným ohrozením integrity bariér proti uvoľneniu rádioaktívnych látok; preventívne alebo zmierňujúce opatrenia nemusia zahŕňať aplikáciu konzervatívneho prístupu k zaisteniu jadrovej bezpečnosti,

- b) súbor vybraných udalostí, ktoré sú určené z postulovaných iniciačných udalostí použitím kombinácie pravdepodobnostných metód, deterministických metód a technického posúdenia, a ktoré boli následne preskúmané s cieľom určiť, ktoré ťažké havárie bude projekt riešiť,
- c) vyhodnotenie a realizácia prípadných projektových zmien alebo zmien dokumentácie, alebo prevádzkových predpisov, ktoré by mohli znížiť pravdepodobnosť výskytu vybraných udalostí podľa písmena b) alebo zmierniť ich následky,
- d) prevádzkové predpisy na riadenie havarijných podmienok počas priebehu scenára,
- e) pre viac blokové jadrové zariadenie s jadrovým reaktorom použitie dostupných prostriedkov podpory z iných blokov s podmienkou, že nebude ohrozená bezpečná prevádzka týchto blokov.

V [II.3] je uvedený odporúčaný zoznam iniciačných udalostí pre havárie v podmienkach rozšíreného projektu, pre ktoré má byť spracovaná deterministická analýza odozvy jadrového zariadenia s jadrovým reaktorom. Tieto udalosti pokrývajú všetky prevádzkové režimy daného JZ (výkonové, nevýkonové prevádzkové režimy i odstavený, otvorený reaktor).

Tie scenáre, v ktorých je činnosťou systémov bloku zabránené závažnému poškodeniu jadrového paliva sú riešené v Kap. 07.02.01.15 tejto bezpečnostnej správy.

V kapitole 4 tejto prílohy sú uvedené analýzy vybraných jednotlivých iniciačných udalostí, ktoré predstavujú obálkové prípady definovaného spektra scenárov. Pre všetky iniciačné udalosti je uvedený popis priebehu scenára havárie.

V rozsahu udalostí, vychádzajúcich z postulovaných iniciačných udalostí podľa [II.3] bolo - pre splnenie požiadavky f) prílohy č.3, časť B, II., písm. E., ods.(5) vyhlášky ÚJD SR č.430/2011 Z. z. [II.1] (pozri aj text hore) - tiež posúdené prípadné použitie dostupných prostriedkov podpory z iných blokov s podmienkou, že nebude ohrozená bezpečná prevádzka týchto blokov. Ako je zrejmé z Kap. 6.12 tejto BS [I.2], sú všetky systémy, použité v scenároch pre riadenie ťažkých havárií buď samostatné pre každý blok alebo sú projektované na súčasný vznik a priebeh havárie na oboch blokoch (napr. systém pre dodávku chladiva z externých zdrojov má dodávaciu kapacitu dostačujúcu pre obidva bloky, podobne aj systém elektrického napájania pre ťažké havárie umožňuje rôzne variácie zapojenia pre všetky kombinácie porúch, pričom je dimenzovaný aj pre zvládanie súčasne prebiehajúcich havárií na oboch blokoch).

2.3 Zásahy prevádzkového personálu

V priebehu scenára, do dosiahnutia stavu vzniku podmienok pre ťažkú haváriu nie sú uvažované žiadne zásahy obsluhy bloku do priebehu procesu.

Po prechode bloku do ťažkej havárie sa predpokladá ukončenie využívania predpisov EOPs a podľa kritérií a postupov, špecifikovaných v [I.6], [I.7] alebo [I.8] (podľa typu a vývoji havárie, ECA-0.0, FR-S.1 alebo FR-C.1) prechod do návodov SAMG, konkrétne do návodu SACRG-1 [I.5]. Činnosť operátora, najmä jej časová súslednosť a zapájanie jednotlivých systémov je určená týmto návodom a ostatnými nadväzujúcim a súvisiacimi návodmi SAMG (napríklad [I.3], [I.4]).

Iniciačné kritériá a použité časové oneskorenia aktivácie jednotlivých systémov sú uvedené v kapitole 3.

2.4 Popis výpočtových programov a modelov

Analýzy vybraných scenárov ťažkých havárií boli vykonané výpočtovým programom MELCOR, ktorého popis je uvedený v [III.2] a kapitole "7.2.1.1.6.2.1 Popis výpočtového programu MELCOR a jeho validácie".

Pre výpočet radiačných následkov pri havarijnom úniku RaL do atmosféry bol použitý program COSYMA.

Program MELCOR

Program MELCOR je integrovaný program pre riešenie inžinierskych problémov v oblasti T-H procesov v HZ ľahkovodných reaktorov, vrátane ťažkých havárií. Jeho súčasné použitie zahŕňa komplexne problematiku procesov v HZ až do predpovede zdrojového člena pri ťažkých haváriách, v širokom spektre problematiky modelovania procesov a havárií na blokoch jadrových elektrární.

Program obsahuje algoritmy pre modelovanie T-H procesov v priebehu prevádzky, prechodových procesov, projektových až ťažkých havárií varných aj tlakovodných reaktorov na jednotnom teoretickom a algoritmickom základe. Algoritmy programu sú rozdelené do niekoľkých skupín, podľa oblasti riešenej problematiky. To výrazne zlepšuje orientáciu vo výpočtových modeloch a zefektívňuje prípravu vstupných dát.

Sú riešené nasledujúce oblasti:

- T-H procesy v primárnom systéme,
- T-H procesy v šachte reaktora,
- odozva hermetických priestorov na zmeny parametrov,
- tepelné zmeny, nahrievanie, degradácia a relokácia aktívnej zóny,
- interakcia roztavených materiálov AZ s betónom šachty reaktora,
- produkcia vodíka, jeho transport a horenie,
- uvoľňovanie a transport štiepných produktov,
- vplyv bezpečnostných systémov na termohydrauliku systému a na generáciu a šírenie rádionuklidov.

Program MELCOR je používaný a medzinárodne uznávaný na celom svete pre analýzy ťažkých havárií. Existuje veľmi veľký počet dokumentov prezentujúci výsledky jeho validácie. Príslušné referencie sú k dispozícii napr. na <http://melcor.sandia.gov/> , na <http://www.osti.gov/energycitations/advancedsearch.jsp> alebo v mnohých iných zdrojoch.

Pre analýzy odozvy bloku na ťažké havárie bol vytvorený podrobný trojslučkový výpočtový model bloku JE MO34, označený MO34-v131.ms. Model obsahuje jednotlivú HCS s kompenzátorom objemu, dvojnásobnú a trojnásobnú HCS. Model obsahuje všetky systémy potrebné pre modelovanie scenárov ťažkých havárií vrátane navrhovaných modifikácií v rámci zodolnenia bloku voči ťažkým haváriám. Model bol prispôsobený pre rozsah aplikácie pre MO34, t.j. najmä pre modelovanie etapy ťažkých havárií bez poškodenia integrity TNR a pre horenie/autokatalytickú rekombináciu vodíka vo vnútri HZ.

Model bol validovaný pre prevádzku na nominálnom výkone a na známych dátach z prevádzkových udalostí z iných elektrární s reaktormi VVER440 najmä z referenčnej elektrárne EMO12. Model bol verifikovaný pomocou porovnania výpočtový program-výpočtový program s výpočtovými programami RELAP5, MAAP4-VVER a ASTEC. Prístup k modelovaniu použitý pri vývoji modelu bol verifikovaný v medzinárodnom projekte SARNET2, [III.16].

V modeli je dvanásť barbotážnych žľabov zoskupených do piatich skupín. Skupiny 1,2,3 reprezentujú deväť vrchných žľabov, po tri žľaby v každej skupine. skupina 4 reprezentuje dva žľaby a skupina 5 reprezentuje najspodnejší žľab. Drenáž žľabov barbotážneho systému počas prechodu do SAMG je vykonaná zdrenážovaním žľabov zo skupín 1 až 4 do najnižšie položeného žľabu (skupina 5).

Detailnejší popis modelu je uvedený v [I.11].

Systém programov COSYMA - ocenenie rádiologických následkov

Základom pravdepodobnostného systému programov COSYMA [III.6], [III.7] a [III.8] (*Pozn.: program COSYMA je použitý v súlade s Kap. 05.01 [I.14] PpBS MO34*) sú výsledky projektu MARIA - Methods for Assessing the Radiological Impact of Accidents, cieľom ktorého bolo vyvinúť metódy na hodnotenie rádiologických následkov havárií. Systém programov COSYMA (Code System for MARIA) bol vytvorený na pracoviskách FZK (Nemecko) a NRPB (Veľká Británia).

Systém programov COSYMA sa skladá z troch základných podsystémov, z ktorých každý počíta iný typ následkov s rôznymi difúznymi modelmi pre rôzne vzdialenosti a umožňuje:

- výpočet krátkodobých dávok, akútnych zdravotných efektov a vplyvu krátkodobých ochranných opatrení v okolí JE s polomerom sledovanej oblasti menším ako 50 km,
- výpočet dlhodobých dávok, chronických zdravotných efektov a vplyvu dlhodobých ochranných opatrení v okolí JE s polomerom sledovanej oblasti menším ako 50 km,
- výpočet dlhodobých dávok, chronických zdravotných efektov a vplyvu dlhodobých ochranných opatrení v okolí JE s polomerom sledovanej oblasti väčším ako 50 km a menším ako 3000 km.

Každý podsystém sa skladá z hlavného programu a niekoľkých modulov, ktoré sú volané z hlavného programu.

