

Technická správa

Predprevádzková bezpečnostná správa

Kapitola 07.03 Pravdepodobnostné analýzy

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/N	SEC. INDEX / INDEX utajenia	Company use/P	
			Submitted to Client to / Predložené odberateľovi na:	Approval / Schválenie		X	Information Only / Len na informáciu		
				<small>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.</small>					
EPS No / Číslo EPS: PNM34365000		Revision index / Index revízie: 06		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: PNM34361123			A4	6.01	RS	Z	8	
				Sheet / List	Of / z		Plant System / Systém elektrárne	Component / Komponent	
				1	19				

SE Contract No. / Číslo zmluvy SE: 4600003952			VUJE Contract No. / číslo zmluvy VUJE: 1719/00/09			
Part name / Označenie časti: PNM3436112306_S_C00_V			Issued on / Vydané dňa: 24.07.2019			
Kód citlivosti ¹⁾ / Sensitivity code ¹⁾	3	Name / Meno	Organization / Organizácia	Dept. / Útvar	Date / Dátum	Signature / Podpis
Author / Vypracoval:	•	•	• VUJE, a.s.	• 0220	• 24.07.2019	•
Co-author / Spolupracoval:	•	•	•	•	•	•
Checked by / Kontroloval:	•	•	• VUJE, a.s.	• 0220	• 24.07.2019	•
	•	•	•	•	•	•
	•	•	•	•	•	•
	•	•	•	•	•	•
Verified by / Overil:	•	•	• VUJE, a.s.	• 0720	• 24.07.2019	•
Approved by / Schválil:	•	•	• VUJE, a.s.	• 1703	• 24.07.2019	•

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 07.03 Pravdepodobnostné analýzy	• PNM3436112306_S_C00_V	• 06
2.	• Kapitola 07.03 Pravdepodobnostné analýzy	• PNM3436112306_S_C01_V	• 06
3.	•	•	•
4.	•	•	•
5.	•	•	•
6.	•	•	•
7.	•	•	•
8.	•	•	•
9.	•	•	•
10.	•	•	•
11.	•	•	•

OBSAH

OBSAH	1
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ.....	2
ÚVOD.....	4
7.3.1 Všeobecný prístup k pravdepodobnostným analýzam bezpečnosti.....	5
7.3.1.1 Základné údaje a prehľad	5
7.3.1.2 Ciele	5
7.3.1.3 Rozsah pravdepodobnostných analýz	6
7.3.1.4 Prehľad metodiky projektu	6
7.3.2 Prehľad PSA	7
7.3.2.1 Vstupné dáta	7
7.3.2.2 Definícia prevádzkových stavov bloku (POS)	7
7.3.2.3 Identifikácia iniciačných udalostí (IU)	7
7.3.2.4 Analýza následkov havárie vrátane podporných THD analýz	8
7.3.2.5 Spoľahlivosť systémov	8
7.3.2.6 Analýza spoľahlivosti ľudského činiteľa	9
7.3.2.7 Popis procesu kvantifikácie PSA.....	9
7.3.2.8 Analýza vnútorných nebezpečenstiev.....	9
7.3.2.9 Analýza vonkajších nebezpečenstiev	9
7.3.2.10 Javy a procesy, dôležité pre kvantifikáciu zdrojových členov a tlakového zaťaženia kontajneru a definícia koncových stavov poškodenia bloku	10
7.3.2.11 Priebeh havárie a stromy udalostí pre hermetickú zónu.....	10
7.3.3 Sumarizácia výsledkov PSA	11
7.3.3.1 Výsledky PSAL1.....	11
7.3.3.1.1 Analýza minimálnych kritických rezov.....	11
7.3.3.1.2 Analýza dôležitosti, citlivosti a neurčitosti	12
7.3.3.2 Výsledky PSAL2.....	13
7.3.3.2.1 Analýza minimálnych kritických rezov, dôležitosti, citlivosti a neurčitosti pre PSAL2.....	13
7.3.4 Závěry z PSA štúdie pre MO34	14
LITERATÚRA	15

