

Technická správa

Predprevádzková bezpečnostná správa

Kapitola 06.01.06

Funkčný projekt systémov riadenia reaktivity

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

SE Rev		Date / Dátum	IS	Supervision Outcome / Stav schválenia		Supervised by / Overil		Checked by / Kontroloval	Approved by / Schválil	
				Language / Jazyk	S	Safety Class / Bezpečnostná trieda	N	SEC. INDEX / INDEX utajenia	Company use/P	
				Submitted to Client to / Predložené odberateľovi na:	Approval / Schválenie		x	Information Only / Len na informáciu		
				The SE a.s. approval refers to the contract clauses only. All design responsibilities are charged to the Contractor / Schválenie SE a.s. sa vzťahuje iba na zmluvné náležitosti. Za vypracovanie projektu nesie dodávateľ plnú zodpovednosť.						
EPS No / Číslo EPS: PNM34365000			Revision index / Index revízie: 14		Size / Veľkosť	Activity Code / Aktivita	Type / Subtype Typ / Podtyp	Discipline / Profesia	Plant Unit / Blok elektrárne	
File name / Názov súboru:		SE doc. Code / SE číslo dokumentu: PNM34361032				A4	6.01	RS	Z	8
 * P N M 3 4 3 6 1 0 3 2 1 4 *						Sheet / List	Of / z	Plant System / Systém elektrárne	Component / Komponent	
						1	46			

SE Contract No. / Číslo zmluvy SE: 4600003952				VUJE Contract No. / číslo zmluvy VUJE: 1719/00/09			
Part name / Označenie časti: PNM3436103214_S_C00_V				Issued on / Vydané dňa: 14.08.2019			
Sensitivity code ¹⁾ / Kód citlivosti ¹⁾	3	Name / Meno	Organization / Organizácia	Dept. / Útvár	Date / Dátum	Signature / Podpis	
Author / Vypracoval:			VUJE, a.s.	0230	14.08.2019		
Co-author / Spolupracoval:							
Checked by / Kontroloval:			VUJE, a.s.	0230	14.08.2019		
Verified by / Overil:			VUJE, a.s.	0720	14.08.2019		
Approved by / Schválil:			VUJE, a.s.	1703	14.08.2019		

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

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

Revision record / Záznam o revízii

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

List of document part

Zoznam častí dokumentu

Por. č. No.	Názov dokumentu Document name	Ev. č. súboru časti dokumentu / File ref. No. of document part	Číslo revízie / Revision No.
1.	• Kapitola 06.01.06 Funkčný projekt systémov riadenia reaktivity	• PNM3436103214_S_C00_V	• 14
2.	• Kapitola 06.01.06 Funkčný projekt systémov riadenia reaktivity	• PNM3436103214_S_C01_V	• 14
3.	.	.	.
4.	.	.	.
5.	.	.	.
6.	.	.	.
7.	.	.	.
8.	.	.	.
9.	.	.	.
10.	.	.	.
11.	.	.	.