3 KRITÉRIÁ PRIJATEĽNOSTI PRE ŤAŽKÉ HAVÁRIE

Odporúčané kritériá pre deterministické analýzy bezpečnosti udalostí v kategórii havárie v podmienkach rozšíreného projektu sú uvedené v prílohe návodu [II.3], v bode II.3 návodu. Kritériá sú zamerané na preukázanie účinného riadenia havárií, predchádzanie vzniku havárií, zmiernenie následkov havárií a zvyšovanie bezpečnosti jadrového zariadenia. Preventívne alebo zmierňujúce opatrenia nemusia zahŕňať aplikáciu konzervatívneho prístupu k zaisteniu jadrovej bezpečnosti.

Ťažké havárie sú také udalosti, v ktorých došlo k závažnému poškodeniu paliva. Z tejto charakteristiky vyplýva, že pre ne nie je relevantné kritérium DEC1 v prílohe II, bode II.3 návodu [II.3]. Pre hodnotenie ťažkých havárií sú preto odporúčané nasledujúce kritériá prijateľnosti:

DEC2 Pre havarijný scenár s nezanedbateľnou pravdepodobnosťou výskytu nedôjde k zlyhaniu ochrannej obálky jadrového reaktora následkom jej tlakového a teplotného zaťaženia. Funkčnosť ochrannej obálky jadrového reaktora môže byť analyzovaná na základe realistického prístupu.

Pre potreby hodnotenia bezpečnosti v uvedenej bezpečnostnej správe sú pre splnenie kritéria DEC2 uvažované nasledovné kritériá:

- neprekročenie termodynamického tlaku $350 \text{ kPa}^{\text{abs}}$ v HZ. Uvedený tlak je definovaným cieľom projektu elektrárne a zodpovedá kvantilu 5% pravdepodobnosti zlyhania integrity HZ [I.9].
- neprekročenie celkového tlaku $500 \text{ kPa}^{\text{abs}}$ v betónovej šachte reaktora, [I.9]. Celkový tlak sa skladá z termodynamického tlaku a z hydrostatického tlaku v šachte reaktora.
- neprekročenie tlaku AICC v miestnostiach HZ susediacich s hermetickou hranicou HZ, v ktorých je možná, v čase vyhodnocovania lokálnych tlakových špičiek tlaku AICC, propagácia horenia horľavých plynov (najmä vodíka); t.j. tlaku AICC $350 \text{ kPa}^{\text{abs}}$. Propagácia horenia sa považuje za možnú, ak je koncentrácia vodíka nad 4% a zároveň koncentrácia pary pod 55% a zároveň koncentrácia kyslíka nad 5%; všetky koncentrácie sú v % objemových.

DEC3 Nedôjde k okamžitým zdravotným následkom na obyvateľstvo. Výpočtové hodnoty radiačných dávok sú porovnávané so zásahovými úrovňami pre neodkladné a následné opatrenia. Na základe výsledkov týchto porovnaní sú navrhnuté opatrenia na zvýšenie bezpečnosti jadrového zariadenia a sú odporúčané opatrenia na ochranu obyvateľstva v okolí havarovaného jadrového zariadenia. Príslušné zásahové úrovne sú stanovené na základe údajov uvedených v prílohe č.10 k nariadeniu vlády SR č.345/2006 Z. z. o základných bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pracovníkov a obyvateľov pred ionizujúcim žiarením.

Zásahové úrovne sú uvedené v kapitole 05.01 tejto bezpečnostnej správy.

Pre potreby hodnotenia bezpečnosti v uvedenej bezpečnostnej správe sú pre splnenie kritéria DEC3 uvažované uvedené hodnoty efektívnych dávok:

Za hranicou ochranného pásma je efektívna dávka:

- < 50 mSv/7 dní - pozri pozn. a),
- < 30 mSv/30 dní - pozri pozn. b),
- < 100 mSv/50 rokov - pozri pozn. c).

- a) Zásahová úroveň pre evakuáciu, ktorá má byť zavedená v skorej fáze havárie, t.j. v čase, kedy je očakávaný významný únik RaL do okolia JE, je založená na prognózovanej efektívnej dávke zo všetkých relevantných ciest ožiarenia (z oblaku, depozitu, inhalácie z prechádzajúceho rádioaktívneho oblaku a z inhalácie aerosólov z resuspenzie, bez ingescie) za 7 dní.
- b) Zásahová úroveň pre dočasné presídlenie (relokáciu) obyvateľstva, vo fáze havárie po skončení úniku, je založená na prognózovanej dávke z depozitu a z inhalácie z resuspenzie aerosólov za 30 dní (bez ingescie).
- c) Zásahová úroveň pre trvalé presídlenie je založená na prognózovanej dávke z depozitu a z inhalácie z resuspenzie aerosólov za 50 rokov. Dávky z ingescie kontaminovaných potravín nie sú uvažované.

Výber obáľkových scenárov ťažkých havárií pre deterministické analýzy bol založený na pravdepodobnostnom prístupe (navyše k uvažovaniu projektových a prevádzkových opatrení na prevenciu veľkých únikov), [I.10], v súlade s platnou legislatívou, [II.3]. Berúc do úvahy výsledky týchto analýz, udalosti so zanedbateľnou pravdepodobnosťou výskytu (napríklad únik chladiva s obtokom kontejnmentu, strata chladienia pri otvorení reaktore alebo v bazéne skladovania vyhoreného paliva) boli vylúčené zo zoznamu uvažovaných ťažkých havárií pre deterministické analýzy bezpečnosti ako prakticky vylúčené udalosti.

4 ODOZVA JE NA NÁSLEDKY ŤAŽKÝCH HAVÁRIÍ

K dispozícii sú všetky opatrenia a systémy pre zmiernenie následkov ťažkých havárií. Scenár havárie je simulovaný s modelovaním zásahov operátora podľa návodu SACRG-1 z návodov na zmierňovanie následkov ťažkých havárií (SAMG).

4.1 Dlhodobá strata vnútorných zdrojov i vonkajších zdrojov elektrického napájania počas špecifikovanej doby

4.1.1 Charakteristika udalosti

Scenár je charakterizovaný úplnou dlhodobou stratou elektrického napájania všetkých elektricky napájaných systémov bloku pri prevádzke bloku na nominálnom výkone.

Nevyhnutná elektrická energia pre zásahy operátora a spustenie systémov pre zmiernenie následkov ťažkých havárií je dodávaná z núdzového zdroja elektrickej energie pre potreby ťažkých havárií.

4.1.2 Použité kritériá prijateľnosti

Aplikovateľné sú kritériá prijateľnosti DEC2 a DEC3.

4.1.3 Špecifikácia analyzovaných variantov vrátane počiatočných a okrajových podmienok

Analyzovaný je jeden variant scenára straty všetkých zdrojov elektrického napájania:

Variant: BLACKOUT-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS.

- V priebehu vykonávania predpisov EOP sa nepodarilo operátorom spustiť žiadne zariadenie ani obnoviť činnosť žiadneho zariadenia s dopadom na priebeh havárie.
- V prechodovom kroku z EOP do SAMG pri dosiahnutí teploty 800°C na výstupe z AZ je úspešne otvorený odtlakovací ventil KO, úspešne otvorené všetky ventily drenáže žľabov barbotážnej veže a následne je zaplavená betónová šachta reaktora a je zabezpečené chladenie tlakovej nádoby reaktora s vonkajšej strany.
- Počas vykonávania predpisu SACRG-1 je úspešne spustená dodávka vody z externých zdrojov do sprchového systému HZ.
- Po vyčerpaní inventára vonkajších zdrojov chladiva sa neuvažuje doplnenie nádrží chladivom.
- Po 3 dňoch od iniciácie havárie je úspešne spustený sprchový systém HZ.
- Spustenie sprchového systému HZ a následný pokles tlaku iniciuje otvorenie rušičov vákua na všetkých plynojemoch.

4.1.4 Popis a rozbor výsledkov

V tabuľke 4.1-1 je uvedený prehľad významných udalostí v priebehu havárie.

Tab. 4.1-1 Prehľad udalostí počas havárie - BLACKOUT-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS

Čas od IU	Udalosť
0 s	iniciačná udalosť - strata elektrického napájania
0 s	odstavenie reaktora signálom "Odstavenie 4 a viac HCČ", signál RTS "U214"
10 s	zatvorenie RZV TG – odstavenie turbín
23 230 s	tlak v I.O. > 14,18 MPa ^{abs} , prvé otvorenie PV KO
34 120 s	začiatok oxidácie povrchu palivových prútikov, začiatok produkcie vodíka
34 398 s	teplota na výstupe z AZ > 800°C, vstup do SAMG
34 398 s	otvorenie odtlakovacieho ventilu KO
34 398 s	drenáž žľabov barbotážnej veže na podlahu boxu PG
35 080 s	hydroakumulátory začínajú dodávať vodu do I.O.
35 223 s	spustenie dodávky z externých zdrojov vody do sprchového systému
35 238 s	zaplavenie betónovej šachty reaktora
35 560 s	hydroakumulátory sú vyprázdnené
45 482 s	koniec sprchovanie HZ s externého zdroja, nádrže externého zdroja sú vyčerpané
58 628 s	pretavenie nosnej dosky aktívnej zóny, relokácia kória do DZK
259 200 s	spustenie sprchového systému HZ
272 200 s	otvorenie rušičov vákua - tlak v plynojemoch > tlak v HZ + 120 kPa
288 000 s	koniec výpočtu (80 hodín)

Následkom straty napájania prichádza k odstaveniu reaktora signálom AO1 "Odstavenie 4 a viac HCČ", signál RTS "U214". Výkon reaktora je po odstavení určovaný zostatkovým výkonom z rozpadu štiepných produktov. Prirodzenou cirkuláciou chladiva v I.O. je výkon reaktora odvádzaný do PG. Následkom toho dochádza k vyparovaniu vodného obsahu sekundárnej strany PG a zvyšovaniu tlaku na sekundárnej strane PG. Tlak na sekundárnej strane PG rastie až do otvorenia PV PG. Po poklese hladiny v PG pod teplovýmenný rúrkový zväzok PG postupne klesne aj tlak v PG na sekundárnej strane. Tlak v I.O. v procese vyparovania chladiva z PG postupne klesá. Po kritickom poklese hladiny v PG pod teplovýmenný rúrkový zväzok prestane byť z I.O. dostatočne odvádzaný zostatkový výkon uvoľňovaný palivom a z tohto dôvodu začne tlak v I.O. opäť rásť až dosiahne otvárací tlak PV KO. Tlak v I.O. začne oscilovať podľa otváracej charakteristiky PV KO a to až do otvorenia systému odtlakovania určeného pre TH.