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ

ASEP	Accident Sequence Evaluation Procedure		Postup pre hodnotenie havarijných sekvencií
ATWS	Anticipated Transient without Scram		Predpokladaná porucha bez pôsobenia automatickej ochrany
CCF	Common Cause Failures		Porucha so spoločnou príčinou
CDF	Core Damage Frequency		(Ročná) Frekvencia poškodenia aktívnej zóny
CDES	Core Damage End States		Koncové stavy poškodenia aktívnej zóny
CET	Containment Event Trees		Strom udalostí pre kontajntment
CRA	Control Rod Assembly	HRK	Havarijná regulačná kazeta
DG	Diesel-Generator		Diesel-generátor
ECCS	Emergency Core Cooling System	SHCHZ	Systém havarijného chladenia aktívnej zóny
EMO12	Mochovce NPP unit 1 and 2		JE Mochovce bloky 1 a 2
EOP	Emergency Operating Procedures		Predpisy pre riešenie núdzového stavu
ESFAS	Engineered Safeguards Features Actuation System		Bezpečnostný riadiaci a ovládací systém
FC	Fraction contribution - Expresses ratio of minimal cut-sets containing particular basic event		Podielový faktor - Vyjadruje pomer minimálnych kritických rezov obsahujúcich príslušnú základnú udalosť
HP	High Pressure (System)	VT	Vysokotlakový (systém)
IAEA	International Atomic Energy Agency		Medzinárodná atómová agentúra
I&C	Instrumentation and Control	SKR	Kontrola a riadenie (Meranie a regulácia)
IE	Initiating Event	IU	Iniciačná udalosť
LERF	Large Early Release Frequency		(Ročná) Frekvencia skorého veľkého úniku
LOCA	Loss of Coolant Accident		Únik so stratou chladiva
LOP	Loss of Off-site Power		Strata vonkajšieho napájania
LP	Low Pressure (System)	NT	Nízkotlakový (systém)
MFW	Main feed water system		Hlavná napájacia voda
MO34	Mochovce NPP unit 3 and 4		JE Mochovce bloky 3 a 4
NPP	Nuclear Power Plant	JE	Jadrová elektrárň
NRC	U.S. Nuclear Regulatory Commission		Úrad jadrového dozoru USA
PDES	Plant Damage End States		Koncový stav poškodenia bloku
POS	Plant Operational State		Prevádzkový stav bloku
PSA	Probabilistic Safety Assessment		Pravdepodobnostné hodnotenie bezpečnosti
PSAL1	PSA level 1		PSA 1. úrovne
PSAL2	PSA level 2		PSA 2. úrovne
RCS	Reactor Coolant System		Chladiaci systém reaktora
RCP	Reactor Coolant Pump (Main Coolant Pump)	HČČ	Hlavné cirkulačné čerpadlo

RDF	Risk decrease factor shows how CD is decreasing if particular item has perfect reliability		Faktor zníženia rizika ukazuje, ako sa zníži CD ak má príslušná položka perfektnú spoľahlivosť
RIF	Risk increase factor shows how CD is increasing if particular item has zero reliability		Faktor zníženia rizika ukazuje, ako sa zvýši CD ak má príslušná položka nulovú spoľahlivosť
RHR	Residual Heat Removal		Odvod zvyškového tepla
RPS	Reactor Protection System		Systém ochrán reaktora
SAMG	Severe Accident Management Guidance		Návody na riešenie ťažkých havárií
SSC	Structure, System and Component	SKK	Systém, konštrukcia a komponent
SG	Steam generator	PG	Parogenerátor
STC	Source Term Category		Kategória zdrojového člena
SW	Essential Service water (system)		Technická voda dôležitá (systém)
TG	Turbo-generator		Turbogenerátor
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction		Postup pre odhad spoľahlivosti ľudského činiteľa
UJD SR	Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic		Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky

ÚVOD

Uvedená správa je časťou predprevádzkovej bezpečnostnej správy pre MO34 a bola vypracovaná podľa požiadaviek ÚJD SR [II.3] a [II.2].

Správa je vypracovaná v súlade s požiadavkami zákona č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a Vyhlášky č. 31/2012 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovenia dokumentácie jadrových zariadení. Pri vypracovaní kapitoly 7.3 boli rešpektované pripomienky uvedené v rozhodnutí ÚJD SR č. 267/2008.

Správa popisuje pravdepodobnostné hodnotenie bezpečnosti (PSA) pre projekt JE MO34. Dokument zahŕňa prehľad metodiky použitej pre prípravu PSA štúdie a hlavné výsledky pre PSA 1.úrovne a PSA 2.úrovne.

V prvej kapitole poskytuje základné údaje pre pravdepodobnostné analýzy bezpečnosti, definovanie hlavných cieľov, rozsah pravdepodobnostných analýz a prehľad metodiky projektu.

V druhej časti je uvedený prehľad aktivít v PSA, vrátane definície prevádzkových stavov bloku, identifikácie iniciačných udalostí, analýz následkov havárie spolu s podpornými TH analýzami, analýz systémov a analýz dát, kvantifikácie PSA, analýzy vnútorných a vonkajších nebezpečenstiev, javov a procesov, dôležitých pre kvantifikáciu zdrojových členov a tlakového zaťaženia hermetickej zóny a tiež aj definície koncových stavov poškodenia bloku a priebehu havárie a stromov udalostí pre hermetickú zónu.

Tretia časť správy uvádza sumarizáciu výsledkov PSA a jej hlavnú podstatu.

Posledná časť prezentuje závery.

7.3.1 Všeobecný prístup k pravdepodobnostným analýzám bezpečnosti

7.3.1.1 Základné údaje a prehľad

Ako je podrobne popísané v [II.2], pravdepodobnostné hodnotenie bezpečnosti rozširuje deterministické analýzy poskytujúc doplnkové pochopenie správania sa JE pri havárii (vrátane scenárov s viacnásobnými poruchami) a poskytuje kvantitatívne hodnotenie pravdepodobnosti vzniku poškodenia aktívnej zóny a rádioaktívnych únikov.

