

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ENERGETIKY



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hodnocení úplnosti, nezávislosti a robustnosti havarijních systémů v úrovních ochrany do hloubky v rámci Funkčních Analýz ochrany do hloubky (FA DiD) ETE

Autor: Bc. Lucie Hinterholzingerová

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D.

Praha, 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hinterholzingerová** Jméno: **Lucie** Osobní číslo: **422666**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav energetiky**
Studijní program: **Jaderná energetická zařízení**
Studijní obor: **Jaderná energetická zařízení**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Hodnocení úplnosti, nezávislosti a robustnosti havarijních systémů v úrovních ochrany do hloubky v rámci Funkčních Analýz ochrany do hloubky (FA DiD) ETE

Název diplomové práce anglicky:

Assessment of Completeness, Independence and Robustness of Emergency Core Cooling Systems of Individual Levels in Defense in Depth at NPP Temelin Using Functional Analysis.

Pokyny pro vypracování:

1. Stručný popis filosofie a legislativních požadavků pro aplikaci ochrany do hloubky (DiD – Defence in Depth) v projektech JE.
2. Vymezení a definování pojmů důležitých pro potřeby FA DiD. Struktura modelu a aplikace principů FA DiD. Definování a označení funkčních řetězců pro havarijní systémy popisující jejich podíl na plnění typových funkcí, respektive základních bezpečnostních funkcí a dále definování rozsahu jejich požadovaných podpůrných funkcí pro všechny stavy bloku.
3. Zpracování funkčních řetězců pro havarijní systémy popisující jejich podíl na plnění typových funkcí, respektive základních bezpečnostních funkcí a dále definování rozsahu jejich požadovaných podpůrných funkcí pro všechny stavy bloku.
4. Vypracování mapy funkcí shrnující podíl havarijních systémů na typových funkcích pro reaktivitu, zásobu chladiva a odvod tepla z IO. Součástí práce bude zařazení FaSK pro havarijní systémy do linií v odpovídajících úrovních DiD.
5. Zpracování vlivu dvou vybraných hrozeb na FaSK pro havarijní systémy a vyhodnocení změn celkových funkčních řetězců pro typové funkce zásoby chladiva a odvodu tepla z IO vynucených aplikací těchto hrozeb.
6. Vypracování inženýrského hodnocení úplnosti, nezávislosti a robustnosti havarijních systémů ve všech úrovních ochrany do hloubky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] IAEA, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016).
- [2] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ze dne 14. července 2016
- [3] Vyhláška č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení, Státní úřad pro jadernou bezpečnost, ze dne 26. září 2017
- [4] IAEA, Assessment of Defence in Depth for Nuclear Power Plants, Safety Reports Series No. 46, IAEA, Vienna (2005).
- [5] IAEA, WWER-1000 Reactor Simulator, Training Course Series No. 21, IAEA, Vienna (2003).
- [6] NEA (2016), Implementation of Defence in Depth at Nuclear Power Plants: Lessons Learnt from the Fukushima Daiichi Accident, Nuclear Regulation, OECD Publishing, Paris,

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D., ústav energetiky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **24.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **26.06.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2021**

doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústav/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

19.6.2020
Datum převzetí zadání

[Podpis]
Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 2.7.2020

Lucie Hinterholzingerová

Jméno Příjmení

Poděkování

Děkuji panu docentu Dostálovi za vedení mé diplomové práce, za cenné rady a připomínky, které tuto práci obohatily. Dále patří velké poděkování panu Ing. Haklovi a Ing. Fabiánovi za věcné a upřesňující připomínky a za ochotu a čas, který nad touto prací strávili.

Název práce: **Hodnocení úplnosti, nezávislosti a robustnosti havarijních systémů v úrovních ochrany do hloubky v rámci Funkčních Analýz ochrany do hloubky (FA DiD) ETE**

Autor: Bc. Lucie Hinterholzingerová

Obor: Jaderná energetická zařízení

Druh práce: Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Dostál, Ph.D.

Ústav Energetiky, Fakulta Strojní, České vysoké učení technické v Praze

Konzultant: Ing. Václav Hakl

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá principem a vývojem ochrany do hloubky v projektech jaderných elektráren a metodou funkčních analýz. V první řadě jsou představeny havarijní systémy chlazení aktivní zóny na jaderné elektrárně Temelín. Dále jsou, pro účely funkčních analýz souboru havarijních systémů, do SW HIDRA vloženy všechny potřebné informace ke správnému vyhodnocení. Za pomoci všech zanesených dat do SW HIDRA je provedeno inženýrské hodnocení nezávislosti havarijních systémů. Za pomoci mapy funkcí a definovaných hrozeb je provedeno zhodnocení robustnosti a odolnosti těchto systémů na příslušné hrozby a jejich efekty.

Klíčová slova: DiD, nezávislost úrovní ochrany do hloubky, základní bezpečnostní funkce, funkční skupiny, havarijní systémy chlazení aktivní zóny

Title: **Assesment of completeness, independence and robustness of Emergency Core Cooling systems in Individual Levels in Defence in Depth at NPP Temelin usinf Functional Analysis**

Author: Bc. Lucie Hinterholzingerová

Abstract: The diploma thesis focused on principle and progress of Defence in depth in designs of Nuclear power plants, and also focused on Functional Analysis method. First, the emergency core cooling systems at NPP Temelin are presented. For purposes of Functional Analysis and consecutive assessment, important information is put into software tool HIDRA. With the aid of inserted information, the assessment of independence is accomplished. Finally, with the aid of map of function and defined challenges in SW HIDRA, the assessment of robustness and resistance to challenges of emergency core cooling systems is evaluated.

Key words: DiD, independence of DiD levels, Main Safety Functions, Functional Group, Emergency Core Cooling Systems

Obsah

Seznam zkratk	9
Seznam obrázků	11
1. Úvod	13
2. Teoretická část	14
2.1 <i>Koncepce principu ochrany do hloubky</i>	14
2.1.1 Legislativní definice	14
2.1.2 Úrovně ochrany do hloubky.....	15
2.1.3 Fyzikální bariéry	17
2.1.4 Bezpečnostní funkce	18
2.2 <i>Bezpečnostní systémy ETE</i>	19
2.2.1 Požadavky na bezpečnostní systémy	20
2.3 <i>Havarijní systémy chlazení aktivní zóny – HSCHZ</i>	21
2.3.1 Vysokotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny	23
2.3.2 Nízkotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny	25
2.3.3 Pasivní systém havarijního chlazení aktivní zóny	26
2.3.4 Sprchový systém ochranné obálky	27
2.3.5 Podpůrné systémy pro HSCHZ.....	28
3. Funkční Analýzy v úrovních ochrany do hloubky (FA DiD)	30
3.1 <i>Definice pojmů FA DiD</i>	30
3.2 <i>Struktura modelu FA DiD</i>	35
3.2.1 Struktura modelu	35
3.2.2 Stanovení TxF/TBV	35
3.2.3 Stanovení SxF/POx pro jednotlivé systémy HSCHZ	38
3.3 <i>Aplikace principu DiD</i>	48
3.3.1 Linie DiD	49
3.3.2 Úrovně DiD vs Linie DiD.....	50
3.3.3 Konfigurace linií	50
3.4 <i>Vliv zátěží na robustnost a nezávislost každé úrovně DiD</i>	51
3.4.1 Soubor jevů, mechanismů a Provision	51
4. Zpracování	52
4.1 <i>FŘ pro HSCHZ</i>	53
4.1.1 Řízení reaktivity v AZ	53
4.1.2 Odvod tepla z AZ.....	57

4.1.3	Zásoba chladiva v primárním okruhu	63
4.1.4	Omezení úniků radioaktivní látek	69
4.1.5	Fyzikální bariéry jaderného zařízení s reaktorem	72
4.2	<i>Mapa funkcí</i>	75
4.2.1	Vytvoření linií DiD a jednotlivých konfigurací	76
4.3	<i>Vliv dvou vybraných hrozeb</i>	77
4.3.1	Přiřazení odolností a Provisions k SxF/POx	77
5.	Zhodnocení	80
5.1	<i>Úplnost</i>	80
5.1.1	Kontrola plnění TxF/TBV v požadovaných úrovních DiD	80
5.1.2	Kontrola linií a FŘ	82
5.1.3	Kontrola FASK a SxF/POx	82
5.2	<i>Nezávislost</i>	84
5.2.1	Metoda hodnocení nezávislosti linií DiD	84
5.2.2	Vyhodnocení závislosti pro soubor HSCHZ	85
5.3	<i>Robustnost</i>	88
5.3.1	Metoda hodnocení robustnosti	88
5.3.2	Vyhodnocení robustnosti pro soubor HSCHZ	88
6.	Závěr	91
	Literatura	92
	Seznam příloh	93

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
ATWS	Anticipated Transient without Scram – Očekávané přechodové procesy bez rychlého odstavení reaktoru
AZ	Aktivní zóna
BD/ND	Bloková dozorna/ nouzová dozorna
BF	Bezpečnostní funkce
BS	Bezpečnostní systém
BSVP	Bazén skladování vyhořelého paliva
CCF	Common Cause Failure – porucha se společnou příčinou
CFŘ	Celkový funkční řetězec
DBA	Design Basis Accident – Základní projektová nehoda
DBD	Design Basis Document, dokumentace uvádějící projektová východiska
DEC	Design Extension Conditions – Nadprojektová havárie
DGS	Dieselgenerátorová stanice
DiD	Defence in Depth, Ochrana do hloubky
DPS	Diverse Protection System
EDU	Jaderná elektrárna Dukovany
ESFAS	Engineered Safety Features Actuation System – Systém aktivace technických bezpečnostních zařízení
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
FA	Funkční analýza
FA DiD	Funkční analýza úrovně ochrany do hloubky
FaSK	Funkční analytická skupina
FŘ	Funkční řetězec
FSK	Funkční skupina
HCC	Hlavní cirkulační čerpadlo
HCP	Hlavní cirkulační potrubí
HDA, HA	Hydroakumulátory
HIDRA	SW nástroj pro podporu hodnocení DiD (Hierarchical In-depth Design Requirements Assessment)
HO	Hermetická obálka
HSCHZ	Havarijní systém chlazení AZ
HZ	Hermetická zóna
I.O.	Primární okruh
IAEA	International Atomic Energy Agency – Mezinárodní agentura pro atomovou energii
II.O.	Sekundární okruh
JB	Jaderná bezpečnost
JE	Jaderná elektrárna
KTMT	Kontejnment
LB-LOCA	Large break Loss of coolant accident – Velká havárie se ztrátou chladiva
LOOP	Loss of Offsite Power – Ztráta vnějšího elektrického napájení
NPL	Non-Programmable Logic – neprogramovatelná logika
NT	nízkotlaký
PAMS	Post Accident Monitoring System – Pohavarijní monitorovací systém
PCFŘ	Počáteční celkový funkční řetězec
PG	Parogenerátor
PIU	Postulated initiating event – Postulovaná iniciační událost
POB	Projektová opatření bezpečnostní
POP	Projektová opatření provozní

Zkratka	Význam
POV	Projektová opatření s vlivem na JB
POx	Projektová opatření Bezpečnostní/S vlivem na JE/Provozní
PpBZ	Předprovozní bezpečnostní zpráva
PRPS	Primary Reactor Protection System – Základní systém ochran reaktoru
PRV	Provisions
PSA	Přepouštěcí stanice do atmosféry
PSK	Přepouštěcí stanice do kondenzátoru
PV KO	Pojistný ventil kompenzátoru objemu
PV PG	Pojistný ventil parogenerátoru
RA	Radioaktivní
RČA	Rychločinná armatura
SBF	Specifické bezpečnostní funkce
SBO	Station Blackout
SKK	Systémy, konstrukce, komponenty
SKŘ	Systémy kontroly a řízení
SL-2	Maximální projektové zemětřesení
SPF	Specifické funkce provozní
SSB	Systém související s jadernou bezpečností
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SVF	Specifické funkce s vlivem na JB
SW	Software
SxF	Specifická funkce Bezpečnostní/S vlivem na JB/Provozní
SZN	Systém zajištěného napájení
TBF	Typová funkce bezpečnostní
TBV	Typová bezpečnostní vlastnost
TPF	Typová funkce provozní
TVD	Technická voda důležitá
TVF	Typová funkce s vlivem na JB
TxF	Typová funkce Bezpečnostní/S vlivem na JE/Provozní
VCFŘ	Výsledný celkový funkční řetězec
VF	Vlivová funkce
VS	Vlastní spotřeba
VT	Vysokotlaký
VZ	Vybraná zařízení
VZT	Vzduchotechnika
ZBF	Základní bezpečnostní funkce
ZPF	Základní provozní funkce

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma bezpečnostních systémů, převzato z [13].....	20
Obrázek 2: Rozdělení havarijních systému na JE Temelín.....	21
Obrázek 3: Schematické znázornění zapojení jedné divize havarijních systémů na I.O.[19][20]	23
Obrázek 4: Schematické zapojení jedné divize VT systému[18].....	24
Obrázek 5: Schematické zapojení jedné divize NT systému[19].....	26
Obrázek 6: Schematické zapojení systému hydroakumulátorů[21].....	27
Obrázek 7: Schematické zapojení jedné divize sprchového systému[22]	28
Obrázek 8: Znázornění vazeb mezi FSK a FaSK a vyznačení vykonávaných a podpůrných funkcí	31
Obrázek 9: Vazby mezi ZxF/TxF/SxF a POx	32
Obrázek 10: FŘ – Re-007 – Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DBA – bez LOCA.....	55
Obrázek 11: FŘ – Re-008 – Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DBA – s LOCA	56
Obrázek 12: FŘ – Re-009 – Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DEC-A.....	56
Obrázek 13: FŘ – Re-014 – ATVW v DEC-A pomocí VT HSCHZ	57
Obrázek 14: FŘ – Re-016 – Odstavený stav reaktoru v DBA	57
Obrázek 15: FŘ – O-010 – Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. pomocí HSCHZ	59
Obrázek 16: FŘ – O-011 – Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. pomocí HSCHZ – bez ESFAS.....	60
Obrázek 17: FŘ – O-012 – Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. v DEC-A bez NT HSCHZ.....	61
Obrázek 18: FŘ – O-013 – Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. v DEC-A bez VT HSCHZ.....	62
Obrázek 19: FŘ – O-020 – Odvod zbytkového tepla z AZ v DiD1,2 přes NT HSCHZ	63
Obrázek 20: FŘ – Z-004 – Kompenzace úniku z I.O. pomocí HSCHZ.....	65
Obrázek 21: FŘ – Z-005 – kompenzace úniku z I.O. pomocí HSCHZ bez NT	66
Obrázek 22: FŘ – Z-006 – Kompenzace úniku I.O. pomocí HSCHZ bez VT	67
Obrázek 23: FŘ – Z-007 – Udržení zásoby chladiva diverzními prostředky v natlakovaném reaktoru.....	68
Obrázek 24: FŘ – Z-009 – Zásoba chladiva v reaktoru v DBA bez LOCA	68
Obrázek 25: FŘ – Z-013 – Havarijní doplňování BSVP pomocí sprchového systému	69
Obrázek 26: FŘ – U-010 – úniky z HO v DBA	70
Obrázek 27: FŘ – U-011 – Úniky z HO v DEC-A při ztrátě ESFAS.....	71
Obrázek 28: FŘ – U-012 – Úniky z HO v DEC-A při ztrátě sprchového čerpadla	72
Obrázek 29: FŘ – I-001 – integrita I.O. v úrovních DiD1 až 3b.....	73
Obrázek 30: FŘ – I-013 – Integrita HO v DBA	74
Obrázek 31: FŘ – I-014 – Integrita HO v DEC-A při ztrátě ESFAS	74
Obrázek 32: FŘ – I-015 – integrita HO v DEC-A při ztrátě sprchových čerpadel	75
Obrázek 33: Výřez z mapy funkcí v SW HIDRA s vysvětlujícími popisky.....	76
Obrázek 34: Postup hodnocení nezávislosti dvojic linií a jejich vyhodnocené stupně závislosti	85

Seznam Tabulek

Tabulka 1: Úrovně ochrany do hloubky v prvotní fázi - 70. léta[11].....	15
Tabulka 2: Úrovně ochrany do hloubky dle INSAG-10 [9].....	16
Tabulka 3: Úrovně ochrany do hloubky dle WENRA RHWG [12].....	17
Tabulka 4: Přehled podpůrných systém pro havarijní systémy	29
Tabulka 5: Požadavky na plnění typových funkcí v různých úrovních DiD dle [5]	36
Tabulka 6: Seznam profesí uvažovaných v rámci modelu Fa DiD	39
Tabulka 7: SxF/POx vykonávané vysokotlakým systémem HSCHZ	40
Tabulka 8: SxF/POx vykonávané nízkotlakým systémem HSCHZ.....	41
Tabulka 9: SxF/POx vykonávání pasivních HSCHZ	43
Tabulka 10: SxF/POx vykonávané sprchovým systémem ochranné obálky.....	44
Tabulka 11: Seznam podpůrných funkcí potřebných pro správnou funkci HSCHZ	45
Tabulka 12: Seznam SxF/POx potřebných pro správné plnění TxF/TBV	48
Tabulka 13: Soubor uvažovaných jevů, mechanismů a Provision.....	51
Tabulka 14: Seznam použitých SUB a jejich plněných TxF/TBV	53
Tabulka 15: Funkční řetězce pro SUB – řízení reaktivity v AZ	54
Tabulka 16 - Funkční řetězce pro SUB – odvod tepla z AZ	58
Tabulka 17: Funkční řetězce pro SUB – zásoba chladiva v I.O.	64
Tabulka 18: Funkční řetězce pro SUB – omezení úniků Ra látek	69
Tabulka 19: Funkční řetězce pro SUB – fyzikální bariéry JZ s reaktorem	73
Tabulka 20: Linie vytvořené v SW HIDRA pro tvorbu mapy funkcí	76
Tabulka 21: Odolnost FaSK a jejich SxF/POx na hodnocené hrozby	77
Tabulka 22: Výstup kontroly z SW HIDRA.....	81
Tabulka 23: Vyhodnocení dvojic linií	86
Tabulka 24: Přejed v úrovních DiD mezi PCFŘ a VCFŘ v rámci modelovaných SUB ..	89
Tabulka 25: Přejed v úrovních DiD mezi PCFŘ a VCFŘ v rámci modelovaných SUB ..	90

1. Úvod

Po největších haváriích jaderných elektráren na Three Mile Island, Černobyli a Fukušimě bylo vždy poukázáno na nějaké nedostatky. Ať už se jednalo o nedostatky plynoucí přímo v projektu, o nedostatečnou kulturu bezpečnosti nebo nedostatečnou odolnost proti možným přírodním jevům v lokalitě. Po každé takové události byly zkoumány příčiny, které havárie způsobily a jak jím v dalších projektech předejít. Po každé havárii je snaha zdokonalit samotné elektrárny již v projektu a docílit co největší míry jaderné bezpečnosti (JB).

Pro již provozované jaderné elektrárny (JE) je mezinárodní snaha ověřit do jaké míry jsou jednotlivé systémy a jejich vzájemné návaznosti na ostatní systémy na jaderné elektrárně bezpečné. A to právě z hlediska zjištěných nedostatků při jaderných haváriích. Jednou možnou používanou metodou jsou právě funkční analýzy (FA). Cílem funkčních analýz je vytvoření modelu systémů jaderné elektrárny, stanovení vnitřních závislostí mezi systémy a ověření nezávislosti a robustnosti elektrárny jako celku při aplikaci možné hrozby. Ať už se jedná o hrozbu přírodního či lidského charakteru. V rámci daného modelu systémů je možno ověřit, jak projektové požadavky, tak skutečný stav jaderné elektrárny a provést porovnání.

Z důvodu překročení plánované životnosti bloků v lokalitě jaderné elektrárny Dukovany, požádal provozovatel (ČEZ) o prodloužení životnosti stávajících bloků. Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) vyhověl provozovateli v příslušném rozhodnutí [1] za dodržení vyjmenovaných podmínek potřebných z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany. Jedna z těchto podmínek byla podnětem ke zpracování funkčních analýz v ochraně do hloubky. Jedná se o podmínku A4 v následujícím znění:

„Žadatel zpracuje do PpBZ projektová východiska (pro jednotlivá VZ systémů elektrických, SKŘ, strojních a pro stavební konstrukce důležité pro plnění bezpečnostních funkcí) včetně:

- i. projektových kritérií,*
- ii. výsledků analýz souladu s projektovými východisky,*
- iii. výsledků analýz plnění projektových kritérií,*
- iv. nezbytných bezpečnostních rezerv pro tato zařízení a konstrukce a*
- v. specifikace úrovně ochrany do hloubky, které je daný systém součástí.*

Žadatel rovněž objasní míru fyzické a funkční nezávislosti mezi jednotlivými úrovněmi ochrany do hloubky na EDU.“

Vzhledem do budoucna plánované žádosti o povolení prodloužení provozu i jaderné elektrárny Temelín je cílem této práce za pomoci softwarového nástroje a modelu posoudit robustnost a míru nezávislosti každé úrovně ochrany do hloubky (DiD) z pohledu ochrany fyzických bariér. V rámci této práce bude hodnocení provedeno pouze pro soubor havarijních systémů chlazení aktivní zóny jaderné elektrárny Temelín. Dalším cílem je ověření efektu zátěží a jejich působení na robustnost každé úrovně DiD pro havarijní systémy.

2. Teoretická část

V teoretické části bude popsána koncepce principu ochrany do hloubky, její vývoj v průběhu let. Následně budou popsány havarijní systémy jaderné elektrárny Temelín, pro které bude probíhat hodnocení v modelu funkčních analýz a budou představeny podpůrné systémy, které havarijní systémy potřebují pro správný výkon své bezpečnostní funkce.

2.1 Koncepce principu ochrany do hloubky

Pojmem ochrana do hloubky (DiD) se rozumí koncept bezpečnosti jaderných elektráren. Tento koncept bezpečnosti pochází ze starověké vojenské filozofie a je založen na poskytnutí a zajištění mnohonásobných ochranných bariér. Na poli jaderné bezpečnosti se tento koncept poprvé objevil a byl dále zkoumán od 70. let minulého století.

Nehoda na japonské jaderné elektrárně v roce 2011 přinesla unikátní pohled a mnoho nových otázek týkajících se koncepce jaderné bezpečnosti, včetně efektivnosti principu ochrany do hloubky. Scénář, který se na japonské elektrárně odehrál, nabídl jedinečnou možnost prozkoumat, kde by se tento princip ochrany do hloubky mohl do budoucna zdokonalit. Především z pohledu externích událostí, které mohou zapříčinit selhání několika úrovní ochrany do hloubky.

V jednotlivých úrovních DiD se koordinuje spolupráce všech systémů, konstrukcí a komponent (SKK) a lidského faktoru s cílem zajistit jadernou bezpečnost (JB). Ochrana do hloubky má dva zásadní úkoly:

- prevenci nehod,
- zmírnění následků nehod či havárií.

Nejdůležitějšími požadavky na princip DiD jsou:

- co největší robustnost (bytelnost) fyzických bariér, prostředků a opatření pro jejich ochranu v úrovních DiD,
- co největší míra nezávislosti jednotlivých úrovní DiD a jejich prostředků.

Vůbec první popis koncepce principu ochrany do hloubky byl vydán v INSAG-10 [9], jako takový byl popisem pro jaderné elektrárny, které jsou již v provozu. Tento bezpečnostní princip je však zapotřebí chápat dvěma způsoby, a to zvláště pro elektrárny, které jsou již v provozu a zvláště pro nové jaderné zdroje.

Ochrana do hloubky na provozovaných českých jaderných elektrárnách je dle přijaté definice chápána jako celková komplexní filosofie bezpečnosti. Jako taková zahrnuje všechny bezpečnostní aktivity včetně umisťování, projektování, výstavby, spouštění, provozu a vyřazování jaderných elektráren z provozu.[6][8]

2.1.1 Legislativní definice

Ochrana do hloubky je definována v různých publikacích s drobnými rozdíly. Pro účely této práce je stěžejní české atomová legislativa. V českém atomovém zákoně č. 263/2016 Sb. v §43, písmenu c) je ochrana do hloubky definována následovně:

„ochranou do hloubky se rozumí způsob ochrany založený na několika nezávislých úrovních stupňovitě bránících vzniku možnosti ozáření pracovníků a obyvatelstva, šíření ionizujícího záření a úniků radioaktivních látek do životního prostředí.“

Použití a uplatnění ochrany do hloubky v projektu jaderného zařízení dále specifikuje vyhláška SÚJB č. 329/2017 Sb. v §6 a §7. Projekt jaderného zařízení musí tedy obecně stanovit požadavky na SKK a postupy k zajištění základních bezpečnostních funkcí (ZBF).[4][5][15]

2.1.2 Úrovně ochrany do hloubky

Definice různých úrovní ochrany do hloubky byly stanoveny tak, aby odrážely vývoj od normálního provozu k projektovým nehodám. Princip spočívá v tom, že pokud jedna úroveň selže, existuje další vyšší úroveň, která ji nahradí. To však neznamená, že situace uvažované v rámci dané úrovně DiD systematicky vyplývají z poruch a chyb předchozí úrovně. Rozdílné úrovně DiD byly stanoveny tak, aby pokryly odlišné situace, které musejí být v rámci projektu a provozu na jaderné elektrárně uvažovány. Tento přístup byl zamýšlen pro zajištění robustních prostředků k naplnění základních bezpečnostních funkcí:

- řízení reaktivity,
- odvod zbytkového tepla z aktivní zóny (AZ) a bazénu skladování vyhořelého paliva (BSVP),
- omezení úniků radioaktivních látek, stínění.

V následujících tabulkách jsou specifikovány cíle jednotlivých úrovní DiD a obecně stanoveny prostředky, kterými je zajišťováno plnění ZBF v příslušné úrovni DiD. Následující tabulky odrážejí vývoj v úrovních ochrany do hloubky v závislosti na požadavcích mezinárodních orgánů a nových zkušeností z provozu jaderných elektráren.

Tabulka 1: Úrovně ochrany do hloubky v prvotní fázi - 70. léta[11]

Úroveň DiD	Cíl	Hlavní prostředky	Asociovaný provozní stav
Úroveň 1	Prevence chyb a poruch normálního provozu. Zabránění přechodu do abnormálního provozu	Konzervativní projekt, zajištění jakosti a celková kultura bezpečnosti	Normální provoz
Úroveň 2	Kontrola a řízení abnormálního provozu, detekce poruch a zabránění rozvoji do projektových havarijních podmínek	Kontrolní, limitační a ochranné systémy	Očekávané provozní události. Abnormální provoz
Úroveň 3	Kontrola nehod zahrnutých v projektu JE. Cílem je zabránění poškození AZ a zamezení možným radioaktivním únikům uvnitř hermetické obálky.	Bezpečnostní systémy, které zabraňují rozvoji poruch zařízení a chyb obsluhy do projektových nehod a jejich rozvoji.	DBA (Design Basis Accidents) – Základní projektové nehody (postulované iniciační události – jednoduché)

V dalším vývoji bezpečnostního konceptu ochrany do hloubky pro již provozované jaderné elektrárny bylo zapotřebí uvažovat i podmínky plynoucí k těžkým haváriím, které nebyly zahrnuty do původní projektu provozované elektrárny (tzv. nadprojektové podmínky). Tato tendence vznikla především po nehodách na elektrárnách Three Mile Island a Černobyl. V následující tabulce, tak přibyly další dvě úrovně ochrany do hloubky.

Tabulka 2: Úrovně ochrany do hloubky dle INSAG-10 [9]

Úroveň DiD	Cíl	Hlavní prostředky	Asociovaný provozní stav
Úroveň 1	Prevence chyb a poruch normálního provozu. Zabránění přechodu do abnormálního provozu	Konzervativní projekt, zajištění jakosti a celková kultura bezpečnosti	Normální provoz
Úroveň 2	Kontrola a řízení abnormálního provozu, detekce poruch a zabránění rozvoji do projektových havarijních podmínek	Kontrolní, limitační a ochranné systémy	Očekávané provozní události. Abnormální provoz
Úroveň 3	Kontrola nehod zahrnutých v projektu JE. Cílem je zabránění poškození AZ a zamezení možným radioaktivním únikům uvnitř hermetické obálky.	Bezpečnostní systémy, které zabraňují rozvoji poruch zařízení a chyb obsluhy do projektových nehod a jejich rozvoji.	DBA (Design Basis Accidents) – Základní projektové nehody (PIU – jednoduché)
Úroveň 4	Kontrola a zmírňování následků těžkých havárií, včetně prevence rozšíření havárie. Cílem je udržení celistvosti hermetické obálky.	Opatření, řízení činností k udržení radioaktivních látek uvnitř hermetické obálky, havarijní štáb	Vícenásobné selhání Těžké havárie
Úroveň 5	Zmírňování radiologických následků významných úniků radioaktivních látek v důsledku nehod.	Vnější zóna havarijního plánování	

Pro nové generace jaderných elektráren (JE) je žádoucí zahrnout již zmíněné „nadprojektové“ podmínky přímo do projektu a dle možností technického řešení je lze zahrnout i na stávajících JE. Tyto nadprojektové podmínky by měly uvažovat vícenásobné poruchy a z nich plynoucí nehody a také nehody s tavením aktivní zóny. Mimo to by měly definovat inženýrské prostředky pro zvládání a zmírňování těchto nadprojektových podmínek. V literatuře [3] byly tyto podmínky zavedeny jako rozšířené projektové podmínky (DEC – design extension conditions). Je však důležité si uvědomit, že uvažované rozšířené projektové podmínky nejsou stejné pro již provozované jaderné elektrárny a pro nově vznikající projekty jaderných elektráren.

Tabulka 3: Úrovně ochrany do hloubky dle WENRA RHWG [12]

Úroveň DiD	Cíl	Hlavní prostředky	Radiologické následky	Asociovaný provozní stav
Úroveň 1	Prevence chyb a poruch normálního provozu. Zabránění přechodu do abnormálního provozu	Konzervativní projekt, zajištění jakosti a celková kultura bezpečnosti	Žádné radiologické následky na okolí (svázáno se stanovenými provozními limity řízení výпустí)	Normální provoz
Úroveň 2	Kontrola a řízení abnormálního provozu, detekce poruch a zabránění rozvoji do projektových havarijních podmínek	Kontrolní, limitační a ochranné systémy		Očekávané provozní události. Abnormální provoz
Úroveň 3	3a	Kontrola nehod zahrnutých v projektu JE. Cílem je zabránění poškození AZ a zamezení možným radioaktivním únikům uvnitř hermetické obálky.	Žádné nebo zanedbatelné radiologické následky na okolí	Postulované iniciační události – jednoduché DBA
	3b			Postulované iniciační události – vícenásobné DEC-A
Úroveň 4	Kontrola a zmírňování havárií s tavením aktivní zóny k omezení úniků radioaktivních látek do okolí.	Doplňkové bezpečnostní prvky ke zmírnění tavení aktivní zóny. Havarijní plánování.	Radiologické následky způsobené únikem radioaktivních látek, mohou znamenat ochranná opatření v závislosti na lokalitě a čase	Postulované tavení aktivní zóny (krátkodobé nebo dlouhodobé) DEC – B
Úroveň 5	Zmírňování radiologických následků významných úniků radioaktivních látek v důsledku nehod.	Vnější zóna havarijního plánování	Radiologické následky způsobené velkým únikem radioaktivních látek, které vyžadují nezbytná ochranná opatření	

2.1.3 Fyzikální bariéry

Relevantním hlediskem pro začlenění ochrany do hloubky do projektů jaderných elektráren je požadavek existence řady fyzikálních bariér, stejně tak jako požadavek na kombinaci aktivních, pasivních a inherentních bezpečnostních funkcí podporujících efektivitu fyzikálních bariér. Fyzikální bariéry mohou být odlišné, podle toho, o jaké jaderné zařízení se jedná. Tato práce je zaměřena pouze na jaderné zařízení s jaderným reaktorem – tedy jaderné elektrárny. V rámci projektu našich jaderných elektráren je uvažováno se třemi fyzikálními bariérami:

- první fyzikální bariéra je tvořena pokrytím palivového článku,
- druhá fyzikální bariéra je tvořena tlakovou hranicí primárního okruhu,
- třetí fyzikální bariéra je tvořena ochranou obálkou (kontejnmentem).

Nutno podotknout, že napříč odbornou veřejností existují rozpory v počtu fyzikálních bariér, často bývá jako první bariéra uvažována navíc chemická a fyzikální struktura jaderného paliva. Nicméně, pokud dojde k porušení chemické a fyzikální struktury paliva, je to zpravidla z důvodu zvyšující se teploty chladiva v aktivní zóně a současně s porušením struktury paliva dochází k porušení druhé bariéry – pokrytí palivových článků.[15][13][10][6]

2.1.4 Bezpečnostní funkce

Bezpečnostní funkce jsou dalším principem zajištění plnění jaderné bezpečnosti na jaderném zařízení. Dle atomového zákona je lze definovat jako činnosti SKK nebo jiné součástí jaderného zařízení, které jsou významné pro zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení.