Chladivo I.O. uniká cez PV KO (a neskôr cez systém odtlakovania pre TH) do HZ. Vytvárajúca sa parná bublina pod vekom TNR vytláča chladivo do KO. V dôsledku vytvárania parnej bubliny pod vekom TNR, klesá hladina v TNR. V čase cca. 27 000 s prichádza, v dôsledku úniku chladiva z I.O., k prerušeniu prirodzenej cirkulácie

v I.O. Po poklese hladiny v tlakovej nádobe reaktora sa začne AZ prehrievať a následne rozpadáť. Nárast teploty pokrytia paliva a prítomnosť vodnej pary umožňuje oxidáciu pokrytia paliva i konštrukčných prvkov v TNR. Nakoľko sa jedná o exotermickú chemickú reakciu s produkciou vodíka, je celý proces nahrievania paliva touto reakciou akcelerovaný.

K prvému porušeniu pokrytia paliva a uvoľneniu plynov spod pokrytia paliva dochádza v 34 300. s procesu. Prehrievanie nosnej dosky AZ v dôsledku popadaných trosiek vedie k jej zlyhaniu v 58 628. s procesu. Pád kória na dno TNR v dôsledku porušenia nosnej dosky AZ urýchlí proces vysušovania TNR a nahrievania dna TNR.

Tlak v HZ, začne rásť po otvorení PV KO. Proces sa ďalej akceleruje po otvorení systému na odtlakovanie v režime ťažkej havárie. V HZ rastie koncentrácia pary a vodíka. Nárast koncentrácie vodíka vedie k postupnému nábehu funkcie rekombinátorov, prípadne k zahoreniu vodíka po dosiahnutí koncentrácie vodíka 10% (v dôsledku teplotných efektov činnosti rekombinátorov). V dôsledku horenia vodíka dochádza k jednotlivým tlakovým a teplotným špičkám v HZ. V priebehu horenia vodíka dochádza k nárastu mólových podielov pary a poklesu mólového podielu kyslíka. Po horeniach vodíka sa tiež časť plynov z HZ vytlačí do plynojemov, kde sa zvýši tlak.

Počas priebehu havárie je iniciovaná dodávka vody z externých zdrojov do sprchového systému HZ. Po vyčerpaní vodného obsahu nádrží je sprchovanie HZ využitím externých zdrojov vody ukončené. Sprchový systém HZ je spustený po troch dňoch od iniciačnej udalosti. Po prekročení tlakového rozdielu 120 kPa medzi plynojemami a HZ sú otvorené rušiče vákuu.

Dosiahnutý tlak po AICC zhorení vodíka reprezentuje tlak po úplnom zhorení vodíka v danej miestnosti HZ bez prenosu hmoty i energie do okolitých miestností a do okolitých tepelných štruktúr. Tlak AICC je tlak dosiahnutý v danom priestore HZ, ak by v tomto okamihu bolo iniciované horenie vodíka v tomto priestore HZ. Modelovaný tlak je však platný iba v prípade, že sú splnené ostatné podmienky na horenie vodíka (pozri kap. 3.).

Výpočet bol ukončený v čase 288 000 s, t.j. v čase 80 hodín po iniciácii havárie. Grafické znázornenie výsledkov je uvedené v dokumente [I.18].

Súhrnné zhodnotenie tlakových vplyvov havárie na HZ

Maximálny tlak dosiahnutý v HZ počas analýzy je 229 kPa^{abs} v kontajnermente a 299 kPa^{abs} v šachte reaktora. Horenie vodíka je modelované podľa štandardných nastavení algoritmického modulu BUR (horenie vodíka) výpočtového programu MELCOR. Celková produkcia vodíka je 449 kg.

Samostatným modulom bol vyhodnocovaný AICC tlak v HZ vo vybraných miestnostiach (susediacich s hermetickou hranicou HZ). Vyhodnocovaný tlak AICC dosiahol maximálnu hodnotu 295 kPa^{abs}.

Vyhodnotenie zdrojového člena

Únik štiepných produktov z I.O. do HZ začína po porušení pokrytia palivových prútikov. Únik RaL do okolia formuje zdrojový člen pre výpočet dávok pre reprezentatívnu osobu a je umožnený vyšším tlakom v HZ než je tlak v okolí HZ.

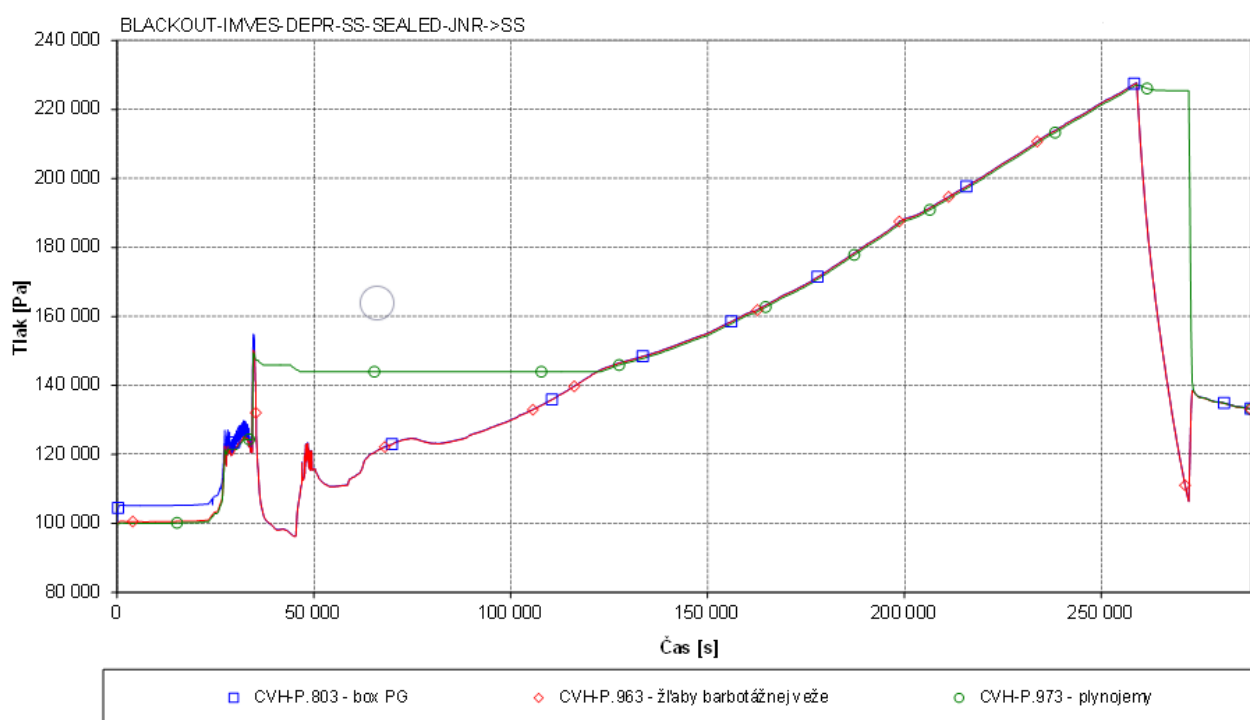
Detailné charakteristiky zdrojového člena do okolia JE sú pre scenár ŤH BLACKOUT-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS (vstupné dáta pre program COSYMA) uvedené v [I.18].

V súlade s metodikou [III.1] sú v zdrojovom člene do okolia JE v podmienkach ŤH uvažované nasledujúce formy jódu: 90% v elementárnej - molekulárnej forme (I₂) a 10% v organickej forme (CH₃I).