OBSAH

OBSAH.....	4
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ.....	6
ÚVOD.....	9
6.1.6 Systémy na riadenie reaktivity.....	10
6.1.6.1 Mechanický systém riadenia reaktivity.....	10
6.1.6.1.1 Popis systému	10
6.1.6.1.1.1 Účel.....	10
6.1.6.1.1.2 Bezpečnostné funkcie.....	10
6.1.6.1.1.3 Klasifikácia	11
6.1.6.1.1.4 Funkcia mechanického systému riadenia reaktivity	11
6.1.6.1.1.5 Popis projektu.....	14
6.1.6.1.1.5.1 Hlavné komponenty systému	15
6.1.6.1.2 Bezpečnostné hodnotenie systému	21
6.1.6.1.2.1 Projektové princípy dosiahnutia spoľahlivosti funkcií	21
6.1.6.1.2.1.1 Jednoduchá porucha a redundancia	21
6.1.6.1.2.1.2 Porucha so spoločnou príčinou	21
6.1.6.1.2.1.2.1 Diverzita.....	21
6.1.6.1.2.1.2.2 Nezávislosť	21
6.1.6.1.2.1.2.3 Funkčná oddelenosť	22
6.1.6.1.2.1.2.4 Fyzická oddelenosť	22
6.1.6.1.2.2 Ľudský faktor	22
6.1.6.1.2.3 Plnenie legislatívnych požiadaviek	22
6.1.6.1.2.4 Hodnotenie bezpečnosti	28
6.1.6.1.2.4.1 Ochranné systémy.....	28
6.1.6.1.2.4.2 Kazety HRK a ich pohony	29
6.1.6.2 Systém bórovej regulácie.....	32
6.1.6.2.1 Popis systému	32
6.1.6.2.1.1 Účel.....	32
6.1.6.2.1.2 Bezpečnostné funkcie.....	32
6.1.6.2.1.3 Klasifikácia	32
6.1.6.2.1.4 Funkcia systému bórovej regulácie	33
6.1.6.2.1.5 Popis projektu.....	35
6.1.6.2.1.5.1 Hlavné komponenty systému	35
6.1.6.2.1.5.1.1 Systém doplňovania a bórovej regulácie.....	35
6.1.6.2.1.5.1.2 Hlavné komponenty systému doplňovania bórneho koncentráту	36
6.1.6.2.1.5.1.3 Hlavné komponenty systému ČK a vlastnej spotreby	36
6.1.6.2.1.5.1.4 Hlavné komponenty čistiacej stanice vôd I.O.	36
6.1.6.2.1.5.1.5 Hlavné komponenty čistiacej stanice drenážnych vôd	37
6.1.6.2.2 Bezpečnostné hodnotenie systému	37
6.1.6.2.2.1 Projektové princípy dosiahnutia spoľahlivosti funkcií	37
6.1.6.2.2.2 Ľudský faktor	37
6.1.6.2.2.3 Plnenie legislatívnych požiadaviek	38

6.1.6.2.2.4 Hodnotenie bezpečnosti	39
Literatúra.....	41
ZOZNAM OBRÁZKOV	45
ZOZNAM TABULIEK	46

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ

AZ	- aktívna zóna
AO	- systém automatického odstavenia reaktora
APS	- automatika postupného spúšťania
ATWS	- očakávané udalosti so zlyhaním automatického odstavenia reaktora (Anticipated Transients Without Scram)
BD	- bloková dozorňa
BPP	- budova pomocných prevádzok
BT	- bezpečnostná trieda
C_{VP/H_3BO_3}	- koncentrácia kyseliny boritej pre výmenu paliva
ČK	- čistý kondenzát
DČ	- doplňovacie čerpadlo
DGS	- diesel-generátorová stanica
DKP	- dolná koncová poloha
DKV	- dolný koncový vypínač
DPS	- dielčí prevádzkový súbor
EBO12	- Jadrová elektráreň Bohunice 1. a 2. blok
EBO34	- Jadrová elektráreň Bohunice 3. a 4. blok
EMO	- Jadrová elektráreň Mochovce
JE	- jadrová elektráreň
FS	- fyzikálne spúšťanie
H_3BO_3	- kyselina boritá
HČČ	- hlavné cirkulačné čerpadlo
HKP	- horná koncová poloha
HKV	- horný koncový vypínač
HPK	- hlavný parný kolektor
HRK	- havarijná regulačná a kompenzačná kazeta
HVB	- hlavný výrobný blok
HZ	- hermetická zóna
IPZK	- individuálny program zabezpečovania kvality
I.O.	- primárny okruh