Obecně ve všech projektech musí být plněny tři základní bezpečnostní funkce (ZBF), které jsou zjednodušeně definovány následovně.

- ZBF1 – řízení reaktivity,
- ZBF2 – odvod tepla z aktivní zóny reaktoru, bazénu vyhořelého jaderného paliva a technologických systémů,
- ZBF3 – zadržení radioaktivních látek, řízení plánovaných výpustí a omezení úniků radioaktivních látek.

V atomovém zákoně jsou v §45 odst. 2 podrobněji definovány a rozepsány výše zmíněné ZBF následovně pro jaderné zařízení s jaderným reaktorem následovně:

(2) Jaderné zařízení s jaderným reaktorem musí od zahájení výstavby až do vyřazení z provozu:

- a) umožňovat v případě potřeby okamžitě a bezpečně odstavit jaderný reaktor a udržovat jej v podkritickém stavu (ZBF1),*
- b) zabránit nekontrolovanému rozvoji štěpné řetězové reakce (ZBF1),*
- c) fyzikálně znemožnit vznik kritického a nadkritického stavu mimo vnitřní prostor jaderného reaktoru (ZBF1),*
- d) zajišťovat odvod tepla vytvářeného jaderným palivem a technologickými systémy (ZBF2),*
- e) zajistit stínění a zabránit úniku radioaktivní látky a šíření ionizujícího záření do životního prostředí (ZBF3).*

Na základě dokumentu [11], který byl základem zavedení bezpečnostních funkcí do projektu a dnes na základě přílohy č.1 vyhlášky 329/2017 Sb. [5] lze ZBF rozdělit na typové bezpečnostní funkce, kterými jsou plněny základní projektové požadavky.[5][4][11][15][13]

2.2 Bezpečnostní systémy ETE

Projekt jaderné elektrárny rozděluje systémy, konstrukce a komponenty jednak z hlediska zajištění a zabezpečení jaderné bezpečnosti a na SKK sloužící k zajištění vlastního technologického procesu a k přeměně jaderné energie na energii elektrickou. Systémy, konstrukce a komponenty jsou z hlediska jaderné bezpečnosti, plnění jejich funkcí a v souladu s jejich kategorizací dle atomové legislativy [5] rozděleny následovně:

- SKK bez vlivu na jadernou bezpečnost,
- SKK s vlivem na jadernou bezpečnost, která nejsou vybraným zařízením,
- Vybraná zařízení:
 - o Vybraná zařízení, která nejsou bezpečnostními systémy (dříve systémy související s bezpečností – SSB),
 - o Bezpečnostní systémy.

Bezpečnostní systémy představují množinu systémů zahrnující:

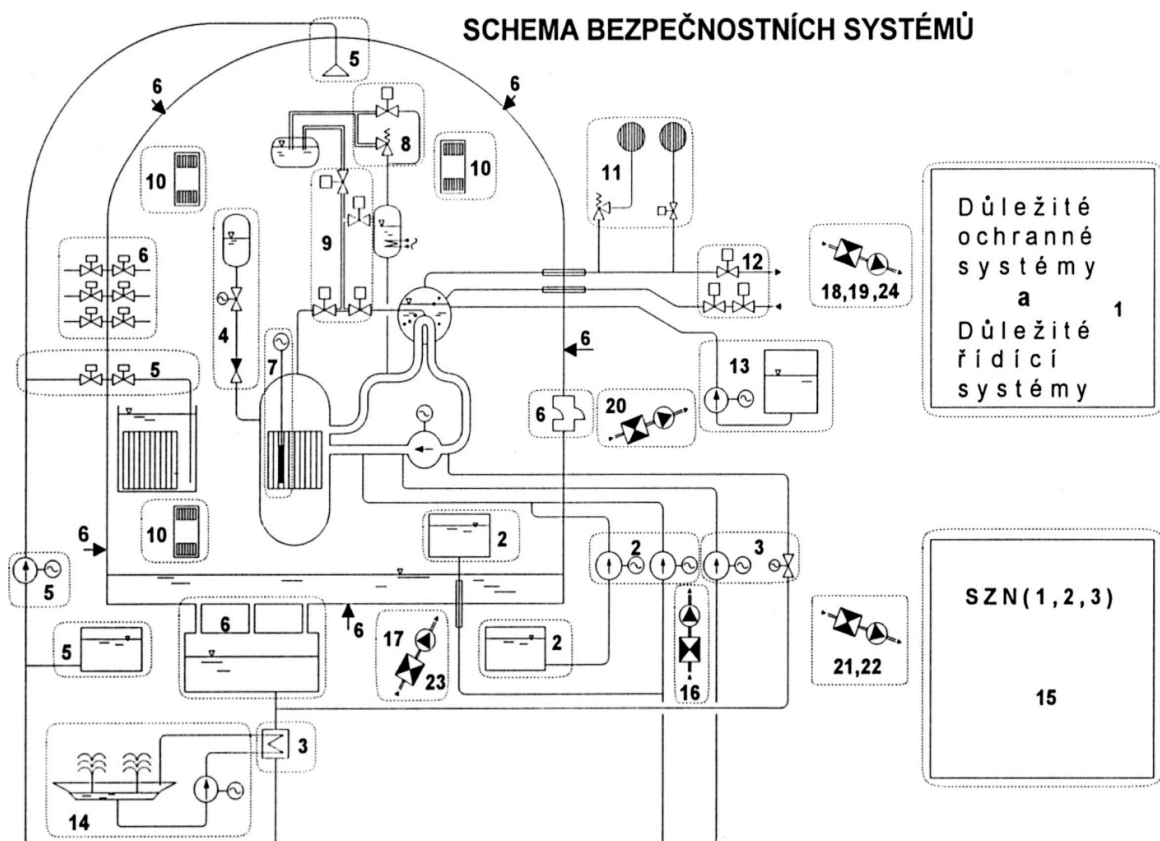
- **důležité ochranné a řídicí systémy** (přístrojové vybavení pro měření, resp. monitorování bezpečnostně důležitých proměnných veličin nebo stavů JB a pro automatické spuštění odpovídajících systémů s cílem zajistit a udržet JB v bezpečném stavu),
- **výkonné (akční) bezpečnostní systémy** (systémy, které na iniciaci ochranných systémů vykonávají příslušné bezpečnostní funkce),
- **podpůrné systémy** (systémy zajišťující funkce ochranných a výkonných systémů jako je např. el. napájení, chlazení apod.).

Bezpečnostní systémy jsou schopny udržet jaderné zařízení v bezpečném stavu za jakýchkoliv podmínek předpokládaných projektem jaderného zařízení. Níže je uveden výčet bezpečnostních systémů na JE Temelín a jejich schematické znázornění na Obrázek 1.

1. Důležité ochranné systémy a důležité řídicí systémy (PRPS, DPS, NPL, část PAMS)
2. Vysokotlaký systém havarijního chlazení AZ
3. Nízkotlaký systém havarijního chlazení AZ
4. Pasivní systém havarijního chlazení AZ
5. Sprchový systém ochranné obálky včetně systému havarijního doplňování bazénu vyhořelého paliva
6. Systém lokalizace havárií (ochranná obálka a její izolace od okolí)
7. Mechanický systém odstavení reaktoru
8. Systém ochrany prim. okruhu od převýšení tlaku (PV KO a odlehčovací ventil)
9. Systém havarijního odvodu paroplynné směsi z I.O.
10. Systém spalování vodíku v ochranné obálce
11. Systém ochrany sek. okruhu od převýšení tlaku (PSA a PV PG)

12. Systém havarijního oddělení PG (RČA na páře a armatury na nap. vodě)
13. Systém havarijního napájení PG
14. Systém technické vody důležité
15. Systém zajištěného el. napájení (SZN 1,2,3)
16. – 24. Systémy vzduchotechniky (chlazení prostorů havarijních systémů, chlazení místností armatur havarijního dochlazování, chlazení nouzové a blokové dozorny, chlazení místností havarijního napájení PG, chlazení prostorů el. rozvaděčů bezpečnostních systémů, chlazení místností elektronapájení (SZN 1,2,3), chlazení průchodek, chlazení ionizačních komor)

Na následujícím obrázku jsou výše uvedené a očíslované bezpečnostní systémy znázorněny na zjednodušeném schématu.[14][13]



Obrázek 1: Schéma bezpečnostních systémů, převzato z [13]

2.2.1 Požadavky na bezpečnostní systémy

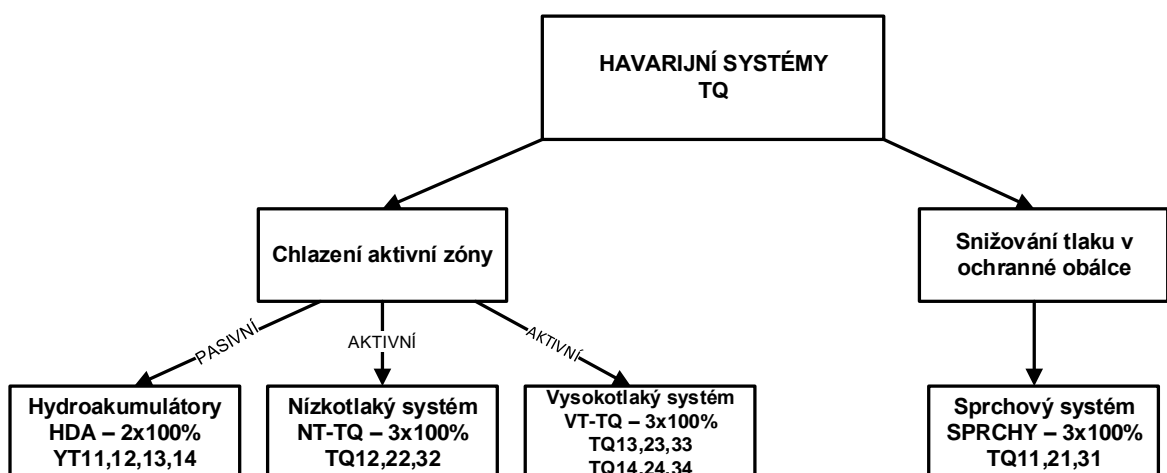
Bezpečnostními systémy (BS) jsou obecně nazývány systémy, konstrukce a komponenty s vlivem na jadernou bezpečnost (vybraná zařízení), které jsou projektem určené jako základní prostředky ke spolehlivému plnění bezpečnostních funkcí při projektem předpokládaných provozních stavech a DBA. Některé BS však mohou pracovat i při podmínkách DEC-A.

Funkceschopnost bezpečnostních systémů musí být zachována při všech **projektem předpokládaných událostech** a jejich relevantních kombinacích. Jedná se například o funkceschopnost při zemětřesení až do úrovně maximálního projektového zemětřesení, při požárech uvnitř i vně JE a dále za působení extrémních klimatických vlivů (zátopy, vichřice, blesky, sníh). V projektu jsou také uvažovány události způsobené lidskou činností (pád letadla, výbuch). V neposlední řadě projekt počítá s poruchami, výpadky a nehodami na JE (např. pád těžkých břemen, letící předměty) a také s výskytem jednoduché poruchy systému, i během provádění oprav, revizí a zkoušení systému.

Z důvodu zajištění funkceschopnosti, spolehlivosti a odolnosti bezpečnostních systémů jsou na JE Temelín aktivní bezpečnostní systémy řešeny s redundancí 3x100% včetně všech jejich podpurných systémů (elektrické napájení, ovládání, zajištění podmínek prostředí). V případě pasivních bezpečnostních systémů (např. pasivní systém havarijního chlazení zóny) není tato zásada dodržena, neboť pasivní systémy obecně nevyžadují elektrické napájení a neměly by obsahovat žádné aktivní prvky. Pasivní systémy jsou tedy považovány obecně za spolehlivější, a proto jsou řešeny na jiném principu např. pasivní systém havarijního chlazení aktivní zóny je řešen pouze s dvojnásobnou redundancí 2x100%. Funkceschopnost bezpečnostních systémů musí být zajištěna v případě výskytu jednoduché poruchy systému, během provádění oprav, revize a zkoušení systému, pokud limity a podmínky bezpečného provozu nestanoví jinak.

2.3 Havarijní systémy chlazení aktivní zóny – HSCHZ

V rámci řešení problematiky funkčních analýz v úrovních ochrany do hloubky budou v rámci této práce podrobněji rozebírány pouze projektové požadavky a funkce pro havarijní systémy chlazení aktivní zóny (HSCHZ) – tedy vysokotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny (AZ), nízkotlaký systém havarijního chlazení AZ, pasivní systém havarijního chlazení AZ a sprchový systém ochranné obálky. V ruském projektu jsou všechna zařízení tvořící havarijní systémy označeny jako TQ, kromě systému hydroakumulátorů, který je přiřazen k pasivnímu havarijnímu systému – YT.[21]



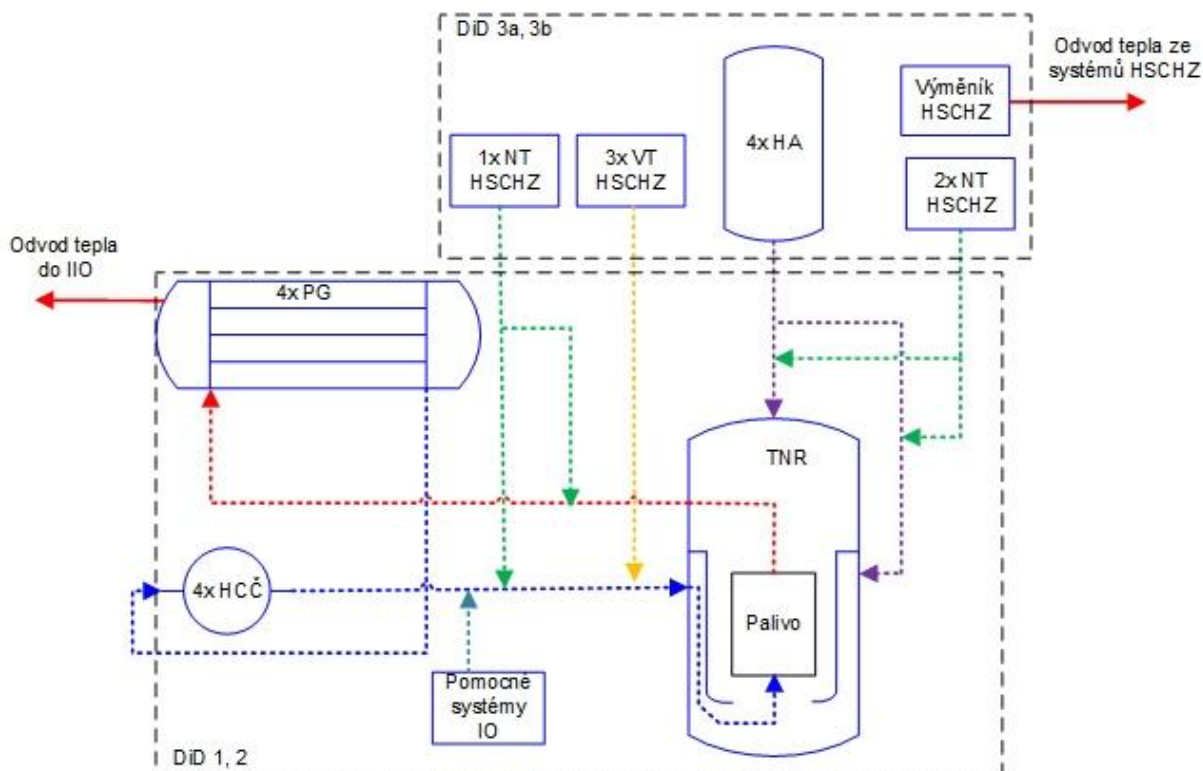
Obrázek 2: Rozdělení havarijních systému na JE Temelín

Z hlediska bezpečnostní klasifikace se jedná o bezpečnostní systémy, a tedy i vybraná zařízení a jako taková jsou zařazená do bezpečnostní třídy 2 dle přílohy č.1 vyhlášky 329/2017 Sb. dle bezpečnostních funkcí, které jednotlivé havarijní systémy plní. Z hlediska seismické klasifikace se jedná o systémy, kdy jejich čerpadla a armatury musí zachovat plnou funkční způsobilost v průběhu i po skončení havarijní události (zemětřesení), nádrže a potrubí důležité pro správné plnění BF si musí zachovat svou mechanickou pevnost a hermetičnost v průběhu a po skončení havarijní události.

Havarijní systémy chlazení aktivní zóny jsou v projektu JE Temelín rozděleny na systémy chlazení aktivní zóny a na systémy určené ke snižování tlaku v ochranné obálce. Systémy chlazení aktivní zóny se dále dělí na aktivní a pasivní systémy. Mezi pasivní systémy patří již zmiňované tlakové zásobníky-hydroakumulátory (HDA). Mezi aktivní systémy chlazení aktivní zóny patří nízkotlaký (NT-TQ) a vysokotlaký (VT-TQ) systém havarijního chlazení. Havarijní systém určený ke snižování tlaku v ochranné obálce je sprchový systém. Rozdělení je patrné i z Obrázek 2.[17][18][19]

Jaderné zařízení s reaktorem musí být schopno zastavit štěpnou řetězovou reakci v jakémkoli okamžiku a musí být schopno udržet dostatečné množství chladiva pro chlazení aktivní zóny a odvod zbytkového tepla a zároveň při tom musí zabezpečit, že nedojde k porušení prvních dvou fyzických bariér. Vše výše popsané je projekt jaderné elektrárny schopen zabezpečit pomocí havarijních systémů. Systémy havarijního chlazení aktivní zóny (HDA, NT-TQ, VT-TQ) mají dostatečnou kapacitu pro dodávku chladiva do primárního okruhu (I.O.) a následný odvod tepla – pomocí výměníků přes technickou vodu důležitou – i v případě porušeného primárního okruhu. Sprchový systém slouží ke snížení tlaku uvnitř hermetického prostoru, a tím se stará o to, aby unikající pára z porušeného primárního okruhu při havárii se ztrátou chladiva nezpůsobila porušení třetí fyzické bariéry – ochranné obálky.[17] [18]

Jedna divize havarijních systémů je naprojektována tak, aby spolehlivě zvládla maximální projektovou havárii – gilotinové roztržení hlavního cirkulačního potrubí s oboustranným výtokem. Mimo havarijní stavy slouží havarijní systémy i v režimu plánovaného odstavení reaktoru pro odvod tepla ve druhé etapě dochlazování.[17][18] Na Obrázek 3 jsou schematicky znázorněny havarijní systémy a jejich zaústění na primární okruh.



Obrázek 3: Schematické znázornění zapojení jedné divize havarijních systémů na I.O.[19][20]

2.3.1 Vysokotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny

Za normálního a abnormálního stavu bloku zajišťuje odvod tepla z pokrytí paliva primární okruh prostřednictvím cirkulace chladiva přes AZ. Při provozu na výkonu je celkové generované teplo odváděno nucenou cirkulací prostřednictvím hlavních cirkulačních čerpadel (HCČ). Zbytkové teplo lze odvádět i pomocí přirozené cirkulace chladiva I.O. Řízení koncentrace kyseliny borité je zajišťováno pomocnými systémy I.O.[16] [18][19]

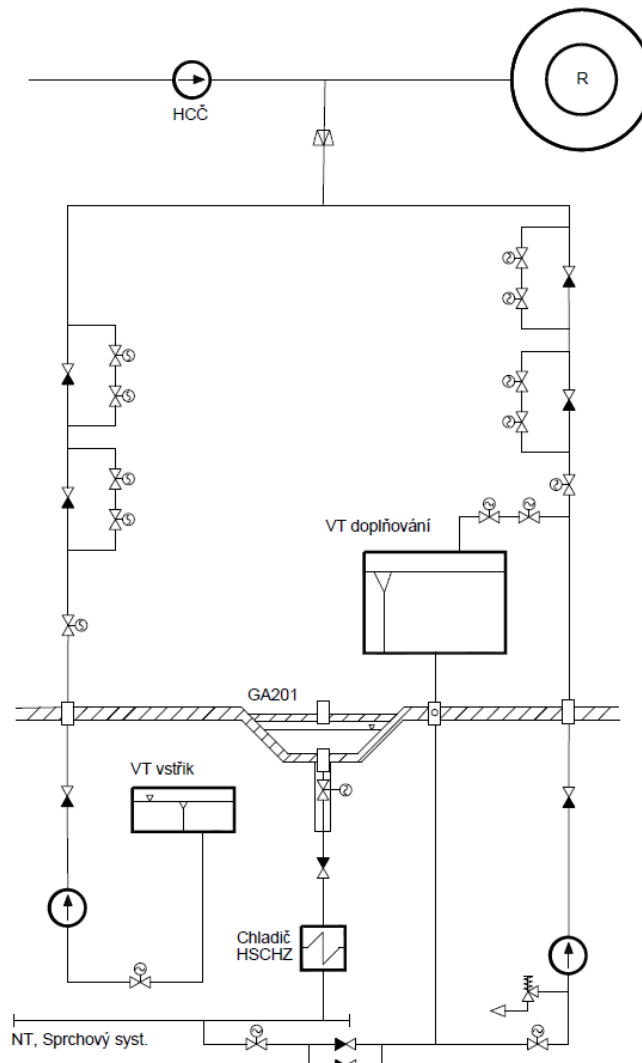
Vysokotlaký systém havarijního chlazení AZ se dále dělí na **VT doplňovací** a **VT vstříkovací** systém. VT systém jako celek slouží ke zmírnění průběhu a likvidaci následku havárií spojených se ztrátou těsnosti I.O. případně II.O. Za normálního provozu bloku na jmenovitém nebo sníženém výkonu je zařízení v pohotovostním režimu připraveno automaticky zasáhnout v případě vzniku havarijní situace. [16][18][24][19]

Za havarijní situace musí VT systém zajistit:

- zabránění nepřijatelným přechodovým procesům spojenými se změny reaktivity,
- udržení reaktoru v bezpečně odstaveném stavu, po každém jeho odstavení,
- odvod zbytkového tepla z AZ při porušení tlakového okruhu chladiva reaktoru s cílem omezit poškození paliva,
- udržení dostatečného stupně integrity pokrytí paliva v AZ.[16][18][24][19]

VT systém je bezpečnostní aktivní systém a je řešen systémovou redundancí 3x100% včetně všech podpůrných systémů. Vzhledem k redundanci systému jsou čerpadla a nádrže jednotlivých divizí umístěna v dispozičně oddělených kobbách.

VT doplňovací systém má označení TQ13,23,33 a skládá z trojice odstředivých čerpadel, kdy každé z čerpadel má vlastní nádrž se zásobou roztoku kyseliny borité o odstavné koncentraci, přičemž nádrž je umístěna uvnitř hermetické zóny. Vysokotlaký systém havarijního doplňování je navržen tak, aby dodával koncentrovaný roztok kyseliny borité do I.O. při haváriích spojených s uvolňováním kladné reaktivity v AZ při zachování tlaku v I.O. do 10 MPa. Výtlačná potrubí doplňovacích čerpadel jsou zavedena do studených větví 1., 3. a 4. smyčky hlavního cirkulačního potrubí (HCP). V hermetickém prostoru se toto potrubí spojuje s výtlačky od čerpadel VT vstřikování. Po vyčerpání zásoby chladiva v nádržích doplňovacího systému, přechází automaticky sání čerpadel na sání z havarijní nádrže-jímky GA201, která je společná pro všechny havarijní systémy.[16][18]



Obrázek 4: Schematické zapojení jedné divize VT systému[18]

VT vstřikovací systém má označení TQ14,24,34 a je tvořen trojicí pístových čerpadel, která jsou schopna se prosadit i do plné tlaku primárního okruhu. Každé čerpadlo má vlastní nádrž s roztokem kyseliny borité, umístěnou vně hermetického prostoru. V nádrži je koncentrovaný roztok kyseliny borité. Vstřikovací systém zabezpečuje dodávku roztoku kyseliny borité a kompenzování úniku při tlaku v I.O. do 16 MPa a jako takový je určen k potlačení kladné reaktivity v případě, kdy nepoklesl tlak v I.O., tedy například při roztržení parovodů. Při vyčerpání zásoby koncentrovaného roztoku kyseliny borité v nádržích

vstřikovacího systému, přestává VT vstřikovací systém fungovat. Tedy nemá možnost přepojení sání z nádrže jímky GA201.

2.3.2 Nízkotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny

Za normálního stavu bloku v provozních režimech 1 až 4 zajišťuje odvod tepla z pokrytí paliva primární okruh prostřednictvím cirkulace chladiva přes AZ. Při provozu na výkonu je celkové generované teplo odváděno nucenou cirkulací prostřednictvím HCČ. Zbytkové teplo lze odvádět i pomocí přirozené cirkulace chladiva I.O. Řízení koncentrace kyseliny borité je zajišťováno pomocnými systémy I.O. Za normálního provozu bloku na výkonu je NT systém v režimu pohotovosti a je připraven plnit požadované funkce.[16][18][19]

Za normálního stavu bloku v provozním režimu 5 a 6 NT systém zajišťuje plánované dochlazování I.O.

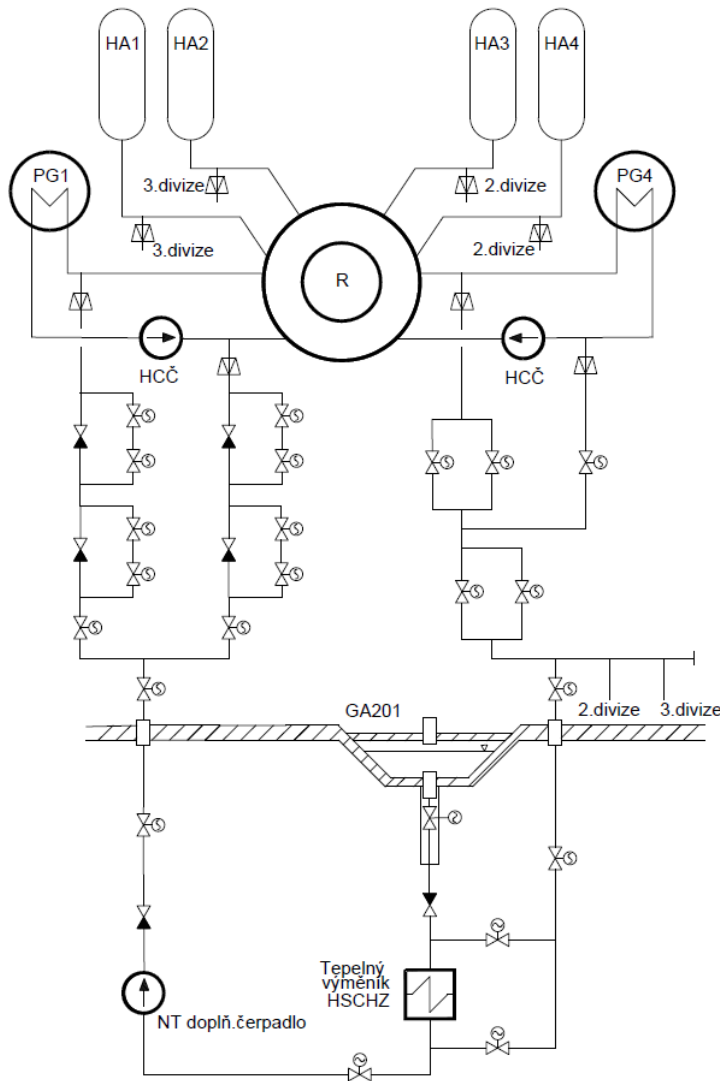
NT systém je určen k havarijnímu chlazení AZ reaktoru a následnému dlouhodobému odvodu zbytkového výkonu při haváriích spojených se ztrátou těsnosti I.O., včetně roztržení HCP s oboustranným neomezeným výtokem chladiva.[16][17][19]

Za havarijní situace musí NT systém zajistit:

- odvod zbytkového tepla z AZ při porušení tlakového okruhu chladiva s cílem omezit poškození paliva,
- udržení dostatečného stupně integrity pokrytí paliva v AZ reaktoru,
- udržení reaktoru v bezpečně odstaveném stavu, po každém z jeho odstavení.[16][18][19]

V režimu plánovaného dochlazování I.O. operátor spouští NT čerpadlo do tras recirkulace na náhřev. Po prohřátí tras na rozdíl mezi I.O. a NT systémem menší než 30 °C je možno NT systém připojit k I.O. a zahájit dochlazování.[16] [18][19]

NT systém má technologické označení TQ12,22,32 a skládá se z trojice odstředivých čerpadel, potrubí a armatur. Dále NT systém využívá výměník HSCHZ s technologickým označením TQ10,20,30, který je společný pro VT, NT i sprchový systém. Sání čerpadel NT systému je trvale připojeno na nádrž-jímku GA201, kde je roztok kyseliny borité o odstavné koncentraci. Výtlaky dvou divizí NT čerpadel jsou zaústěny do výtlačného potrubí od hydroakumulátorů a třetí divize je zavedena do horké a studené větve první smyčky HCP, jak je vidět na Obrázek 5.

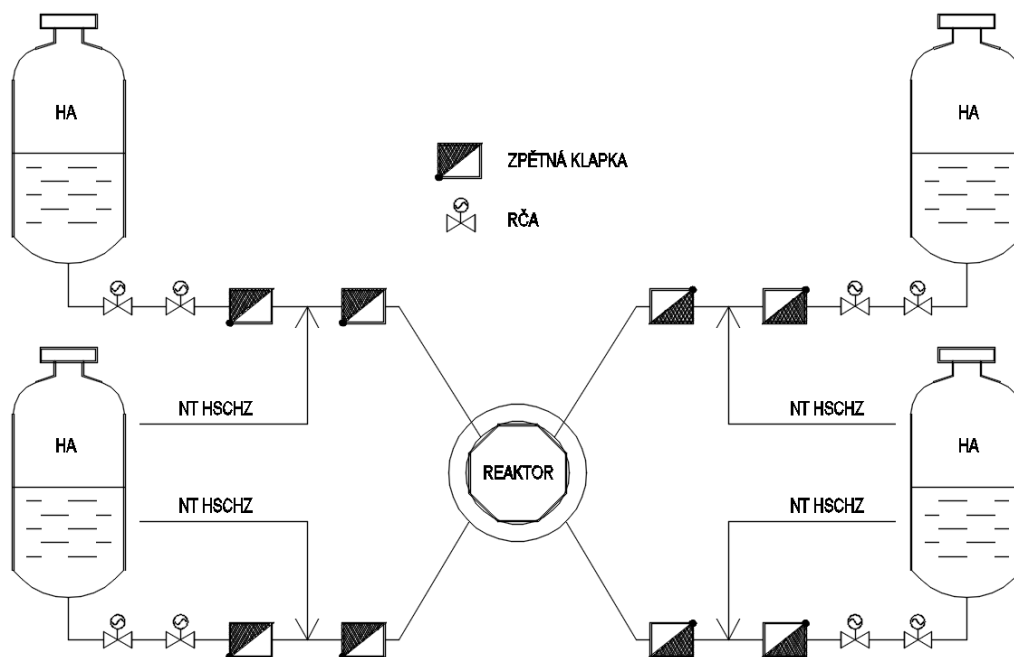


Obrázek 5: Schematické zapojení jedné divize NT systému[19]

2.3.3 Pasivní systém havarijního chlazení aktivní zóny

Za normálního a abnormálního stavu bloku zajišťuje odvod tepla z pokrytí paliva primární okruh prostřednictvím cirkulace chladiva přes AZ a při provozu na výkonu je celkové generované teplo odváděno nucenou cirkulací pomocí HCC přes parogenerátor.