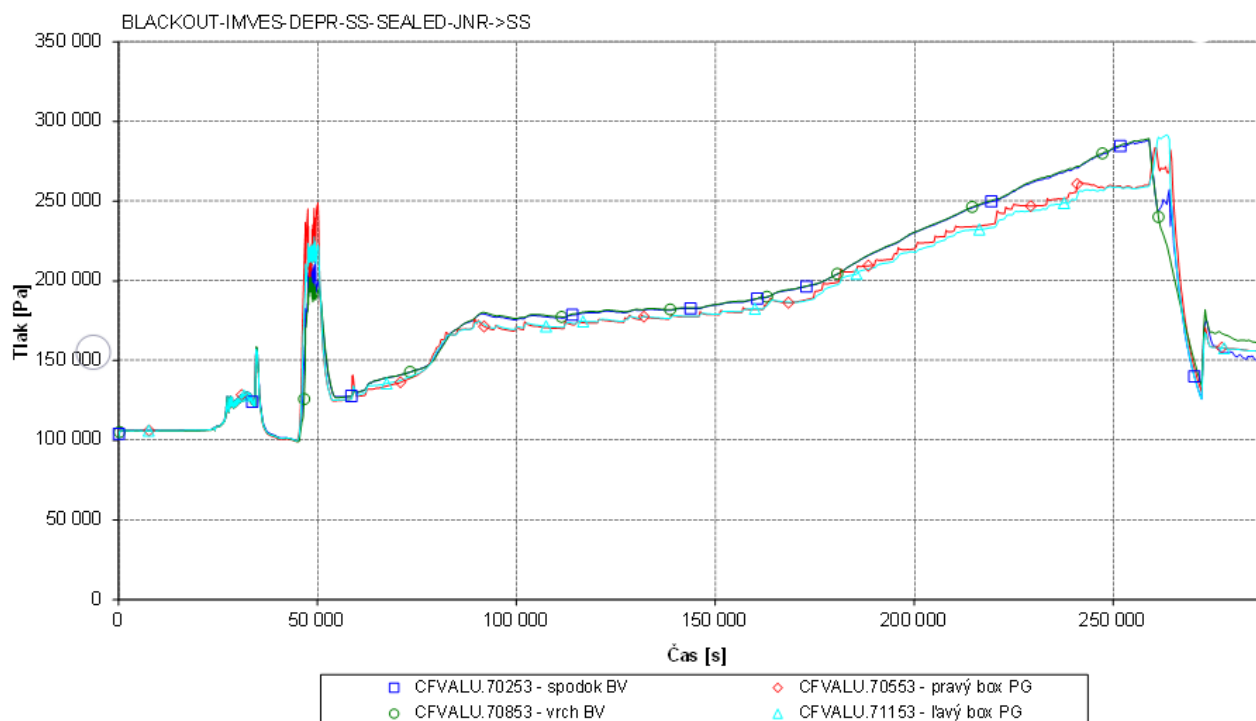
4.1.5 Vyhodnotenie kritérií prijateľnosti DEC2**Tab. 4.1-2 Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC2**

Kritérium prijateľnosti DEC2	Hodnota
Maximálny termodynamický tlak v HZ < 350 kPa ^{abs}	229 kPa ^{abs}
Maximálny celkový tlak v šachte reaktora < 500 kPa ^{abs}	299 kPa ^{abs}
Maximálny AICC tlak < 350 kPa ^{abs} , ak je možná propagácia horenia horľavých plynov	295 kPa ^{abs}

Priebehy parametrov vo väzbe na kritériá prijateľnosti dokumentujú nasledujúce grafy.



Obrázok 1 Pribeh tlaku v reprezentatívnych objemoch kontejneru



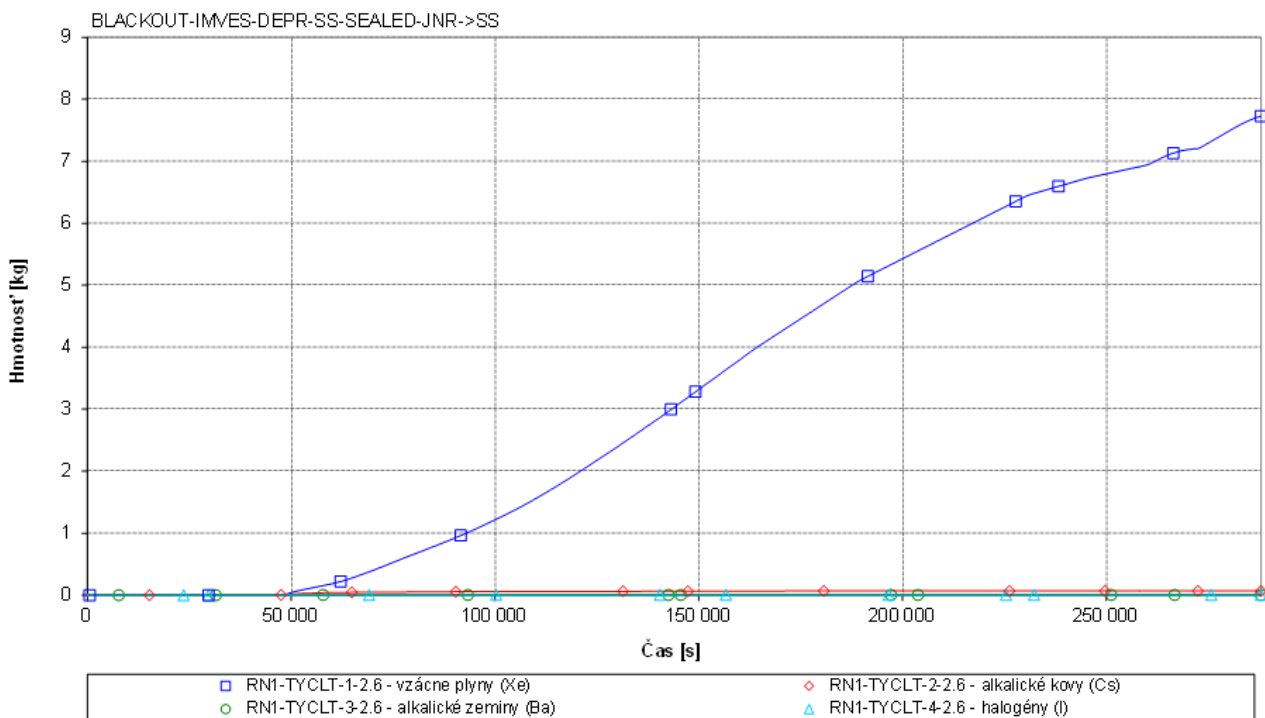
Obrázok 2 Pribeh tlaku AICC v reprezentatívnych objemoch kontejneru

Na základe dosiahnutých výsledkov analýz obálkového scenára možno konštatovať, že **kritérium prijateľnosti DEC2 bolo splnené**.

Detailné výsledky analýz radiačných následkov pre scenár ŤH BLACKOUT-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS sú uvedené v [I.18].

4.1.6 Vyhodnotenie kritérií prijateľnosti DEC3

Úniky RaL do okolia bloku dokumentujú pre analyzovaný obálkový scenár nasledujúce grafy:



Obrázok 3 Úniky RaL vzácne plyny, alkalické kovy, alkalické zeminy a halogény do okolia bloku

Výpočet dávok pre reprezentatívnu osobu bolo vykonané pomocou programu COSYMA. Dosiahnuté výsledky dokumentujú nasledujúce tabuľky:

Tab. 4.1-3 Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC3 pre vekovú skupinu dospelí

Kritérium prijateľnosti DEC3	Stredná hodnota	95% kvantil
Individuálna efektívna dávka mimo zóny ohrozenia < 50 mSv/7 dní - pozri pozn. a),	2 km: 0,404 mSv 3 km: 0,209 mSv	2 km: 2,188 mSv 3 km: 1,122 mSv
Individuálna efektívna dávka mimo zóny ohrozenia < 30 mSv/30 dní - pozri pozn. b),	2 km: 0,211 mSv 3 km: 0,109 mSv	2 km: 1,133 mSv 3 km: 0,581 mSv
Individuálna efektívna dávka mimo zóny ohrozenia < 100 mSv/50 rokov - pozri pozn. c).	2 km: 1,116 mSv 3 km: 0,617 mSv	2 km: 5,690 mSv 3 km: 3,072 mSv

a) Zášahová úroveň pre evakuáciu, ktorá má byť zavedená v skorej fáze havárie, t.j. v čase, kedy je očakávaný významný únik RaL do okolia JE, je založená na prognózovanej efektívnej dávke zo všetkých ciest

ožiarenia (z oblaku, depozitu, inhalácie z prechádzajúceho rádioaktívneho oblaku a z inhalácie aerosólov z resuspenzie, bez ingescie) za 7 dní.

b) Zásahová úroveň pre dočasné presídlenie (relokáciu) obyvateľstva v prechodnej fáze havárie, ktoré má byť zavedené po skončení úniku, je založená na prognózovanej dávke z depozitu a z inhalácie z resuspenzie aerosólov za 30 dní (bez ingescie).

c) Zásahová úroveň pre trvalé presídlenie je založená na prognózovanej dávke z depozitu a z inhalácie z resuspenzie aerosólov za 50 rokov. Dávky z ingescie kontaminovaných potravín nie sú uvažované

Výsledky ocenenia 7-dňových integrálnych dávok s uvažovaním konverzných dávkových faktorov pre inhaláciu podľa Nariadenia vlády SR č. 345/2006 Z.z. [II.9] sú uvedené v Tab. 4.1-4.

Tab. 4.1-4 Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC3 pre vekovú skupinu dospelí a 7-dňové integrálne dávky (dávkové faktory pre inhaláciu podľa NV SR č. 345/2006 Z.z.)

Kritérium prijateľnosti DEC3	Stredná hodnota	95% kvantil
Individuálna efektívna dávka mimo zóny ohrozenia < 50 mSv/7 dní)	2 km: 1,001 mSv 3 km: 0,494 mSv	2 km: 5,414 mSv 3 km: 2,650 mSv

V Tab. 4.1-3 a Tab. 4.1-4 uvedené stredné hodnoty prognózovaných efektívnych ID a hodnoty zodpovedajúce 95% kvantilu sa pre vekovú skupinu „dojčatá“ zvýšia v porovnaní s vekovou skupinou dospelí s faktorom neprevyšujúcim hodnotu ~1.35, t.j. aj v tomto prípade je neprekročenie kritéria prijateľnosti DEC3 splnené s dostatočnou rezervou.