Pre MO34 bola PSA pripravená ako časť licenčnej dokumentácie a na podporu projektu a uvedenia JE do prevádzky. Projekt MO34 je založený na VVER213 rovnakého typu ako susedná EMO12, ktorá slúži ako referenčný blok, pretože konfigurácia EMO12 a jej bezpečnostných systémov je podobná ako pre MO34. Všetky realizované zmeny na MO34 sú odzrkadlené v modeli PSA MO34, aby sa zahrnuli špecifické črty MO34. Pre určenie kritérií úspešnosti sa vykonali špecifické termohydraulické analýzy pre MO34. PSA pre MO34 pokrýva široké spektrum iniciačných udalostí, vrátane vnútorných iniciačných udalostí, vnútorných / vonkajších nebezpečenstiev (pozri [I.3]). Hodnotia sa aj odstávkové režimy tak, aby bol podaný vyčerpávajúci pohľad na elektrárňu a závery rizika z prevádzky jadrového zariadenia.

Účelom PSA je poskytnutie vstupov pre optimalizáciu projektu MO34 a overenie súladu s bezpečnostnými cieľmi. Činnosť PSA bola vykonávaná interaktívne s projektom, analýzami bezpečnosti a prevádzkovými predpismi.

Z pohľadu právneho rámca je obsah a rozsah PSA určovaný požiadavkami v Prílohe 1 Atómového zákona [II.4] ako aj paragrafu §20 vyhlášky [II.1]. PSA je pripravená v súlade s medzinárodnými požiadavkami podľa široko akceptovaných štandardov citovaných v špecifickom návode PSA pre MO34 [I.1]. Citované návody / štandardy v [I.1] poskytujú referencie pre všetky použité príslušné medzinárodné štandardy a návody ÚJD SR, ktoré riadia činnosti PSA.

7.3.1.2 Ciele

Hlavným cieľom PSA pre MO34 je poskytnutie kvalitatívnych a kvantitatívnych informácií o JE. PSA predstavuje detailný integrovaný a reálny model JE, vrátane bezpečnostných systémov, konštrukcií a komponentov (SKK), SKK nepatriacich medzi bezpečnostné SKK a prevádzkových predpisov (EOP a SAMG). Model zlepšuje porozumenie rozličných špecifických vzťahov vznikajúcich v priebehu nehôd a pomáha pri rozhodovaní na základe rizika robeného počas prevádzky. V súlade s [II.2], model PSA bol použitý počas projektovania a uvádzania do prevádzky ako nástroj pre projektovú optimalizáciu a pre odhadovanie rôznych projektových podmienok, vid'. [I.19], [I.20], [I.21].

V súlade s [II.4] a [II.1] sa PSA používa pre odhad frekvencie poškodenia aktívnej zóny (PSA 1.úrovne, PSAL1) a skorého veľkého úniku (PSA 2.úrovne, PSAL2). Všeobecným cieľom PSAL1 a PSAL2 je overiť, že reaktorový blok je schopný dosiahnuť bezpečnostné ciele určené pre postulované IU a ťažké havárie sú uvedené v návode UJD SR [II.2].

PSA je súčasťou bezpečnostnej dokumentácie a počas životného cyklu JE sa musí pravidelne aktualizovať zohľadnením všetkých technických zmien, nových údajov, zmien v prevádzkových predpisoch, spoľahlivosti ľudského činiteľa ako aj nových informácií, ktoré môžu ovplyvniť výsledky PSA.

7.3.1.3 Rozsah pravdepodobnostných analýz

Pravdepodobnostný odhad bezpečnosti je vypracovaný ako integrálny model PSA pokrývajúci všetky prevádzkové stavy (POS) elektrárne (na nízkom výkone a počas odstavenia bloku). Táto detailná PSA pre MO34 používa 15 POS (plnovýkonový stav plus 14 nízkovýkonových POS, ktoré určujú typické konfigurácie bloku a odlišné prevádzkové režimy).

Oblasť PSA pokrýva rozsah IU ako je definovaný v [II.10] doplnený o prehľad špecifických vlastností JE MO34. Vnútorne a vonkajšie nebezpečenstvá sú zahrnuté v rámci rozsahu PSA ako jeho súčasť.

Obe PSA 1.úrovne a 2.úrovne boli vyvinuté v súlade s [II.2] pre odhad rizika poškodenia aktívnej zóny aj rizika rádioaktívnych únikov.

7.3.1.4 Prehľad metodiky projektu

Metodika pre PSA je podrobne popísaná v návode PSA [I.1] v súlade s národnými a medzinárodnými akceptovanými postupmi [II.2], [II.5], [II.7], [II.8] a [II.9].