Pasivní systém havarijního chlazení aktivní zóny slouží k rychlému zaplavení aktivní zóny v počáteční fázi havarijní situace spojené s poklesem tlaku v I.O., tedy v situaci spojené s velkým únikem chladiva z primárního okruhu. Systém je tvořen čtyřmi tlakovými zásobníky – hydroakumulátory, které obsahují odstavnou koncentraci kyseliny borité. Systém hydroakumulátorů zajišťuje přívod roztoku kyseliny borité pod a nad aktivní zónu. Chlazení pomocí hydroakumulátorů při vzniku nehody se ztrátou chladiva (LOCA – Loss of Coolant Accident) zabraňuje tavení paliva a porušení geometrie aktivní zóny, než jsou do provozu uvedeny aktivní HSCHZ. Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o pasivní systém tak nevyžaduje ke své iniciaci elektrickou energii.[16][17][21]



Obrázek 6: Schematické zapojení systému hydroakumulátorů[21]

Hnací silou pro vytlačení chladiva do reaktoru je expanze stlačeného dusíku. Uvádí se do činnosti od poklesu tlaku v primárním okruhu bez iniciace zvenčí. Po vyprázdnění tlakových zásobníků jsou však na trasách umístěny uzavírací armatury, napájené ze zajištěného napájení nejvyšší kategorie (akubaterie) pro zamezení průniku dusíku do primárního potrubí.[16][21]

2.3.4 Sprchový systém ochranné obálky

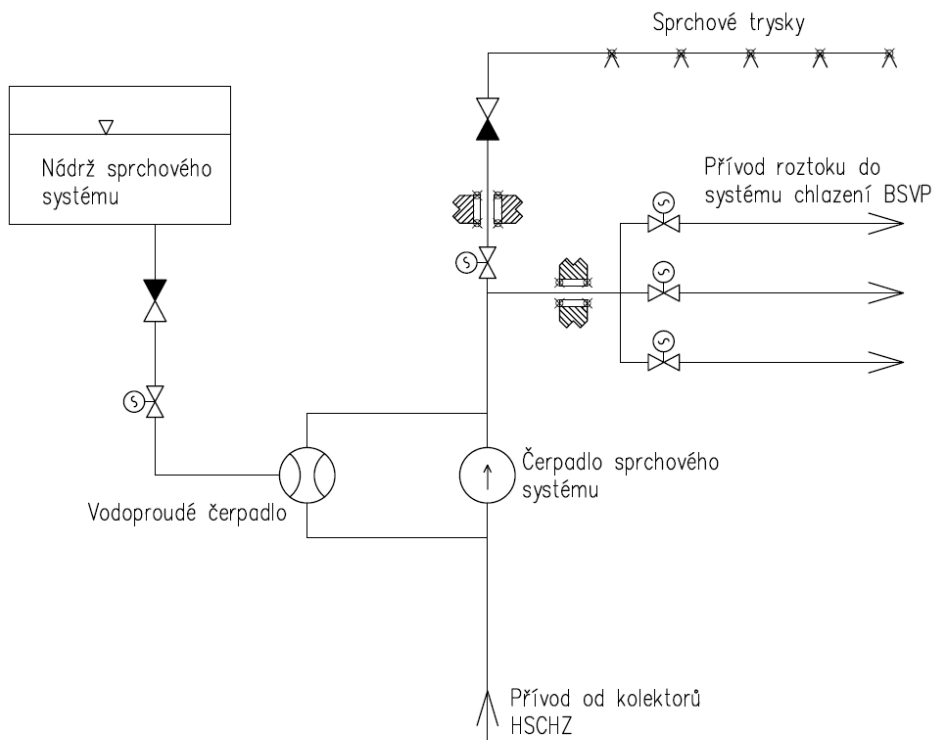
Sprchový systém ochranné obálky včetně havarijního doplňování bazénu vyhořelého paliva slouží ke snížení tlaku v hermetickém prostoru při porušení těsnosti I.O. nebo parovodů II.O. a dále je určen k lokalizaci a vázání radioaktivních látek z paroplynné fáze, která vznikla při porušení těsnosti I.O. Těmito funkcemi se podílí na plnění bezpečnostní funkce zajištění snížení úniků radioaktivních látek do životního prostředí. Další funkcí sprchového systému je, že v případě poruchy chlazení BSVP zajišťuje jeho havarijní chlazení.[16][18][22]

Za normálního provozu bloku na jmenovitém nebo sníženém výkonu, je sprchový systém v pohotovosti připraven plnit své bezpečnostní funkce v případě vzniku havarijní situace. Za havarijní situace sprchový systém zajišťuje:

- snižování tlaku v hermetickém prostoru,
- odvod tepla z hermetického prostoru,
- záchyt jódu a jiných radioaktivních látek v HZ,
- havarijní doplňování BSVP.

Sprchový systém má technologické označení TQ11,21,31 a skládá se z trojice sprchových čerpadel, z nichž ke každému je přiřazena nádrž s roztokem $N_2H_4+KOH+H_3BO_3$ (pro

vymývání RaL) a vodoproudé podávací čerpadlo, sprchových trysek a spojovacího potrubí s armaturami. Stejně jako NT HSCHZ má i sprchový systém sání čerpadel napojené na nádrž-jímku GA201. Výtlaky sprchových čerpadel jsou zaústěny do sprchových trysek, které jsou umístěny pod kopulí ochranné obálky. Na každou výtlachnou trasu chlazení BSVP je přiveden jeden přívod od sprchového systému, pro případné havarijní chlazení BSVP.[16][18][22]



Obrázek 7: Schematické zapojení jedné divize sprchového systému[22]

2.3.5 Podpůrné systémy pro HSCHZ

Pro spolehlivé plnění bezpečnostních funkcí havarijních systémů je nezbytné, aby byly jejich podpůrné systémy také provozuschopné. Z toho vyplývá, že na podpůrné systémy BS jsou kladeny v podstatě stejné požadavky jako na samotné bezpečnostní systémy, pokud je jejich provoz nezbytný.

Tabulka 4: Přehled podpůrných systém pro havarijní systémy

Podpůrný systém Havarijní systém	Elektrické napájení	Systémy kontroly a řízení	Stavební objekty	Vzduchotechnika	Ostatní
VT HSCHZ	SZN II.kategorie	ESFAS, DPS, BD/ND	HO, Reaktorovna	Chlazení reaktorovny a místností čerpadel	I.O.
NT HSCHZ	SZN II.kategorie	ESFAS, DPS, BD/ND	HO, Reaktorovna	Chlazení reaktorovny a místností čerpadel	I.O., TVD
HDA	SZN I.kategorie	ESFAS, DPS	HO	Chlazení reaktorovny	I.O.
SPRCHOVÝ SYSTÉM	SZN II.kategorie	ESFAS, DPS, BD/ND	HO, Reaktorovna	Chlazení reaktorovny a místností čerpadel	I.O.

Všechny havarijní systémy jsou napájeny z bezpečnostních přípojníc z druhé kategorie **systému zajištěného napájení (SZN 1,2,3)**, které jsou normálně napájené z odbočkových transformátorů vlastní spotřeby nebo rezervního napájení 110 kV. SZN 1,2,3 je v souladu se základní koncepcí tří redundantní a nezávislých divizí, které jsou od sebe dispozičně odděleny. Každá divize BS má tedy elektrické napájení z příslušné divize SZN 1,2,3. Jak je vidět z Tabulka 4, pouze pro elektroarmatury na výtlačku z hydroakumulátorů je potřeba zajištěné napájení I. kategorie, tedy napájení z akubaterie.

Vzhledem k tomu, že veškeré technologické systémy jsou umístěny uvnitř stavebních objektů, je zapotřebí, aby stavební objekty, ve kterých se nachází havarijní systémy byly odolné do stejné míry jako zařízení, která se uvnitř nachází. Jako podpůrné **stavební objekty** jsou tedy uvažovány Hermetická obálka a Reaktorovna.

Pro správnou funkci čerpadel je zapotřebí vytvořit odpovídající pracovní podmínky prostředí, proto je zapotřebí v místnostech kde se nacházejí umístit **vzduchotechnické zařízení**, které bude udržovat optimální teplotu pro práci bezpečnostního systému.

Pro správné ovládání a řízení čerpadel a armatur havarijních systémů je nutné mít dostatečně spolehlivé a redundantní také systém kontroly a řízení. V rámci projektování SKŘ bylo využito programování a výroby čidel a měření několika různými firmami, pro zajištění dostatečné spolehlivosti a nezávislosti ve všech směrech. Systémů SKŘ je na JE nespočet a pro účely této práce nebudou nijak dopodrobna vysvětlovány.

3. Funkční Analýzy v úrovních ochrany do hloubky (FA DiD)

Cílem této kapitoly je specifikovat jednotlivé kroky postupu, který byl zvolen k prokázání splnění požadavků principu DiD viz kap.2.1. Cílem prací na FA DiD je vytvořit model vnitřních vazeb a funkčních závislostí projektových požadavků pro jednotlivé úrovně DiD. Předmětem této práce je vytvořit model vnitřních vazeb a funkčních závislostí mezi havarijními systémy a prokázat jejich funkceschopnost v různých úrovních DiD při uvažování různých iniciačních událostí.

Ve FA DiD se vychází z požadavků české legislativy, která je pro provozování jaderných elektráren v České republice stěžejní. Původní soubor ruských projektových požadavků byl tedy upraven dle současné legislativy s přihlédnutím k ostatním doporučeným mezinárodním dokumentům.

V dokumentu IAEA SRS 46[6] je použita metoda „objective trees“, která je v rámci prací na FA DiD dále rozvíjena, především v oblasti technického řešení projektu a koncepce projektu. Oproti [6] je zde využíváno podrobnějšího členění technologických systémů a stavebních objektů a jejich funkcí, resp. projektových opatření, což umožňuje zaměřit se na hodnocení pouze specifické části jaderného zařízení, kterou jsou v tomto případě havarijní systémy.

Stejně jako v [6] je i v rámci FA DiD uvažováno s jevy, hazardy a mechanismy a s vlivem, který mají na příslušné technologické systémy a stavební objekty. Současně s tímto jsou aplikována Provisions, která působí proti mechanismům jednotlivých hrozeb a stanovují tak systémy, které jsou například odolné na projektové zemětřesení a v rámci softwarového modelu FA DiD budou proto vyhodnocena jako odolná.

3.1 Definice pojmů FA DiD

V této kapitole je uvedena základní bezpečnostní klasifikace využívaná v rámci prací na FA DiD, dále jsou specifikovány důležité pojmy pro následné pochopení prací a souvislostí v rámci softwarového nástroje a vyhodnocení robustnosti, úplnosti a nezávislosti havarijních systémů.

Nezávislost

je vlastnost projektu, resp. jeho SKK umožňující plnění požadované funkce pomocí dvou nebo více funkčních řetězců (FŘ) odolných proti poruše ze společné příčiny (CCF). Nezávislost je v projektu vyžadována mezi dvěma různými úrovněmi DiD. Nezávislost je důležitou podmínkou pro zálohování SKK. Míra nezávislosti jednotlivých úrovní DiD se provádí vůči specifickým hrozbám (PIU).[15][22]

Zálohování

je metoda zvýšení spolehlivosti komponenty použitím záloh. Zálohování může být provedeno pomocí identických či diversifikovaných SKK tak, aby byla zajištěna požadovaná funkce. [15][22]

Diverzita

Diverzita neboli různorodost spočívá v použití odlišné technologie k plnění jedné funkce. Tedy že zajištění plnění funkce je uskutečněno pomocí dvou či více systémů, které jsou založené na odlišné technologii, odlišném umístění či na odlišném fyzikálním principu. Diverzita jako taková snižuje selhání plnění funkce z důvodu CCF. [15][22]

Robustnost

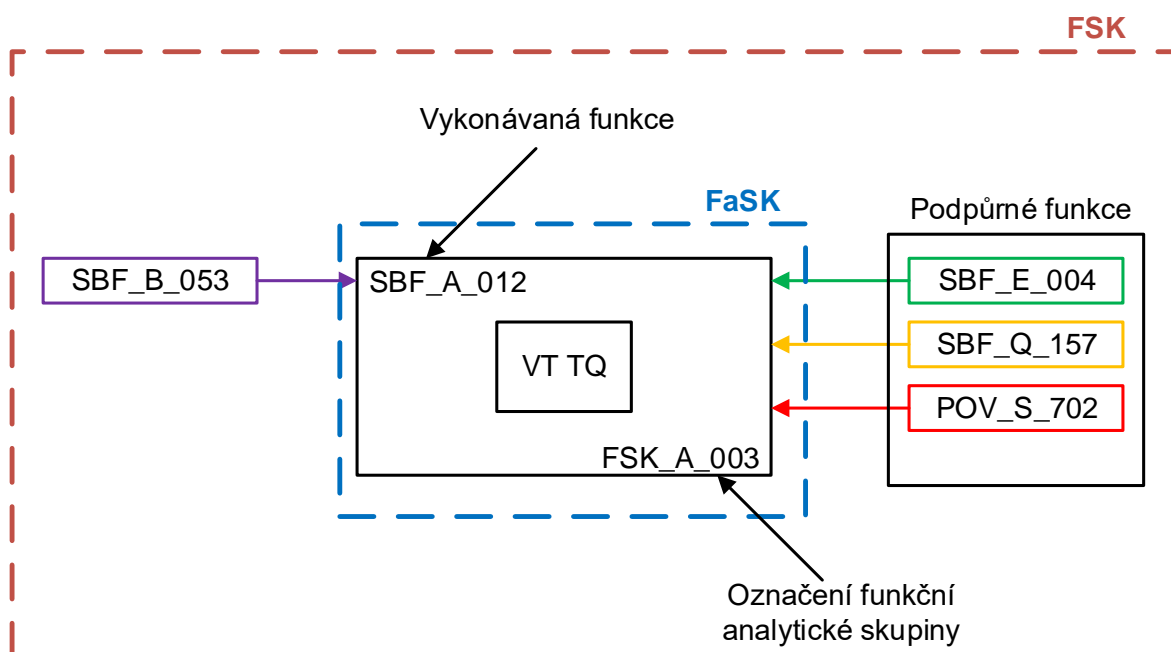
Robustnost SKK je definována jako míra schopnosti zvládnout nějakou hrozbu – PIU vyvolanou vnitřními či vnějšími vlivy případně jejich kombinací. Robustnost zajišťuje plnění požadované funkce v potřebné míře a udržuje JZ v příslušné úrovni DiD, pro kterou je definována příslušná PIU. [15][22]

Funkční analytická skupina (FaSK)

FaSK je množina SKK stejné profese, které se v daném funkčním řetězci přímo podílejí plněním své SxF nebo POx na plnění dané konkrétní TBF, TBV, TVF nebo TPF v rámci FŘ. Jedna FaSK může být součástí několika FŘ a tím se podílet na plnění několika TBF, TBV, TVF či TPF. FaSK je podmnožinou FSK. [15][22]

Funkční skupina (FSK)

je soubor SKK, které jsou potřebné k zajištění funkce, kterou vykonává daná FaSK. Skládají se obecně z výkonných, ochranných/řídících a podpůrných SKK, které jsou odolné nebo chráněné proti hrozbě (postulované iniciační události) vyvolávající požadavek na plnění této funkce. [15][22]



Obrázek 8: Znárodnění vazeb mezi FSK a FaSK a vyznačení vykonávaných a podpůrných funkcí

Základní funkce (ZxF)

Základní bezpečnostní funkce, jsou podrobněji rozebrány v kapitole 2.1.4. Mimo bezpečnostní funkce existují také funkce ZPF – základní provozní funkce, které zajišťují přeměnu jaderné energie na elektrickou. [15][22]

Typové funkce (TxF)

je souhrnné označení pro TBF, TVF či TPF (typové bezpečnostní funkce/ typové funkce s vlivem na JB / typové provozní funkce). Typové funkce jsou strukturovány dle přílohy č.1 vyhlášky 329/2017 Sb.[5]. [15][22]

Specifické funkce (SxF)

je souhrnné označení pro SBF, SVF či SPF (specifické bezpečnostní funkce / specifické funkce s vlivem na JB / specifické provozní funkce). Specifické funkce jsou vykonávány jednotlivými FaSK. [15][22]

Vykonávaná SxF / POx

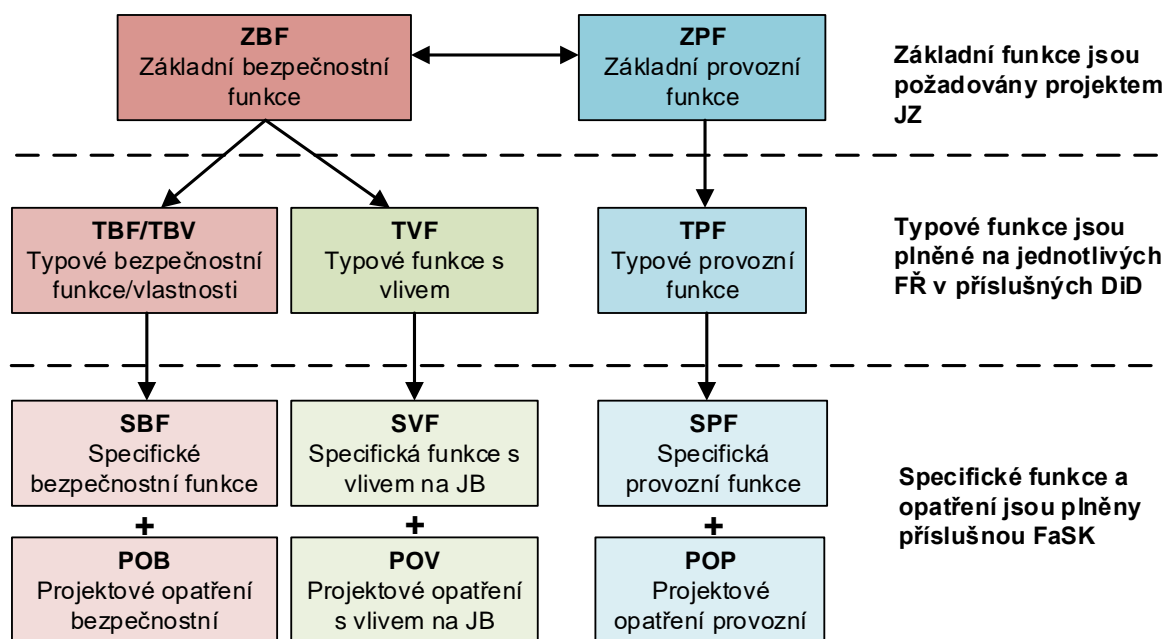
je funkce, kterou FaSK vykonává na příslušném FŘ, a tím se podílí na plnění dané typové funkce/ typových funkcí. [15][22]

Podpůrná SxF / POx

je SxF/POx, kterou daný FaSK potřebuje na příslušném FŘ, a která podmiňuje jeho schopnost vykonávat své SxF / POx, a tím se podílet na plnění dané typové funkce/ typových funkcí. [15][22]

Projektová opatření (POx)

je souhrnné označení pro POB, POV či POP. Projektová opatření (pasivní vlastnosti) bezpečnostní, s vlivem na JB a provozní (POx) jsou výsledkem zpracování konzervativního projektu jaderného zařízení. Projektovými opatřeními (POx) jsou zejména konzervativní projektové postupy, zlepšené vlastnosti, schopnosti a odolnosti SKK. Lze je považovat za pasivní složku funkcí TxF/TBV.[15][22]



Obrázek 9: Vazby mezi ZxF/TxF/SxF a POx

Funkční řetězec (FŘ)

je množina jednotlivých FaSK, které vzájemně spolupracují a jako celek zajišťují plnění jedné konkrétní TBF, TBV, TVF nebo TPF. Funkční řetězec obvykle plní TBF, TBV, TVF nebo TPF jen v určité úrovni DiD, ale existují i některé vybrané FŘ, které plní tyto funkce

i ve více úrovních DiD. V případě selhání daného FŘ přebírá výkon TBF, TBV, TVF, respektive TPF, jiný FŘ z vyšší úrovně DiD.[15][22]

Jevy (Hazards)

jsou negativní zátěže, které působí na FSK prostřednictvím "mechanismů" a v důsledku nich mohou být příčinou ztráty některých (příp. všech) SxF/POx daného FSK. Jevy se v zásadě dělí na vnitřní a vnější, včetně náhodných poruch SKK a chyb obsluhy (lidský faktor) a uvažují se i jejich kombinace.[5][6][22]

Hrozba (Challenge)

je komplexní potenciální porucha v příslušné úrovni DiD způsobená různými mechanismy určitého jevu či více jevů. Tento pojem v principu odpovídá zobecněné postulované iniciační události.

Mechanismus

vyjadřuje fyzikální nebo jinou podstatu účinku vyvolaného jevem (efektem jevu) a jeho parametrizaci. Parametry mohou být různého charakteru: kvalitativní nebo kvantitativní a časové. (např. působení LB LOCA, Silové účinky od seismicity)[6][15][22]

Iniciační událost (IU)

je událost vyžadující odezvu jaderného zařízení nebo jeho obsluhy pro převedení jaderného zařízení do bezpečného stavu, která by v případě selhání odezvy mohla vést k poškození jaderného paliva nebo úniku radioaktivních látek z jaderného zařízení do životního prostředí.[15][22][5]

Linie DiD (DiD line[6])

jsou tvořeny jednotlivými FaSK v příslušné profesi a jimi tvořenými funkčními řetězci a slouží pro znázornění příslušných konfigurací v mapě funkcí a následnému vyhodnocení hrozeb – jevů. Zabezpečující v dané profesi vykonávání potřebných bezpečnostních, respektive provozních funkcí.[6][22]

Celkový funkční řetězec (CFŘ)

je FŘ sestavený z dostupných linií DiD všech relevantních profesí pro určitou PIU s uvažováním stavů a režimu bloku za účelem plnění požadované typové funkce.[22][15]

Provisions (PRV)

jsou taková technická a organizační řešení, která zmírňují nebo eliminují efekty a mechanismy působení jevů, a tím zajišťují plnění SxF a související POx. Soubory PRV tedy potlačují hrozby. Mohou být aplikovány ve formě projektových požadavků kladených na jednotlivé FaSK, či ve formě skutečných vlastností daného FaSK zajišťujících jejich odolnost vůči hrozbě.

Pro potřeby FA DiD jsou provisions definovány jako příznaky jednotlivých FaSK, respektive jejich SxF/POx, které vyznačují, že pro daný FaSK, nebo jeho části vykonávající určené SxF/POx je přijat úplný soubor takových technických a organizačních řešení, která zmírňují nebo eliminují efekty a mechanismy působení jevů a garantují funkčnost FaSK.

Jde například o Provision „Projektová seismicita“ nebo „Diviznost 3x100%“. Provisions „Projektová seismicita“ vyznačuje FaSK a jeho SxF/POx, pro které je projektem a jeho

technickými a organizačními řešení zajištěna funkčnost v případě výskytu projektového zemětřesení. Jde o Provision kvantitativní, které má přiřazeny parametry spojené s mechanismem působení hrozby – silové účinky od seismicity. Pro tento mechanismus má přiřazenou i vztažnou intenzitu. Provisions „Diviznost 3x100%“ je navázáno na kvalitativní mechanismus a souvisí s odolností proti jednoduché poruše.[22][6][15]

Úroveň DiD (DiD level)

se rozumí stav fyzických barier a specifický stupeň jejich ochranných technických prostředků, funkcí a organizačních opatření, odpovídající určitému stavu bloku či JE. Je uvažováno 5 úrovní DiD viz kap.2.1.2. [6][15][22]

Linie DiD v mapě funkcí

Linie DiD slouží pro jedno-profesní sloučení souvisejících funkčních řetězců. Linie tvoří vícenásobné, co nejvíce navzájem nezávislé prostředky, zabezpečující v dané profesi vykonávání potřebných typových funkcí.

Pro účely FA DiD a zobrazení mapy funkcí se rozlišují dva typy linií DiD.

Výkonná – Výkonná linie se v dané jedné či více úrovních DiD (v poli mapy funkce) podílí v konkrétní konfiguraci svými FŘ na plnění požadované výkonné typové funkce. Pro jednu konfiguraci v rámci jedné typové funkce bude existovat právě jen jedna souhrnná linie obsahující všechny výkonné FŘ potřebné v dané profesi pro splnění typové funkce. V rámci plněné typové funkce může existovat i více linií, ale jen v případě, že následující linie nahrazuje předchozí v plnění požadované typové funkce a tím předchozí linii zálohuje.

Podpůrná – Podpůrné linie jsou vytvářeny v mapě funkcí pro podpůrné typové funkce. Jednotlivé FŘ jsou podle souvislosti seskupeny do linií. Podpůrné linie jsou do CFŘ vybírány podle požadavků výkonných linií za účelem splnění požadavku. [6][15][22]

Konfigurace

určuje variantní horizontální stupňovitou sestavu linií DiD v závislosti na výchozím režimu bloku (např. výkonový, nevýkonový, ...) nebo pro výsledný CFŘ v závislosti na uvažované PIU. [15][22]

Mapa funkcí

je grafické znázornění funkčních vazeb FaSK potřebných pro plnění požadovaných typových funkcí v úrovních DiD. Tvoří ji tabulka členěná v jednom směru (dle osy x – sloupce) na typové funkce a druhém (dle osy y – řádky) na úrovně DiD.

Jedno pole mapy vymezené určitou typovou funkcí a úrovní DiD obsahuje všechny linie DiD, které byly nalezeny analýzou pro naplnění příslušné typové funkce ve stanovené úrovni DiD. Každé pole mapy funkcí může být rozděleno na "konfigurace" v závislosti na výchozím režimu bloku nebo v závislosti na následcích určité hrozby (PIU), např. LOCA.

Určitá úroveň DiD je pak pro určitou hrozbu (PIU) vyvolanou působením jevů neporušená, pokud je pro všechny (relevantní) TxF/TBV zajištěno jejich plnění určitou (alespoň jednou) linií DiD. [15][22]

3.2 Struktura modelu FA DiD

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.1, ochranou do hloubky se rozumí stupňovitě navazující uspořádání různých úrovní SKK odlišných profesí a postupů s cílem udržet stabilitu provozních stavů. V souvislosti s udržením provozních stavů je mimo jiné cílem koncepce DiD udržet integritu fyzických bariér.

Funkční analýzy vycházejí z rozkladu všech funkcí, které jsou plněny na jaderném zařízení. Funkcí se rozumí cíl či účel, který musí být dosažen, aby byla zajištěna jaderná bezpečnost případně výroba elektrické energie (ZBF či ZPF) a další související projektové požadavky.

V rámci funkčních analýz havarijních systémů budou v této diplomové práci řešeny pouze bezpečnostní funkce a funkce s vlivem na jadernou bezpečnost, nicméně samotný softwarový nástroj umožňuje zavést provozní funkce významné z hlediska DiD i funkce, které v rámci koncepce ochrany do hloubky nemají až takový význam.[22]

3.2.1 Struktura modelu

V rámci tvorby softwarového nástroje je zapotřebí si uvědomit, že obsahuje dvě části. První částí je takzvaný datový model. Druhou částí je samotný softwarový nástroj, který bude využíván pro celkové zhodnocení a tvorbu funkčních řetězců.

Tzv. datová část či datový model reprezentuje studium podkladů a stanovení všech požadavků na jednotlivé SKK řešené v rámci funkčních analýz a dále uvědomění si všech návazností mezi jednotlivými systémy na jaderném zařízení. Požadavky a návaznosti jsou v rámci této práce popisovány pouze pro soubor havarijních systémů a jejich nezbytných podpůrných systémů. Datový model je tvořen následujícími stavebními kameny, které budou vytvořeny průběžně:

- soubor funkcí (TxF, SxF/POx) pro příslušné FaSK,
- vztahy a závislosti mezi jednotlivými SKK pro plnění funkcí – znázornění na FŘ,
- soubor jevů a mechanismů, které mohou způsobit selhání plnění příslušných funkcí,
- soubor Provisions, které působí proti jevům, tak aby nebylo narušeno plnění funkcí,
- inženýrské hodnocení – vytvoření relací mezi funkcemi, jevy a opatřeními a zhodnocení jejich vzájemného vztahu,
- vytvoření mapy funkcí.

3.2.2 Stanovení TxF/TBV

Typové funkce, resp. typové vlastnosti jsou detailnějším rozepsáním funkcí základních. Jak je již uvedeno v 3.1, typové funkce vycházejí z přílohy č. 1 vyhlášky 329/2017 Sb. Projekt jaderného zařízení musí plnit všechny základní funkce, a to jak bezpečnostní, tak i provozní. Vzhledem k hodnocení pouze systémů havarijního chlazení aktivní zóny budou dále uvažovány pouze typové funkce, na kterých se tyto systémy přímo podílejí, a které přímo plní, a to jsou typové funkce související s řízením reaktivity v AZ, zásobou chladiva

v primárním okruhu a odvodem tepla z primárního okruhu. Typové funkce, na kterých se systémy havarijního chlazení aktivní zóny přímo nepodílejí jsou v následující Tabulka 5 uvedeny šedou barvou s menším fontem.

Systém značení typových funkcí respektuje návaznost na ZBF. Syntaxe TxF je tvořena následovně.

XTBFYY, kde **X** reprezentuje vazbu na ZBF (X=1 – řízení reaktivity, X=2 – odvod tepla z AZ, X=3 – zadržení radioaktivních látek a X=0 – skupina podpůrných funkcí). Dvojcísle **YY** reprezentuje pořadové číslo typové funkce dle přílohy č.1 vyhlášky 329/2017 Sb.

Značení a syntaxe typových vlastností je stejná jako pro značení typových funkcí tedy **XTBVYY**.

Značení a syntaxe typových funkcí s vlivem na JB je následující **TVFYY**, kde YY představuje pořadové číslo typové funkce s vlivem na JB. Typové funkce s vlivem na JB vycházejí ze znění odstavců 6 a 7 §8 vyhlášky 329/2017 Sb.

Typové provozní funkce mají podobný systém značení jako TVF s následující syntaxí **TPFYYY**, kde trojcísle YYY představuje opět pořadové číslo funkce.

Tabulka 5: Požadavky na plnění typových funkcí v různých úrovních DiD dle [5]

Základní bezpečnostní funkce	Typové funkce a vlastnosti pro JZ s reaktorem		Úrovně DiD, kde je TxF/TBV plněna					
			1	2	3a	3b	4	5
	TBF, TBV, TVF							
řízení reaktivity ZBF1	1_TBF02	zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity						
	1_TBF03	udržení jaderného reaktoru ve stabilizovaném podkritickém stavu po všech činnostech, které vedly k jeho odstavení, a po každém z jeho odstavení						
odvod tepla z aktivní zóny reaktoru ZBF2	2_TBF05	udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny v průběhu základních projektových nehod, při kterých nedošlo k porušení tlakové hranice primárního okruhu, a po odeznění příčin těchto havarijních podmínek						
	2_TBF06	udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny jaderného reaktoru při všech provozních stavech zohledněných v projektu jaderného zařízení						
	2_TBF07	zajištění odvodu tepla z aktivní zóny a k omezení poškození jaderného paliva při základní projektové nehodě s porušením hranice primárního okruhu						
	2_TBF08	nezbytný odvod zbytkového tepla z aktivní zóny v průběhu provozních stavů a při základní projektové nehodě, při které nedošlo k porušení integrity hranice primárního okruhu						

Základní bezpečnostní funkce	Typové funkce a vlastnosti pro JZ s reaktorem	Úrovně DiD, kde je TxF/TBV plněna					
		1	2	3a	3b	4	5
	TBF, TBV, TVF						
zadrženi radioaktivních látek ZBF3	3_TBF12 omezení úniku radioaktivní látky z hermetické obálky v rozšířených projektových podmínkách						
	3_TBF13 udržení ozáření pracovníků jaderného zařízení a obyvatelstva při radiační mimořádné události v havarijních podmínkách, včetně událostí, jejichž následkem může dojít k únikům radioaktivních látek a šíření ionizujícího záření ze zdrojů ionizujícího záření,						
	3_TBF29 nezbytné omezení úniků radioaktivní látky z hermetické obálky v průběhu havarijních podmínek a po dosažení stabilizovaného podkritického stavu jaderného zařízení při základní projektové nehodě						
	3_TBV03 pasivní funkce (integrita) SKK tlakové hranice primárního okruhu						
	3_TBV04 pasivní funkce (integrita) SKK fyzické bariéry hermetické obálky						
Společné funkce	0_TBF19 nezbytná dodávka energií nebo řízení provozu vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 při plnění jejich bezpečnostních funkcí						
	0_TBF20 zajištění provozuschopnosti jiných vybraných zařízení při plnění jejich bezpečnostních funkcí, s výjimkou dodávek energie nebo řízení jejich provozu						
	0_TBF21 udržení podmínek prostředí nutných pro provoz bezpečnostních systémů a pro přístup pracovníků obsluhy jaderného zařízení k provádění činností důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, technické bezpečnosti, monitorování radiační situace						
	0_TBF30 bezpečnostní funkce ochranného nebo informačního systému kontroly a řízení, která je požadována pro dosažení stabilizovaného podkritického stavu, k zabránění vzniku závažnější než základní projektové nehody a ke zmírnění důsledků základní projektové nehody						
	0_TBF31 bezpečnostní funkce ochranného nebo informačního systému kontroly a řízení nutná pro zajištění informace nezbytné pro provedení činností pracovníků obsluhy nutných k dosažení stabilizovaného podkritického stavu jaderného zařízení						
	0_TBF34 bezpečnostní funkce systémů kontroly a řízení, která významně omezuje četnost zásahu vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 při zvládnutí abnormálního provozu						
	0_TBF38 nahrazující bezpečnostní funkce vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 nebo 3 diverzními prostředky při ztrátě jejich funkce v důsledku poruchy ze společné příčiny						
	0_TBV05 zajištění bezpečného stavu funkcí ochranného nebo informačního systému kontroly a řízení, jejichž porucha nebo nežádoucí spuštění funkce vybraného zařízení by mohly vést k nežádoucím důsledkům, zejména není-li k dispozici funkce jiného vybraného zařízení						
	0_TBV09 předcházení poruchám vybraných zařízení, pokud by mohly vést k narušení plnění jejich bezpečnostních funkcí, nebo pro omezení následků těchto poruch						

Základní bezpečnostní funkce	Typové funkce a vlastnosti pro JZ s reaktorem		Úrovně DiD, kde je TxF/TBV plněna					
			1	2	3a	3b	4	5
	TBF, TBV, TVF							
	TPF010	Udržení podmínek prostředí uvnitř jaderného zařízení, nutných pro provoz SKK významných z hlediska DiD a pro přístup pracovníků k plnění činností						
	TPF011	Zajištění funkční schopnosti SKK významných z hlediska DiD plnit jejich funkce v provozních stavech, s výjimkou řízení nebo dodávek energie						
	TVF01	omezení dopadů selhání nebo poruch VZ pro zvládnutí rozšířených projektových podmínek						
	TVF02	zamezení negativního vlivu vlastních poruch jež mohou při působení vnitřních nebo vnějších vlivů negativně působit na VZ						

Legenda k Tabulka 5:

Značení	Význam
	Výkonné funkce HSCHZ vyžadované v příslušných úrovních DiD. HSCHZ je projektem určeno pro plnění funkcí ve 3a, dnes se již uvažuje s HSCHZ i ve 3b. Ve vyšších úrovních DiD nebudou hodnoceny.
	Funkce 3_TBV03 v DiD2 připouští kompenzovatelný únik, v DiD3a a 3b připouští havárii LOCA a v rámci úrovně DiD4 je pro její plnění požadováno už jen zachování integrity tlakové nádoby reaktoru
	Funkce 3_TBV04 je v DiD5 plněna, ale připouští možné porušení a únik, nicméně konstrukce HO nesmí spadnout
	Podpůrné funkce vyžadované v příslušné úrovni DiD – jejich FR nebudou řešeny

3.2.3 Stanovení SxF/POx pro jednotlivé systémy HSCHZ

V rámci havarijních systémů jsou uvažovány systémy pospané v kapitole 2.3. Dále bude stanoveno označení příslušných FaSK havarijních systémů. Pro jednotlivé havarijní systémy bude specifikováno, ve kterých úrovních DiD plní příslušné SxF/POx. Pro havarijní systémy budou uvedeny označení, názvy a definice jednotlivých vykonávaných SxF/POx. Dále budou zavedena označení, názvy a popis všech podpůrných funkcí, které množina havarijních systémů bude potřebovat pro plnění svých SxF/POx ve všech uvažovaných úrovních DiD.