Kritérium prijateľnosti DEC3 bolo splnené.

Fyzikálne a technologické vlastnosti blokov JE MO34 spĺňajú požadované podmienky jadrovej bezpečnosti. V prípade vzniku iniciačnej udalosti „Dlhodobá strata vnútorných zdrojov i vonkajších zdrojov elektrického napájania počas špecifikovanej doby“, zaradenej do kategórie havárií v podmienkach rozšíreného projektu, a v prípade prechodu havárie do ťažkej havárie, nenastane porušenie relevantných kritérií prijateľnosti stanovených pre danú kategóriu procesov.

4.2 Únik primárneho chladiva kombinovaný so zlyhaním havarijného chladenia aktívnej zóny

4.2.1 Charakteristika udalosti

Scenár je charakterizovaný stratou chladiva z I.O. a neobnovením dodávky chladiva do I.O..

4.2.2 Použité kritériá prijateľnosti

Aplikovateľné sú kritériá prijateľnosti DEC2 a DEC3.

4.2.3 Špecifikácia analyzovaných variantov vrátane počiatočných a okrajových podmienok

Analyzovaný je iba jeden variant scenára úniku primárneho chladiva kombinovaný so zlyhaním havarijného chladenia aktívnej zóny. Reprezentatívnym scenárom je únik chladiva v dôsledku roztrhnutia hlavného cirkulačného potrubia prvej hlavnej cirkulačnej slučky medzi hlavnou uzatváracou armatúrou a nátrubkom reaktora na studenej vetve slučky. Scenár reprezentuje najrýchlejší možné prechod havárie do ťažkej havárie pre uvažované iniciačné udalosti nakoľko scenár predstavuje najrýchlejšiu stratu chladiva z I.O..

Scenáre úniku chladiva z I.O. cez menšie otvory nie sú analyzované, nakoľko je vo všetkých scenároch ťažkých havárií uvažované odtlakovanie reaktora cez odtlakovací ventil KO pri vstupe do ťažkej havárie, a teda špecifické tlakové podmienky v I.O. počas scenárov ťažkých havárií s malým únikom chladiva z I.O. nie sú relevantné. Priebeh scenára s odtlakovaním I.O. a únikom chladiva cez odtlakovací ventil KO je reprezentovaný analýzou scenára „Dlhodobá strata vnútorných zdrojov i vonkajších zdrojov elektrického napájania počas špecifikovanej doby“.

Variant: LLOCA2x496CL-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS, s nasledujúcimi predpokladmi*.

- Scenár je iniciovaný neizolovaným únikom chladiva z dvoch otvorov priemeru 496mm umiestených na studenej vetve prvej hlavnej cirkulačnej slučky.
- Strata napájania vlastnej spotreby po odstavení reaktora vedie k odstaveniu napájacích čerpadiel parogenerátorov.
- V priebehu vykonávania predpisov EOP sa nepodarilo operátorom spustiť žiadne zariadenie ani obnoviť činnosť žiadneho zariadenia s dopadom na priebeh havárie.
- V prechodovom kroku z EOP do SAMG pri dosiahnutí teploty 1 100 °C na výstupe z AZ je úspešne otvorený odtlakovací ventil KO a úspešne otvorené všetky ventily drenáže žľabov barbotážnej veže.
- Počas vykonávania predpisu SACRG-1 je úspešne spustená dodávka vody z externých zdrojov do sprchového systému HZ a je úspešne vykonané zaplavenie šachty reaktora a chladenie tlakovej nádoby z vonkajšej strany.
- Po vyčerpaní inventára vonkajších zdrojov chladiva sa neuvažuje doplnenie nádrží chladivom.
- Po 3 dňoch od iniciácie havárie je úspešne spustený sprchový systém HZ.
- Spustenie sprchového systému HZ a následný pokles tlaku iniciuje otvorenie rušičov vákua na všetkých plynojemoch.

* Analýza scenára LLOCA uvažuje zásah operátora v časovom intervale do 30 minút od iniciačnej udalosti. S cieľom kvantifikovať dopad uvažovania všetkých zásahov operátora až po 30 minútach od

iniciačnej udalosti bola vykonaná variantná citlivostná analýza. Výsledky citlivostnej analýzy preukázali malý vplyv na výsledky a zanedbateľný vplyv na plnenie kritérií prijateľnosti.

4.2.4 Popis a rozbor výsledkov

V tabuľke 4.2-1 je uvedený prehľad významných udalostí v priebehu havárie.

Tab. 4.2-1 Prehľad udalostí počas havárie - LLOCA2x496CL-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS

Čas od IU	Udalosť
0 s	iniciačná udalosť - únik chladiva z I.O. cez otvor s plochou 0,386441 m ²
0 s	odstavenie reaktora signálom, "Pretlak v HZ>8 kPa a teplota 2/6 horúcich vetvách slučiek je viac ako 140°C", signál DRTS "U315"
0 s	tlak v HZ > 120 kPa ^{abs} - odstavenie HCČ
10 s	zatvorenie RZV TG – odstavenie turbín
16 s	hydroakumulátory začínajú dodávať vodu do I.O.
60 s	hydroakumulátory sú vyprázdnené
505 s	začiatok oxidácie povrchu palivových prútikov, začiatok produkcie vodíka
572 s	porušenie povrchu palivových prútikov – uvoľnenie RaL z medzery pod povrchom
1 409 s	teplota na výstupe z AZ > 1 100°C, vstup do SAMG
1 409 s	otvorenie odtlakovacieho ventilu KO
1 409 s	drenáž žľabov barbotážnej veže na podlahu boxu PG
2 234 s	spustenie dodávky z externých zdrojov vody do sprchového systému
2 249 s	zaplavenie betónovej šachty reaktora
6 698 s	pretavenie nosnej dosky aktívnej zóny, relokácia kória do DZK
259 200 s	spustenie sprchového systému HZ
269 800 s	otvorenie rušičov vákua - tlak v plynojemoch > tlak v HZ + 120 kPa
288 000 s	koniec výpočtu (80 hodín)

Reaktor bol odstavený 0 s po iniciačnej udalosti signálom, "Pretlak v HZ>8 kPa a teplota 2/6 horúcich vetvách slučiek je viac ako 140°C", signál DRTS "U315". Po 10 s od odstavenia reaktora prichádza k uzatvoreniu RZV TG. Po odstavení reaktora poklesne výkon reaktora na úroveň zvyškového výkonu, ktorý s ubehnutým časom klesá.

Bezprostredne po iniciačnej udalosti, t.j. po vzniku netesnosti na studenej vetve 1. HCS, výtok chladiva z I.O. do HZ dosiahne maximálnu hodnotu cca. 13 000 kg/s, avšak okamžite prudko poklesne. Tlak v I.O. počas priebehu scenára poklesne až na hodnotu tlaku v HZ. Poklesom tlaku v I.O. pod 3,5 MPa, prichádza k iniciácii dodávky vody do I.O. z HA. Únik chladiva z I.O. spôsobuje pokles hmotnosti chladiva v I.O. i v TNR, a tým aj pokles hladiny v TNR a v KO. Pokles hmotnosti chladiva v I.O. je zintenzívnený po pretavení nosnej dosky AZ v 6 698. s. Dôsledkom postupného odhalenia AZ je nárast teploty paliva, teploty povrchu i teploty vo vnútornom priestore TNR. Tento nárast je v dôsledku interakcie povrchu palivových prútikov s parou ďalej akcelerovaný

oxidačno-redukčnými chemickými reakciami. V 572. s prichádza k porušeniu pokrytia paliva a následnému uvoľneniu RaL nahromadených v medzere medzi pokrytím a palivom. Pokračujúca degradácia AZ vedie k zvyšovaniu teploty nosnej dosky AZ a následne k jej pretaveniu. Po pretavení nosnej dosky AZ je roztavené kórium relokované do DZK. Prestupom tepla z kória v DZK sa nahrieva dno TNR. Výrazný rast teploty vnútorného povrchu dna TNR je následkom pádu trosiek AZ do DZK. Rast teploty dna TNR nespôsobí zlyhanie TNR nakoľko je TNR chladená z vonkajšej strany vodou zo zaplavenej betónovej šachty reaktora.

V HZ začne tlak stúpať ihneď po iniciácii úniku z I.O. Tlak v HZ prekročí 170 kPa, prichádza k zablokovaniu spätných klapiek na barbotážnom systéme a prichádza k vyliatiu barbotážnych žľabov a tým k pasívnemu sprchovaniu v barbotážnej veži počas poklesu tlaku v kontajnermente podľa projektovej funkcie systému potlačenia tlaku (barbotážneho kondenzátora). Po spustení špecializovaného sprchového systému je dosiahnutý v HZ podtlak. Po vyčerpaní inventára vody z externých zdrojov tlak v HZ opätovne narastá. Chladivo I.O. a voda zo žľabov sa zhromažďuje na dne boxu PG. Lokálne maximum 208 kPa bolo dosiahnuté v 6. s. Ďalšie lokálne tlakové špičky sú spôsobené horením vodíka. V analýzach sa uvažuje so spontánnym zapálením zmesi po prekročení koncentrácie vodíka 10% (ak je splnená podmienka koncentrácie pary do 55% a kyslíka nad 5%); v miestnostiach s inštalovanými rekombinátormi sa uvažuje so zapálením zmesi pri koncentrácii vodíka 7%.

Výpočet bol ukončený v čase 288 000 s, t.j. v čase 80 hodín po iniciácii havárie. Grafické znázornenie výsledkov je na obrázkoch v prílohe 3.4.