Základné úlohy pre PSAL1, ako sú definované v [I.1], sú nasledovné:

- Definícia prevádzkových stavov bloku (POS), [I.2]
- Identifikácia zoznamu iniciačných udalostí, [I.3]
- Analýza stromov udalostí, [I.5] (vrátane podporných termohydraulických analýz pre určenie kritérií úspešností, bezpečnostných funkcií a havarijných sekvencií / reťazcov, [I.4])
- Analýza systémov (stromy porúch), [I.8]
- Analýza dát a analýza spoľahlivosti ľudského činiteľa, [I.9], [I.10]
- Kvantifikácia PSAL1, [I.11]
- Analýza interných nebezpečenstiev, [I.6] (pokrývajúca požiare, záplavy, letiace predmety, pády ťažkých bremien)
- Analýza externých nebezpečenstiev, [I.7] (pokrývajúca zemetrasenie, extrémne meteorologické podmienky, externé záplavy, extrémne teploty, extrémne zrážky, extrémny vietor, sucho, dopad lietadla, nebezpečenstvá z priemyselných podnikov, elektromagnetická interferencia)

Hlavné úlohy pre PSAL2, ako sú uvedené v [I.1], sú nasledovné:

- Fenomenológia a procesy dôležité pre kvantifikáciu zdrojových členov a tlakového zaťaženia kontajneru, [I.13]
- Definícia koncových stavov poškodenia bloku (PDES), [I.14]
- Priebeh havárie a stromy udalostí pre kontajner, [I.16] (vrátane podporných termohydraulických analýz pre určenie kritérií úspešnosti a STC, [I.15])

Špecifické vlastnosti PSAL1 MO34 sú:

- Používa sa technika „malý strom udalostí - veľký strom porúch“, t.j. stromy udalostí načrtávajú hlavný rozvoj havarijného scenára a stromy porúch sú použité pre detailné modelovanie činnosti bezpečnostných systémov, resp. odozvu bloku.

- PSAL1 je plne symetrická (napr. LOCA pre každú slučku, roztrhnutia sekundárnych potrubí berú do úvahy delenie na dva polobloky pre aplikovanie monitora rizika).
- Hlavné činnosti operátorov sú vyhodnocované priamo v stromoch udalostí na poskytovanie lepšej trasovateľnosti modelu a nevyžaduje následné spracovanie (post processing).

7.3.2 Prehľad PSA

Táto časť poskytuje stručný prehľad úloh PSA s odkazmi na detailnú dokumentáciu pre dodatočné informácie. Kvalita PSA je pokrytá príslušnou časťou [I.1]. V zásade je PSA súčasťou projektu MO34 a riadenie kvality je zaistené rovnakými postupmi ako v prípade licenčnej dokumentácie ako celku.

7.3.2.1 Vstupné dáta

Vstupné dáta pre model sú popísané v dokumente [I.9], ktorý poskytuje frekvencie IU a spoľahlivostné charakteristiky komponentov (nepohotovosti, intenzity porúch a koeficienty pre CCF). Vo všeobecnosti sú frekvencie prechodových javov a spoľahlivostné charakteristiky komponentov založené na prevádzkových skúsenostiach EMO12 v čo možno najväčšej miere. Pre komponenty, ktoré majú úplne odlišnú technológiu s ohľadom na EMO12 (napr. digitálny SKR), sa uvažovali generické dáta od dodávateľa. Pre zriedkavé udalosti, ako napríklad LOCA a roztrhnutia sekundárnych potrubí, sa uvažovali generické dáta z medzinárodných databáz.

Dáta boli uvedené s konfidenčnými intervalmi zadefinovaním parametrov, ktoré špecifikujú hustoty rozdelenia ich pravdepodobností, umožňujúcich hodnotiť šírenie neurčitosti v CDF / LERF.

7.3.2.2 Definícia prevádzkových stavov bloku (POS)

PSA model pre MO34 určuje 15 POS, ktoré sú založené na informáciách z referenčnej JE a vykonávacieho projektu MO34. Každý POS je charakterizovaný prevádzkovým režimom a konfiguráciou systémov, ovplyvňujúcich hodnotenie PSA.

Prehľad POS je uvedený v [I.2].

7.3.2.3 Identifikácia iniciačných udalostí (IU)

PSA pre MO34 uvažuje široký rozsah IU a ich úplnosť je hodnotená v [I.3], [I.6] a [I.7]. Uvažované IU spadajú do troch hlavných kategórií:

- Interné IU [I.3], určené na základe generického zoznamu IU [II.10], skúseností zozbieraných z PSA referenčnej elektrárne (t.j. EMO12), analýzy nebezpečných manipulácií na elektrárni a špecifikácie MO34,
- Interné nebezpečenstvá [I.6], pokrývajúce vnútorné požiare, záplavy, lietajúce úlomky / turbínové úlomky a pády ťažkých bremien
- Externé nebezpečenstvá [I.7], pokrývajúce zemetrasenie, extrémne meteorologické podmienky ako extrémne teploty, dopad lietadla a elektromagnetickú interferenciu.