II.O.	- sekundárny okruh
KO	- kompenzátor objemu
LaP	- limity a podmienky
LOCA	- udalosť so stratou chladiva (Loss Of Coolant Accident)
MKU	- minimálna kritická úroveň (výkonu)
MKV	- minimálny kritický výkon reaktora
MO34	- Jadrová elektrárň Mochovce 3. a 4. blok
ND	- núdzová dozorňa
NNK	- nádrž nečistého kondenzátu
PAMS	- pohavarijný systém monitorovania (Post Accident Monitoring System)
PG	- parogenerátor
PICS	- počítačový informačný riadiaci systém (Process Information and Control System)
PpBS	- predprevádzková bezpečnostná správa
PRO-M	- pohon regulačného orgánu, modernizovaný
RCS	- regulátor výkonu reaktora (Reactor Control System)
RLS	- limitačný systém reaktora (Reactor Limitation System)
RMS	- systém radiačného monitorovania technológie, (Radiation Monitoring System)
RRCS	- systém ovládania kaziet HRK (Reactor Rod Control System)
RTB	- havarijný vypínač, (Reactor Trip Breaker)
RTS	- systém automatického odstavenia reaktora (Reactor Trip System)
SBO	- úplná strata napájania vlastnej spotreby (Station Black Out)
SE	-Slovenské elektrárne, a.s.
SICS	- bezpečnostný informačný a riadiaci systém (Safety Information and Control System)
SSIR	- skriňa skupinového a individuálneho riadenia (Group and individual control cabinets)
SKR	- systém kontroly a riadenia
SMD	- skriňa monitorovania a diagnostiky (Monitoring and diagnostics cabinet)
SOR	- systém ochrany reaktora
SR	- Slovenská republika
SRM	- skriňa riadenia motorov (Motor operation cabinet)
SVP	- skriňa vyhodnotenia polohy (Position interpretation cabinet)
SVRK	- systém vnútroreaktorovej kontroly
TG	- turbogenerátor
ÚJD SR	- Úrad jadrového dozoru SR

ÚSNVS	- úplná strata napájania vlastnej spotreby
VP	- výmena paliva
VRB	- vedúci reaktorového bloku
VT	- vysoký tlak
VVER	- vodou chladený, vodou moderovaný energetický reaktor

ÚVOD

Technická správa je súčasťou Predprevádzkovej bezpečnostnej správy MO34 (PpBS).

Vypracovaná je podľa [II.1], [II.3], [II.5], [II.6], [II.8].

Poskytuje informácie o systémoch na riadenie reaktivity a dokazuje, že sú konštruované a inštalované tak, aby bola zaručená požadovaná funkčná prevádzkyschopnosť a náležité oddelenie od ostatných zariadení, ktoré by mohli brániť v ich činnosti [II.5].

6.1.6 Systémy na riadenie reaktivity

Projekt reaktora VVER-440 (typ V-213) predpokladá dva nezávislé spôsoby riadenia reaktivity, založené na rozdielnych fyzikálnych princípoch:

- mechanický systém riadenia reaktivity, realizovaný prostredníctvom pohybu kaziet HRK vnútri AZ reaktora (pozri kapitolu 6.1.6.1),
- systému dopĺňovania a bórovej regulácie reaktivity realizovaný zmenou koncentrácie kyseliny boritej v chladive I.O. (pozri kapitolu 0).

6.1.6.1 Mechanický systém riadenia reaktivity

Kapitola PpBS 6.1.6.1 je vypracovaná v súlade s bezpečnostným návodom ÚJD SR BNS I.1.2/2008 [II.5], pričom bolo prihladené k novému platnému návodu BNS I.1.2/2014 [II.11] (v primeranom rozsahu).

Pri vypracovaní predmetnej kapitoly PpBS boli súčasne zohľadnené aj pripomienky k PBS uvedené v rozhodnutí ÚJD SR č. 267/2008 [II.12].

Mechanický systém riadenia reaktivity je založený na vertikálnom pohybe HRK v AZ reaktora. Systém pozostáva z 37 kaziet HRK ktorých pohyb vykonávajú pohony umiestnené v hornom bloku reaktora. V prípade potreby okamžite zastaviť štiepnu reakciu, je možné pôsobením gravitácie vyvolať pád všetkých kaziet HRK do aktívnej zóny úplným prerušením napájania pohonov HRK

Táto kapitola popisuje výkonné orgány mechanického systému riadenia reaktivity, t.j. kazety HRK vrátane vložených tyčí a ich pohonov.