Súhrnné zhodnotenie tlakových vplyvov havárie na HZ

Maximálny tlak dosiahnutý v HZ počas analýzy je 266 kPa^{abs} v kontajnermente, 335 kPa^{abs} v šachte reaktora. Celková produkcia vodíka je 467 kg.

AICC tlak v HZ vo vyhodnocovaných miestnostiach (susediacich s hermetickou hranicou HZ) dosiahne max. hodnotu 393 kPa^{abs}. Zároveň však platí, že v týchto miestnostiach nie sú splnené podmienky na horenie vodíka (pozri kap. 3) a preto táto hodnota nie je porušením stanoveného kritéria prijateľnosti.

Vyhodnotenie zdrojového člena

Únik štiepných produktov z I.O. do HZ začína po porušení pokrytia palivových prútikov. Únik RaL do okolia formuje zdrojový člen pre výpočet dávok pre reprezentatívnu osobu a je umožnený vyšším tlakom v HZ než je tlak v okolí HZ.

Detailné charakteristiky zdrojového člena do okolia JE sú pre scenár ŤH LLOCA2x496CL-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS (vstupné dáta pre program COSYMA) uvedené v [I.18]

V súlade s metodikou [III.1] sú v zdrojovom člene do okolia JE v podmienkach ŤH uvažované nasledujúce formy jódu: 90% v elementárnej - molekulárnej forme (I₂) a 10% v organickej forme (CH₃I).

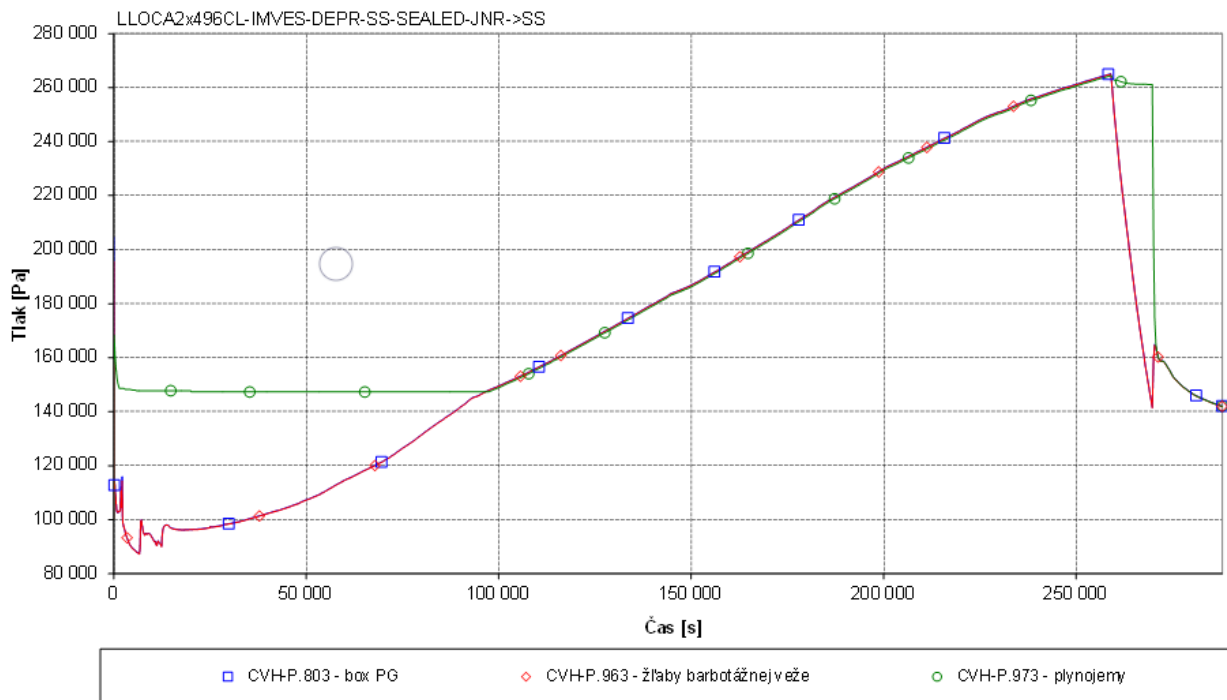
4.2.5 Vyhodnotenie kritérií prijateľnosti DEC2

Tab. 4.2-2 Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC2

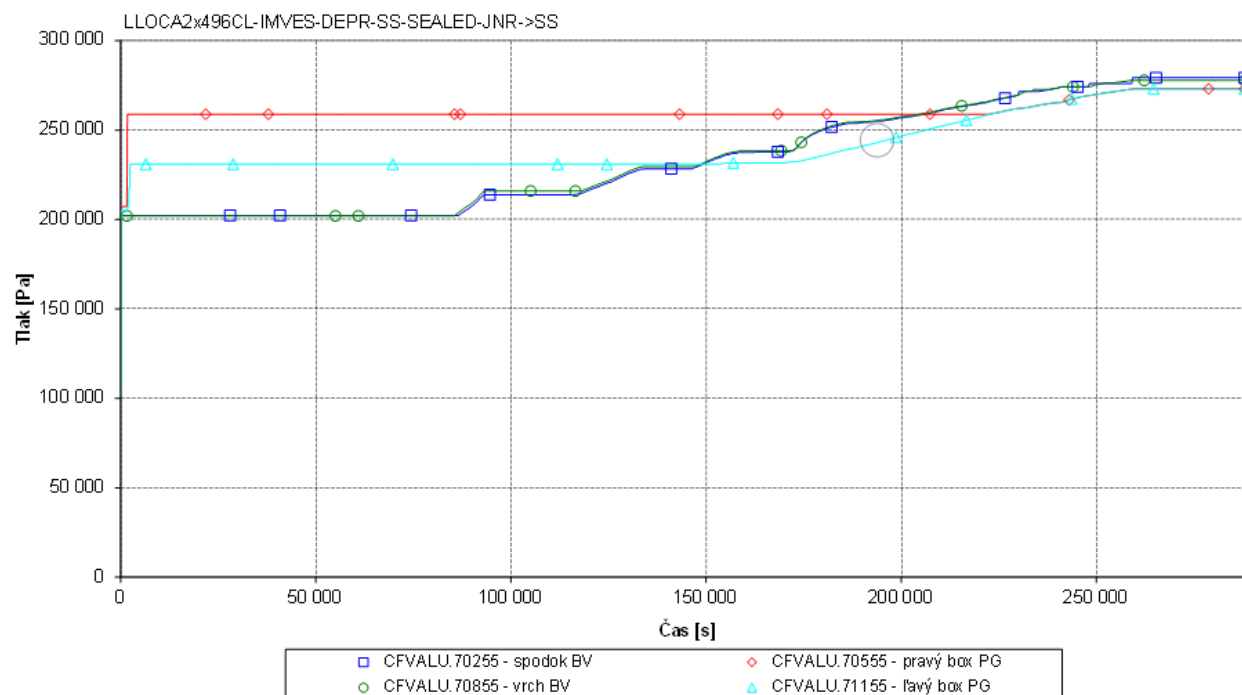
Kritérium prijateľnosti DEC2	Hodnota
Maximálny termodynamický tlak v HZ < 350 kPa ^{abs}	266 kPa ^{abs}
Maximálny celkový tlak v šachte reaktora < 500 kPa ^{abs}	335 kPa ^{abs}
Maximálny AICC tlak < 350 kPa ^{abs} , ak je možná propagácia horenia horľavých plynov	-*
Prekročenie tlaku AICC v miestnosti výpočtového modelu CV973 (225 000 – 270 000 s), max. AICC tlak 393 kPa ^{abs} . Maximálna koncentrácia vodíka < 4% počas trvania doby prekročenia maximálneho tlaku AICC podľa kritéria prijateľnosti.	
Maximálna koncentrácia vodíka v objeme CV973 počas priebehu scenára.	1,5%

* Vzhľadom na prekročenie teoretického maximálneho AICC tlaku je v miestnosti CV973 (225 000-270 000 s) bola doplnkovo analyzovaná koncentrácia vodíka na kontrolu možnej propagácie horenia vodíka. Nakoľko však maximálna koncentrácia v objeme CV973 dosahuje iba 1,5%, nie je kritérium propagácie horenia vodíka splnené a k prekročeniu dovoleného tlaku v dôsledku prípadného horenia vodíka nedochádza.

Priebehy parametrov vo väzbe na kritériá prijateľnosti dokumentujú nasledujúce grafy.