7.3.2.4 Analýza následkov havárie vrátane podporných THD analýz

Odozva bloku na jednotlivé IU je analyzovaná pomocou stromov udalostí. Analýza stromov udalostí uvedená v [I.5] zostavuje špecifické stromy udalostí pre každú IU strom udalostí, ktorý modeluje odozvu bloku, a tiež určuje rozsah bezpečnostných a podporných systémov, ktoré sú nutné pre potlačenie dôsledkov postulovaných IU. Analýza stromov udalostí je podporovaná špecifickými termohydraulickými analýzami, [I.4], ktoré sú použité na stanovenie kritérií úspešnosti pre splnenie bezpečnostných funkcií a pre odhad časovania havarijných sekvencií (limitované obdobie pre ľudské zásahy). Všade, kde je to možné, dodržiavajú stromy udalostí chronológiu havárie. Stromy udalostí používajú unifikovanú množinu funkčných udalostí reprezentujúcich činnosť bezpečnostných systémov a hlavných činností operátorov, čo umožňuje ošetrenie závislosti zlyhania ľudského faktora priamo v stromoch udalostí. Závislosti medzi systémami sú modelované v rámci systémovej analýzy / stromy

7.3.2.5 Spoľahlivosť systémov

Hlavné a podporné systémy predpokladané pre potlačenie uvažovaných IU a ťažkých havárií sú analyzované pomocou stromov porúch. Správa analýza systémov [I.8] poskytuje základné informácie pre každý uvažovaný systém v rámci PSA s uvedením popisu systému, zoznamu generických a špecifických predpokladov, interakcie s ostatnými systémami, informácie o testovaní a údržbe, limitami a podmienkami, interakcie obsluhy, popisov stromov porúch pre analyzované systémy a kvantifikácie spoľahlivosti systémov.

PSA MO34 používa model s linkovaným modelom stromov porúch, t.j. model obsahuje samostatné stromy pre špecifické systémy, ktoré sú linkované k stromom špecifických bezpečnostných systémov pre doloženie vzájomných závislostí systémov. Závislosť medzi redundanciami v každom systéme je uvažovaná pomocou porúch so spoločnou príčinou používajúcim model alfa faktor. Použité hodnoty alfa faktorov vychádzajú z [II.11].

7.3.2.6 Analýza spoľahlivosti ľudského činiteľa

Spoľahlivosť ľudského činiteľa je analyzovaná v [I.10]. Použitou metódou pre kvantifikáciu spoľahlivosti ľudského činiteľa je THERP a ASEP, ktorá umožňuje implementovať závislosti medzi úspešnými a neúspešnými ručnými zásahmi. Spoľahlivosť ľudského činiteľa je tiež charakterizovaná rozdelením pravdepodobnosti, ktoré sa používa na šírenie neurčitostí v modeli.

Analýza spoľahlivosti ľudského činiteľa sa vykonávala s uvažovaním detailných predpisov EOP/SAMG na charakterizovanie každej špecifickej úlohy. Špecifickým aspektom PSA MO34 je hodnotenie závislostí pre činnosť operátorov vykonávaných posádkou blokovej dozorne. Závislosť medzi činnosťami PSAL1 je výlučne modelovaná v stromoch udalostí všade tam, kde je to potrebné.

7.3.2.7 Popis procesu kvantifikácie PSA

Finálna kvantifikácia ja vykonaná štandardnými prostriedkami použitím softvéru RiskSpectrum, verzia 2.10.02. Ako už bolo popísané v [I.11] kvantifikácia bola vykonaná na základe POS, t.j. každý POS je hodnotený samostatne vrátane štandardných analýz ako analýza dôsledkov, sekvencií, minimálnych kritických rezov, významnosti, neurčitosti a citlivosti. Odhadnuté výsledky pre plný výkon sú v súlade s podobnými blokmi tejto triedy, zatiaľ čo príspevok pre odstavený reaktor je nižší v porovnaní so známymi blokmi VVER V213 ako výsledok technických a prevádzkových zmien, ktoré zlepšujú schopnosť blokov MO34 vyrovnať sa s postulovanými IU počas stavov s otvoreným reaktorom.

7.3.2.8 Analýza vnútorných nebezpečenstiev

Analýza vnútorných nebezpečenstiev pokrýva požiare, záplavy, letiace úlomky a pády ťažkých bremien. Detaily analýzy sú popísané v [I.6] vrátane špecializovaných príloh pre jednotlivé nebezpečenstvá. Výsledky analýz sú nasledovné.

Analýza vnútorných požiarov v [I.6] ukazuje, že medzi vnútornými nebezpečenstvami má strojovňa TG najvýznamnejší príspevok k CDF. Treba poznamenať, že požiarom PSA uvažuje dosť konzervatívne predpoklady v procese vyradovania v súlade s príslušným medzinárodnými štandardami.

Analýza vnútorných záplav ukazuje, že aj napriek použitiu veľmi konzervatívneho vyradovacieho procesu (ohľadom uvažovaných frekvencií záplav), vnútorné záplavy z pohľadu PSA neohrozujú významne bezpečnosť bloku.

Analýza letiacich úlomkov sa zaoberá s poruchou nadotáčkovej ochrany turbíny a ukazuje, že riziko spojené s touto IU nie je významné a môže byť vyradené z ďalších úvah PSA.

Analýza pádu ťažkých bremien sa zaoberá so všetkými objektmi, kde sa ťažké náklady prepravujú ponad bezpečnostne významné zariadenia. Analýzy ukazujú, že elektrárň implementovala dostatočné technické a organizačné opatrenia, ktorých dôsledkom je, že riziko z pádov bremien je z pohľadu PSA nevýznamné.