Systém značení a syntaxe specifických funkcí a projektových opatření se odvíjí především od profese, která tuto funkci/opatření vykonává. Syntaxe SxF, resp. POx je zavedena následujícím způsobem **SxF_X_YYY**, resp. **POx_X_YYY**.

Písmeno **x** představuje, o jaký typ funkce se jedná. O funkci bezpečnostní se jedná, pokud **x=B**. Pokud se **x=V** jedná se o funkci s vlivem na jadernou bezpečnost a pokud se **x=P** jedná se o funkci provozní.

Písmeno **X** představuje profesi, kterou je příslušná funkce či projektové opatření vykonáváno. Seznam profesí a jím přiřazených zkratkových písmen je uveden v následující

Tabulka 6. V rámci softwarového nástroje je pro každou profesi přiřazena typická barva, kterou jsou jejich SxF/POx zavedeny do modelu.

Trojčíslí **YYY** představuje určené pořadové číslo v rámci datové modelu.

Tabulka 6: Seznam profesí uvažovaných v rámci modelu Fa DiD

Přiřazené písmeno	Profese vykonávající funkci	Přiřazená barva k profesi
A	Profese jaderné části (Primární okruh a pomocné systémy)	Orange
B	Profese sekundární části (Sekundární okruh a ostatní strojní systémy)	Purple
E	Profese elektro	Green
Q	Profese systému kontroly a řízení	Yellow
S	Profese stavební	Red

3.2.3.1 Vysokotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny – FSK_A_003

Z hlediska zajištění DiD je funkce VT systému v různých stavech SKK a JE následující:

DiD1, 2

V rámci úrovně DiD1 a DiD2 musí být VT systém ve stavu pohotovosti připraven k zásahu zabezpečit dodávku roztoku H_3BO_3 do I.O. (SBF_A_012) a dále z důvodu návaznosti na tlakovou hranici I.O. musí zajistit (POB_A_529) udržení integrity části systému VT HSCHZ spadající do tlakové hranice primárního okruhu.

V DiD1 se provádí periodické zkoušení BS z důvodu ověření funkceschopnosti.

Při provozu s napájením z nouzových zdrojů (ze systémových DGS) pracuje VT systém do recirkulace.

DiD3a

V rámci úrovně DiD3a musí být VT systém v případě iniciace havarijních podmínek automaticky uveden do činnosti zabezpečit dodávku roztoku kyseliny borité do I.O. (SBF_A_012) a tím se podílí na plnění příslušných TBF.

Dále z důvodu návaznosti na tlakovou hranici I.O. musí zajistit (POB_A_529) udržení integrity části systému VT HSCHZ spadající do tlakové hranice primárního okruhu.

V havarijních stavech musí být zajištěna funkce integrity HO jako celku, a protože VT systém prostupuje hranicí HO, musí se na plnění této BF podílet prostřednictvím POB_A_517.

DiD3b

VT systém má roli i v úrovni DiD3b. Dle stavu systému a jeho schopnosti vykonávat svou funkci lze systém využít pro chlazení a dodávku koncentrované H_3BO_3 do AZ (SBF_A_012), což lze využít i v případě očekávaných přechodových procesů bez rychlého odstavení reaktoru (ATWS).

Dále z důvodu návaznosti na tlakovou hranici I.O. musí zajistit (POB_A_529) udržení integrity části systému VT HSCHZ spadající do tlakové hranice primárního okruhu.

V havarijních stavech, tedy i ve 3b, musí být zajištěna funkce integrity HO jako celku, a proto je požadováno, aby VT HSCHZ udržel integritu svých potrubních tras i mimo HO (POB_A_517).

DiD4

Stejně jako výše je DiD4 považován za havarijní stav, a proto musí být zajištěna funkce integrity HO jako celku, a VT musí udržet integritu svých potrubních tras mimo hermetickou obálku (POB_A_517).

Tabulka 7: SxF/POx vykonávané vysokotlakým systémem HSCHZ

Označení SxF/POx	Název SxF/POx	Popis SxF/POx
SBF_A_012	Vysokotlaké havarijní chlazení aktivní zóny	Plnění funkce spočívá v dodávce koncentrovaného roztoku H ₃ BO ₃ do I.O. při haváriích spojených s uvolněním kladné reaktivity, je-li v reaktoru zachován vysoký tlak. Dále plnění této funkce spočívá v dodávce chladicího média při haváriích spojených se ztrátou těsnosti I.O. VT chlazení se dělí na havarijní doplňování (TQ13,23,33) a havarijní vstřikovávání (TQ,14,24,34). Oba VT systémy mají vlastní nádrže se zásobou koncentrovaného roztoku H ₃ BO ₃ , přičemž systém TQx3 po vyčerpání přepíná na sání z GA 201.
POB_A_517	Integrita VT potrubních tras mimo HZ	V rámci projektového opatření je zabezpečena integrita potrubních tras systému vysokotlakého havarijního vstřikovávání a doplňování mimo HZ.
POB_A_529	Integrita systému VT spadající do tlakového okruhu reaktoru	Toto projektové opatření zabezpečuje udržení integrity VT HSCHZ, který tvoří tlakovou hranici I.O. a nedodržení integrity by mohlo vést k nekompenzovatelnému úniku chladiva

3.2.3.2 Nízkotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny – FSK_A_004

Z hlediska zajištění DiD je funkce NT systému v různých stavech SKK a JE následující:

DiD1

V rámci úrovně DiD1 musí být NT systém ve stavu pohotovosti připraven k zásahu zabezpečit dodávku roztoku H₃BO₃ do I.O. (SBF_A_011) a dále z důvodu návaznosti na tlakovou hranici I.O. musí zajistit (POB_A_518) udržení integrity části systému NT HSCHZ spadající do tlakové hranice primárního okruhu.

V DiD1 se provádí periodické zkoušení BS z důvodu ověření funkceschopnosti.

Mimo to musí část systému NT být připravena k provozu v režimu 5 a 6. V režimu 5 a 6 musí NT systém sloužit k plánovanému dochlazování I.O. (SBF_A_190).

DiD2

V rámci úrovně DiD2 musí být NT systém ve stavu pohotovosti připraven k zásahu a zabezpečit dodávku roztoku H₃BO₃ do I.O (SBF_A_011) a dále z důvodu návaznosti na

tlakovou hranici I.O. musí zajistit (POB_A_518) udržení integrity části systému NT HSCHZ spadající do tlakové hranice primárního okruhu.

V DiD2 musí být část NT systému připravena k provozu v režimu 5 a 6 a musí zajistit plánované dochlazování I.O. (SBF_A_190).

Při provozu s napájením z nouzových zdrojů (ze systémových DGS) pracuje systém NT do recirkulace.

DiD3a

V rámci úrovně DiD3a je NT systém v případě iniciace havarijních podmínek automaticky uveden do činnosti a dodává roztok kyseliny borité o odstavné koncentraci do I.O. (SBF_A_011).

Dále z důvodu návaznosti na tlakovou hranici I.O. musí zajistit (POB_A_518) udržení integrity části systému NT HSCHZ spadající do tlakové hranice primárního okruhu.

V havarijních stavech musí být zajištěna funkce integrity HO jako celku, a protože NT systém prostupuje hranicí HO, musí zajistit integritu svých potrubních tras i mimo hermetickou obálku (POB_A_519).

DiD3b

NT systém má roli i v úrovni DiD3b. Dle stavu systému a jeho schopnosti vykonávat svou funkci lze systém využít pro chlazení a dodávku roztoku kyseliny borité o odstavné koncentraci do AZ (SBF_A_011).

Dále z důvodu návaznosti na tlakovou hranici I.O. musí zajistit POB_A_518 udržení integrity části systému NT HSCHZ spadající do tlakové hranice primárního okruhu.

V havarijních stavech musí být zajištěna funkce integrity HO jako celku, a protože NT systém prostupuje hranicí HO, musí zajistit integritu svých potrubních tras i mimo hermetickou obálku (POB_A_519).

DiD4

Stejně jako v DiD3a a DiD3b musí být zajištěna funkce integrity HO jako celku, a NT systém musí zajistit integritu svých potrubních tras mimo hermetickou obálku (POB_A_519).

Tabulka 8: SxF/POx vykonávané nízkotlakým systémem HSCHZ

Označení SxF/POx	Název SxF/POx	Popis SxF/POx
SBF_A_011	Nízkotlaké havarijní chlazení AZ	Plnění funkce spočívá v dodávce roztoku H ₃ BO ₃ s odstavnou koncentrací do I.O. Výtlačky dvou divizí NT HSCHZ jsou zavedeny do výtlačného potrubí od HDA a třetí divize je zavedena do horké a studené větve 1. smyčky HCP. Výkonem této SBF zajišťuje NT systém dlouhodobý odvod zbytkového tepla při haváriích spojených se ztrátou těsnosti I.O.
SBF_A_190	Plánované dochlazování I.O. NT HSCHZ	NT HSCHZ je využíván pro plánované dochlazování primárního okruhu při odstávce bloku a k odvodu zbytkového výkonu reaktoru při provádění výměny paliva. Plnění této funkce odpovídá také tomu, že se NT systém podílí na odvodu zbytkového tepla při provádění oprav zařízení primární části, v případě snížení hladiny chladiva v reaktoru do osy studených nátrubků.

Označení SxF/POx	Název SxF/POx	Popis SxF/POx
SBF_A_192	Chlazení média z GA201 pomocí výměníků HSCHZ	Plnění této funkce je požadováno v případě, kdy čerpadla VT, NT nebo sprchového systému mají plnit svou funkci. Médium jdoucí z GA 201 do sání jednotlivých čerpadel je chlazeno přes tepelné výměníky havarijního doplňování TQ10,20,30
POB_A_518	Integrita systému NT spadající do tlakového okruhu reaktoru	Projektové opatření zabezpečuje udržení integrity NT HSCHZ, který tvoří tlakovou hranici I.O. Porušení integrity by mohlo vést k nekompenzovatelnému úniku.
POB_A_519	Integrita NT potrubních tras mimo HZ	V rámci projektového opatření je zabezpečena integrita potrubních tras nízkotlakého systému havarijního chlazení aktivní zóny mimo HZ.

3.2.3.3 Pasivní systém havarijního chlazení aktivní zóny

Z hlediska zajištění DiD je funkce systému v různých stavech SKK a JE následující:

DiD1, 2

V rámci úrovně DiD1 a DiD2 musí být pasivní systém ve stavu pohotovosti připraven k zásahu zabezpečit dodávku roztoku H_3BO_3 do I.O.(SBF_A_001) a dále z důvodu návaznosti na tlakovou hranici I.O. musí zajistit (POB_A_505) udržení integrity části pasivního systému spadající do tlakové hranice primárního okruhu. Pasivní systém poskytuje svoje trasy pro napojení NT HSCHZ a tím umožňuje dodávku chladiva pro dvě divize NT HSCHZ (POB_A_540), které jsou ve stavu pohotovosti, připraveny k zásahu.

DiD3a

V rámci úrovně DiD3a je systém v případě iniciace havarijních podmínek (pokles tlaku v I.O.) automaticky pasivně uveden do činnosti a dodává roztok H_3BO_3 o odstavné koncentraci do primárního okruhu. Udržením integrity své části systému v rámci tlakového okruhu chladiva jaderného reaktoru (POB_A_505) se systém HA podílí na udržení integrity I. O. jako celku.

Zajištěním průtoku média ze systému NT HSCHZ do AZ reaktoru systém vykonává bezpečnostní projektové opatření POB_A_540.

DiD3b

Systém HDA má roli i v úrovni DiD3b. Dle stavu systému a jeho schopnosti vykonávat své SBF lze systém využít pro chlazení a dodávku chladiva do AZ.

Současně se udržení integrity své části systému v rámci tlakového okruhu chladiva jaderného reaktoru systém HA podílí na udržení integrity I. O. jako celku.

Zajištěním průtoku média ze systému NT HSCHZ do AZ reaktoru (dle stavu systému NT HSCHZ a jeho schopnosti vykonávat své SBF) systém může vykonávat bezpečnostní projektové opatření POB_A_540.

Tabulka 9: SxF/POx vykonávání pasivních HSCHZ

Označení SxF/POx	Název SxF/POx	Popis SxF/POx
SBF_A_001	Pasivní havarijní chlazení AZ	<p>Při poklesu tlaku v I.O. pod stanovenou mez musí systém HDA zajistit včasnou dodávku roztoku kyseliny borité o dostatečném množství a kvalitě. Systém HDA zajišťuje rychlé zalití a chlazení AZ při poklesu tlaku v I.O. pod definovaný tlak v tlakových zásobnících v havarijních situacích, kdy:</p> <ul style="list-style-type: none"> - NT čerpadla se ještě nemohou z důvodu vyššího tlaku v I.O. prosadit a VT čerpadla nepostačují ke stabilizaci tlaku a množství chladiva v I.O. nebo, - čerpadla aktivních havarijních systémů ještě nejsou při havarijním stavu bloku k dispozici (souběh velké LOCA a LOOP). <p>Výkonem této SBF systém HDA zajišťuje dostatek chladiva pro chlazení AZ, odvod zbytkového tepla z AZ, vytvoření a udržení podkritičnosti při havarijních stavech, aby nedošlo k nepřijatelnému nárůstu teploty pokrytí paliva, případně k jeho poškození či roztavení paliva.</p>
POB_A_505	Udržení integrity části systému pasivního havarijního chlazení AZ spadající do tlakového okruhu reaktoru	Z důvodu, že část systému tvoří tlakovou hranici I.O. a její porucha může vést k nekompenzovatelnému úniku chladiva I.O., musí tato část udržet svou integritu ve všech relevantních stavech elektrárny.
POB_A_540	Napojení NT HSCHZ na AZ	V souladu s přijatou koncepcí řešení HSCHZ, kdy jsou výtlaky čerpadel dvou divizí NT HSCHZ zaústěny do neoddělitelné části potrubí mezi HDA a TNR, musí tyto potrubní trasy systému HDA umožnit dodávku chladiva z příslušných divizí NT HSCHZ pod a nad AZ. Výkonem této SBF se systém HDA podílí na zajištění funkční schopnosti systému NT HSCHZ.

3.2.3.4 Sprchový systém ochranné obálky – FSK_A_006

Z hlediska zajištění ochrany do hloubky musí být funkce sprchového systému v různých stavech SKK (stavba, konstrukce, komponenty) a JE následující:

DiD1,2

V rámci úrovně DiD1 a DiD2 musí být sprchový systém ve stavu pohotovosti připraven k zásahu a zabezpečit dodávku sprchového roztoku do sprchových trysek a HO (SBF_A_008), případně zajistit havarijní dodávku chladiva do BSVP (SBF_A_191). V rámci normálního a abnormálního provozu sprchový systém musí zabezpečit integritu svých potrubních tras mimo HZ (POB_A_520).

DiD3a

V rámci úrovně DiD3a musí být sprchový systém v případě iniciace havarijních podmínek automaticky uveden do činnosti, a tím zajistit sprchování hermetické zóny z důvodu

požadovaného snížení tlaku a dále musí zabezpečit integritu svých potrubních tras mimo hermetickou zónu. V případě potřeby musí zajišťovat také havarijní dodávku do BSVP.

DiD3b

Sprchový systém v úrovni DiD3b musí zabezpečovat integritu potrubních tras mimo HZ a v případě potřeby musí dodávat chladivo do BSVP. Sprchový systém musí plnit funkci sprchování hermetické zóny při ztrátě automatických funkcí ESFAS.

DiD4

V havarijních stavech musí být zajištěna funkce integrity HO jako celku, a proto musí sprchový systém udržet integritu svých potrubních tras mimo hermetickou obálku.

Tabulka 10: SxF/POx vykonávané sprchovým systémem ochranné obálky

Označení SxF/POx	Název SxF/POx	Popis SxF/POx
SBF_A_008	Sprchování HZ	Plněním této funkce sprchový systém TQ11,21,31 zajišťuje snížení tlaku v hermetické zóně při poruchách těsnosti I.O. nebo parovodů II.O. a podílí se na lokalizaci uvolněných radioaktivních látek v prostorech HO.
SBF_A_191	Havarijní doplňování BSVP pomocí TQ11,21,31	Sprchový systém TQ11,21,31 zajišťuje havarijní doplňování BSVP v případě poruchy systému chlazení bazénů vyhořelého paliva.
POB_A_520	Integrita potrubních tras sprchového systému mimo HZ	V rámci projektového opatření je zajištěna integrita potrubních tras sprchového systému mimo hermetickou zónu.

3.2.3.5 Podpůrné systémy pro HSCHZ

Pro správné plnění SxF či POx vykonávané systémy HSCHZ je zapotřebí poskytnout celou řadu funkcí podpůrných, které jsou tvořeny v rámci jiných FaSK. Jedná se o FaSK profese jaderné (A), strojní (B), zajištění podmínek prostředí (B), elektrického napájení (E) a stavebních objektů (S) a systémů kontroly a řízení (Q). V následující Tabulka 11 jsou uvedeny příslušná označení podpůrných SxF/POx pro množinu HSCHZ, jejich název a popis.

Tabulka 11: Seznam podpůrných funkcí potřebných pro správnou funkci HSCHZ

Označení SxF/POx	Název SxF/POx	Popis SxF/POx
POB_A_536	Napojení systémů důležitých z hlediska JB na I.O.	Svou integritou neporušených potrubních tras a dispozičním umístěním musí systém umožnit přívod media z připojených systémů do reaktoru pro chlazení AZ včetně taveniny ve všech režimech.
SBF_A_013	Odvod tepla z bezpečnostních systémů pomocí TVD	Systém TVD zajišťuje během normálního, abnormálního stavu a havarijních stavů bloku odvod tepla ze spotřebičů bezpečnostních systémů.
SBF_B_029	Odvod tepelných ztrát od technologických průchodků na hranici HO	Pro udržení integrity hermetické obálky, musí být veškeré průchody skrz HO (lokalizační skupiny) chlazeny systémem vzduchotechniky.
SBF_B_053	Odvod tepelných ztrát od technologického zařízení v místnostech havarijních systémů TQ	Vzduchotechnický systém zajišťuje vhodné podmínky prostředí – chlazení prostorů pro práci čerpadel HSCHZ.
SBF_E_001	Dodávka elektrické energie pro spotřebiče důležitosti Ia.	Jedná se o spotřebiče kladoucí zvýšené požadavky na spolehlivost elektrického napájení a nepřipouštějící přerušení napájení delší než zlomky sekundy ve všech režimech, včetně režimu úplné ztráty napětí pracovních i rezervních zdrojů vlastní spotřeby. Do důležitosti Ia. patří spotřebiče BS.
SBF_E_004	Dodávka elektrické energie pro spotřebiče důležitosti IIa.	Jedná se o spotřebiče kladoucí zvýšené požadavky na spolehlivost elektrického napájení, připouštějící přerušení napájení na dobu (od desítek sekund do desítek minut), určenou dle plněné bezpečnostní funkce. Do důležitosti IIa. patří spotřebiče BS.
SBF_E_021	Dodávka elektrické energie pro spotřebiče SZN II.kategorie vyžadujících napájení v DEC-A (SBO)	SBF zajišťuje dodávku elektrické energie pro spotřebiče důležitosti IIa., tj. pro spotřebiče plnící bezpečnostní funkce v rámci BS, kladoucí zvýšené požadavky na spolehlivost napájení, připouštějící přerušení napájení na dobu určenou podmínkami bezpečnosti (od desítek sekund do několika minut). SBF zajišťuje dodávku elektrické energie pro spotřebiče vyžadující napájení i v režimu SBO.
SBF_Q_151	Spuštění TQ sprchování KTMT (TQ spray needed)	Systém pro spuštění ESF (ESFAS) zajišťuje: <ul style="list-style-type: none"> • automatické spuštění čerpadel sprchování kontejnmentu (do recirkulace bez realizace vlastního sprchování) • možnost ručního nastavení a otevření tras pro spuštění vlastního sprchování • automatické spuštění vlastního sprchování na základě převýšení tlaku v KTMT za účelem zmírnění následků havárií úniků do kontejnmentu, tj. udržení integrity kontejnmentu
SBF_Q_152	Blokování TQ sprchování a TQ doplňování	Systém pro spuštění ESF (ESFAS) zajišťuje možnost ručního zablokování realizace TQ sprchování (SBF_Q_151) a TQ doplňování (SBF_Q_157) pro události s nevratným únikem chladiva I.O. z KTMT, kdy je chladivo v jímce KTMT dostupné pouze po omezenou dobu.

Označení SxF/POx	Název SxF/POx	Popis SxF/POx
SBF_Q_153	Izolace KTMT	Funkce zajišťuje uzavření rychločinných armatur pro izolaci KTMT, odstavení některých VZT systémů a technologických systémů. Funkce je realizována na základě převýšení tlaku v KTMT nad povolenou mez anebo signálem "Ztráta podchlazení".
SBF_Q_157	Spuštění TQ doplňování (TQ needed)	Systém pro spuštění ESF (ESFAS) zajišťuje automatické spuštění čerpadel vysokotlakého a nízkotlakého havarijního doplňování a související manipulace. Signál je aktivován na základě log. součtu "Lateched S-signal", nízkého podchlazení dle teploty ve všech horkých větvích I.O. a nízké hladiny v KO (pokud současně existuje "Lateched S-signal"). Pomocí těchto důsledků funkce reaguje na iniciační událost přímo nebo v průběhu havarijního stavu, kdy dochází k ohrožení chlazení AZ anebo ke ztrátě chladiva I.O.
SBF_Q_171	Ruční spouštění zásahů ESFAS	Systém pro spuštění ESF (ESFAS) zajišťuje možnost ruční aktivace nejdůležitějších zásahů ESFAS na systémové úrovni. Jedná se o následující ruční aktivace: <ul style="list-style-type: none"> - Tlak v KTMT - Ztráta podchlazení - Parní únik - Uzavření všech RČA - Sprchování KTMT - Blokování TQ sprchování a TQ doplňování
SBF_Q_183	Ostatní bezpečnostní řízení v rámci PRPS	Funkce zajišťuje ostatní bezpečnostní automatické funkce, které nesouvisí s funkcemi ESF, jsou však realizovány v prostředcích PRPS a přiřazeny systému ESFAS. Jedná se o funkce: <ul style="list-style-type: none"> - automatické uzavírání armatur oddělovacích HDA - řízení vzduchotechnických systémů pro udržování prostředí bezpečnostních systémů (TL13, UV40)
SBF_Q_185	Blokování TQ sprchování a TQ doplňování	Diverzní systém monitorování a ochran (DPS) zajišťuje možnost ručního zablokování realizace TQ sprchování a TQ doplňování pro události s nevratným únikem chladiva I.O. z KTMT, kdy je chladivo v jímce KTMT dostupné pouze po omezenou dobu. Tato funkce (systém) je diverzní k povelům z ESFAS.
SBF_Q_187	Spuštění TQ doplňování (TQ needed)	Diverzní systém monitorování a ochran (DPS) zajišťuje spuštění čerpadel vysokotlakého a nízkotlakého havarijního doplňování a související manipulace v případě selhání povelů ze systému ESFAS.
SBF_S_034	Lokalizace radioaktivních látek uvnitř H.O. v průběhu a po odeznění havarijních stavů (RČA)	Oddělovací armatury (RČA) na hranici Hermetické zóny musí být navrženy tak, aby zajistily spolehlivé oddělení hermetického prostoru od okolí a tím zamezily úniku radioaktivních látek do životního prostředí.

Označení SxF/POx	Název SxF/POx	Popis SxF/POx
POB_S_503	Zásoba roztoku H ₃ BO ₃ v GA 201 pro HSCHZ	Stavební konstrukce umožňuje vytvoření zásoby roztoku kyseliny borité o odstavné koncentraci pro HSCHZ, dále shromažďování uniklého chladiva z I.O. Stavební označení nádrže-jímky HSCHZ je GA201, technologické označení je TQ10B01.
POB_S_506	Zajištění opatření pro shromažďování chladiva z úniků I.O. v GA 201	Dispoziční řešení konstrukcí uvnitř hermetické zóny a spádování podlah musí zajistit svedení uniklého chladiva z úniků I.O. do jímky určené pro sběr těchto úniků. Musí být posouzeno riziko ucpání odtokových cest uvolněnými částmi zařízení instalovaného v Hermetické zóně a řešení odtokových cest musí být navrženo tak aby bylo zabráněno jejich zablokování možnými uvolněnými částmi zařízení.
POB_S_535	Umožnění průchodu médií a energií skrze hranici HO	Hermetická obálka musí být vybavena průchodkami pro vedení potrubí a kabeláže skrz stěnu obálky. Armatury systémů potřebných pro zvládnutí havárie musejí umožnit průchod média v závislosti na stavu bloku. Tyto průchodky musí splňovat požadavky na pevnost a těsnost, stejně jako konstrukce Hermetické obálky.
POV_S_702	Umístění a ochrana SKK s vlivem na JB umístěných v Hermetické obálce	Konstrukce stavebního objektu musí být navržena tak, aby umožňovala umístění všech požadovaných technologických zařízení z hlediska prostorových a výškových dispozic. Konstrukce musí být dostatečně únosná a její deformace, jako odezva na zatížení technologií, musí být maximálně taková, aby nijak neomezovala funkčnost umístěného zařízení. Konstrukce stavebního objektu musí být navržena tak, aby ochránila uvnitř umístěné zařízení před nepříznivými vlivy událostí/zatížení přírodního původu, ale i vyvolaných člověkem. Konstrukce stavebního objektu musí zajistit umístěným zařízením takové prostředí, ve kterém je schopno zařízení plnit svoji funkci. Konstrukce stavebního objektu musí být navržena tak, aby splňovala legislativní požadavky na dělení na požární úseky, zabránění šíření požáru a zplodin požáru, minimální dobu požadované únosnosti, maximální teplotu konstrukce na vnější straně požáru.
POV_S_703	Umístění a ochrana SKK s vlivem na JB umístěných v Reaktorovně	
POV_S_736	Statická podpora H.O. od Reaktorovny	Nosné konstrukce Reaktorovny tvoří podporu nosných konstrukcí Hermetické obálky a musí být na zatížení přenášena z Hermetické obálky navrženy a posouzeny.

V rámci softwarového nástroje, resp. datového modelu je zapotřebí zavést několik dalších funkcí, které jsou nezbytné pro správné a bezpečné plnění typových funkcí v příslušných úrovních DiD. Tyto SxF, resp. POx jsou uvedeny v následující Tabulka 12.

Tabulka 12: Seznam SxF/POx potřebných pro správné plnění TxF/TBV

Označení SxF/POx	Název SxF/POx	Popis SxF/POx
POB_A_501	Integrita primárního okruhu	Z důvodu, že systém tvoří tlakovou hranici I.O. a jeho porucha může vést k nekompenzovatelnému úniku chladiva I.O., musí systém udržet svou integritu
SBF_Q_153	Izolace KTMT	Funkce zajišťuje uzavření rychločinných armatur pro izolaci KTMT, odstavení některých VZT systémů a technologických systémů. Funkce je realizována na základě převýšení tlaku v KTMT nad povolenou mez anebo signálem "Ztráta podchlazení".
SBF_Q_183	Ostatní bezpečnostní řízení v rámci PRPS	Funkce zajišťuje ostatní bezpečnostní automatické funkce, které nesouvisí s funkcemi ESF, jsou však realizovány v prostředcích PRPS a přiřazeny systému ESFAS. Jedná se o funkce: - automatické uzavírání armatur oddělovacích HDA - řízení vzduchotechnických systémů pro udržování prostředí bezpečnostních systémů (TL13, UV40)
SBF_S_034	Lokalizace radioaktivních látek uvnitř H.O. v průběhu a po odeznění havarijních stavů (RČA)	Oddělovací armatury (RČA) na hranici Hermetické zóny musí být navrženy tak, aby zajistily spolehlivé oddělení hermetického prostoru od okolí a tím zamezily úniku radioaktivních látek do životního prostředí.
POB_S_501	Udržení integrity hermetické obálky	Veškeré konstrukce tvořící hranici Hermetické zóny musí být odolné vůči působícím tlakům a teplotám v průběhu projektem uvažovaných havárií a musí zajistit těsnost hranice Hermetické zóny v požadovaných limitech. Konstrukce musí být dále navrženy na zatížení zkušebním přetlakem a na působení návrhových tlaků a teplot. Stavební konstrukce vč. hermetických dveří a poklopů, technologických a elektrických průchodek na hranici Hermetické zóny musí být navrženy tak, aby zajistily spolehlivé oddělení hermetického prostoru od okolí a tím zamezily úniku radioaktivních látek do životního prostředí.
POV_S_736	Statická podpora H.O. od Reaktorovny	Nosné konstrukce Reaktorovny tvoří podporu nosných konstrukcí Hermetické obálky a musí být na zatížení přenášena z Hermetické obálky navrženy a posouzeny.

3.3 Aplikace principu DiD

Ochrana do hloubky je základní bezpečnostní strategie, která musí být uplatněna u všech činnostech souvisejících s využíváním jaderné energie a ve všech fázích životního cyklu JZ. Je založena na řadě fyzických bariér stupňovitě bránících úniku radioaktivních látek do životního prostředí. Pro ochranu a zabezpečení integrity těchto bariér je použit systém vzájemně se doplňujících technických a organizačních prostředků a opatření uspořádaných do více úrovní (DiD).

DiD koordinuje spolupráci všech SKK (důležitých i nedůležitých z hlediska JB) a lidského faktoru s cílem zajistit JB.

Ochrana do hloubky plní dva zásadní úkoly: prevenci nehod a zmírnění následků nehod (havárií). Princip ochrany fyzických bariér je takový, že pokud selže 1. úroveň DiD (jedna

libovolná nebo i více úrovní) následující (vyšší) úroveň DiD, která tuto událost (hrozbu) zachytí a zvládne nebo zmírní její následky.