Obrázok 4 Priebeh tlaku v reprezentatívnych objemoch kontejmentu



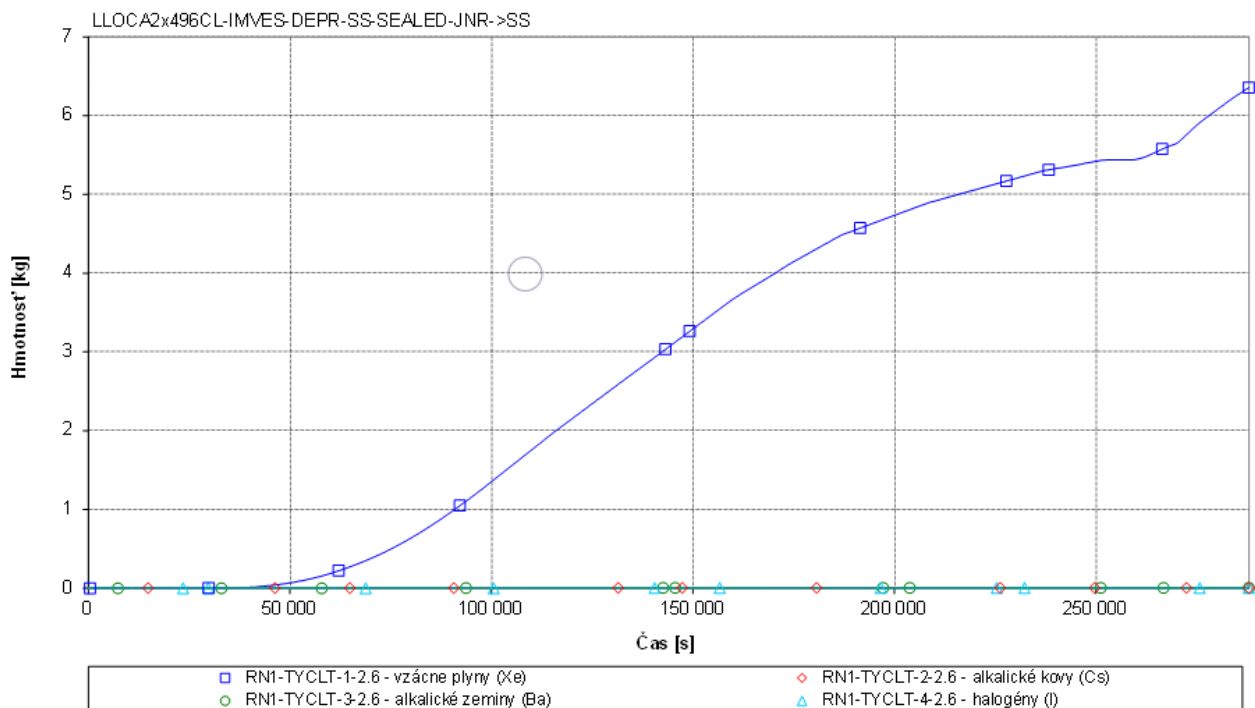
Obrázok 5 Priebeh tlaku AICC v reprezentatívnych objemoch kontejmentu

Na základe dosiahnutých výsledkov analýz obáľkového scenára možno konštatovať, že **kritérium prijateľnosti DEC2 bolo splnené**.

Detailné výsledky analýz radiačných následkov pre scenár ŤH LLOCA2x496CL-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS sú uvedené v [I.18].

4.2.6 Vyhodnotenie kritérií prijateľnosti DEC3

Úniky RaL do okolia bloku dokumentujú pre analyzovaný obáľkový scenár nasledujúce grafy:



Obrázok 6 Úniky RaL vzácne plyny, alkalické kovy, alkalické zeminy a halogény do okolia bloku

Výpočet dávok pre reprezentatívnu osobu bolo vykonané pomocou programu COSYMA. Dosiahnuté výsledky dokumentujú nasledujúce tabuľky:

Tab. 4.2-3 Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC3 pre vekovú skupinu dospelí

Kritérium prijateľnosti DEC3	Hodnota (mean)	Hodnota (95%)
Individuálna efektívna dávka vo vzdialenosti 2 km < 50 mSv/7 dní - pozri pozn. a),	2 km: 0,203 mSv 3 km: 0,109 mSv	2 km: 1,122 mSv 3 km: 0,603 mSv
Individuálna efektívna dávka vo vzdialenosti 2 km < 30 mSv/30 dní - pozri pozn. b),	2 km: 0,076 mSv 3 km: 0,041 mSv	2 km: 0,396 mSv 3 km: 0,217 mSv
Individuálna efektívna dávka vo vzdialenosti 2 km < 100 mSv/50 rokov - pozri pozn. c).	2 km: 0,175 mSv 3 km: 0,094 mSv	2 km: 0,940 mSv 3 km: 0,505 mSv

a) Zásahová úroveň pre evakuáciu, ktorá má byť zavedená v skorej fáze havárie, t.j. v čase, kedy je očakávaný významný únik RaL do okolia JE, je založená na prognózovanej efektívnej dávke zo všetkých

ciest ožiarenia (z oblaku, depozitu, inhalácie z prechádzajúceho rádioaktívneho oblaku a z inhalácie aerosólov z resuspenzie, bez ingescie) za 7 dní.

- b) Zásahová úroveň pre dočasné presídlenie (relokáciu) obyvateľstva v prechodnej fáze havárie, ktoré má byť zavedené po skončení úniku, je založená na prognózovanej dávke z depozitu a z inhalácie z resuspenzie aerosólov za 30 dní (bez ingescie).
- c) Zásahová úroveň pre trvalé presídlenie je založená na prognózovanej dávke z depozitu a z inhalácie z resuspenzie aerosólov za 50 rokov. Dávky z ingescie kontaminovaných potravín nie sú uvažované.

Výsledky ocenenia 7-dňových integrálnych dávok s uvažovaním konverzných dávkových faktorov pre inhaláciu podľa Nariadenia vlády SR č. 345/2006 Z.z. [II.9] sú uvedené v Tab. 4.2-4.

Tab. 4.2-4 Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC3 pre vekovú skupinu dospelí a 7-dňové integrálne dávky (dávkové faktory pre inhaláciu podľa NV SR č. 345/2006 Z.z.)

Kritérium prijateľnosti DEC3	Stredná hodnota	95% kvantil
Individuálna efektívna dávka mimo zóny ohrozenia < 50 mSv/7 dní)	2 km: 0,367 mSv 3 km: 0,195 mSv	2 km: 2,032 mSv 3 km: 1,080 mSv

V Tab. 4.2-3 a Tab. 4.2-4 uvedené stredné hodnoty prognózovaných efektívnych ID a hodnoty zodpovedajúce 95% kvantilu sa pre vekovú skupinu „dojčatá“ zvyšujú v porovnaní s vekovou skupinou dospelí s faktorom neprevyšujúcim hodnotu ~1.25, t.j. aj v tomto prípade je neprekročenie kritérií prijateľnosti splnené s dostatočnou rezervou.

Kritérium prijateľnosti DEC3 bolo splnené.

Fyzikálne a technologické vlastnosti blokov JE MO34 spĺňajú požadované podmienky jadrovej bezpečnosti. V prípade vzniku iniciačnej udalosti „Únik primárneho chladiča kombinovaný so zlyhaním havarijného chladenia aktívnej zóny“, zaradenej do kategórie havárií v podmienkach rozšíreného projektu, a v prípade prechodu havárie do ťažkej havárie, nenastane porušenie relevantných kritérií prijateľnosti stanovených pre danú kategóriu procesov.

5 BEZPEČNOSTNÉ ZHRNUTIE

Predkladany dokument prezentuje splnenie definovaných kritérií prijateľnosti na výsledkoch obálkových prípadov vybraných ťažkých havárií, ktoré reprezentujú skupinu iniciačných udalostí „Iniciačné udalosti v kategórii havárie v podmienkach rozšíreného projektu s tavením paliva“(DEC-B).

Cieľom analýz uvádzaných obálkových prípadov bolo preukázať, že:

- JE sa nedostane do stavu, v ktorom by bola funkcia ochrannej obálky ohrozená alebo nebola dlhodobo udržateľná a tavenina je lokalizovaná a stabilizovaná v ochrannej obálke jadrového reaktora,
- zavedený systém 4. úrovne ochrany do hĺbky bráni skorému úniku rádioaktívnych látok alebo veľkému úniku rádioaktívnych látok do okolia,
- radiácie miesta JE umožňujú vykonávanie požadovaných činností obsluhy v priebehu havárie,
- systémy 4. úrovne ochrany do hĺbky v spolupráci s konštrukciami a komponentmi JE (ochranná obálka a zásahy obsluhy JE uvedené v prevádzkových predpisoch) sú schopné efektívne brániť nekontrolovanému rozvoju ťažkej havárie a efektívne zmieňovať radiačné následky takejto udalosti.

Analýzy obálkových scenárov reprezentujúcich spektrum analyzovaných udalostí preukázali súlad s kritériami prijateľnosti na riadenie udalostí v podmienkach rozšíreného projektu a schopnosť zavedených opatrení v kombinácii s vykonávaním návodov na riadenie ťažkých havárií plniť všetky bezpečnostné požiadavky.

Na základe analýz vykonaných v zhode s nastavenými metodikami hodnotenia možno vysloviť nasledovný záver:

Fyzikálne a technologické vlastnosti blokov MO34 spĺňajú požadované podmienky jadrovej bezpečnosti v legislatívnych predpisoch Slovenskej republiky, Európskeho spoločenstva pre atómovú energiu (Euratom), ako aj odporúčania Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu (MAAE).

V prípade vzniku iniciačnej udalosti zo skupiny „Iniciačné udalosti v kategórii havárie v podmienkach rozšíreného projektu s tavením paliva (DEC-B)“ sú splnené kritériá prijateľnosti stanovené pre danú kategóriu procesov.