6.1.6.1.1 Popis systému

6.1.6.1.1.1 Účel

Mechanický systém riadenia reaktivity slúži na kompenzáciu rýchlych zmien reaktivity počas kampane, reguláciu výkonu reaktora, rýchle odstavenie reaktora, plynulé odstavenie reaktora a udržanie reaktora v podkritickom stave.

6.1.6.1.1.2 Bezpečnostné funkcie

Základnou bezpečnostnou funkciou mechanického systému riadenia reaktivity je v súlade so zákonom č. 541/2004 Z.z. [II.1] „regulácia reaktivity“.

Zaradenie nasledovných zariadení do bezpečnostných tried je v súlade s vyhláškou ÚJD SR č. 50/2006 Z.z. [II.10] a dokumentom „Zoznam vybraných zariadení pre 3. blok MO34 a spoločné zariadenia 3. a 4. bloku – textová časť“ [I.71] schváleného rozhodnutím ÚJD SR č. 63/2015 [II.13]. Kazety HRK vrátane ich pohonov výkonové vypínače sú bezpečnostné systémy vykonávajúce bezpečnostnú funkciu IIb, t.j. „na odstavenie jadrového reaktora za stavu abnormálnej prevádzky, ktorý by mohol viesť k havarijným podmienkam, a na odstavenie jadrového reaktora s cieľom zmierniť následky havarijných podmienok“ [II.10].

Systémy ovládania pohonov kaziet HRK, regulácie výkonu reaktora, limitačný systém reaktora a systém vnútroreaktorovej kontroly sú systémy so vzťahom k bezpečnosti vykonávajúce bezpečnostnú

funkciu IIIk, t.j. sú „*nevyhnutné z hľadiska plnenia bezpečnostných funkcií na dodávku energií alebo na riadenie ostatných komponentov a zariadenia, ktoré nie sú zaradené do bezpečnostnej triedy II*“ [II.10].

V porovnaní s vyhláškou ÚJD SR č. 50/2006 [II.10], vyhláška č. 430/2011 [II.2] obsahuje zmenu značenia bezpečnostnej funkcie IIIk na IIIj.

Podrobná informácia o klasifikácii systémov a bezpečnostných funkciách je uvedená v [I.1].

6.1.6.1.1.3 Klasifikácia

Predmetné zariadenia mechanického systému riadenia reaktivity sú súlade s vyhláškou 50/2006 [II.10] zaradené do bezpečnostnej triedy II a III.

Zariadenia mechanického systému riadenia reaktivity sú navrhnuté, skonštruované, dodané a inštalované v zmysle vyhlášky ÚJD SR č. 50/2006 [II.10] a v súlade s dokumentom „Zoznam vybraných zariadení pre 3. blok MO34 a spoločné zariadenia 3. a 4. bloku – textová časť“ [I.71] a príslušnými Plánmi kvality vybraných zariadení pre dané zariadenia mechanického systému riadenia reaktivity vydanými na základe zákona č. 541/2004 Z.z. [II.1], resp. v dobe odovzdania platnej vyhlášky ÚJD SR č. 56/2006 [II.14].

Po uplynutí platnosti prechodného ustanovenia uvedenom vo vyhláške ÚJD SR č. 430/2011 (viď. [II.2], §7 "Prechodné ustanovenie", t.j. 31.12.2014) je v platnosti §3 „Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried" predmetnej vyhlášky (t.j. ÚJD SR č. 430/2011 [II.2]).

Na základe vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 [II.2] pre vybrané zariadenia uvedené v tab. 6.1.6-1 nie sú dodatočné požiadavky v porovnaní s vyhláškou ÚJD SR č. 50/2006 [II.10].