U fyzických bariér i u úrovní DiD je důležitá:

- **robustnost** (odolnost a schopnost zvládnout/zmírnit událost (hrozbu),
- **míra nezávislosti** vůči událostem (hrozbám).

Požadavky na robustnost a míru nezávislosti se vzájemně doplňují a podporují ve smyslu zajištění efektivity funkce ochranné bariery a efektivity funkce úrovně DiD.

Ochranné bariéry pro JE s jaderným reaktorem tvoří

- pokrytí palivových elementů,
- tlaková hranice primárního okruhu chlazení jaderného reaktoru (dále jen „primární okruh“),
- systém ochranné obálky.

V souladu s principy DiD musí být opatření a SKK použité na různých úrovních DiD v maximální možné míře nezávislé (jak je rozumně proveditelné).

3.3.1 Linie DiD

Linie DiD jsou tvořeny jedním a více FŘ, které se podílejí na plnění společných typových funkcí. Volba a použití konkrétní linie DiD závisí zejména na:

- specifikaci PIU (hrozba) - mechanismů působení (lokální, globální) a intenzita účinku,
- funkci, kterou je třeba zajistit pro ochranu fyzických bariér,
- režimech práce SKK dané profese, včetně mezi profesních vazeb v rámci FSK (podpůrné funkce, řídicí/ochranné funkce, projektová opatření vlivová a bezpečnostní).

Linie DiD jsou z důvodu následujícího hodnocení nezávislosti a robustnosti rozděleny na linie výkonné a podpůrné, podle toho, na které TxF, resp. na které skupině TxF se podílejí.

Pro hrozby, které mají lokální charakter (typicky náhodné poruchy SKK) a postihují pouze určité SKK (určitou profesi), se režim práce jiných SKK (profesí) nemusí nutně změnit. Tyto nepostižené profese mohou nadále pracovat v původní linii DiD, resp. úrovni DiD, pokud jim to vzájemné funkční vazby v rámci FSK umožní.

Naopak hrozby, které mají plošný nebo globální charakter a velkou intenzitu, mohou způsobit ztrátu funkce celých úrovní DiD (jejichž FaSK nemají potřebnou odolnost – např. proti seismicitě) nebo ztrátu funkce více profesních linií DiD (v důsledku nedostatečné odolnosti FaSK v těchto liniích nebo v důsledku ztráty podpůrných SxF/POx pro FaSK vykonávajících v dané linii funkce).

- **Příkladem lokální hrozby** je základní projektová nehoda typu LOCA, která postihuje odvod tepla z I.O. a iniciuje odpovídající technologické BS. Elektrické systémy, VZT ale i stavební objekty (vyjma HO) ale nejsou touto PIU postiženy a zůstávají v té linii, resp. úrovni DiD, ve které pracovaly před vznikem PIU. Protože

se jedná o základní projektovou nehodu, **přechází blok jako celek do úrovně DiD3a**.

- **Příkladem globální hrozby** je zemětřesení s velkou intenzitou (SL-2). Funkce a linie DiD založené na FaSK bez seismické odolnosti nebo se seismickou odolností nižší než SL-2 se ztrácejí a **blok jako celek ustupuje na úroveň DiD3a**

3.3.2 Úrovně DiD vs Linie DiD

Úrovně DiD jsou asociovány se stavy bloku. Protože strategie DiD se týká zajištění integrity fyzických bariér proti únikům radioaktivity do životního prostředí, jsou stavy bloku primárně určovány stavem těchto bariér a stavem prostředků jejich ochrany, tj. stavem SKK.

Linie DiD představují vlastnosti a technické řešení SKK plnící funkce nejčastěji jen v jedné profesi, které zajišťují (přispívají) k robustnosti úrovně DiD a míře jejich nezávislosti. V některých případech (např. ve stavební části) se může jednat i o vlastnosti vyjadřující přímo robustnost bariér.

Projekt bloku ke každé **úrovni DiD** a pro každou TxF/TBV přiřazuje minimálně jednu konkrétní **linii DiD** (technické řešení prostředků ochrany), v těch případech, kde je TxF/TBV požadováno zajistit.

V jiných případech je jedna linie DiD používána pro více úrovní DiD. Tento přístup je využíván zejména pro pasivní a pro obecně velmi spolehlivé systémy/stavební objekty s tím, že využití jedné linie DiD ve více úrovních DiD je podepřeno přijatými projektovými opatřeními.

Obvyklý je případ, kdy existuje více stupňovitých linií DiD, které se přiřazují v závislosti na konfiguraci a na PIU, její intenzitě, scénáři rozvoje účinků PIU a technické podstatě linie.

Linie DiD se obecně zálohují dle principu DiD z hlediska plněných TxF/TBV.

Vyšší linie DiD přebírá plnění požadovaných TxF/TBV v případě selhání nižší linie DiD – princip řízeného ústupu jednotlivých linií DiD v minimálním potřebném rozsahu. Tento řízený ústup je projektem předepsán a souvisí s odolností SKK proti PIU a režimy práce SKK (profesní, mezi profesní). Projekt uvažuje (připouští) ústup po jednotlivých profesních liniích DiD nerovnoměrně, avšak **mezi-profesně koordinovaně**. Tento přístup zajišťuje režimové rezervy v aplikaci strategie DiD (neustupují, pokud nemusím) a přispívá i ke zvýšení spolehlivosti.

3.3.3 Konfigurace linií

Ve výchozím stavu bloku/JE bude definován výchozí provozní stav – blok na výkonu. Tato konfigurace slouží pro vytvoření počátečního celkového funkčního řetězce.

Provozní režimy bloku určují složení FŘ pro zajištění plnění požadovaných TxF/TBV (ochranu bariér). Na mapě funkcí jsou konfigurace znázorněny jako sloupce dělicí danou typovou funkcí, ale tyto sloupce nemusí být definovány přes všechny řádky (úrovně DiD). Tyto konfigurace se tedy vzájemně nezálohují.

V rámci SW HIDRA jsou zavedeny následující konfigurace, které jsou využívány ve výkonných SUB.

3.4 Vliv zátěží na robustnost a nezávislost každé úrovně DiD

Ověření vlivu jevů a jejich mechanismů na robustnost jednotlivých úrovní DiD, spočívá v porovnání efektu uvažovaného jevu s vlastnostmi a funkčními schopnostmi projektu. Tento princip porovnání vychází z požadavků atomového zákona a vyhlášky č. 329/2017 Sb.[4][5]

Vlastní metoda analýzy a hodnocení vlivu jevů a jejich mechanismů přebírá a dále rozvíjí metodu „objective trees“ (stromy plnění bezpečnostních cílů) popsanou v dokumentu [6].

Pomocí softwarového nástroje jsou pro každou úroveň DiD porovnány příslušné uvažované jevy a jejich působící mechanismy, které mohou způsobit ohrožení bloku. Soubor uvažovaných jevů a mechanismů lze považovat v rámci hodnocení robustnosti za zobecněnou PIU. Proti mechanismům mohou působit Provisions, která jsou přijata v koncepci projektu a již v projektu tak stanovují odolnost systémů k určitým jevům díky samotnému koncepčnímu provedení systému. (např. BS – diviznost 3x100%).

3.4.1 Soubor jevů, mechanismů a Provision

Ke správnému inženýrskému zhodnocení havarijních systémů v příslušných úrovních DiD je zapotřebí definovat soubor jevů a jejich mechanismů, které budou zkoumány.

Každý jev a jeho efekty lze popsat fyzikálním mechanismem, jak působí na příslušný FaSK, resp. jeho SxF/POx. V rámci hodnocení odolnosti FaSK budou pro všechny vykonávané i podpůrné SxF/POx v softwarovém nástroji vyplněny příslušné odolnosti na jednotlivé možné mechanismy, které budou v rámci této práce uvažovány.

Provisions reprezentují vlastnosti jednotlivých FaSK (či některých jejich SxF/POx) na odolnost vůči uvažovaným jevům, resp. jejich odolnost vůči jevům je zahrnuta přímo v projektových požadavcích nebo vychází z technického provedení jednotlivých systémů na jaderné elektrárně.

Provisions se dělí na kvalitativní a kvantitativní. Kvalitativní pouze určují, zda příslušný FaSK, resp. jeho SxF/POx jsou nebo nejsou odolný vůči danému jevu. Kvantitativní Provisions mají pevně přiřazený parametr spojený s působením mechanismu jevu.

Tabulka 13: Soubor uvažovaných jevů, mechanismů a Provision

JEV	MECHANIZMUS	PROVISION	Vztažná hodnota Provision
PIU (LOCA)	Působení LB LOCA (TMech_100)	Odolnost vůči LOCA (PRV_G_005)	Kvalitativní
ZEMĚTŘESENÍ	Silové účinky od seismicity (TMech_04)	Projektová seismicita (PRV_G_006) Nadprojektová seismicita (PRV_G_007)	Kvantitativní 0,1g 0,15g

4. Zpracování

Analýza a zhodnocení úplnosti, nezávislosti a robustnosti jednotlivých úrovní DiD spočívá v popsání systému funkčních řetězců pro plnění jednotlivých TxF/TBV a v prokázání odolnosti vůči mechanismům, jevům a schopnosti tyto způsobené zátěže zvládnout. S analýzou a zhodnocením robustnosti také souvisí zhodnocení míry nezávislosti na nižších úrovních DiD pro určitou hrozbu (PIU).

Robustnost jednotlivých úrovní DiD je zapotřebí posuzovat nejen pro vykonávané SxF/POx ale také pro celý soubor podpůrných funkcí, které jsou nutné k zajištění výkonu vlastní vykonávané funkce funkční skupiny – jinými slovy je zapotřebí posuzovat robustnost funkčního řetězce jako celku.

V koncepci projektu je při stanovení požadavků na míru nezávislosti úrovní DiD vycházeno z požadavků IAEA[3] a požadavků WENRA[12], které jsou prioritně určeny pro výstavbu nových reaktorů.

Cílem projektu je dosažení co nejvyšší možné míry nezávislosti jednotlivých úrovní DiD, jak jen je rozumně proveditelné. Je pochopitelné, že totální nezávislost úrovní DiD dosáhnout nelze. Existují oblasti SKK, které jsou sdíleny s více úrovněmi (např. ochranná obálka, bloková a nouzová dozorna, personál JE).

Míru nezávislosti úrovní DiD a profesních linií DiD je zapotřebí řešit v souladu s chápáním pojmu Nezávislost viz kap.3.1.

- Systémy určené pro zabezpečení ochrany bariér na různých úrovních musí být v maximálním možném rozsahu nezávislé. Systémy sloužící pro zmírnění podmínek DEC musí být co nejvíce nezávislé od prostředků, které jsou projektem určeny ke zvládnutí DBA.
- Odolnosti vůči vnitřním a vnějším poruchám musí být věnována zvláštní pozornost. Vnější a vnitřní události, totiž mohou současně ohrozit více než jednu bariéru.
- Spolehlivost a účinnost SKK na různých úrovních DiD je třeba zajistit, tak aby byla dosažena co nejnižší pravděpodobnost odchylek od normálního provozu, co nejvyšší spolehlivost řídicích a bezpečnostních systémů, stejně tak i systémů a postupů pro zvládnutí podmínek DBA a DEC. Spolu s tím souvisí potřeba co nejnižší pravděpodobnosti vzniku časných nebo velkých radiačních havárií.

Spolupráce SKK při plnění SxF/POx je založena na principu Funkčních skupin (FSK) a funkčních řetězců (FŘ).

Hodnocení míry nezávislosti úrovní DiD je založeno na profesním posuzování jednotlivých linií DiD a jejich mezi profesní spolupráce.

4.1 FŘ pro HSCHZ

Systémy havarijního chlazení aktivní zóny se podílejí na typových funkcích uvedených v Tabulka 5. V této tabulce jsou pro příslušné typové funkce stanoveny i úrovně DiD, kdy požadujeme jejich plnění. Obecně se havarijní systémy podílejí na funkcích související s řízením reaktivity v AZ, s odvodem tepla z AZ, se zásobou chladiva v AZ, s omezením úniků radioaktivních látek z hermetické obálky a na funkcích souvisejících s udržením integrity, resp. fyzikálních bariér JZ.

Funkceschopnost havarijních systémů chlazení aktivní zóny je projektem předpokládána v úrovni DiD3a, v rámci funkčních analýz ochrany do hloubky se uvažuje s jejich využitím i v úrovni DiD3b, pokud to okolnosti dovolují.

V rámci tvorby funkčních řetězců pro příslušné systémy budou FŘ rozděleny do příslušných pěti podoblastí. Těchto pět podoblastí je v rámci softwarového nástroje definováno jako skupiny SUB funkcí. V rámci navazujícího vyhodnocení bude počítáno s těmito pěti SUB. Následující tabulka specifikuje, které TxF/TBV jsou plněny a představovány příslušným SUB. Již dříve byly zavedeny podpůrné SxF/POx, které jsou nezbytné pro správnou funkci systémů HSCHZ a správné plnění TxF/TBV. Všechny podpůrné SxF/POx uvedené v Tabulka 11 a Tabulka 12 jsou zařazeny do podpůrného SUB, kterému jsou pro zjednodušení modelu přiřazeny všechny ostatní TxF/TBV, které jsou v Tabulka 5 uvedeny šedivou barvou s menším fontem.

Tabulka 14: Seznam použitých SUB a jejich plněných TxF/TBV

Název SUB	Plněné TxF/TBV
Řízení reaktivity v AZ	1_TBF02, 1_TBF03
Odvod tepla z AZ	0_TBF38, 2_TBF07, 2_TBF08
Zásoba chladiva	0_TBF38, 2_TBF05, 2_TBF06, 2_TBF07
Omezení úniků Ra látek	3_TBF12, 3_TBF29
Fyzikální bariéry JZ s reaktorem	3_TBV03, 3_TBV04
Podpůrné systémy	0_TBF32, 0_TBF38, 2_TBF06, 2_TBF07, 2_TBF08, 2_TBF09, 3_TBF12, 3_TBF13, 3_TBV04, 0_TBF19, 0_TBF20, 0_TBF21, 0_TBV09, TPF010, TPF011, 0_TBF30, 0_TBF31, 0_TBF34, 0_TBV05, 3_TBF29, TVF01

4.1.1 Řízení reaktivity v AZ

SUB – řízení reaktivity v aktivní zóně představuje výkonný SUB, protože přímo zabezpečuje plnění požadovaných 1_TBF02 a 1_TBF03 a tím i plnění základní bezpečnostní funkce ZBF1. V rámci hodnocení HSCHZ a tvorby jejich řetězců se neuvažuje plnění funkcí v DiD1 a DiD2 tedy v normálním a abnormálním provozním stavu reaktoru. V úrovních DiD1,2 zabezpečují funkce řízení reaktivity systémy příslušné úrovně, a to především systém doplňování a odpouštění bórové regulace z dlouhodobého hlediska řízení reaktivity a systém regulačních kazet s lineárními krokovými pohony z hlediska řízení rychlých změn reaktivity. Ve vyšších úrovních DiD, tedy v DiD4 a 5 je zapotřebí zabránit nepřijatelným

přechodovým procesům reaktivity a udržet reaktor v odstaveném stavu, a to stálým dodáváním chladiva s roztokem kyseliny borité. Vzhledem k tomu, že HSCHZ v těchto stavech již neplní aktivní a projektem předpokládané funkce, nebudou úrovně DiD4 a 5 pro HSCHZ hodnoceny.

Tabulka 15: Funkční řetězce pro SUB – řízení reaktivity v AZ

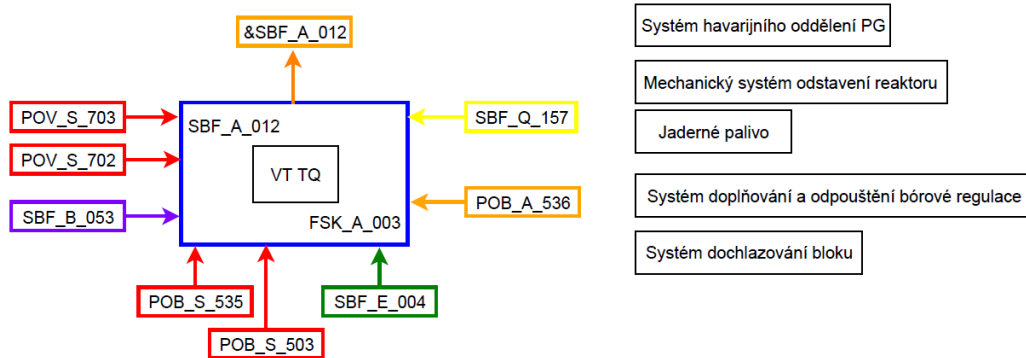
Označení FŘ	Název FŘ	Úroveň DiD	Typová funkce	Popis
Re-007	Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DBA – bez LOCA	DiD3a	1_TBF02	FŘ popisuje systémy sloužící k zabránění nepřijatelným přechodovým procesům reaktivity v DBA v případě, kdy nedošlo k LOCA
Re-008	Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DBA – s LOCA	DiD3a	1_TBF02	FŘ popisuje systémy sloužící k zabránění nepřijatelným přechodovým procesům reaktivity v DBA v případě, kdy došlo k LOCA
Re-009	Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v rozšířených projektových podmínkách DEC-A	DiD3b	1_TBF02	FŘ popisuje systémy sloužící k zabránění nepřijatelným přechodovým procesům reaktivity v DEC-A
Re-014	ATWS v DEC-A pomocí VT HSCHZ	DiD3b	1_TBF02	FŘ popisuje způsob zabránění nepřijatelným přechodovým procesům reaktivity při ATWS za pomoci systému VT HSCHZ
Re-016	Odstavený stav reaktoru v DBA	DiD3a	1_TBF03	FŘ popisuje systémy sloužící k udržení reaktoru ve stabilním podkritickém stavu při DBA

FŘ **Re-007** (Obrázek 10) se VT HSCHZ spolu s uvedenými systémy podílí na plnění funkce 1_TBF02 v podmínkách DBA – základní projektové havárie jiné než LOCA (např. roztržení trubek PG). Vysokotlaký systém se podílí konkrétně dodáním koncentrovaného roztoku kyseliny borité do primárního okruhu a tím ke zpomalení štěpné řetězové reakce. Systém havarijního oddělení PG, resp. systém dochlazování bloku svou funkcí zajišťují oddělení PG od parovodů, resp. rozdělení hlavních parních kolektorů a tím zabraňují vnosu kladné reaktivity.

Re-007 - Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DBA - bez LOCA

DiD 3a

1_TBF02 - zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity



Obrázek 10: FŘ – Re-007 – Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DBA – bez LOCA

Stejnou funkci jako pro Re-007 zastává VT HSCHZ i na FŘ **Re-009**. V tomto případě již systém VT HSCHZ není odolný vůči jednoduché poruše, jelikož se jedná o rozšířené projektové podmínky (DEC-A) a v těchto podmínkách se uvažuje, že jedna divize splnila svou funkci v podmínkách DiD3a. V podmínkách DEC-A tedy DiD3b, se uvažuje práce VT HSCHZ při očekávaných přechodových procesech způsobených poruchou funkce systému rychlého odstavení reaktoru (ATWS). Tato situace je zobrazena na FŘ **Re-014** (Obrázek 13).

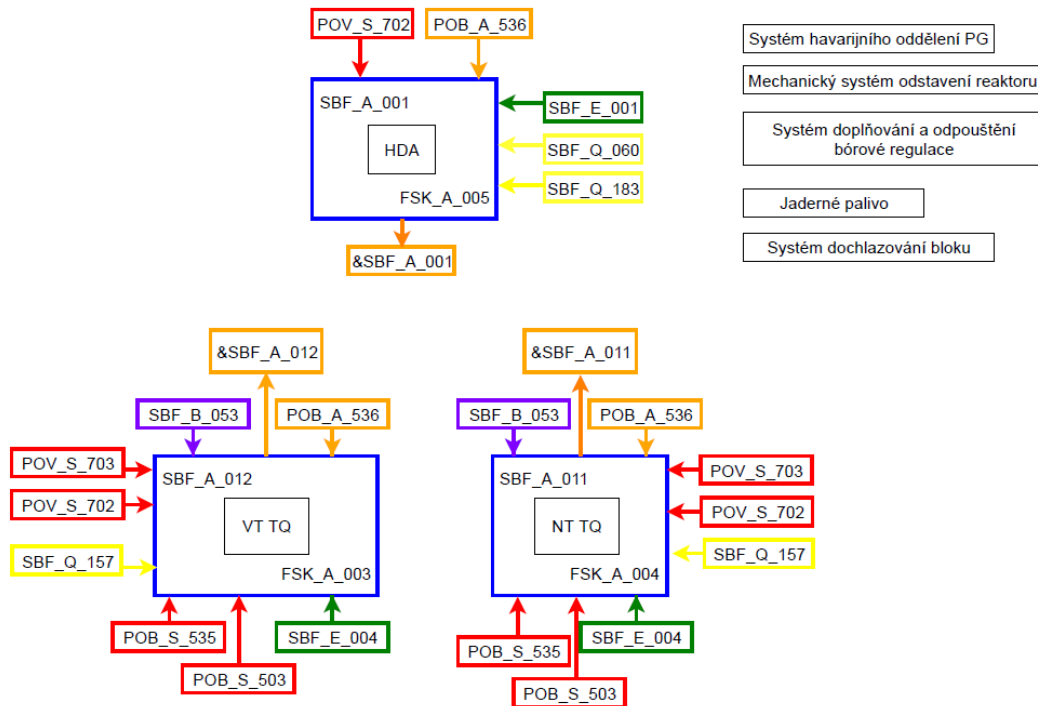
Situace pro havárii se ztrátou chladiwa (LOCA) je popsána na FŘ **Re-008** (Obrázek 11). Na plnění 1_TBF02 se již podílí systém hydroakumulátorů, NT i VT HSCHZ. Hydroakumulátory a NT systém se může na této funkci podílet z důvodu poklesu tlaku v I.O. vlivem jeho porušení.

Na FŘ **Re-016** se VT systém podílí na plnění funkce 1_TBF03. VT systém oproti NT systému disponuje vlastními nádržemi s koncentrovaným roztokem kyseliny borité, tedy roztokem o vyšší koncentraci, než je médium v GA201, které má předepsanou odstavnou koncentraci. A z tohoto důvodu je VT systém schopen udržet reaktor v podmínkách bezpečného odstavení.

Re-008 - Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DBA - s LOCA

DiD 3a

1_TBF02 - zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity

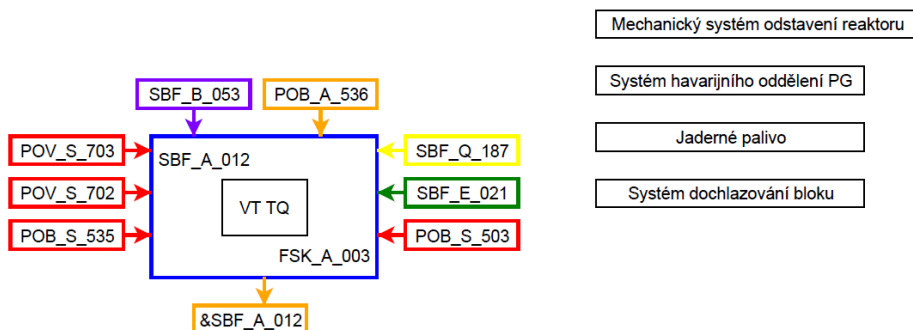


Obrázek 11: FR – Re-008 – Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DBA – s LOCA

Re-009 - Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v rozšířených projektových podmínkách DEC-A

DiD 3b

1_TBF02 - zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity

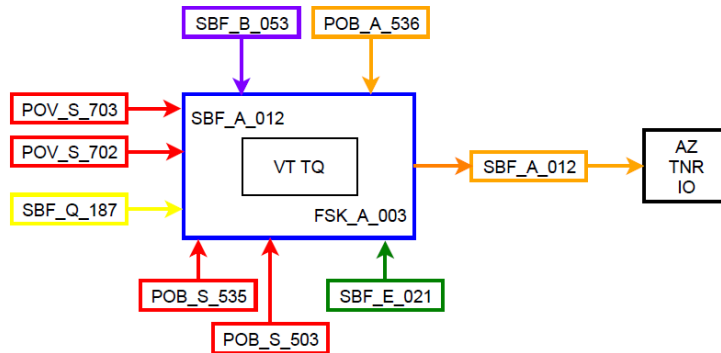


Obrázek 12: FR – Re-009 – Zabránění nepřijatelných přechodových procesů reaktivity v DEC-A

Re-014 - ATWS v DEC-A pomocí VT HSCHZ

DiD 3b

1_TBF02 - zabránění nepříjemných přechodových procesů reaktivity

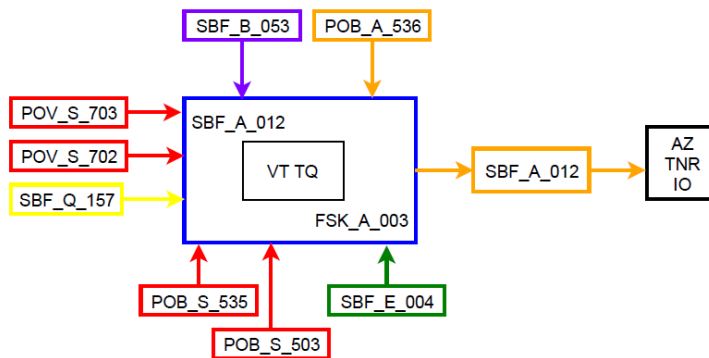


Obrázek 13: FR – Re-014 – ATVW v DEC-A pomocí VT HSCHZ

Re-016 - Odstavený stav reaktoru v DBA

DiD 3a

1_TBF03 - udržení jaderného reaktoru ve stabilizovaném podkritickém stavu po všech činnostech, které vedly k jeho odstavení, a po každém z jeho odstavení



Obrázek 14: FR – Re-016 – Odstavený stav reaktoru v DBA

4.1.2 Odvod tepla z AZ

V rámci SUB – odvod tepla z aktivní zóny jsou plněny funkce 2_TBF07 a 2_TBF08 a tím je plněna i ZBF2. Tento SUB je také výkonný, protože přímo zajišťuje plnění ZBF. V normálním a abnormálním provozním stavu tedy v úrovních DiD1 a DiD2 je odvod tepla z aktivní zóny, resp. primárního okruhu zajišťován nucenou cirkulací HCČ a odvodem přes PG případně přirozenou cirkulací na základě teplotních gradientů. A tento odvod není řešen, modelován ani hodnocen v rámci této práce. Výjimku tvoří provozní režim plánovaného dochlazování, ke kterému jsou využívána čerpadla a výměník NT HSCHZ. V rámci hodnocení HSCHZ nebudou uvažovány ani podmínky DiD4 a DiD5 ve kterých musí

být k odvodu tepla z AZ použity již diverzní případně alternativní prostředky – tedy odlišné prostředky od těch projektových.

Na FŘ se vykytuje jako plněná také typová funkce 0_TBF38, a to z důvodu vyhláškového znění funkcí 2_TBF07 a 2_TBF08, které vyhláškou [5] nejsou v příslušné úrovni DiD a v příslušném stavu bloky vyžadovány ale projekt s nimi uvažuje a uvažovat musí.

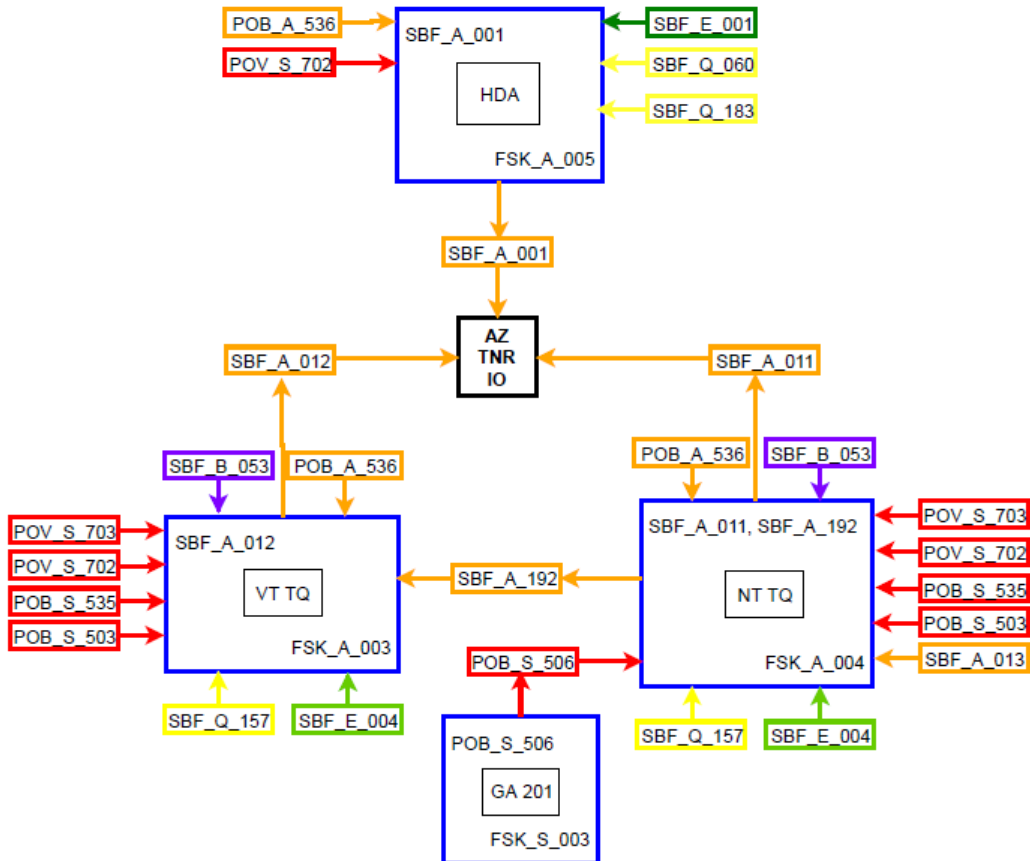
Tabulka 16 - Funkční řetězce pro SUB – odvod tepla z AZ

Označení FŘ	Název FŘ	Úroveň DiD	Typová funkce	Popis
O-010	Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. (HSCHZ)	DiD3a	2_TBF07	FŘ popisuje systémy pro odvod tepla z AZ s porušeným I.O. v podmínkách DBA.
O-011	Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. (HSCHZ) – bez ESFAS	DiD3b	2_TBF07 0_TBF38	FŘ popisuje systémy pro odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. v případě, kdy nefungoval standartní ESFAS.
O-012	Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. (HSCHZ) v DEC-A bez NT	DiD3b	2_TBF07 0_TBF38	FŘ popisuje systémy pro odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. v podmínkách DEC-A s nefunkčností čerpadel systému NT HSCHZ.
O-013	Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. (HSCHZ) v DEC-A bez VT	DiD3b	2_TBF07 0_TBF38	FŘ popisuje systémy pro odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. v podmínkách DEC-A s nefunkčností čerpadel systému VT HSCHZ.
O-020	Odvod zbytkového tepla z AZ za normálního a abnormálního režimu pro odstavený, a i roztěsněný reaktor přes NT HSCHZ	DiD1,2	2_TBF08	Zajištění odvodu zbytkového tepla z AZ za normálního a abnormálního režimu pro odstavený, a i roztěsněný reaktor

O-010 - Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným IO (HSCHZ)

DiD 3a

2_TBF07 - zajištění odvodu tepla z aktivní zóny a k omezení poškození jaderného paliva při základní projektové nehodě s porušením hranice primárního okruhu



Obrázek 15: FŘ – O-010 – Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. pomocí HSCHZ

Na FŘ **O-010** (Obrázek 15) zajišťují HSCHZ (HDA, VT a NT) funkci 2_TBF07. Tento FŘ představuje typickou DBA – nehodu se ztrátou chladiva (LOCA), na kterou jsou tyto systémy projektem určeny. K plnění a aktivaci jednotlivých systémů dochází vlivem snižování tlaku v I.O. a jejich možnosti se tak do I.O. prosadit a začít dodávat médium o požadovaných parametrech.