7.3.2.9 Analýza vonkajších nebezpečenstiev

Analýza vonkajších nebezpečenstiev pokrýva široké spektrum nebezpečenstiev, ktoré sú detailne analyzované v rámci správy [I.7]. Vykonané analýzy v [I.7] ukazujú, že externými nebezpečenstvami z pohľadu významnosti v PSA sú iba zemetrasenie a kombinácia extrémnych meteorologických podmienok.

Zvyšok uvažovaných nebezpečenstiev ako vonkajšie záplavy, extrémne teploty, extrémne zrážky, extrémny vietor, sucho, pád lietadla, následky nebezpečenstiev spôsobených činnosťou človeka vrátane priemyselných prevádzok atď. a elektromagnetická interferencia boli vyradené, hlavne na základe deterministických kritérií.

7.3.2.10 Javy a procesy, dôležité pre kvantifikáciu zdrojových členov a tlakového zaťaženia kontajneru a definícia koncových stavov poškodenia bloku

Analýza v [I.13] definuje základné východisko pre práce na PSAL2. Táto správa sumarizuje problematiku fenoménu ťažkých havárií, skúsenosti a najnovšie poznatky v oblasti ťažkých havárií berúc do úvahy typické znaky reaktorov VVER440. [I.13] pozostáva z dvoch základných častí popisujúc Zaťaženie hranice hermetickej zóny od tlaku a teploty a Fenomén zdrojového člena.

Prvá časť je venovaná Zaťaženiu hranice hermetickej zóny od tlaku a teploty a pokrýva fenomén špecifický pre pôvodnú fázu (uchladiteľná) ťažkej havárie; pre fázu ťažkej havárie s premiestnením významnej frakcie aktívnej zóny vo vnútri tlakovej nádoby reaktora („vnútroreaktorová“ fáza); spájaný s poruchou integrity tlakovej nádoby a fenomén týkajúci sa extrémne nepravdepodobnej udalosti straty integrity tlakovej nádoby reaktora („mimo reaktor“ fáza).

Druhá časť identifikuje príslušné faktory, ktoré ovplyvňujú zdrojové členy, ktoré môžu byť nezávislé na špecifických scenároch (technologické charakteristiky bloku, zásoby štiepných produktov); závislé na špecifických vlastnostiach jednotlivých scenárov ťažkej havárie (typ iniciačnej udalosti, rozsah poškodenia aktívnej zóny, vyplývajúci najmä z dostupnosti bezpečnostných a iných zariadení a systémov, intervencie operátorov pre riadenie vývoja ťažkej havárie) a tiež aj faktormi spojenými s procesom počas ťažkej havárie (najmä faktory s potenciálnym vplyvom na zdrojový člen charakterizujúce špecifický vývoj ťažkej havárie ako je poškodenie tlakovej nádoby reaktora, a pod.).

Záver z [I.13] sa požíva v [I.14] na vysvetlenie základnej filozofie pre vytváranie rozhrania PSAL1 – PSAL2 a vývoj stromov udalostí pre hermetickú zónu.

7.3.2.11 Pribeh havárie a stromy udalostí pre hermetickú zónu

Najrelevantnejšia časť PSAL2 je tvorená správou [I.16], ktorá je doplnená špecifickou správou termohydraulických analýz [I.15], ktorá je použitá na určenie kritérií úspešnosti, časovania sekvencií a zdrojové členy.

PSAL2 používa metódu prekleňovacích stromov, t.j. všetky sekvencie s PSAL1, ktoré sa končia s poškodením aktívnej zóny, vstupujú do špecifických prekleňovacích stromov, ktoré sú použité pre odhad LERF. Znamená to, že PSAL1 a PSAL2 sú úzko prepojené a tvoria integrovaný model, ktorý zdieľa všetky spoločné časti ako stromy porúch, parametre atď.

Správa [I.16] pokrýva nižšie popísané základné úlohy.

- Popis projektu elektrárne a hermetickej zóny (konštrukčné vlastnosti elektrárne a hermetickej zóny ovplyvňujúce ťažké havárie, vrátane prevádzkových charakteristík hermetickej zóny a popis systémových modifikácií elektrárne a hermetickej zóny) a tiež aj stručný popis SAMG pre MO34.
- Rozhranie pre PSAL1, t.j. správa uvádza súbor atribútov použitých pre skupinu Koncových stavov poškodenia aktívnej zóny (CDES), ktorý umožňuje grupovať sekvencie poškodenia aktívnej zóny, aby sa

vytvoril zjednotený súbor Koncových stavov poškodenia aktívnej zóny, ktorý vstupuje do PSAL2. Tieto CDES sú následne rozvíjané v PSAL2.