Z uvedeného a s odvolaním na obsah a konštatovania kap. 6.1.6.1.1.2 vyššie vyplýva, **že zariadenia mechanického systému riadenia reaktivity požiadavky platnej vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 [II.2]** (t.j. po uplynutí prechodného ustanovenia, viď §7 „Prechodné ustanovenie“ platné do 31.12.2014), spĺňajú.

6.1.6.1.1.4 Funkcia mechanického systému riadenia reaktivity

Pohyb kaziet HRK je plánovaný počas dosahovania kritického stavu reaktora, počas normálnej prevádzky na výkone, počas odstavenia reaktora a pri abnormálnych a havarijných podmienkach.

Prvé dosahovanie kritického stavu je opísané v [I.53]. Realizuje sa mechanickým (zmena polohy kaziet HRK) a chemickým kontrolným systémom (zmena koncentrácie kyseliny boritej v chladiči). Ďalšie pohyby 6. skupiny HRK sú predpísané napríklad za účelom stabilizovať výkon reaktora počas posledných fáz dosahovania kritického stavu reaktora.

Pri dosahovaní kritického stavu po výmene paliva sú kazety HRK postupne vysúvané v predpísaných krokoch a s dodržaním predpísaných výdrží do východnej polohy a ďalšie dosahovanie kritického stavu sa vykonáva pomocou bórovej regulácie, t.j. dávkovaním čistého kondenzátu do I.O.[I.64], [I.65]. Signály o polohách jednotlivých kaziet HRK sú zaznamenávané systémom vnútroreaktorovej kontroly, ktorý zároveň meria, zaznamenáva a vyhodnocuje technologické parametre aktívnej zóny reaktora, pomocných systémov I.O., vložených okruhov a sekundárnej časti PG. V prípade abnormálneho stavu je zo systému vnútroreaktorovej kontroly, limitačného systému reaktora alebo systému merania neutrónového toku vyslaný signál na zákaz pohybu pracovnej skupiny kaziet nahor [I.29].

Počas **normálnej prevádzky** reaktora na výkone sa kazety HRK využívajú na kompenzáciu rýchlych zmien reaktivity, vyvolaných napr. xenónovou otravou alebo na reguláciu výkonu reaktora. Z dôvodu dodržania koeficientov nerovnomernosti, povoleného lineárneho výkonu, povolených skokov lineárneho výkonu a zachovania zásoby reaktivity na odstavenie reaktora sa 6. skupina kaziet HRK môže počas normálnej prevádzky pohybovať len v stanovenom rozmedzí polôh [I.48].

Regulácia výkonu reaktora môže byť vykonávaná v ručnom alebo automatickom režime. [I.40]. Systém regulácie výkonu reaktora v automatickom režime udržiava zadaný výkon reaktora alebo zadaný tlak pary v hlavnom parnom kolektore, prípadne kontroluje hodnotu tlaku pary v hlavnom parnom kolektore a pri jeho zvýšení ho zreguluje na požadovanú hodnotu.

RCS je možné zapnúť do automatického ovládania, ak sú splnené podmienky: minimálny výkon reaktora resp. maximálna odchýlka skutočného a požadovaného tlaku pary v hlavnom parnom kolektore dané v [I.40].

V režime regulácie výkonu je neutrónový výkon reaktora udržiavaný na príslušnej výkonovej hladine so stanovenou pomernou a absolútnou necitlivosťou [I.40]. Na nižších hodnotách výkonu reaktora sa hodnota pomernej necitlivosti zvyšuje a hodnota absolútnej necitlivosti sa znižuje podľa zadefinovaných matematických vzťahov. V režime regulácie tlaku je zadaná hodnota tlaku pary v hlavnom parnom kolektore udržiavaná s necitlivosťou stanovenou v [I.40].