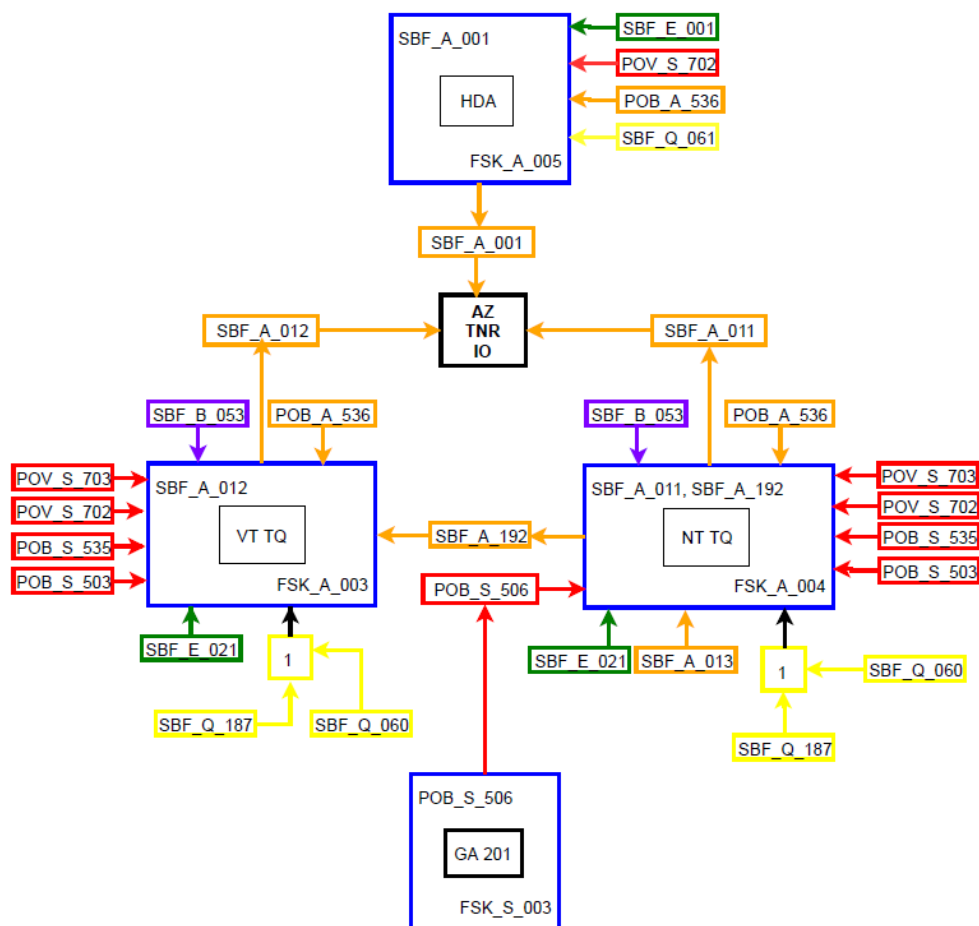
Na FŘ **O-011** (Obrázek 16) je zobrazena stejná situace, akorát je zde uvažováno, že z nějakého důvodu nezafungovala automatické spuštění systému ESFAS, který na základě vzniklých signálů z technologie iniciuje spuštění havarijních systémů. Uvažuje se ruční spuštění HSCHZ z BD/ND případně zafungování DPS – diverzní systém. Proto se již v rámci tohoto scénáře blok přesouvá do úrovně DiD3b.

O-011 - Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným IO (HSCHZ) – bez ESFAS

DiD 3b

2_TBF07 - zajištění odvodu tepla z aktivní zóny a k omezení poškození jaderného paliva při základní projektové nehodě s porušením hranice primárního okruhu

0_TBF38 - nahrazující bezpečnostní funkce vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 nebo 3 diverzními prostředky při ztrátě jejich funkce v důsledku poruchy ze společné příčiny



Obrázek 16: FR – O-011 – Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. pomocí HSCHZ – bez ESFAS

Odvod zbytkového tepla lze v podmínkách DEC-A s uvažováním LOCA realizovat i za podmínek nefunkčního systému NT HSCHZ. Zmíněný scénář je zobrazen na FR **O-012** (Obrázek 17). V rámci tohoto scénáře je uvažováno s nefunkčností čerpadel NT HSCHZ, nicméně přes výměník havarijních systémů lze odvádět zbytkový tepelný výkon.

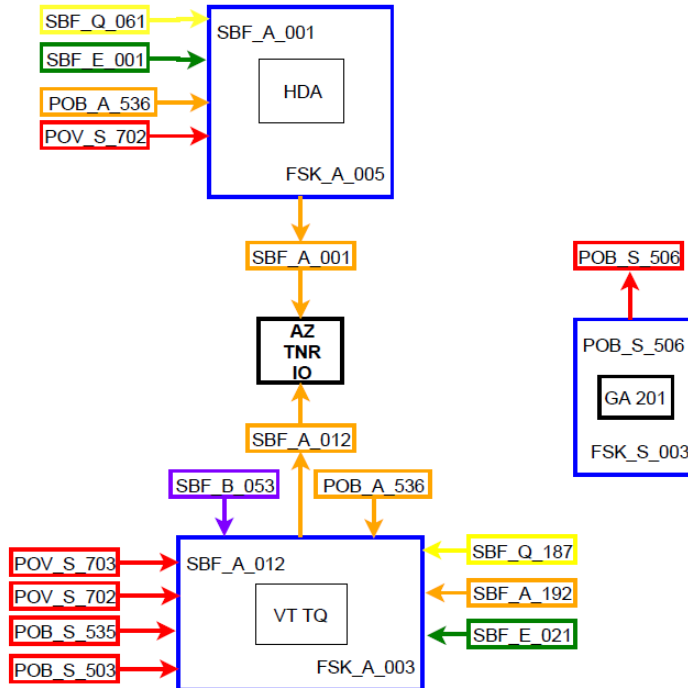
Obdobná situace může nastat i pro VT systém. Scénář odvodu tepla pouze za pomocí systému NT je zobrazen na FR **O-013** (Obrázek 18). V obou případech je uvažováno, že vlivem nějaké události došlo k vyřazení všech divizí NT, resp. VT systému, a proto je stav bloku uvažován v úrovni DiD3b.

O-012 - Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným IO (HSCHZ) v DEC-A bez NT

DiD 3b

2_TBF07 - zajištění odvodu tepla z aktivní zóny a k omezení poškození jaderného paliva při základní projektové nehodě s porušením hranice primárního okruhu

0_TBF38 - nahrazující bezpečnostní funkce vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 nebo 3 diverzními prostředky při ztrátě jejich funkce v důsledku poruchy ze společné příčiny



Obrázek 17: FR – O-012 – Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. v DEC-A bez NT HSCHZ

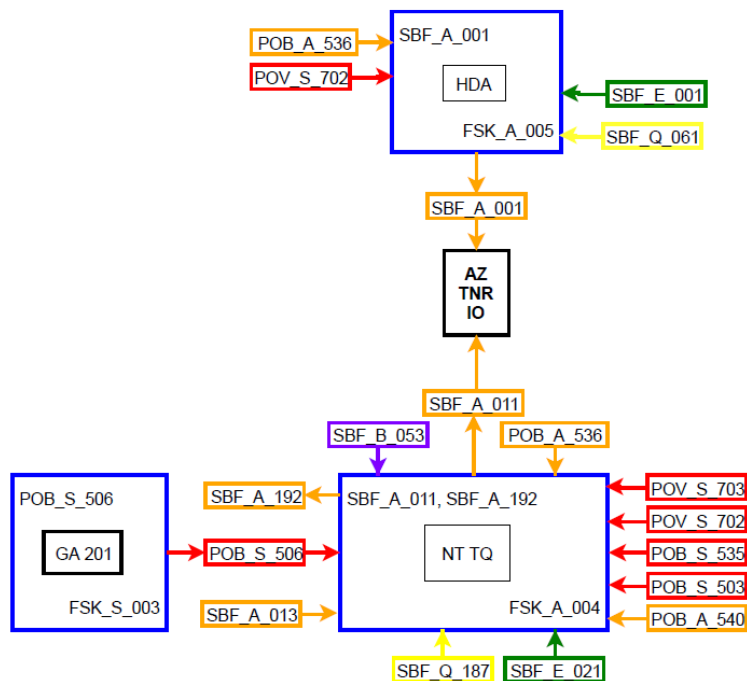
Na FR **O-020** je znázorněn odvod tepla za normálního a abnormálního provozu, tedy v úrovni DiD1 a DiD2. V provozních stavech jsou čerpadla a výměník NT systému využívány k plánovanému dochlazování odstaveného a roztěsněného reaktoru.

O-013 - Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným IO (HSCHZ) v DEC-A bez VT

DiD 3b

2_TBF07 - zajištění odvodu tepla z aktivní zóny a k omezení poškození jaderného paliva při základní projektové nehodě s porušením hranice primárního okruhu

0_TBF38 - nahrazující bezpečnostní funkce vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 nebo 3 důvěrnými prostředky při ztrátě jejich funkce v důsledku poruchy ze společné příčiny

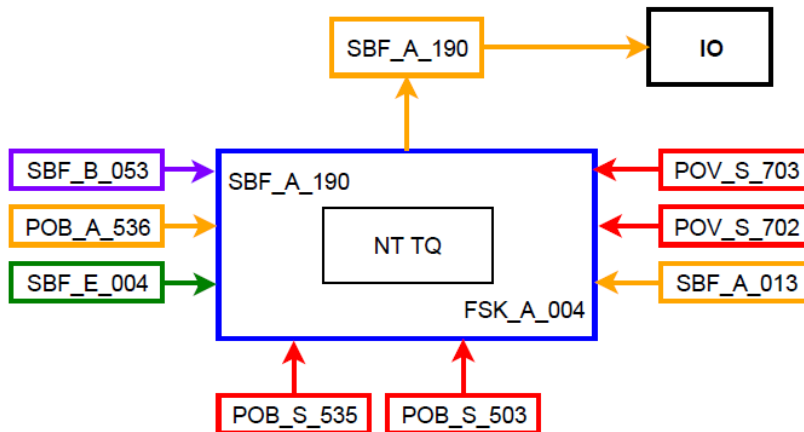


Obrázek 18: FŘ – O-013 – Odvod zbytkového tepla z AZ s porušeným I.O. v DEC-A bez VT HSCHZ

O-020 - Odvod zbytkového tepla z AZ za normálního a abnormálního režimu pro odstavený a i roztěsněný reaktor přes NT HSCHZ

DiD 1, 2

2_TBF08 - nezbytný odvod zbytkového tepla z aktivní zóny v průběhu provozních stavů a při základní projektové nehodě, při které nedošlo k porušení integrity hranice primárního okruhu



Obrázek 19: FŘ – O-020 – Odvod zbytkového tepla z AZ v DiD1,2 přes NT HSCHZ

4.1.3 Zásoba chladiva v primárním okruhu

V rámci FŘ ve výkonném SUB – zásoba chladiva v primárním okruhu jsou plněny funkce 2_TBF05 a 2_TBF06 a tím se podílejí i na plnění ZBF2. Vzhledem k tomu, že v rámci SUB zásoba chladiva a odvod tepla je plněna právě ZBF2, dochází na FŘ k prolínání plnění typových funkcí pro odvod tepla a zásobu chladiva.

V normálním a abnormálním provozním stavu je zásoba chladiva v primárním okruhu udržována pomocí systému doplňování a odpouštění bórové regulace a dalších pomocných systémů např. systému organizovaných úniků. Tyto systémy nejsou na FŘ v rámci hodnocení HSCHZ uvažovány. Stejně jako pro SUB-odvod tepla nebudou uvažovány stavy v úrovních DiD4 a 5, kde, již musí být pro zásobu chladiva a dlouhodobý odvod tepla využity diverzní či alternativní prostředky.

Tabulka 17: Funkční řetězce pro SUB – zásoba chladiva v I.O.

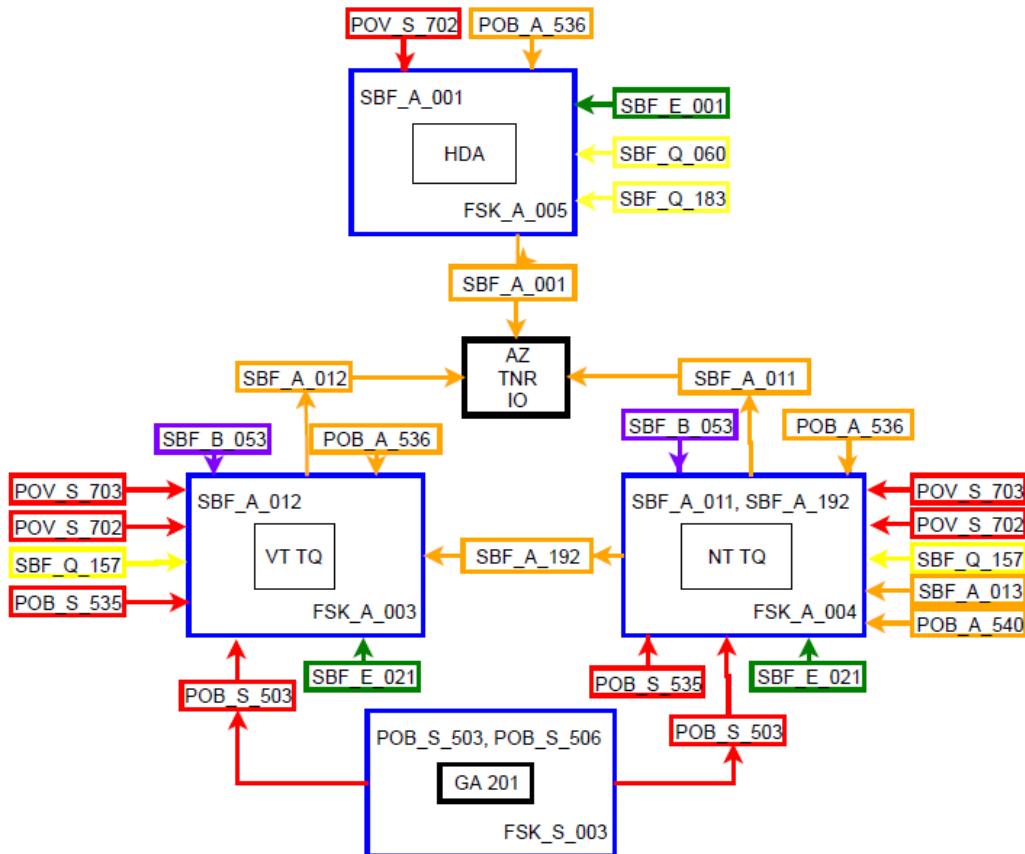
Označení FŘ	Název FŘ	Úroveň DiD	Typová funkce	Popis
Z-004	Kompenzace úniku pomocí HSCHZ	DiD3a	2_TBF06 2_TBF07	FŘ popisuje HSCHZ sloužící ke kompenzaci úniku v podmínkách základních projektových nehod
Z-005	Kompenzace úniku HSCHZ bez NT systému	DiD3b	2_TBF06 0_TBF38	FŘ popisuje HSCHZ sloužící ke kompenzaci úniku a na tomto FŘ je uvažováno, že čerpadla NT systému jsou nefunkční a využívají se pouze spojovací trasy a chladiče. Po vyčerpání vody v nádržích VT HSCHZ, čerpá vodu VT systém z GA 201.
Z-006	Kompenzace úniku HSCHZ systémem bez VT systému	DiD3b	2_TBF06 0_TBF38	FŘ popisuje HSCHZ sloužící ke kompenzaci úniku a na tomto FŘ je uvažováno, že čerpadla VT systému jsou nefunkční.
Z-007	Udržení zásoby chladiva diverzními prostředky v natlakovaném reaktoru	DiD3b	2_TBF05 0_TBF38	FŘ popisuje diverzní systémy sloužící k udržení zásoby chladiva v natlakovaném reaktoru.
Z-009	Zásoba chladiva v reaktoru v DBA bez LOCA – doplnění VT HSCHZ	DiD3a	2_TBF05	FŘ popisuje systémy, které dodávají chladivo do reaktoru v podmínkách DBA bez LOCA. Uvažuje se nefunkčnost čerpadel NT systému.
Z-013	Havarijní doplňování BSVP ze systému TQx1	DiD3b	2_TBF05 0_TBF38	FŘ popisuje havarijní doplňování BSVP za pomoci sprchového systému TQx1. Funkce havarijního doplňování pomocí TQx1 probíhá v rozšířených projektových podmínkách.

Z-004 - Kompenzace úniku pomocí HSCHZ

DiD 3a

2_TBF06 - udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny jaderného reaktoru při všech provozních stavech zohledněných v projektu jaderného zařízení

2_TBF07 - zajištění odvodu tepla z aktivní zóny a k omezení poškození jaderného paliva při základní projektové nehodě s porušením hranice primárního okruhu



Obrázek 20: FŘ – Z-004 – Kompenzace úniku z I.O. pomocí HSCHZ

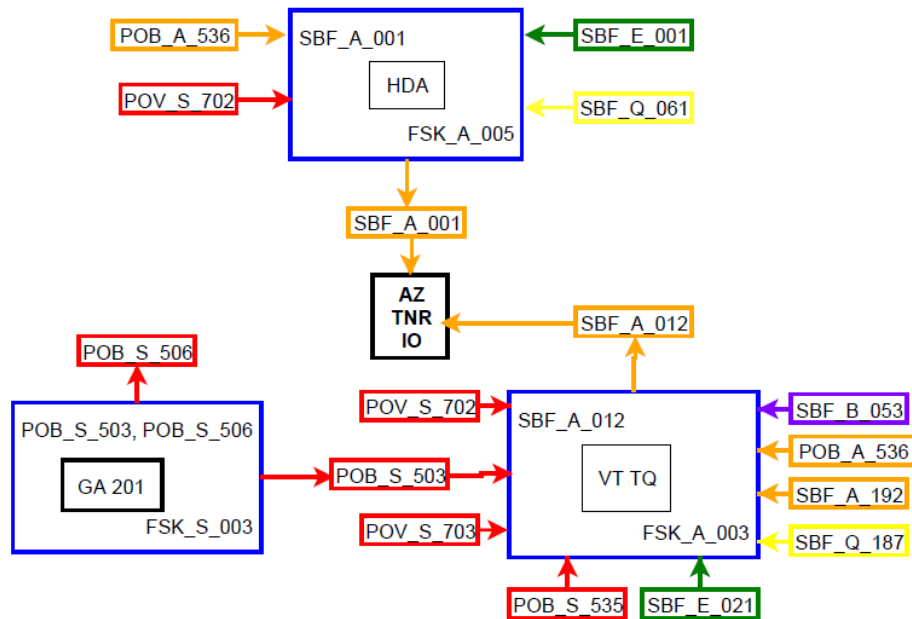
Na FŘ **Z-004** (Obrázek 20) zajišťují HSCHZ (HDA, VT a NT) funkci 2_TBF06. Tento FŘ představuje typickou DBA – nehodu se ztrátou chladiva (LOCA), na kterou jsou tyto systémy projektem určeny. K plnění a aktivaci jednotlivých systémů dochází vlivem snižování tlaku v I.O. a jejich možnosti se tak do I.O. prosadit a začít dodávat médium o požadovaných parametrech a tím zajistit dostatečnou zásobu chladiva, aby nedošlo k tavení AZ. Vzhledem ke špatnému vyhláskovému znění je zde uvedena i funkce 2_TBF07, protože plnění funkce 2_TBF06 není vyhláškou 329/2017 Sb. v této úrovni DiD vyžadováno.

Z-005 - Kompenzace úniku HSCHZ bez NT systému

DiD 3b

2_TBF06 - udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny jaderného reaktoru při všech provozních stavech zohledněných v projektu jaderného zařízení

0_TBF38 - nahrazující bezpečnostní funkce vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 nebo 3 diverzními prostředky při ztrátě jejich funkce v důsledku poruchy ze společné příčiny



Obrázek 21: FŘ – Z-005 – kompenzace úniku z I.O. pomocí HSCHZ bez NT

V případě nefunkčnosti všech divizí NT systému, lze zásobu chladiva při LOCA havárii zajistit i jen za pomoci systému hydroakumulátorů a VT systému. Zmíněný scénář reprezentuje FŘ **Z-005** (Obrázek 21). A blok jako celek se přesouvá do úrovně DiD3b, a proto je na zmíněném FŘ jako plněná i funkce 0_TBF38 (z důvodu správné funkčnosti softwarového modelu při následném vyhodnocení).

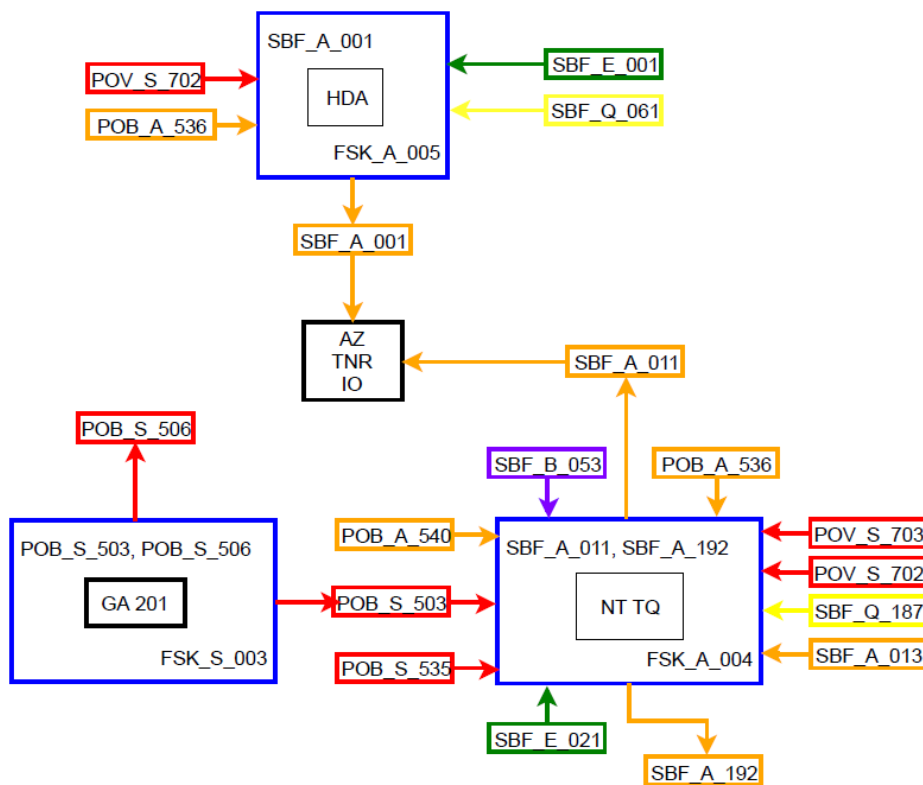
FŘ **Z-006** (Obrázek 22) zobrazuje, že obdobný případ může nastat pro VT systém a zásoba chladiva v I.O. bude zajišťována pouze systémem pasivního a aktivního nízkotlakého systému havarijního chlazení aktivní zóny.

Z-006 - Kompenzace úniku SAOZ systémem bez VT systému

DiD 3b

2_TBF06 - udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny jaderného reaktoru při všech provozních stavech zohledněných v projektu jaderného zařízení

0_TBF38 - nahrazující bezpečnostní funkce vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 nebo 3 diverzními prostředky při ztrátě jejich funkce v důsledku poruchy ze společné příčiny



Obrázek 22: FR – Z-006 – Kompenzace úniku I.O. pomocí HSCHZ bez VT

V případě udržení plného tlaku primárního okruhu je zapotřebí chladivo dodávat diverzními prostředky a za pomoci hydroakumulátorů, které však mohou dodávat chladivo pouze do svého vyčerpání. Tato situace je zjednodušeně zobrazena na FR **Z-007** (Obrázek 23). Diverzní prostředky doplňování nejsou v rámci této práce řešeny.

V případě, kdy nedošlo k havárii LOCA ale např. k DBA na straně II.O. zajišťuje dodávání chladiva do I.O. pouze vysokotlaký systém HSCHZ, jak je zobrazeno na FR **Z-009**. Takováto situace probíhá stále v úrovni základní projektové nehody tedy DiD3a.

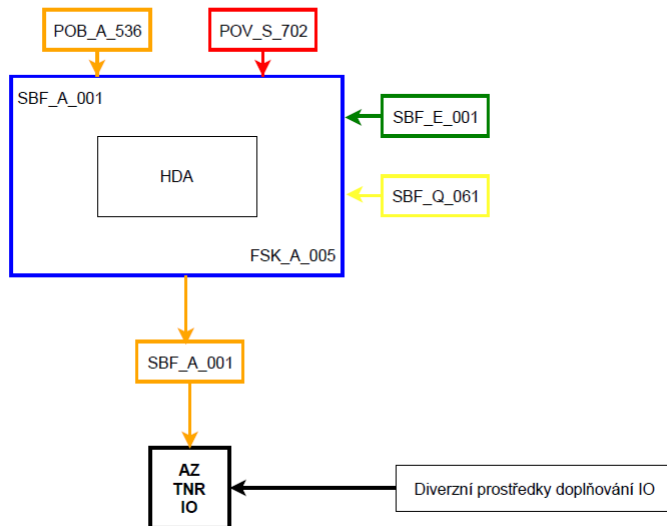
Mimo dostatečné zásoby chladiva v I.O a reaktoru je zapotřebí zajistit dostatečné množství chladiva v bazénu skladování vyhořelého jaderného paliva. Doplnění a chlazení BSVP je v provozních stavech zajištěny systémy související přímo s BSVP, v případě, kdy by z nějakého důvodu došlo k poruše na těchto systémech je sprchový systém, pomocí svých čerpadel a tras schopen zajistit dodávku chladiva do BSVP, jak znázorňuje FR **Z-013**.

Z-007 - Udržení zásoby chladiva diverzními prostředky v natlakovaném reaktoru

DiD 3b

2_TBF05 - udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny v průběhu základních projektových nehod, při kterých nedošlo k porušení tlakové hranice primárního okruhu, a po omezení příčin těchto havarijních podmínek

0_TBF38 - nahrazující bezpečnostní funkce vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 nebo 3 diverzními prostředky při ztrátě jejich funkce v důsledku poruchy ze společné příčiny

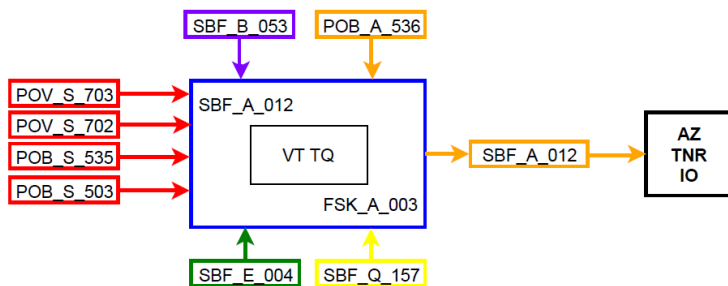


Obrázek 23: FR – Z-007 – Udržení zásoby chladiva diverzními prostředky v natlakovaném reaktoru

Z-009 - Zásoba chladiva v reaktoru v DBA bez LOCA - doplnění VT HSCHZ

DiD 3a

2_TBF05 - udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny v průběhu základních projektových nehod, při kterých nedošlo k porušení tlakové hranice primárního okruhu, a po omezení příčin těchto havarijních podmínek



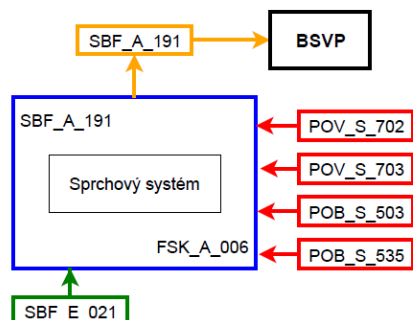
Obrázek 24: FR – Z-009 – Zásoba chladiva v reaktoru v DBA bez LOCA

Z-013 - Havarijní doplňování BSVP ze systému TQx1

DiD 3b

2_TBF05 - udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny v průběhu základních projektových nehod, při kterých nedošlo k porušení tlakové hranice primárního okruhu, a po odeznění příčin těchto havarijních podmínek

0_TBF38 - nahrazující bezpečnostní funkce vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 nebo 3 diverzními prostředky při ztrátě jejich funkce v důsledku poruchy ze společné příčiny



Obrázek 25: FŘ – Z-013 – Havarijní doplňování BSVP pomocí sprchového systému

4.1.4 Omezení úniků radioaktivní látek

V rámci tohoto výkonného SUB – omezení úniků Ra látek je zabezpečeno plnění funkcí 3_TBF12 a 3_TBF29 a tím je zabezpečeno plnění i ZBF3. V průběhu normálních a abnormálních provozních stavů v úrovních DiD1 a DiD2 je tato ZBF plněna za pomoci systémů pracujících v příslušných úrovních DiD, jedná se především o systémy čištění. Stejně jako v rámci předchozích SUB nejsou uvažovány stavy a vytvořeny řetězce pro úroveň DiD4 a 5, vzhledem k tomu, že v těchto úrovních DiD se již neuvažuje se provozuschopností aktivních funkcí HSCHZ.

V rámci tvorby FŘ pro HSCHZ se na omezení úniků radioaktivních látek do životního prostředí podílí sprchový systém, který snižuje tlak v HO.

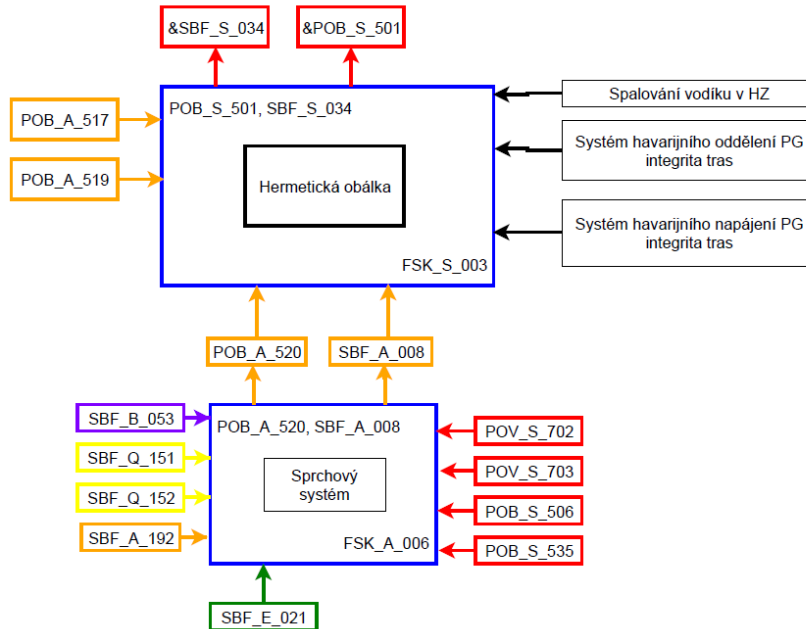
Tabulka 18: Funkční řetězce pro SUB – omezení úniků Ra látek

Označení FŘ	Název FŘ	Úroveň DiD	Typová funkce	Popis
U-010	Úniky z HO v DBA	DiD3a	3_TBF29	FŘ popisuje způsoby omezení úniků RA látek z HO v případě vzniku základní projektové havárie
U-011	Úniky z HO v DEC A při ztrátě automatických funkcí ESFAS	DiD3b	3_TBF12	FŘ popisuje způsoby omezení úniků RA látek z HO v rozšířených projektových stavech DEC A při ztrátě automatických funkcí ESFAS
U-012	Úniky z HO v DEC A při ztrátě sprchového čerpadla	DiD3b	3_TBF12	FŘ popisuje způsoby omezení úniků RA látek z HO v rozšířených projektových stavech DEC A při ztrátě funkce sprchového čerpadla

U-010 - Úniky z HO v DBA

DiD 3a

3_TBF29 - nezbytné omezení úniků radioaktivní látky z hermetické obálky v průběhu havarijních podmínek a po dosažení stabilizovaného podkritického stavu jaderného zařízení při základní projektové nehodě



Obrázek 26: FŘ – U-010 – úniky z HO v DBA

Na FŘ **U-010** (Obrázek 26) je plněna funkce 3_TBF29, na které se ze systémů HSCHZ podílí pouze sprchový systém. Tento řetězec opět představuje typickou situaci, na kterou byl sprchový systém projektován, a to je snižování tlaku v průběhu DBA a tím zamezení možného úniku Ra látek do okolí a životního prostředí.