- Špecifikácia havarijných sekvencií PSAL2 a tiež aj definícia Koncových stavov poškodenia elektrárne (PDES), t.j. stanovenie typických scenárov ťažkej havárie, ktorými sú prechodové javy, veľká a stredná LOCA, medzistémová LOCA, SGTR a otvorený reaktor. Táto úloha používa ako vstup výstup predchádzajúcej úlohy.
- Analýza pevnostnej odolnosti hermetickej zóny, ktorá sa používa na hodnotenie pravdepodobnosti poruchy hermetickej zóny. Výstupom tejto analýzy je rozdelenie pravdepodobnosti porušenia kontajntentu, ktoré sa používa na hodnotenie odolnosť kontajntentu v závislosti od tlakového zaťaženia.
- Vývoj generických stromov udalostí pre hermetickú zónu (CET) pokrývajúci vývoj generických prekleňovacích stromov pre typické scenáre ťažkej havárie. Táto časť zostavuje výsledky z [I.13] a [I.15] na vysvetlenie vývoja typických scenárov ťažkej havárie a združených konsekvencií stromov udalostí pre hermetickú zónu s kategóriami zdrojových členov (STC), ktoré umožňujú kategorizáciu únikov. Úloha je úzko naviazaná na [I.15], tak aby boli jednotlivé generické stromy a deterministické analýzy maximálne konzistentné.
- Vývoj špecifických stromov CET pre príslušné koncové stavy CDES, t.j. každý jedinečný CDES má pridelený relevantný generický strom CET (prechodový stav, LOCA, a pod.), ktorý je prispôsobený pre špecifické podmienky daného koncového stavu CDES. V podstate sa jedná o prispôsobenie príslušných generických CET z predchádzajúcej úlohy na špecifické podmienky jednotlivých CDES.
- Kvantifikácia PSAL2 vrátane detailnej analýzy rovnakým spôsobom ako PSAL1.

7.3.3 Sumarizácia výsledkov PSA

Výsledky PSA vrátane interných a externých nebezpečenstiev sú sumarizované v [I.12] a [I.17]. Ďalší text poskytuje iba stručný prehľad výsledkov.

7.3.3.1 Výsledky PSAL1

Jedným z hlavných cieľov PSAL1 je vyhodnotenie CDF, ktorá je zvyčajne použitá ako miera hodnotenia rizika. Celková CDF pre MO34 predstavuje rozdelenie CDF medzi jednotlivými POS.

7.3.3.1.1 Analýza minimálnych kritických rezov

Účelom analýzy minimálnych kritických rezov je určenie prevažujúcich kombinácií porúch vedúcich k poškodeniu aktívnej zóny. V prípade PSAL1 pre MO34 výsledky neobsahujú významné minimálne kritické rezy, t.j. profil rizika je plochý a ako taký je tvorený súčtom malých prispievateľov. Tento fakt je dokumentovaný na niekoľkých prvých minimálnych kritických rezoch z analýzy pre vnútorné IU.

7.3.3.1.2 Analýza dôležitosti, citlivosti a neurčitosti

Účelom analýzy je určiť významnosť základných udalostí pre určenie ich vplyvu na výsledky PSAL1. Analýzy významnosti zahŕňujú rôzne miery významnosti, t.j.:

- Faktor významnosti (Fraction contribution factor - FC) vyjadruje podiel minimálnych kritických rezov obsahujúcich príslušnú základnú udalosť (zariadenie, systém alebo základné udalosti majúce špecifický atribút) k celkovému počtu rezov,
- faktor zníženia rizika (určuje koľkokrát sa zníži CDF ak je nejaká základná udalosť, komponent atď. perfektne spoľahlivá)
- faktor zvýšenia rizika (určuje koľkokrát sa zvýši CDF ak má nejaká základná udalosť, komponent atď. pravdepodobnosť poruchy rovnú jednej)

Analýza citlivosti hodnotí vplyv predpokladov modelu (hodnoty dát) na výsledky [II.2]. Analýza citlivosti je vykonávaná takým spôsobom, že vstupné hodnoty sú násobené faktorom 10.

Analýza významnosti a citlivosti zvyčajne zdôrazňuje úlohu zariadení pre núdzové elektrické napájanie, technickej vody a špecifických činností operátorov ako manuálny nábeh superhavarijného napájania a nábeh bezpečnostných zariadení počas odstávky, kedy musia operátori zasahovať namiesto zaisteného ESFAS.

Gnozeologická neurčitosť modelu je riešená na úrovni stromov udalostí a porúch v správach [I.5] a [I.8]), ktoré poskytujú kvalifikované zdôvodnenie pre všetky použité zjednodušujúce predpoklady, ktoré sú zvyčajne na konzervatívnej strane.

Neurčitosť dát je hodnotená s použitím štandardnej simulácie, ktorá je súčasťou softvéru RiskSpectrum.

7.3.3.2 Výsledky PSAL2

Hodnota LERF je odhadnutá s použitím štandardnej analýzy dôsledkov pre jednotlivé POS.

Riziko je dobre rozložené medzi plným výkonom a stavmi s odstaveným reaktorom, pri zohľadnení trvania každého POS. Dominantné POS pre odstavený reaktor korešpondujú s otvoreným kontajntmentom, kde je bariéra kontajntmentu zabraňujúca rádioaktívnym únikom nepohotová.

7.3.3.2.1 Analýza minimálnych kritických rezov, dôležitosti, citlivosti a neurčitosti pre PSAL2

Táto časť prezentuje stručný prehľad analýz minimálnych kritických rezov, dôležitosti, citlivosti a neurčitosti pre PSAL2, ktoré boli vykonané obdobným spôsobom ako pre PSAL1.