Automatické zníženie a obmedzenie výkonu reaktora v závislosti od počtu pracujúcich slučiek a počtu pracujúcich turbín zabezpečuje limitačný systém reaktora. Všetky tri kanály systému musia byť prevádzkyschopné [I.48]. Počas normálnej prevádzky pracuje 6 HCČ a výkon reaktora je obmedzený limitačným systémom reaktora [I.38] na maximálnej povolenej hodnote korigovaného výkonu reaktora, pri prekročení ktorej dôjde k automatickému zníženiu výkonu reaktora s príslušnou hysterézou [I.37]. Korigovaný výkon reaktora je vypočítaný na základe neutrónového výkonu reaktora, korigovaného na tepelný výkon reaktora. Pre menší počet slučiek v prevádzke sa horná hranica obmedzenia výkonu reaktora s hysterézou mení od počtu skutočne pracujúcich slučiek a je zadefinovaná v [I.37].

Horná hranica obmedzenia korigovaného výkonu reaktora limitačným systémom reaktora závisí od počtu pracujúcich turbogenerátorov a je zadefinovaná v [I.37].

Limitačný systém reaktora obmedzuje výkon reaktora po náraste tlaku nad povolenú hodnotu tlaku chladiva na výstupe z reaktora, pri náraste teploty chladiva v horúcich slučkách nad povolenú hodnotu a pri poklese hladiny parogenerátorov pod povolenú hodnotu. [I.36].

V abnormálnych a havarijných režimoch prevádzky dochádza k prekročeniu nastavených dovolených hodnôt vybraných fyzikálnych parametrov a k zapracovaniu limitačného systému reaktora [I.38], systému automatického odstavenia reaktora, diverzitého systému rýchleho odstavenia reaktora [I.8], [I.30], systému merania neutrónového toku [I.32], alebo systému zaistenia bezpečnosti [I.31]. Pri splnení niektorej z podmienok pôsobenia limitačného systému reaktora systém automaticky vyšle signál na blokovanie vysúvania regulačných kaziet alebo ich zasunutie pracovnou rýchlosťou (znižovanie výkonu reaktora). Cieľom je zabrániť nekontrolovanému rozvoju štiepnej reakcie, prípadne znížiť výkon reaktora. V prípade, že je splnená podmienka na rýchle odstavenie reaktora je z limitačného systému automaticky vyslaný signál na prerušenie napájania pohonov kaziet HRK a zhodenie všetkých 37 kaziet HRK do AZ reaktora. Kazety padajú do AZ reaktora rýchlosťou 20-30 cm/s, následne sa zastavia na mechanických dorazoch a v AZ reaktora zostane len ich absorpčná časť. Cieľom je zastaviť štiepnu reakciu a vytvoriť dostatočnú podkritickosť reaktora. K odstaveniu reaktora prerušením napájania pohonov kaziet HRK môže dôjsť aj na základe signálov zo systému merania neutrónového toku alebo ručným aktivovaním signálu.

Systémy automatického odstavenia reaktora a diverzitého systému rýchleho odstavenia reaktora pracujú plne automaticky bez možnosti zásahu operátora. Výstupný akčný signál automatického odstavenia pôsobí do havarijných vypínačov.

Neutrónové detektory systému merania neutrónového toku detegujú neutrónový tok reaktora a premieňajú ho na elektrický impulz. Každý detektor má vlastný systém spracovania neutrónového toku. Výpočet neutrónového toku je od dvoch typov detektorov a pokrýva celý rozsah detekcie neutrónového toku. Systém počíta periódu reaktora. Porovnáva neutrónový výkon a periódu reaktora s nastavenou hodnotou odstavenia v AO-1, AO-3, AO-4 a v iných príkazoch na aktivovanie. Generuje signály do spolupracujúcich systémov [I.66].

Úlohou systému zaistenia bezpečnosti bloku je rozoznávajú vznik havarijných podmienok na bloku a riadenie systémov určených pre zmiernenie následkov týchto podmienok. O funkciách systému pojednáva [I.69].

Plynulé odstavenie reaktora, napr. pred výmenou paliva, sa vykonáva ručne, zasunutím kaziet HRK do AZ pracovnou rýchlosťou v skupinovom režime.