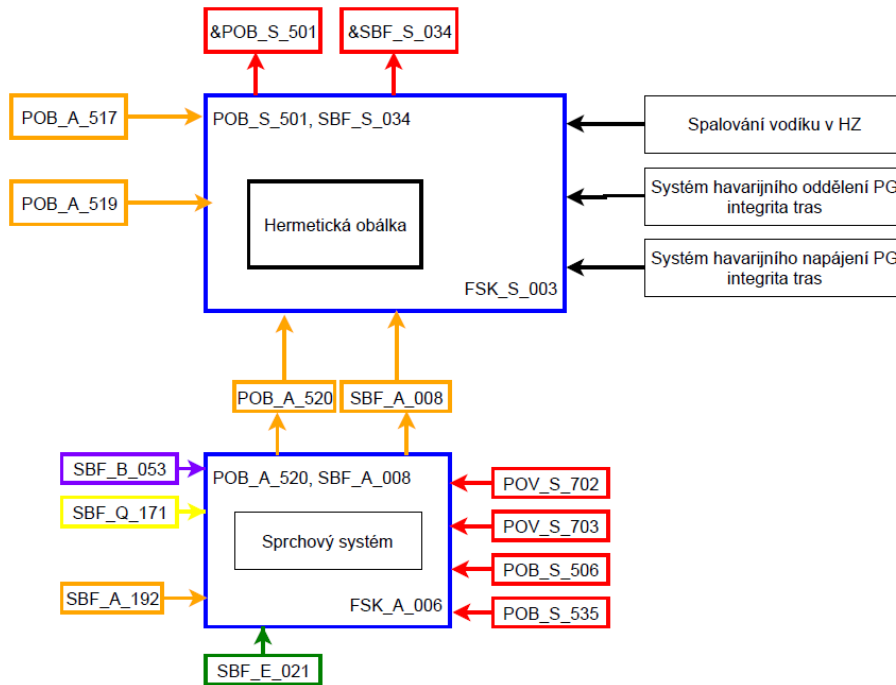
Systém ESFAS iniciuje také sprchový systém, proto může nastat situace, která posune blok do další úrovně, a to do DiD3b. Na FŘ **U-011** (Obrázek 27) je uvažováno s nefunkčností automatického systému ESFAS a tím pádem je zapotřebí spustit sprchový systém ručně z BD nebo ND.

Vlivem PIU či jiné události může dojít ke ztrátě všech tří divizí sprchového systému, respektive čerpadla a tím k nemožnosti sprchování atmosféry hermetické obálky. V takové situaci na FŘ **U-012** (Obrázek 28) se sprchový systém podílí na zabráněné únikům Ra látek pouze integritou svých potrubních tras jdoucích skrz hermetickou obálku.

U-011 - Úniky z HO v DEC A při ztrátě automatických funkcí ESFAS

DiD 3b

3_TBF12 - omezení úniku radioaktivní látky z hermetické obálky v rozšířených projektových podmínkách

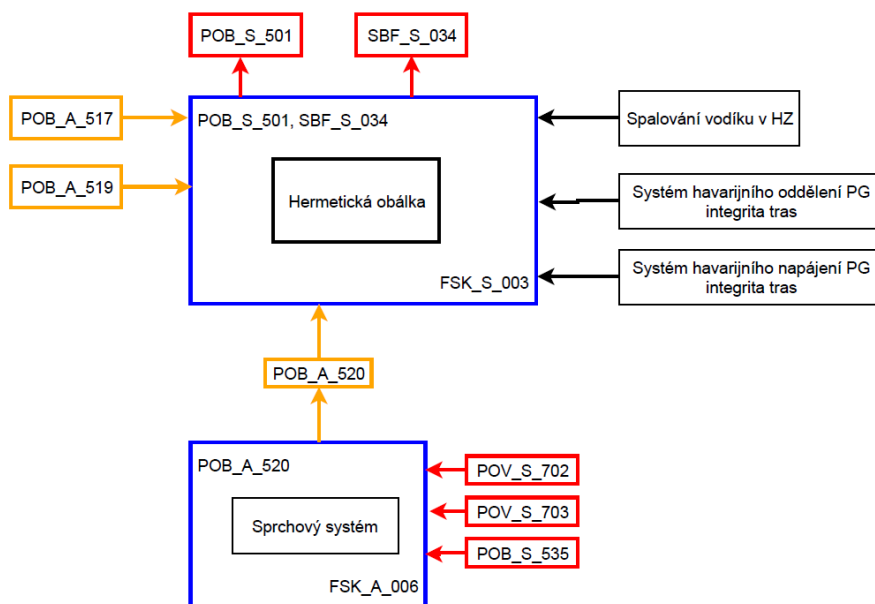


Obrázek 27: FR – U-011 – Úniky z HO v DEC-A při ztrátě ESFAS

U-012 - Úniky z HO v DEC A při ztrátě sprchového čerpadla

DiD 3b

3_TBF12 - omezení úniku radioaktivní látky z hermetické obálky v rozšířených projektových podmínkách



Obrázek 28: FR – U-012 – Úniky z HO v DEC-A při ztrátě sprchového čerpadla

4.1.5 Fyzikální bariéry jaderného zařízení s reaktorem

V rámci výkonného SUB – fyzikální bariéry JZ s reaktorem se každý ze systémů HSCHZ podílí zajištěním integrity svých potrubních tras na ochraně fyzických bariér jaderného zařízení, jak již bylo popsáno v kapitole 2.3 pro jednotlivé systémy.

Tento SUB koresponduje se SUB – omezení úniků Ra látek a jako takový se svými typovými funkcemi, respektive vlastnostmi 3_TBV03 a 3_TBV04 podílí na plnění ZBF3.

V normálních a abnormálních provozních stavech systémy HSCHZ musí zajistit pouze integritu svých potrubních tras, které spadají do tlakové hranice I.O. Tyto stavy nejsou podrobněji rozebírány. Stejně tak nejsou uvedeny řetězce řešící fyzikální bariéry ve vyšších úrovních DiD. Aktivně se na plnění ochrany fyzikálních bariér podílí pouze sprchový systém.

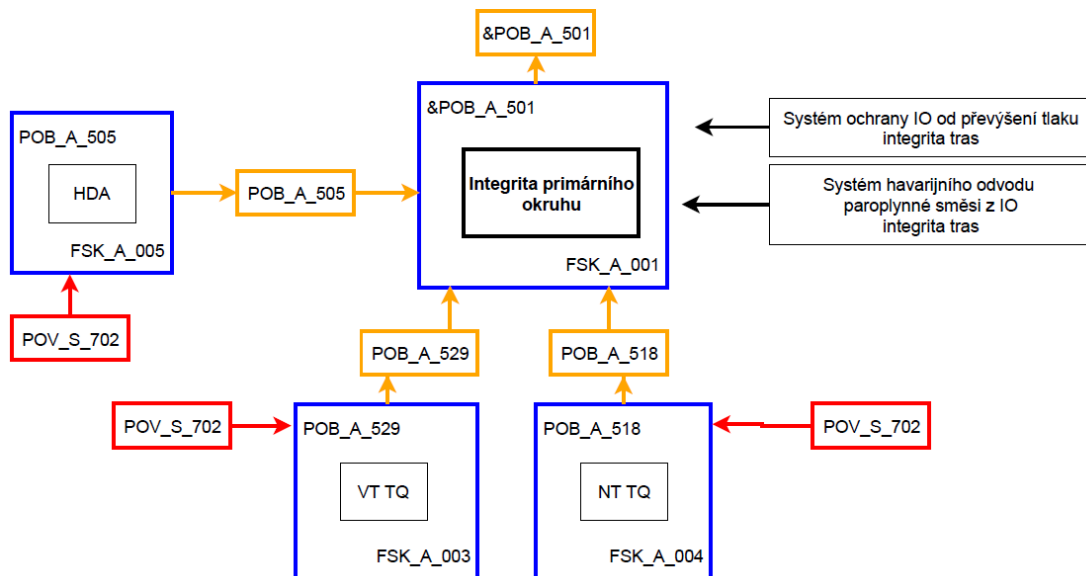
Tabulka 19: Funkční řetězce pro SUB – fyzikální bariéry JZ s reaktorem

Označení FŘ	Název FŘ	Úroveň DiD	Typová funkce	Popis
I-001	Integrita I.O.	DiD 1,2,3a,3b	3_TBV03	Zajištění integrity tlakové hranice primárního okruhu jako bariéry proti úniku chladiva a šíření RA látek v normální, abnormálním provozu, v případě podmínek DBA a DEC-A.
I-013	Integrita hermetické obálky v DBA	DiD3a	3_TBV04	Zajištění integrity hermetické obálky jako bariéry proti šíření RA látek v základních projektových havarijních stavech
I-014	Integrita hermetické obálky v DEC A při ztrátě ESFAS	DiD3b	3_TBV04	Zajištění integrity hermetické obálky jako bariéry proti šíření RA látek v rozšířených projektových havarijních stavech při ztrátě systémů ESFAS (omezená množina prostředků, ruční spouštění)
I-015	Integrita hermetické obálky v DEC A při ztrátě sprchových čerpadel	DiD3b	3_TBV04	Zajištění integrity hermetické obálky jako bariéry proti šíření RA látek v rozšířených projektových havarijních stavech při ztrátě sprchových čerpadel, využití ventingu k snížení tlaku v HO

I-001 - Integrita I.O.

DiD 1, 2, 3a, 3b

3_TBV03 - pasivní funkce (Integrita) SKK tlakové hranice primárního okruhu

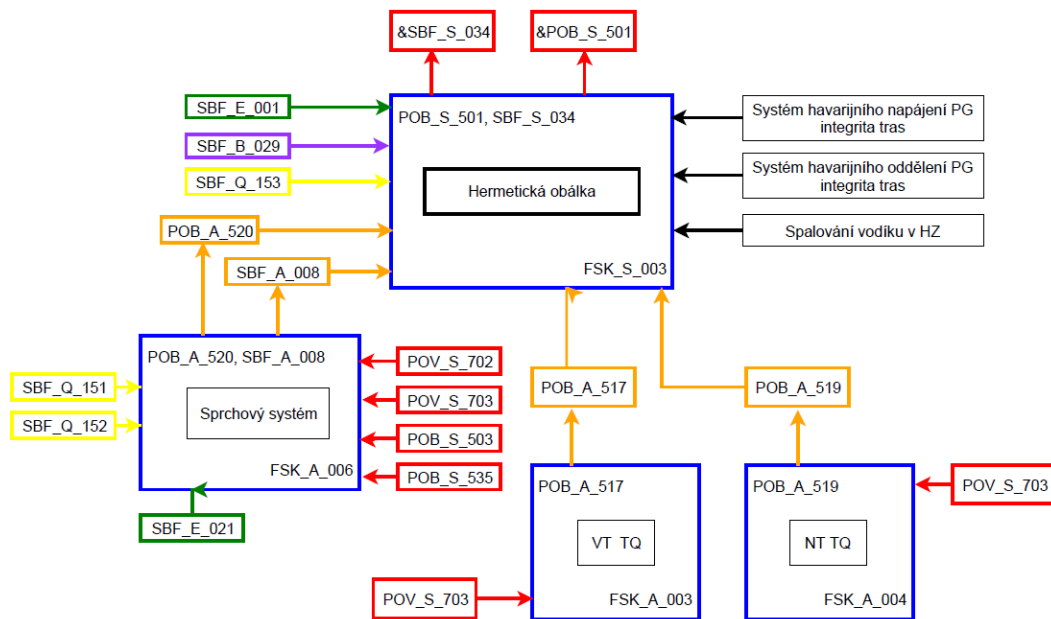


Obrázek 29: FŘ – I-001 – integrita I.O. v úrovních DiD1 až 3b

I-013 - Integrita hermetické obálky v DBA

DiD 3a

3_TBV04 - pasivní funkce (integrita) SKK fyzické bariéry hermetické obálky

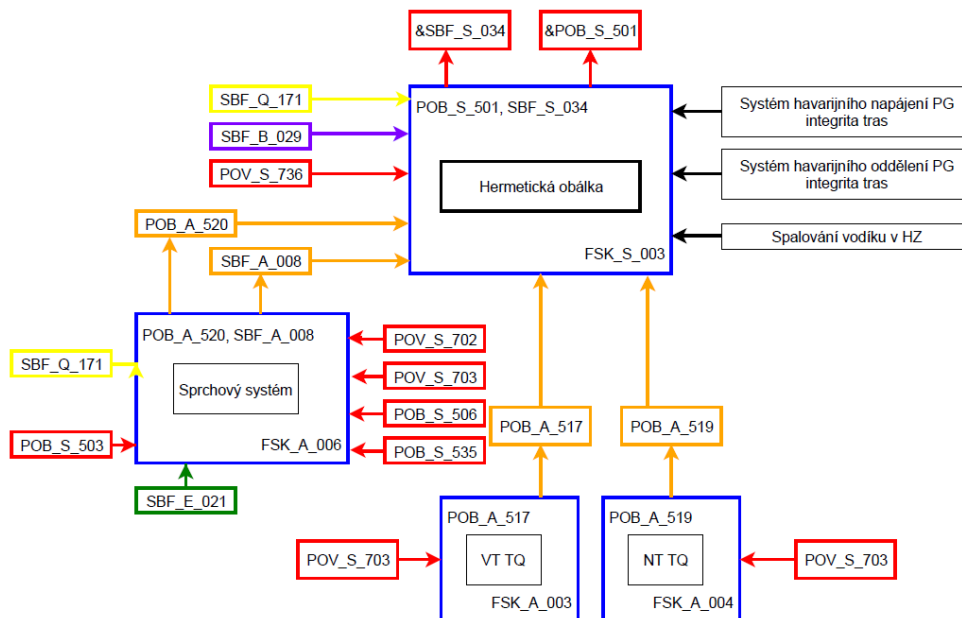


Obrázek 30: FR – I-013 – Integrita HO v DBA

I-014 - Integrita hermetické obálky v DEC A při ztrátě ESFAS

DiD 3b

3_TBV04 - pasivní funkce (integrita) SKK fyzické bariéry hermetické obálky

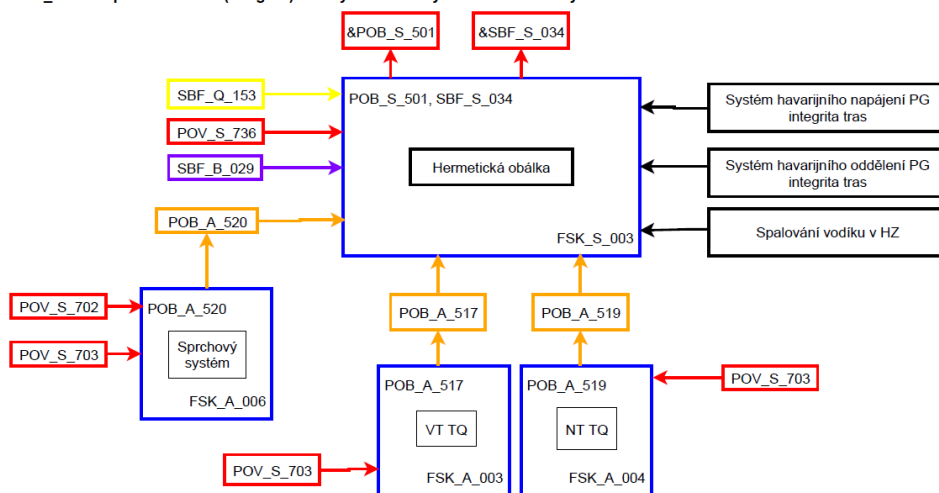


Obrázek 31: FR – I-014 – Integrita HO v DEC-A při ztrátě ESFAS

I-015 - Integrita hermetické obálky v DEC A při ztrátě sprchových čerpadel

DiD 3b

3_TBV04 - pasivní funkce (integrita) SKK fyzické bariéry hermetické obálky



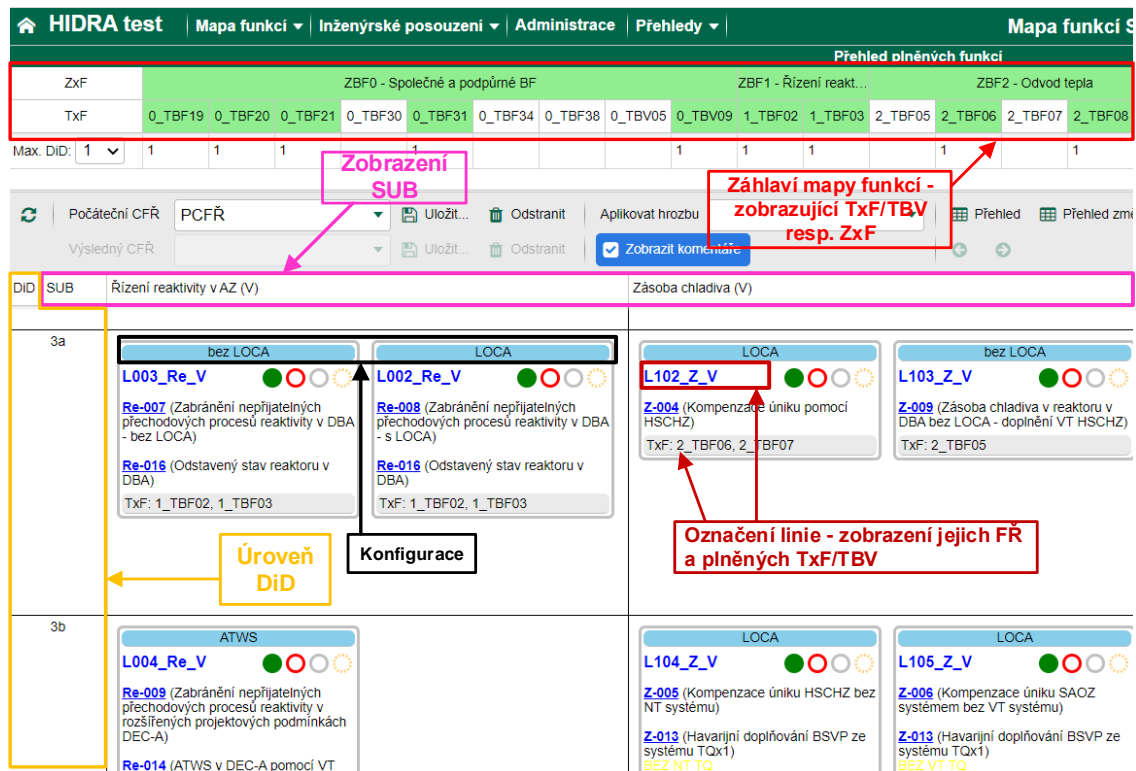
Obrázek 32: FR – I-015 – integrita HO v DEC-A při ztrátě sprchových čerpadel

4.2 Mapa funkcí

Mapa funkcí představuje grafický přehled vazeb požadovaných SUB, resp. TxF/TBV v příslušných úrovních DiD a linií, které jsou pro příslušné úrovně SUB vytvořeny.

Mapa funkcí tedy slouží ke grafickému zpracování závislostí mezi zobrazenými úrovněmi DiD a mezi příslušnými liniemi. Na mapě funkcí jsou respektovány příslušné konfigurace v liniích – viz Obrázek 33.

Mapa funkcí slouží k sestavování CFR z jednotlivých linií DiD a jejich FR, a to počátečních (PCFR) nebo výsledných (VCFR) sloužících pro potřeby inženýrského hodnocení robustnosti a celkového hodnocení úplnosti (komplexnosti) souboru projektových požadavků.



Obrázek 33: Výřez z mapy funkcí v SW HIDRA s vysvětlujícími popisky

4.2.1 Vytvoření linií DiD a jednotlivých konfigurací

Pro vytvoření mapy funkcí je zapotřebí nejprve přiřadit všechny FŘ či skupiny FŘ do linií DiD a jím příslušných SUB. Zároveň byly zavedeny následující konfigurace, které jsou užitečným doplňkem pro vyhodnocení hrozeb a hodnocení robustnosti.

- LOCA,
- bez LOCA,
- blok v provozním stavu.

Tabulka 20: Linie vytvořené v SW HIDRA pro tvorbu mapy funkcí

SUB	Označení	Úroveň DiD	Název	Přiřazené Funkční řetězce
Řízení reaktivity v AZ	L002_Re_V	3a	Odstavený reaktor – LOCA	Re-008, Re-016
	L003_Re_V	3a	Odstavený reaktor v DiD3a bez LOCA	Re-007, Re-016
	L004_Re_V	3b	Řízení reaktivity v DiD 3b	Re-009, Re-014, Re-015
Zásoba chladiva	L102_Z_V	3a	Zásoba chladiva v I.O. – LOCA	Z-004
	L103_Z_V	3a	Zásoba chladiva v I.O. – DiD3a – bez LOCA	Z-009
	L104_Z_V	3b	Zásoba chladiva v DiD3b – LOCA bez NT TQ	Z-005, Z-013
	L105_Z_V	3b	Zásoba chladiva v DiD3b – LOCA bez VT TQ	Z-006, Z-013
	L106_Z_V	3a	Zásoba chladiva v I.O. – bez LOCA	Z-007, Z-013
Odvod tepla z AZ	L201_O_V	1,2	Odvod tepla z AZ v provozních stavech	O-001, O-020
	L202_O_V	3a	Odvod tepla z AZ – DBA – bez LOCA	O-002
	L203_O_V	3a	Odvod tepla z AZ – DBA – LOCA	O-010
	L204_O_V	3b	Odvod tepla z AZ – LOCA bez ESFAS	O-011
	L205_O_V	3b	Odvod tepla z AZ – LOCA – bez NT TQ	O-012
	L206_O_V	3b	Odvod tepla z AZ – LOCA – bez VT TQ	O-013

4.3 Vliv dvou vybraných hrozeb

V rámci hodnocení robustnosti budou uvažovány dvě vybrané hrozby. V prvním případě se bude jednat o nehodu se ztrátou chladiva – LOCA. Tato nehoda je v projektech tlakovodních reaktorů uvažována jako maximální projektová havárie a ke správnému zvládnutí LOCA jsou projektem určeny právě havarijní systémy chlazení aktivní zóny, které se dodávkou chladiva a následným chlazením na výměníku havarijního systému nepřímo podílí i na zamezení úniku radioaktivních látek přes fyzikální bariéry.

Jako druhá kombinace bude uvažována kombinace dvou iniciačních událostí, a to události LOCA s projektovým zemětřesením.

V rámci vyhodnocení robustnosti by soubor HSCHZ a jejich podpůrných systémů měl zůstat v obou případech v úrovni DiD3a.

4.3.1 Přiřazení odolností a Provisions k SxF/POx

Pro inženýrské posouzení a zhodnocení robustnosti systémů havarijního chlazení aktivní zóny bylo zapotřebí do SW modelu HIDRA zadat pro všechny použité SxF/POx jejich odolnosti vůči použitým mechanismům, případně přiřadit k jednotlivým funkcím příslušná Provisions působící proti mechanismům. Soubor odolností pro všechny SxF/POx použité v rámci modelace a hodnocení HSCHZ je uveden v následující Tabulka 21.

Tabulka 21: Odolnost FaSK a jejich SxF/POx na hodnocené hrozby

		TMech_04 - Silové účinky od seismicity [Mechanismus kvantitativní] Vztažná hodnota: 0.1g			TMech_100 - Působení LB LOCA [Mechanismus kvalitativní]	
SxF	Provisions/Zdroj	Aplikovat Ano / Ne	Odolnost (relativní)	Odolnost [g]	Aplikovat Ano / Ne	
FSK_A_001 – Primární okruh						
POB_A_501	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano	
POB_A_536	PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano	
POB_A_560	PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano	
FSK_A_003 – Vysokotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny						
POB_A_517	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne	
POB_A_529	PRV_G_002, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano	
SBF_A_012	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne	
FSK_A_004 – Nízkotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny						
POB_A_518	PRV_G_002, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano	
POB_A_519	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne	
SBF_A_011	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne	
SBF_A_190	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne	
SBF_A_192	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne	

		TMech_04 - Silové účinky od seismicity [Mechanismus kvantitativní] Vztažná hodnota: 0.1g	TMech_100 - Působení LB LOCA [Mechanismus kvalitativní]		
SxF	Provisions/Zdroj	Aplikovat Ano / Ne	Odolnost (relativní)	Odolnost [g]	Aplikovat Ano / Ne
FSK_A_005 – Pasivní systém havarijního chlazení aktivní zóny					
POB_A_505	PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
POB_A_540	PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
SBF_A_001	PRV_G_001, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
FSK_A_006 – Sprchový systém havarijního chlazení aktivní zóny					
POB_A_520	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
SBF_A_008	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
SBF_A_191	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
FSK_A_013 – Systém technické vody důležité					
SBF_A_013	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
FSK_B_055 – Systém TL 10 chlazení prostorů havarijních systémů					
SBF_B_053	PRV_G_002, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
FSK_B_058 – Systém UV40 chlazení průchodek					
SBF_B_029	PRV_G_002, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
FSK_E_001 – SZN 1;2;3 I.kategorie					
SBF_E_001	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
FSK_E_002– SZN 1;2;3 II.kategorie					
SBF_E_004	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
SBF_E_021	PRV_G_002, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
FSK_Q_002 – Systém pro spouštění ESF (ESFAS)					
SBF_Q_151	PRV_G_002, PRV_G_003, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
SBF_Q_152	PRV_G_002, PRV_G_003, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
SBF_Q_153	PRV_G_002, PRV_G_003, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
SBF_Q_157	PRV_G_002, PRV_G_003, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
SBF_Q_164	PRV_G_002, PRV_G_003, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
SBF_Q_171	PRV_G_002, PRV_G_003, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
SBF_Q_181	PRV_G_002, PRV_G_003, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
SBF_Q_182	PRV_G_002, PRV_G_003, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
SBF_Q_183	PRV_G_002, PRV_G_003, PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
FSK_Q_016 – Zařízení blokové a nouzové dozorní					
SBF_Q_060	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
SBF_Q_061	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne

		TMech_04 - Silové účinky od seismicity [Mechanismus kvantitativní] Vztažná hodnota: 0.1g	TMech_100 - Působení LB LOCA [Mechanismus kvalitativní]		
SxF	Provisions/Zdroj	Aplikovat Ano / Ne	Odolnost (relativní)	Odolnost [g]	Aplikovat Ano / Ne
FSK_Q_050 – Diverzní systém monitorování a ochran (DPS)					
SBF_Q_185	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
SBF_Q_187	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
FSK_S_002 - Reaktorovny					
POB_S_502	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
POV_S_703	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
POV_S_736	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
FSK_S_003 – Hermetické obálky					
POB_S_501	PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
POB_S_503	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
POB_S_506	PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
POB_S_535	PRV_G_005, PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ano
POB_S_554	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
POV_S_702	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne
SBF_S_034	PRV_G_006	Ano	1	0,1	Ne

5. Zhodnocení

5.1 Úplnost

Cílem zhodnocení úplnosti (komplexnosti) souboru projektových požadavků je za pomoci automatických a manuálních kontrol v rámci SW nástroje ověřit správné a kompletní zadání všech potřebných dat, požadavků a vzájemných vazeb pro možnost dalšího inženýrského hodnocení.

Kontrola úplnosti (komplexnosti) souboru projektových bude spočívat v následujících krocích:

- kontrole plnění TxF/TBV v požadovaných úrovních DiD,
- kontrole linií a FŘ,
- kontrola FaSK a SxF/POx,
- kontrola aplikace provisions nebo odolnosti FaSK, respektive FSK vůči mechanismům hrozeb,

5.1.1 Kontrola plnění TxF/TBV v požadovaných úrovních DiD

Proces 1: Manuální porovnání vstupních podkladů (seznam typových funkcí a vlastností v SW nástroji a Tabulka 5 vůči sobě) – názvy TxF/TBV, požadované úrovně DiD

Nástroj SW HIDRA: číselník „Typové funkce“

Výstup procesu 1: ověřený číselník TxF/TBV v SW nástroji

Proces 2: Automatická kontrola , zda pro všechny TxF/TBV ve všech požadovaných úrovních DiD, existuje alespoň jeden FŘ, který je zařazen do linie DiD v požadované úrovni DiD

Nástroj SW HIDRA: přehled „Kontrolní přehled TxF“

Výstup procesu 2:

- ověření, že je pro všechny TxF/TBV ve všech požadovaných úrovních DiD, existuje alespoň jeden FŘ, který je zařazen do linie DiD v požadované úrovni DiD. Bude okomentováno v HZ Úplnost DB/DR s příložením výstupu z SW HIDRA,
- hypotetická potřeba na úpravy dat FA DiD.

Závěry:

Proces 1

Byla provedena kontrola porovnání vstupních podkladů pro zpracování FA DiD HSCHZ pro ETE a byla shledána shoda s požadavky plnění TxF/TBV v příslušných úrovních DiD dle legislativy v Tabulka 5.

Proces 2

Pomocí automatické kontroly a výpisu v rámci SW nástroje byla provedena kontrola, že pro každou TxF/TBV ve všech požadovaných liniích existuje alespoň jedna linie složená z FR. Jak je patrné z Tabulka 22 pro některé TxF/TBV neexistují linie s FR v úrovních DiD4 a DiD5, což je v pořádku. V rámci hodnocení HSCHZ ETE je uvažováno s jejich funkcí pouze v úrovních DiD3a DiD3b, proto z této kontroly neplyne žádný požadavek na úpravu dat a vytvoření linií v DiD4 nebo v DiD5.

Tabulka 22: Výstup kontroly z SW HIDRA

ZBF/ZPF	▲ Typ	Označení	▲ Skupina	Název	Požadavek na plnění					
					1	2	3a	3b	4	5
ZBF2	BF	2_TBF05	Z	udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny v průběhu základních projektových nehod, při kterých nedošlo k porušení tlakové hranice primárního okruhu, a po odeznění příčin těchto havarijních podmínek	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF2	BF	2_TBF06	Z	udržení dostatečného množství chladiva pro chlazení aktivní zóny jaderného reaktoru při všech provozních stavech zohledněných v projektu jaderného zařízení	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF2	BF	2_TBF07	O	zajištění odvodu tepla z aktivní zóny a k omezení poškození jaderného paliva při základní projektové nehodě s porušením hranice primárního okruhu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF2	BF	2_TBF08	O	nezbytný odvod zbytkového tepla z aktivní zóny v průběhu provozních stavů a při základní projektové nehodě, při které nedošlo k porušení integrity hranice primárního okruhu	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF2	BF	2_TBF09	O	odvod tepla z bezpečnostních systémů do okolního prostředí	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF1	BF	1_TBF02	Re	zabránění nepříjemných přechodových procesů reaktivity	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ZBF1	BF	1_TBF03	Re	udržení jaderného reaktoru ve stabilizovaném podkritickém stavu po všech činnostech, které vedly k jeho odstavení, a po každém z jeho odstavení	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF3	BF	3_TBF12	U	omezení úniku radioaktivní látky z hermetické obálky v rozšířených projektových podmínkách	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ZBF3	BF	3_TBF29	U	nezbytné omezení úniku radioaktivní látky z hermetické obálky v průběhu havarijních podmínek a po dosažení stabilizovaného podkritického stavu jaderného zařízení při základní projektové nehodě	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF3	BV	3_TBV03	I	pasivní funkce (integrita) SKK tlakové hranice primárního okruhu	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF3	BV	3_TBV04	I	pasivní funkce (integrita) SKK fyzické bariéry hermetické obálky	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ZBF0	BF	0_TBF19	E	nezbytná dodávka energií nebo řízení provozu vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 při plnění jejich bezpečnostních funkcí	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF0	BF	0_TBF20	F	zajištění provozuschopnosti jiných vybraných zařízení při plnění jejich bezpečnostních funkcí, s výjimkou dodávek energie nebo řízení jejich provozu	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF0	BF	0_TBF21	Pr	udržení podmínek prostředí nutných pro provoz bezpečnostních systémů a pro přístup pracovníků obsluhy jaderného zařízení k provádění činností důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti, radiální ochrany, technické bezpečnosti, monitorování radiální situace	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF0	BF	0_TBF30	Q	bezpečnostní funkce ochranného nebo informačního systému kontroly a řízení, která je požadována pro dosažení stabilizovaného podkritického stavu, k zabránění vzniku závažnější než základní projektové nehody a ke zmírnění důsledků základní projektové nehody	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF0	BF	0_TBF31	Q	bezpečnostní funkce ochranného nebo informačního systému kontroly a řízení nutná pro zajištění informace nezbytné pro provedení činnosti pracovníků obsluhy nutných k dosažení stabilizovaného podkritického stavu jaderného zařízení	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF0	BF	0_TBF34	Q	bezpečnostní funkce ochranného nebo informačního systému kontroly a řízení, která významně omezuje četnost zásahu vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 při zvládnutí abnormálního provozu	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF0	BF	0_TBF38	A	nahrazující bezpečnostní funkce vybraných zařízení zařazených do bezpečnostní třídy 2 nebo 3 diverzními prostředky při ztrátě jejich funkce v důsledku poruchy ze společné příčiny	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF0	BV	0_TBV05	Q	zajištění bezpečného stavu funkcí ochranného nebo informačního systému kontroly a řízení, jejichž porucha nebo nežádoucí spuštění funkce vybraného zařízení by mohly vést k nežádoucím důsledkům, zejména není-li k dispozici funkce jiného vybraného zařízení	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZBF0	BV	0_TBV09	F	předcházení poruchám vybraných zařízení, pokud by mohly vést k narušení plnění jejich bezpečnostních funkcí, nebo pro omezení následků těchto poruch	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZPF2	PF	TPF010	F	Udržení podmínek prostředí uvnitř jaderného zařízení, nutných pro provoz SKK významných z hlediska DiD a pro přístup pracovníků k plnění činností	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZPF2	PF	TPF011	Pr	Zajištění funkční schopnosti SKK významných z hlediska DiD plnit jejich funkce v provozních stavech, s výjimkou řízení nebo dodávek energie	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ZVF1	VF	TVF01	F	omezení dopadů selhání nebo poruch VZ pro zvládnutí rozšířených projektových podmínek	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ZVF1	VF	TVF02	F	zamezení negativního vlivu vlastních poruch jež mohou při působení vnitřních nebo vnějších vlivů negativně působit na VZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

5.1.2 Kontrola linií a FŘ

Hodnocení druhé části úplnosti spočívá v kontrole linií DiD a FŘ. Cílem je ověřit správnost vstupních dat zadaných do SW nástroje.