Detailná analýza je uvedená v [I.16]. Najhlavnejší prispievatelia k LERF sú seizmická udalosť a IFSL. Analýza dôležitosti a citlivosti identifikuje ako najcitlivejšie: vstupné dáta a komponenty spojené s elektrickým napájaním ako aj činnosti operátorov.

Je zrejmé, že skoré veľké úniky sú tvorené skupinami rozličných STC. Detailné hodnotenie frekvencií STC podľa uvažovaných POS je uvedené v [I.16].

7.3.4 Závěry z PSA štúdie pre MO34

Odhad frekvencií poškodenia aktívnej zóny a veľkých skorých únikov pre JE MO34 ukazuje, že bezpečnostné ciele, definované v [II.2], sú splnené.

Okrem toho, výsledky PSA ukazujú, že:

- Nie sú žiadne minimálne kritické rezy, ktoré reprezentujú významný podiel z celkového rizika, pre ktoré by boli nevyhnutné dodatočné opatrenia na zníženie rizika.
- Pri uvažovaní doby trvania každého prevádzkového stavu je ročné riziko rozumne vyrovnané medzi podmienky plného výkonu a odstaveného bloku.
- Riziko je rozumne rozdelené medzi iniciačné udalosti, pretože nie je žiadna iniciačná udalosť, ktorá dominuje nad ostatnými.

Na základe správy [I.18], vo všeobecnosti PSA MO34 pre 3 blok je vhodná pre hodnotenie dopadu väčšinu očakávaných aplikácií pre 4. blok aj napriek tomu, že v niektorých prípadoch musí byť činnosť vykonaná opatrne s rešpektovaním špecifických aspektov 4 bloku. Existuje iba jedna výnimka predstavovaná aplikáciou monitora rizika, kde je odozva bloku na iniciačné udalosti veľmi citlivá na konfiguráciu slučiek a bezpečnostných systémov.

LITERATÚRA

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

- [I.1] Návod na vypracovanie PSA
- [I.2] Definovanie prevádzkových stavov bloku
- [I.3] Identifikácia a grupovanie iniciačných udalostí
- [I.4] T-H analýzy na podporu PSA 1. úrovne blokov MO34, kritéria úspešnosti bezpečnostných systémov
- [I.5] Tvorba stromov udalostí
- [I.6] Interné nebezpečenstvá
- [I.7] Externé nebezpečenstvá
- [I.8] Analýza systémov
- [I.9] Analýza dát
- [I.10] Analýza ľudského činiteľa
- [I.11] Záverečná kvantifikácia modelu PSA 1. úrovne
- [I.12] Hlavná správa štúdie PSA 1. úrovne
- [I.13] Javy a procesy, dôležité pre kvantifikáciu zdrojových členov a tlakového zaťaženia kontajneru
- [I.14] Definovanie a analýzy koncových stavov poškodenia bloku
- [I.15] Analýzy priebehu ťažkých havárií
- [I.16] Priebehy havárií a stromy udalostí pre hermetickú zónu
- [I.17] Hlavná správa štúdie PSA 2. úrovne
- [I.18] Aplikovateľnosť výsledkov PSA štúdie 1. a 2. úrovne 3. bloku na 4. blok a použitie PSA v rozhodovacom procese
- [I.19] Hodnotenie projekčného systému riadenia na aktiváciu čerpadiel JNG v režime s otvoreným reaktorom
- [I.20] Technická podporná správa schopnosti zariadení prežiť ťažkú haváriu
- [I.21] Rozšírená analýza funkcie ESFAS na overenie pravdepodobnostných cieľov spoľahlivosti uvedené v rozhodnutí ÚJD SR č. 449/2011, podmienka 2 (Etapa II.)

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

- [II.1] Vyhláška ÚJD SR č. 31/2012 Z.z. ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 58/2006 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovovania dokumentácie jadrových zariadení potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam
- [II.2] ÚJD SR BNSI.4.2/2006, Požiadavky na vypracovanie analýz a štúdií PSA

- [II.3] ÚJD SR, BNS I.1.2/2008, Rozsah a obsah bezpečnostnej správy (revízia tohto dokumentu vydaná v roku 2014 bola tiež vzatá do úvahy)
- [II.4] Zákon č. 541/2004 Z.z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov
- [II.5] IAEA- SSG-3, Development and Application of Level 1 - Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, April 2010
- [II.6] IAEA- SSG-4, Development and Application of Level 2 - Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, May 2010
- [II.7] NUREG/CR-4772, Accident Sequence Evaluation Program Human Reliability Analysis Procedure
- [II.8] NUREG/CR-1278, Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications
- [II.9] NUREG 6850, EPRI/NRC-RES Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities
- [II.10] IAEA-TECDOC-749: Generic initiating events for PSA for WWER reactors, 1994
- [II.11] CCF Parameter Estimations 2007, update to NUREG/CR-5496
- [II.12] ASME/ANS RA-Sa-2009, Standard for Level 1/Large Early Release Frequency Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications, 2009