LITERATÚRA**I Zdrojové dokumenty, ktoré sú vlastníctvom SE, a.s.**

- [I.1] Kapitola 07.02.00 Súhrn vstupných dát pre deterministické analýzy bezpečnosti, BS MO34, PNM34361102, rev. 03, apríl 2013.
- [I.2] Kapitola 06.12 Systémy na zmiernovanie následkov ťažkých havárií, BS MO34, PNM34361098, december 2013
- [I.3] 3SG/0500 Návod na riešenie ťažkých havárií - dokumentácia 1. úrovne - DFC (3SG/0500 Severe accident management guidelines - 1st level documentation - DFC), dokument SAMG, PNM34370020, december 2013
- [I.4] 3SG/0500 Návod na riešenie ťažkých havárií - dokumentácia 1. úrovne - SCST (3SG/0500 Severe accident management guidelines - 1st level documentation - SCST), dokument SAMG, PNM34370221, december 2013
- [I.5] 3SG/0500 Návod na riešenie ťažkých havárií - dokumentácia 1. úrovne - SACRG 1 (3SG/0500 Severe accident management guidelines - 1st level documentation - SACRG 1), dokument SAMG, PNM34361446, december 2013
- [I.6] (3NS/0300.1 ECA-0.0 Loss of all AC power), dokument EOPs, PNM34366375, december 2013
- [I.7] (3NS/0300.2 FR-C.1 Response to inadequate core cooling), dokument EOPs, PNM34366381, december 2013
- [I.8] (3NS/0300.2 FR-S.1 Response to nuclear power generation - ATWS), dokument EOPs, PNM34366379, december 2013
- [I.9] M. Cvan: Concept of measures for mitigation of severe accident consequences, E022002801T_F2, VUJE, október 2007
- [I.10] J. Procháška: Priebehy havárií a stromy udalostí pre hermetickú zónu, PSA L2 MO34, PNM34361156, september 2013
- [I.11] J. Jančovič a kol.: Model reaktorového bloku VVER440/V213, V01-TS/2997/0220/2010.14
- [I.12] PpBS Kapitola 4.7 Meteorológia, PNM34361014
- [I.13] PpBS Kapitola 11.02 Zdroje ionizujúceho žiarenia, PNM34373965
- [I.14] PpBS Kapitola 05.01 Všeobecné ciele, princípy a požiadavky na projekt JE MO34, PNM34361019
- [I.15] CVAN M. et al: Feasibility of in-vessel molten corium retention for Mochovce 3&4 project, PNM34082141
- [I.16] PROCHÁSKA J.: PNM34361144 Identification and Grouping of Initiating Events/Identifikácia a grupovanie iniciačných udalostí
- [I.17] PNM34069037, T-H analýza iniciačnej udalosti LOCA 2x500 mm pre MO34 s uvažovaním zmeny počiatkovej teploty chladiva v hydroakumulátoroch, Rev. 01, VUJE, február.2023
- [I.18] PpBS Príloha 1, Odozva JE na následky ťažkých havárií, PNM34361612, rev. 04, Apríl 2025

II Legislatívne dokumenty (zákony, vyhlášky, normy, dokumenty MAAE, a pod.)

- [II.1] Zbierka zákonov č. 430/2011, Vyhláška ÚJD SR o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť.
- [II.2] Zbierka zákonov č. 30/2012, Vyhláška ÚJD SR o požiadavkách pri nakladaní s jadrovými materiálmi, rádioaktívnymi odpadmi a vyhoretým jadrovým palivom.
- [II.3] J. Husárček: Požiadavky na deterministické analýzy bezpečnosti, BNS I.11.1/ 2013, ÚJD SR, Bratislava, 2013.
- [II.4] J. Husárček a kol.: Rozsah a obsah bezpečnostnej správy, ÚJD SR, BNS I.1.2/2008, Bratislava, november, 2008.
- [II.5] International Atomic Energy Agency, Accident Analysis for Nuclear Power Plants, Safety Reports Series No. 23, IAEA, Vienna, 2002.
- [II.6] International Atomic Energy Agency, Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors, Safety Reports Series No. 30, IAEA, Vienna, 2003.
- [II.7] Format and Content of the Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-4.1, Vienna, 2004.
- [II.8] Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide No. SSG-2, IAEA, Vienna, 2009.
- [II.9] Nariadenie vlády SR č. 345/2006 Z.z. o základných bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pracovníkov a obyvateľov pred ionizujúcim žiarením.
- [II.10] American National Standard for Decay Heat Power in Light Water Reactors, ANSI/ANS-5,1-1979, 29. august 1979.
- [II.11] ČSKAE - Metódy výpočtu šírenia rádioaktívnych látok z JEZ a ožiarenia okolitého obyvateľstva. Bezpečnosť jaderných zařízení č. 5/1984, ÚISJP Praha.
- [II.12] European Utility Requirements, Rev. D, state 10, Oct. 2012, Vol2 Ch.1
- [II.13] Súhrnná správa SHMÚ pre lokalitu Mochovce 2011, Súhrnná správa pre účely vypracovania licenčnej dokumentácie v rámci projektu Dostavby JE Mochovce, 3. a 4. blok, klimatické a hydrologické pomery a hodnoty rádioaktivity životného prostredia, marec 2011.
- [II.14] United Nations Sources and Effects of Ionizing Radiation UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) 2000, Report Vol. I, Annex A: Dose assessment methodologies, United Nations, New York (refers to the original sources UNSCEAR 1993 a UNSCEAR 1988).
- [II.15] Andersson K.G.: On the current needs in European decision support tools for contaminated areas, Prezentované na First NERIS Platform Workshop "Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery: Implementation of ICRP recommendations", Bratislava, 6.-8.2.2012.
- [II.16] Jacob P., Müller H.M.: GSF - Report, Gesellschaft für Strahlen und Umweltforschung mbH, München (γ - Exposure from Bi-Gaussian Clouds)

III Ostatné zdrojové dokumenty

- [III.1] Bujan A., Kusovská Z.: Metodika a kritériá bezpečnostných analýz pre radiačné havárie a radiačné ohrozenia obyvateľstva, Správa VUJE, a.s. Ev. č. V01-28162/2010.3, 23.02.2012
- [III.2] MELCOR Computer Code Manuals Version 1.8.5, NUREG/CR-6119, Rev. 2, SAND2000-2417/1, May 2000
- [III.3] RELAP5/MOD3.2.2 Manuál, NUREG/CR-5535-Vol. I.-VII.
- [III.4] Declaration of European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG), 13 May, 2011, page 5.
- [III.5] Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors. SafetyReport Series No.30, IAEA, Vienna, November 2003.
- [III.6] PC COSYMA, version 2.0 user guide. National Radiological Protection Board, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, EUR 16240 EN, 1995
- [III.7] Hasemann I., Ehrhardt J.: COSYMA: Dose Models and Countermeasures for External Exposure and Inhalation. KfK 4333, January 1994
- [III.8] Jones, J.A. et al.: PC COSYMA: an accident consequence assessment package for use on a PC. National Radiological Protection Board, United Kingdom and Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, EUR 14916 EN, 1994
- [III.9] Valentin J.: ICRP Publication 103 - The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
- [III.10] Lloyd register Quality assurance Certificate, prvý certifikát QMS vystavený 11.02.1999, prvý EMS certifikát vystavený 08.12.2003, súčasný Certifikát č.: PRA 0003932 vystavený 23.06.2009
- [III.11] Ďúran J., Chrapčiaková N.: PKK-71 - COSYMA (Code System for Maria - Methods for Assessing the Radiological Impact of Accident) - PROGRAM ZABEZPEČENIA KVALITY VÝPOČTOVÉHO KÓDU. Ev. č. V01-32256/2010.3, Revízia 2, VUJE Trnava, 06.12.2010
- [III.12] Hanušik V.: Údaje pre výpočtové kódy COSYMA a MACCS v oblasti demografie a ekonomiky, Ústav Rádioekológie a.s., Košice, október 1996
- [III.13] Ďúran J., Čavojský M.: Testovací výpočet s kódom COSYMA pre lokalitu EBO a nadprojektovú havarijnú sekvenciu S2B, technická správa VÚJE č.204/95, november 1995
- [III.14] Ďúran J., Mršková A., Bujan A.: Porovnanie výpočtov s kódmi COSYMA a MACCS pre nadprojektovú haváriu v lokalite EBO. Správa VUJE Trnava, a.s. č. 244/1996
- [III.15] Chrapčiak V.: Inventár paliva Gd-2 s obohatením 4,87 % pre stacionárnu kampaň reaktora VVER-440 s nominálnym výkonom 1375 MW (EMO34), V01-TS-0250/2011.12 Rev01 (október 2012), správa VUJE.
- [III.16] KELM S.: Quick-Look Report on the Generic Containment Code-to-Code Comparison – run1, Blind Phase, 2011.
- [III.17] SEMĚNKOV Ju., Detaľnye nejtronno-fizičeskie chrakteristiki dľa pervoj toplivoj zagryzki blokov 3 i 4 AES Mochovce pri fizičeskom, energetičeskom puskach I ekspluatacii po ischodnym dannym dľa blokov 3 I 4, Rossijskij naučnyj centr Kurčatovskij institut, Institut jadernych reaktorov, otdelenie VVER, No., 32/1-147-410, ot 30.11.2010

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 4.1-1	Prehľad udalostí počas havárie - BLACKOUT-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS	15
Tab. 4.1-2	Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC2.....	17
Tab. 4.1-3	Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC3 pre vekovú skupinu dospelí.....	19
Tab. 4.1-4	Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC3 pre vekovú skupinu dospelí a 7-dňové integrálne dávky (dávkové faktory pre inhaláciu podľa NV SR č. 345/2006 Z.z.).....	20
Tab. 4.2-1	Prehľad udalostí počas havárie - LLOCA2x496CL-IMVES-DEPR-SS-SEALED-JNR->SS.....	22
Tab. 4.2-2	Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC2.....	24
Tab. 4.2-3	Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC3 pre vekovú skupinu dospelí.....	26
Tab. 4.2-4	Vyhodnotenie kritéria prijateľnosti DEC3 pre vekovú skupinu dospelí a 7-dňové integrálne dávky (dávkové faktory pre inhaláciu podľa NV SR č. 345/2006 Z.z.).....	27