Proces 1: Pro každý FŘ je nutné zkontrolovat, že je použit alespoň v jedné linii.

Nástroj SW HIDRA: "Přehled linií DiD a jejich FŘ"

Výstup procesu 1:

- ověření že neexistuje FŘ, který není v žádné linii,
- hypotetický požadavek na úpravu dat FA DiD.

Proces 2: Pro každou linii DiD zkontrolovat, že je umístěna na mapě funkcí dle SUB.

Nástroj SW HIDRA: "Přehled linií v mapě funkcí"

Výstup procesu 2:

- ověření že neexistuje linie, která není použita v mapě funkcí dle SUB,
- hypotetický požadavek na úpravu dat FA DiD.

Proces 3: Ověřit, že pro danou linii v dané úrovni DiD jsou pro všechny její přiřazené FŘ, respektive jejich SxF/POx společné úrovně DiD a dále, že jsou linie správně.

Nástroj SW HIDRA: Přehled „Nesoulad DiD u FŘ vs DiD v mapě“

Výstup procesu 3:

- ověření že linie se skládají z kompatibilních FŘ (stejná úroveň DiD),
- ověření že linie jsou správně umístěny v mapě funkcí v souladu s jejich FŘ. K ověření bude využit přehled pro proces 3 s cílem, aby nebyl identifikován FŘ neobsahující stejnou úroveň DiD jako je úroveň DiD dané linie,
- hypotetický požadavek na úpravu dat FA DiD.

Závěry:

V rámci procesů 1,2,3 byly provedeny příslušné kontroly a nebyly identifikovány žádné položky k nápravě, proto nevznikl ani požadavek na úpravu dat v SW nástroji.

5.1.3 Kontrola FASK a SxF/POx

Proces 1: Automatická kontrola – všechny FaSK jsou použity alespoň na jednom FŘ.

Nástroj SW HIDRA: "Přehled použití FASK na FŘ"

Výstup procesu 1:

- ověření že neexistuje FaSK, který není použit alespoň na jednom FŘ,
- hypotetický požadavek na úpravu dat FA DiD.

Proces 2: Automatická kontrola – všechny SxF/POx jsou poskytovány nějakou FaSK.
Filtrace číselníku SxF/POx

Nástroj SW HIDRA: číselník "Specifické funkce/Projektová opatření"

Výstup procesu 2:

- ověření že neexistuje SxF/POx, která není vykonávaná nějakou FaSK,
- hypotetický požadavek na úpravu dat FA DiD.

Proces 3: Automatická kontrola –že každá SxF/POx je použita na alespoň jednom FŘ.

Nástroj SW HIDRA: "Přehled vykonávaných SxF/POx na FŘ"

Výstup procesu 3:

- ověření že neexistuje SxF/POx, která není využita na alespoň jednom FŘ,
- hypotetický požadavek na úpravu dat FA DiD.

Proces 4: Automatický výpis a jeho manuální kontrola, že POx není podmíněno SxF.

Nástroj SW HIDRA: přehled "SxF/POx a jejich podpůrné SxF/POx"

Výstup procesu 4:

- ověření, že neexistuje POx podporovaná SxF. V případě že toto nebude platit nutno doplnit o inženýrské hodnocení,
- hypotetický požadavek na úpravu dat FA DiD.

Závěry:

V rámci procesů 1 až 4 byly provedeny příslušné kontroly a nebyly identifikovány žádné položky k nápravě, proto nevznikl ani požadavek na úpravu dat v SW nástroji.

5.2 Nezávislost

Tato kapitola představuje hodnocení nezávislosti linií DiD. V rámci hodnocení nezávislosti bude zkontrolována nezávislost a zálohovatelnost linií pro plnění jednotlivých TxF v příslušných SUB pro soubor havarijních systémů chlazení aktivní zóny za pomoci SW nástroje a v něm zanesených dat. V rámci hodnocení nezávislosti nebudou uvažovány dvojice linií v SUB Omezení úniků Ra látek a Fyzikální bariéry.

S pomocí tohoto hodnocení bude provedeno hodnocení úrovně DiD pro soubor HSCHZ dle požadavků na zhodnocení a objasnění míry fyzické a funkční nezávislosti mezi úrovněmi DiD podle podmínky A4 SÚJB pro LTO EDU[1].

5.2.1 Metoda hodnocení nezávislosti linií DiD

Byl připraven datový model funkčních vazeb popisující soubor HSCHZ ETE, který obsahuje funkční řetězce, funkční analytické skupiny, jejich vzájemné vazby a soustavu zátěží a opatření (hrozby, Provisions, odolnosti). Tento datový model byl zanesen do SW HIDRA a konzistence dat byla zkontrolována v rámci kontroly úplnosti.

Nezávislost linií byla provedena v rámci každé skupiny TxF/TBV, resp. SUB zvlášť. Z pohledu potřebné míry nezávislosti byl použit odstupňovaný přístup pro hodnocení, který dle důležitosti stanovuje priority určitých dvojic linií.

- **Priorita 1** – závislost DiD3a na prostředcích DiD1 a DiD2 – velká míra závislosti,
- **Priorita 2** – závislost DiD3b na prostředcích linií z DiD3a – střední míra závislosti
- **Priorita 3** – závislost linií v jedné úrovni DiD, nebo DiD3b vs DiD1,2 – malá míra závislosti.

V rámci hodnocení nezávislosti celého jaderného zařízení by byly uvažovány další priority závislostí a to např. závislost DiD4 na prostředcích linií z přechozích úrovní DiD. Tento požadavek plyne z legislativy i mezinárodních požadavků, kdy je uloženo, aby prostředky pro zvládání těžkých havárií byly odlišné od těch projektových. Linie ani FŘ a funkční vazby nebyly vytvořeny a nebudou ani hodnoceny, protože HSCHZ nejsou projektem určeny k plnění svých funkcí v DiD4, kromě požadavků na integritu částí jejich potrubních tras.

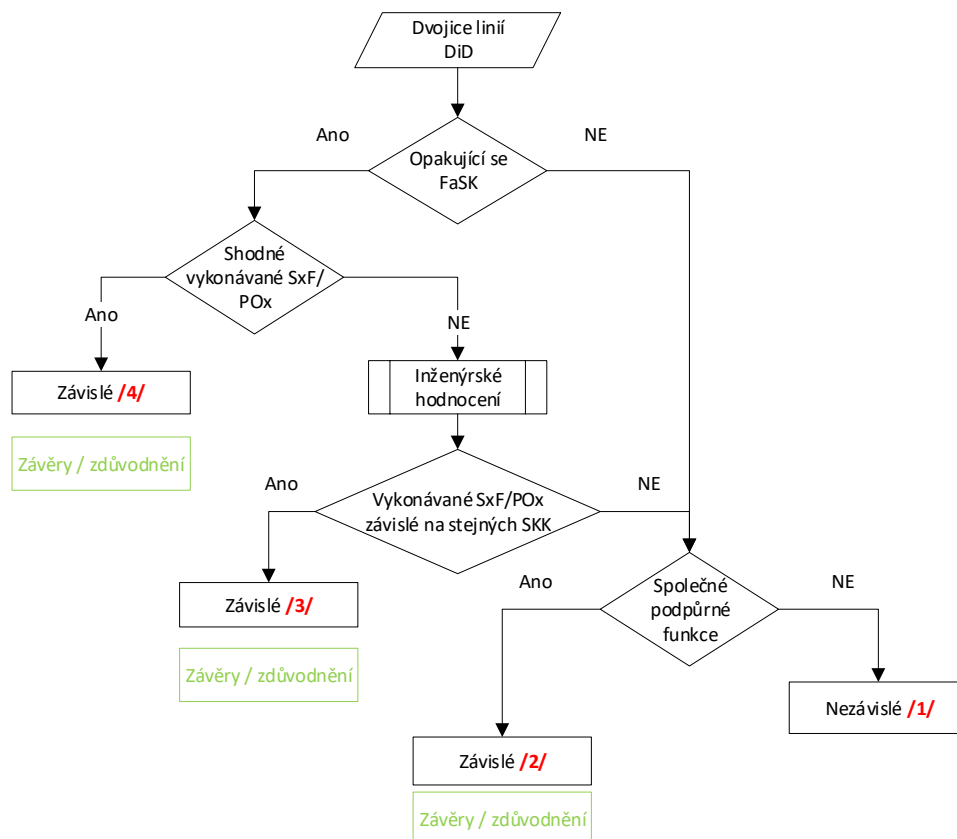
Hodnocení nezávislosti linií DiD probíhalo v následujících krocích:

1. za pomoci SW nástroje byly vytvořeny dvojice linií DiD zajišťující plnění v daném SUB v úrovních DiD3a vs. 1,2 a 3b vs. 3a,
2. byla provedena analýza použitých FaSK, jimi plněných SxF/POx a požadovaných podpůrných SxF/POx pro všechny linie DiD ve vytvořených dvojicích pomocí přehledů v rámci SW HIDRA,
3. bylo provedeno srovnání použitých FaSK v dané dvojici linií. Pokud výsledek srovnání prokázal využití různých FaSK v obou hodnocených liniích, byla ověřována nezávislost linií DiD z pohledu společných FaSK,
4. pokud byly v dané linii DiD použité stejné FaSK, byly porovnány jejich plněné SxF/POx. Bylo provedeno inženýrské hodnocení, které posoudí nezávislost linií DiD z hlediska prostředků vykonávajících jednotlivé SxF/POx,
5. pro každou z linií v dané dvojici byl vypsán seznam podpůrných funkcí. Porovnáním seznamů byla umožněna identifikace společných podpůrných SxF/POx. Pokud byly pro porovnávané linie identifikované společné podpůrné SxF/POx, jsou linie v principu

závislé. V tomto případě bylo provedeno inženýrské posouzení přijatelnosti identifikované závislosti.

Byly vyhodnocovány tyto **Stupně závislosti linií DiD**:

1. fyzicky a funkčně nezávislé – plně nezávislé jak po straně FaSK, plněných SxF/POx a podpůrných SxF/POx,
2. fyzicky nezávislé – nezávislé po straně FaSK a plněných SxF/POx, ale existují společné podpůrné SxF/POx pro tyto FaSK
3. funkčně nezávislé – závislé po straně FaSK, ale daný FaSK plní různé na sobě nezávislé funkce SxF/POx,
4. plně závislé – závislé po straně FaSK, daný FaSK plní stejné SxF/POx.



Obrázek 34: Postup hodnocení nezávislosti dvojic linií a jejich vyhodnocené stupně závislosti

5.2.2 Vyhodnocení závislosti pro soubor HSCHZ

V rámci vyhodnocení závislosti, resp. nezávislosti souboru havarijních systémů v SUB řízení reaktivity, odvodu tepla z AZ a zásoby chladiva, bylo provedeno inženýrské zhodnocení pro identifikované linie.

Pro některé linie DiD v souboru HSCHZ je vyhodnocen stupeň závislosti 4. (Plně závislé) nebo 3. (funkčně závislé) z důvodu využití shodné společně vykonávané SxF/POx ve více

DiD. Pokud jsou pro daný FASK identifikovány pouze vykonávané POx, které jsou společné ve více úrovních DiD, je toto z hlediska nezávislosti linií DiD přípustné.

S prioritou 1 (použití v DiD3a a zároveň v DiD1,2) byl vyhodnocen pouze FaSK nízkotlakého systému havarijního chlazení aktivní zóny. Všechny ostatní nálezy byly identifikovány s prioritou 2 a 3. – viz následující Tabulka 23: Vyhodnocení dvojic linií.

Tabulka 23: Vyhodnocení dvojic linií

Linie DiD	SUB	Úroveň DiD	Priorita	Závislost
L002_Re_V	Řízení reaktivity v AZ	3a	2	4
L004_Re_V	Řízení reaktivity v AZ	3b	2	4
L003_Re_V	Řízení reaktivity v AZ	3a	2	4
L004_Re_V	Řízení reaktivity v AZ	3b	2	4
L102_Z_V	Zásoba chladiva	3a	2	4
L104_Z_V	Zásoba chladiva	3b	2	4
L102_Z_V	Zásoba chladiva	3a	2	4
L105_Z_V	Zásoba chladiva	3b	2	4
L102_Z_V	Zásoba chladiva	3a	2	4
L106_Z_V	Zásoba chladiva	3b	2	4
L103_Z_V	Zásoba chladiva	3a	2	4
L104_Z_V	Zásoba chladiva	3b	2	4
L201_O_V	Odvod tepla z AZ	1	3	4
L201_O_V	Odvod tepla z AZ	2	3	4
L201_O_V	Odvod tepla z AZ	1,2	1	3
L203_O_V	Odvod tepla z AZ	3a	1	3
L201_O_V	Odvod tepla z AZ	1,2	3	3
L204_O_V	Odvod tepla z AZ	3b	3	3
L201_O_V	Odvod tepla z AZ	1,2	3	3
L205_O_V	Odvod tepla z AZ	3b	3	3
L201_O_V	Odvod tepla z AZ	1,2	3	3
L206_O_V	Odvod tepla z AZ	3b	3	3
L203_O_V	Odvod tepla z AZ	3a	2	4
L204_O_V	Odvod tepla z AZ	3b	2	4
L203_O_V	Odvod tepla z AZ	3a	2	4
L205_O_V	Odvod tepla z AZ	3b	2	4
L203_O_V	Odvod tepla z AZ	3a	2	4
L206_O_V	Odvod tepla z AZ	3b	2	4

Priorita 1 – linie DiD využívané v DiD3a a zároveň v DiD1 a 2

Neshoda s prioritou 1 byla identifikována pro jedinou dvojici linií a to L201_O_V a L203_O_V, jak je vidět v Tabulka 23 podbarveno červeně. Tento náleží se týká FSK_A_004 – Nízkotlaký systém havarijního dochlazování.

Nízkotlaký systém havarijního dochlazování je určen pro úroveň DiD3a a jako takový musí být nezávislý na systémech z úrovně DiD1,2. Pro zajištění funkcí DiD3a využívá k transportu chladiva pasivní úseky potrubí úrovně DiD1 (potrubí I.O.) v jeho neoddělitelné části.

Část NT systému sloužícího k plánovanému dochlazování I.O. je provozována v rámci DiD1 a 2 v režimu bloku 5 a 6. Při tomto provozu jsou využívány NT čerpadla, výměník HSCHZ, sací a výtlačné trasy.

Použití NT systému pro plánované dochlazování negativně neovlivňuje nezávislost úrovně DiD, protože v režimech 5 a 6 je reaktor již odstaven a tlak v I.O. snížen, z čehož vyplývá, že pravděpodobnost možné ztráty těsnosti potrubí I.O. je prakticky vyloučenou skutečností. Tato skutečnost je podložena i původním ruským projektem[19].

Priorita 2 – Systémy navržené pro DiD3a a využitelné i v DiD3b

Pro řešení stavů DEC-A se předpokládá využití provozuschopných systémů navržených pro práci v DiD3a včetně jejich podpůrných systémů pro řešení komplexních nebo vícenásobných PIU. Jde například o využití všech systémů vysokotlakého doplňování namísto nízkotlakého systému havarijního doplňování. Rozšířené projektové podmínky bez významného poškození paliva jsou řešeny v rámci úrovně ochrany do hloubky DiD3b.

Priorita 3 – Závislost linií ve stejné úrovni DiD

Pro řešení stavů DEC-A soubor projektových požadavků předpokládá využití provozuschopných systémů navržených pro práci v DiD1 a 2 včetně jejich podpůrných systémů pro zajištění plnění TBF.

Tento náleží se opět týká pouze nízkotlakého systému havarijního chlazení a plánovaného dochlazování I.O. Vysvětlení této závislosti je podané již Prioritě 1.

5.3 Robustnost

Tato kapitola představuje hodnocení závěrů funkčních analýz DiD z pohledu robustnosti úrovní DiD. Cílem je provést hodnocení robustnosti systémů havarijního chlazení aktivní zóny s pomocí využití SW HIDRA a zanesených dat plynoucích z projektových požadavků na jednotlivé systémy. V rámci hodnocení robustnosti bylo zapotřebí zadat data nejen pro hodnocené SUB: Řízení reaktivity, Odvod tepla z AZ a Zásobu chladiva, ale i pro pomocné SUB: Omezení úniku radioaktivních látek a fyzikální bariéry a také pro podpůrný SUB – Podpůrné systémy.

5.3.1 Metoda hodnocení robustnosti

Hodnocení robustnosti je výsledným výstupem inženýrského hodnocení založených na:

- Automatickém vyhodnocení aplikovaných hrozeb (porovnání intenzity mechanismu hrozby s požadavkem na odolnost, včetně poměru vztaženému na vztažnou hodnotu odolnosti/hrozby) provedeného SW HIDRA.
- Inženýrském hodnocení:
 - konstrukce PCFŘ zajišťujícího plnění všech požadovaných bezpečnostních, případně provozních funkcí,
 - aplikace hrozeb – jednoduché nebo kombinované na model funkčních vazeb,
 - vyhodnocení funkčností jednotlivých FaSK a jejich SxF/POx v případě aplikace hrozby,
 - prokázání možnosti konstrukce VCFŘ zajišťujícího plnění všech požadovaných bezpečnostních funkcí po aplikaci hrozby s využitím dostupných FaSK, které odolaly hrozbě,
 - uvedení maximální dosažené úrovně DiD odpovídající hrozbě a posouzení, zda odpovídá projektovému předpokladu pro danou PIU (hrozbu).

Inženýrské hodnocení robustnosti je založeno na splnění následujících předpokladů pro sestavený VCFŘ:

- nalezení VCFŘ, který zajišťuje plnění všech požadovaných TxF/TBV s maximální dosaženou úrovní DiD pro VCFŘ v souladu s předpokladem pro scénář hrozby,
- u výsledného VCFŘ ve všech výkonných SUB vybrat přesně jednu linii DiD v úrovních DiD nižších nebo stejných úrovní DiD předpokládané pro uvažovanou hrozbou / PIU. Tyto linie musí mít vybrané všechny své podpůrné linie,
- v mapě funkcí musí být pro všechny požadované úrovně DiD a všechny SUB (skupiny TxF/TBV) vybrána alespoň jedna linie DiD ve stejné nebo nižší úrovni DiD, než je předpokládaná pro uvažovanou hrozbou / PIU.

5.3.2 Vyhodnocení robustnosti pro soubor HSCHZ

Pro hodnocení robustnosti souboru HSCHZ byly v SW HIDRA zavedeny odolnosti pro jednotlivé SxF/POx na vložené mechanismy, pomocí kterých byly vytvořeny příslušné hrozby.

Hrozba – LOCA

Jedná se o hrozbu ze skupiny postulovaných iniciačních událostí pro DBA – DiD3a. Spektrum postulovaných velikostí prasknutí primárního potrubí v rámci tlakové hranice chladiva reaktoru je havarijním stavem. Pro toto hodnocení je uvažována LB-LOCA. Nepředpokládá se působení vnějších a vnitřních vlivů, které by měly další negativní dopad na SKK.

Při prasknutí potrubí primárního okruhu následuje rychlá ztráta chladiva z reaktoru. Současně dochází k okamžitému poklesu tlaku v I.O. V důsledku toho dochází ke ztrátě chlazení a tím pádem vysoušení AZ a přehřívání pokrytí palivových proutků. Na základě signálů od ESFAS dochází k aktivaci HSCHZ za účelem snížení tlaku a teploty v HO (sprchový systém) a za účelem chlazení aktivní zóny a odvodu tepla přes výměník HSCHZ, který je chlazen pomocí TVD

Rychlé odstavení reaktoru je zajištěno na základě jednoho ze signálů z primárního systému ochrany reaktoru. Elektrické napájení zůstává na pracovních zdrojích.

V příloze č.1 je vygenerovaná mapa funkcí s výsledným celkovým funkčním řetězcem, který vznikl po aplikaci hrozby LOCA. Tento VCFŘ zajišťuje plnění všech požadovaných TBF/TBV s nejvyšší dosaženou úrovní bloku DiD3a.

Tabulka 24: Přejít v úrovních DiD mezi PCFŘ a VCFŘ v rámci modelovaných SUB

Název SUB	Úroveň DiD PCFŘ	Úroveň DiD VCFŘ po aplikaci hrozby
Řízení reaktivity v AZ	DiD1	DiD3a
Zásoba chladiva	DiD1	DiD3a
Odvod tepla z AZ	DiD1	DiD3a
Omezení úniků Ra látek	DiD1	DiD3a
Fyzikální bariéry JZ s reaktorem	DiD1	DiD3a
Podpůrné SUB		
Elektrické napájení	DiD1	DiD1
Zajištění funkčních schopností	DiD1	DiD3a
Odvod tepla pomocí TVD	DiD1	DiD1
Vzduchotechnika	DiD1	DiD3a
SKŘ	DiD1	DiD3a

LOCA se seismickou událostí SL-2 (0,1g)

Jedná se o hrozbu ze skupiny postulovaných iniciačních událostí pro DBA – DiD3a. Spektrum postulovaných velikostí prasknutí primárního potrubí v rámci tlakové hranice chladiva reaktoru je havarijním stavem. Pro toto hodnocení je uvažována LB-LOCA. Předpokládá se působení vnějšího vlivu seismicity o intenzitě SL-2 (0,1g). Nepředpokládá se další působení dalších vnitřních či vnějších vlivů, které by mohli mít negativní dopad na funkceschopnost SKK.

Stejně jako v přechodném případě dochází na základě signálů od ESFAS k aktivaci HSCHZ pro plnění jejich bezpečnostních funkcí daných projektem. Z důvodu zemětřesení dochází ke ztrátě napojení na vnější síť a přechází se na napájení ze systémových DGS. Reaktor je odstaven na základě působení jednoho ze signálů primárního systému ochrany reaktoru

V příloze č.2 je vygenerovaná mapa funkcí s výsledným celkovým funkčním řetězcem, který vznikl po aplikaci kombinací hrozeb LOCA + projektové zemětřesení. Tento VCFŘ zajišťuje plnění všech požadovaných TBF/TBV s nejvyšší dosaženou úrovní bloku DiD3a.

Tabulka 25: Přechod v úrovních DiD mezi PCFŘ a VCFŘ v rámci modelovaných SUB

Název SUB	Úroveň DiD PCFŘ	Úroveň DiD VCFŘ po aplikaci hrozby
Řízení reaktivity v AZ	DiD1	DiD3a
Zásoba chladiva	DiD1	DiD3a
Odvod tepla z AZ	DiD1	DiD3a
Omezení úniků Ra látek	DiD1	DiD3a
Fyzikální bariéry JZ s reaktorem	DiD1	DiD3a
Podpůrné SUB		
Elektrické napájení	DiD1	DiD3a
Zajištění funkčních schopností	DiD1	DiD3a
Odvod tepla pomocí TVD	DiD1	DiD3a
Vzduchotechnika	DiD1	DiD3a
SKŘ	DiD1	DiD3a

6. Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na metodu funkčních analýz pomoci, které lze ověřit nezávislost a robustnost systémů, konstrukcí a komponent na JE v různých úrovních ochrany do hloubky, tedy v různých stavech bloku. Zjednodušeně lze říci, že aplikace funkčních analýz by měla odhalit případné nedostatky v projektu a závislosti mezi systémy, které jsou projektem určeny pro zvládnutí různých stavů bloku. V úvodu práce byl představen postupný vývoj koncepce ochrany do hloubky, bylo provedeno seznámení se souborem zkoumaných systémů havarijního chlazení aktivní zóny na JE Temelín a byly stanoveny jejich projektové požadavky.

Pro vyhodnocení byl využíván softwarový nástroj HIDRA. Do SW nástroje byly zavedeny všechny vykonávané a podpůrné funkce s jejich příslušnými odolnostmi vůči používaným mechanismům a případně byly přiřazeny Provision, které proti těmto mechanismům hrozeb působí. Za pomoci funkčních skupiny a jejich specifických funkcí byly vytvořeny funkční řetězce pro plnění příslušných typových funkcí. Následně byla vytvořena mapa funkcí za pomoci sestavení skupin typových funkcí – SUB a přiřazení funkčních řetězců do linií DiD v rámci příslušného SUB. V mapě funkcí byl následně vytvořen počáteční celkový funkční řetězec (PCFŘ).

Při zhodnocení úplnosti souboru HSCHZ byla provedena kontrola správnosti a komplexnosti všech dat zadaných do SW HIDRA. Po této kontrole mohla být vyhodnocena míra závislosti, resp. nezávislosti zkoumaných havarijních systémů.

V rámci inženýrského zhodnocení nezávislosti souboru HSCHZ byl pro nízkotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny identifikován nálezný s velkou mírou závislosti. Jednalo se o použití NT HSCHZ v DiD1,2 a zároveň i v DiD3a. NT systém slouží k plánovanému dochlazování I.O. a je provozován v rámci DiD1 a 2 v režimu bloku 5 a 6. Při tomto provozu jsou využívány NT čerpadla, výměník HSCHZ, sací a výtlačné trasy. Použití NT systému pro plánované dochlazování negativně neovlivňuje nezávislost úrovně DiD, protože v režimech 5 a 6 je reaktor již odstaven a tlak v I.O. snížen, z čehož vyplývá, že pravděpodobnost možné ztráty těsnosti potrubí I.O. je prakticky vyloučenou skutečností. Tato skutečnost je podložena i původním ruským projektem[19].

Již v rámci zadávání dat a seznámení se se systémy HSCHZ byla objevena závislost pasivního systému chlazení na dodávce elektrické energie. Systém hydroakumulátorů jako takový nepotřebuje elektrické napájení ke svému plnění bezpečnostní funkce – zalití AZ. Nicméně po vyčerpání zásoby roztoku kyseliny borité by v případě nezavření armatur na výtlačku z hydroakumulátoru mohlo dojít k vyfouknutí dusíkového polštáře do tlakové nádoby reaktoru a tím i k negativnímu ovlivnění průběhu nehody a zajištění ZBF2.

Inženýrské zhodnocení robustnosti HSCHZ bylo provedeno za pomoci mapy funkcí v SW HIDRA, kde byly aplikovány dvě hrozby, a to událost LB-LOCA a kombinace LB-LOCA se seismickou událostí o intenzitě 0,1g. Bylo prokázáno plnění všech požadovaných základních bezpečnostních funkcí a zvládnutí příslušné hrozby do maximální úrovně DiD3a – projektem uvažované nehody.

Literatura

- [1] Rozhodnutí č.j. SÚJB/OHJB/4932/2016: Povolení žadateli k provozu jaderného zařízení - 1.bloku Jaderné elektrárny Dukovany [online]. 30.3.2016, , 45 [cit. 2019-08-27]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/jaderna-bezpecnost/rozhodnuti/Povoleni_LTO_EDU1.pdf
- [2] IAEA Safety Standards Safety Guide No. NS-G.1.11 - Protection Against Internal Hazards Other Than Fires and Explosions in The Design of Nuclear Power Plants
- [3] IAEA, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016).
- [4] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ze dne 14. července 2016
- [5] Vyhláška č. 329/2017 Sb., o požadavcích na projekt jaderného zařízení, Státní úřad pro jadernou bezpečnost, ze dne 26. září 2017
- [6] IAEA, Assessment of Defence in Depth for Nuclear Power Plants, Safety Reports Series No. 46, IAEA, Vienna (2005).
- [7] IAEA, WWER-1000 Reactor Simulator, Training Course Series No. 21, IAEA, Vienna (2003).
- [8] NEA (2016), Implementation of Defence in Depth at Nuclear Power Plants: Lessons Learnt from the Fukushima Daiichi Accident, Nuclear Regulation, OECD Publishing, Paris,
- [9] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, IAEA, Vienna (1996).
- [10] ÚJV Řež a.s., divize ENERGOPROJEKT PRAHA, Bezpečnostní filosofie pro JE provozované ČEZ a.s., 06/2009
- [11] IAEA, Safety Functions and Component Classification for BWR, PWR and PTR, Safety Series No. 50-SG-D1, IAEA, Vienna, 1979, ISBN 90-0-123979-3
- [12] Western European Nuclear Regulators Association – Reactor Harmonisation Working Group, Safety of new NPP designs – Study by WENRA RHWG, 03/2013
- [13] ENERGOPROJEKT PRAHA, JE Temelín IV.B stavba – dÚP č.347 část B2 – Základní koncepce bezpečnosti provozování JE Temelín, Arch.č.EGP 4101–6–940396, 03/1995
- [14] ENERGOPROJEKT PRAHA – BZV – kapitola 3 -Technické řešení JE Temelín, Arch.č.EGP 4910-T-001400
- [15] DBD1 Kniha K1, Celoelektrárenskáúblokvá projektová východiska, ÚJV Řež a.s., divize ENERGOPROJEKT PRAHA, Archivní číslo: EGP 5090-F-190643, 2019 (Temelín)
- [16] Závěrečná zpráva – Zátěžové testy ETE, Ocenění bezpečnosti a bezpečnostních rezerv JE Temelín (z pohledu skutečností havárie na JE Fukushima), ČEZ a.s., Evidenční číslo: ČEZ_ETE_001r00, 2011, dostupné online: <https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/temelin/zaverecna-zprava-zt-ete.pdf>
- [17] Učební texty pro přípravu personálu JE – Primární část JE VVER 1000 – Modul 1, ČEZ a.s., Brno, 2019
- [18] ČEZ a.s. *Provozní bezpečnostní zpráva ETE: Díl 6 - bezpečnostní systémy*. Revize 0, V18. Temelín, 2017.Kniha 2 – VT TQ

- [19] HINTERHOLZINGEROVÁ, Lucie. ÚJV ŘEŽ A.S., DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. *Kniha 2: Nízkotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny – FSK_A_004*. Praha, 01/2020, 22 s.
- [20] АТОМЭНЕРГОЭКСПОРТ. АЭС Темелин – *Технический проект: часть 9 - техническое обоснование безопасности сооружения и эксплуатации АЭС*. Москва, 1984.
- [21] NAVRÁTIL, Jan. ÚJV ŘEŽ A.S., DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. *Kniha 2: Pasivní systém havarijního chlazení aktivní zóny – FSK_A_005*. Praha, 01/2020, 21 s.
- [22] PAVLÍČEK, Lukáš. ÚJV ŘEŽ A.S., DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. *Kniha 2: Sprchový systém ochranné obálky včetně systému havarijního doplňování bazénu vyhořelého paliva – FSK_A_006*. Praha, 01/2020, 22 s.
- [23] KOLEKTIV. ÚJV ŘEŽ A.S., DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. *Metodika FA DiD*. Praha, 11/2019, 100 s.
- [24] HINTERHOLZINGEROVÁ, Lucie. ÚJV ŘEŽ A.S., DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. *Kniha 2: Vysokotlaký systém havarijního chlazení aktivní zóny – FSK_A_003*. Praha, 01/2020, 22 s.
- [25] HAKL, Václav a Lucie HINTERHOLZINGEROVÁ. ÚJV ŘEŽ A.S., DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. *Hodnocení FA DiD – KONTROLA ÚPLNOSTI SOUBORU DB/DR (2020): EDU DBD – Funkční analýza úrovně ochrany do hloubky*. Praha, 02/2020, 40 s.
- [26] KOLEKTIV. ÚJV ŘEŽ A.S., DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. *Hodnocení FA DiD – KONTROLA NEZÁVISLOSTI LINÍ / ÚROVNÍ DiD (2020): EDU DBD – Funkční analýza úrovně ochrany do hloubky*. Praha, 03/2020., 73 s.
- [27] KOLEKTIV. ÚJV ŘEŽ A.S., DIVIZE ENERGOPROJEKT PRAHA. *Hodnocení FA DiD – KONTROLA ROBUSTNOSTI ÚROVNÍ DiD (2020): EDU DBD – Funkční analýza úrovně ochrany do hloubky*. Praha, 03/2020, 133 s.

Seznam příloh

Příloha č.1 – VCFŘ po aplikaci hrozby LB-LOCA

Příloha č.2 – VCFŘ po aplikaci hrozby LOCA + seismická událost SL-2 (0,1g)