Riadenie reaktivity pomocou kaziet HRK a pomocou bórovej regulácie sa väčšinou vykonáva samostatne. **Kombinovaná činnosť** týchto systémov je vyžadovaná pri odstavení reaktora do studeného stavu kvôli výmene paliva alebo oprave alebo pri tzv. prekompenzácii polohy regulačných kaziet (zmena polohy regulačných kaziet za súčasnej zmeny koncentrácie kyseliny boritej v I.O.). Pri kombinovanej činnosti systémov na riadenie reaktivity sa vždy jedná buď o vnášanie kladnej reaktivity pomocou jedného systému a zápornej reaktivity pomocou druhého systému alebo o vnášanie zápornej reaktivity oboma systémami. Automatické odstavenie reaktora spôsobí pád všetkých skupín kaziet HRK do AZ a je aktivovaný havariný systém chladenia aktívnej zóny, čím dochádza k dopĺňovaniu koncentráta kyseliny boritej do I.O. o koncentracii 40g/kg a následnému zvýšeniu koncentrácie kyseliny boritej v chladiči I.O.

Abnormálne a havarijné stavy rieši prevádzkový personál podľa predpisov pre riešenie abnormálnych stavov [I.58] a predpismi optimálnej obnovy bezpečného stavu [I.59]. Podľa týchto predpisov je riadená aj kombinovaná činnosť oboch systémov riadenia reaktivity za účelom zmiernenia následkov abnormálnych stavov a predpokladaných postulovaných nehôd.

Mechanický systém riadenia reaktivity musí spĺňať špecifické požiadavky [I.48] počas normálnej prevádzky v každom prevádzkovom režime.

Platnosť niektorých uvedených LaP môže byť za určitých podmienok pozastavená počas realizácie testov fyzikálneho a energetického spúšťania.

Overenie teoreticky vypočítanej celkovej účinnosti systému kaziet HRK pádom, meranie doby ich pádu a meranie diferenciálnej a integrálnej charakteristiky 6. skupiny kaziet HRK sa vykonáva v rámci testov FS na začiatku každej palivovej kampane [II.7]. Po rýchlom odstavení reaktora a následnom dosiahnutí kritického stavu sa vykonáva kontrola spojenia kaziet HRK so svojimi pohonmi. Teoretické hodnoty celkovej účinnosti kaziet HRK a integrálne charakteristiky 6. skupiny sú uvedené v [I.3].

Kontrola zásoby podkritickosti, prevádzkyschopnosti kaziet HRK, indikácie ich polohy a rozsúhlasenia kaziet 6. skupiny HRK musí byť počas kampane vykonávaná pravidelne, v súlade s požiadavkami na kontrolu uvedenými v LaP [I.48].

Pri poruche indikácie polôh kaziet alebo elektronických systémov je oprava riešená väčšinou výmenou chybnéj súčiastky alebo časti zariadenia. V prípade poruchy pohonu kazety HRK je potrebné opravu vykonať pri odstavenom a vychladenom reaktore.

6.1.6.1.1.5 Popis projektu

V AZ reaktora sa nachádza 37 symetricky rozmiestnených kaziet HRK. Kazety sú rozdelené do šiestich skupín (tab. 6.1.6-1). Každá kazeta HRK sa skladá zo spodnej palivovej časti a hornej absorpčnej časti [1.2].

Riadenie (regulácia) reaktivity sa vykonáva vertikálnym pohybom kaziet HRK v AZ. Pri zasúvaní kaziet HRK do AZ dochádza k vysúvaniu spodnej palivovej časti kaziet HRK z AZ a k zasúvaniu hornej absorpčnej časti do AZ. Klesá množstvo štiepneho materiálu v objeme AZ a zvyšuje sa množstvo absorbátora, čím dochádza k utlmovaniu štiepnej reakcie (vneseniu zápornej reaktivity). Pri vysúvaní kaziet HRK dochádza k rozvoju štiepnej reakcie (vneseniu kladnej reaktivity).

6.1.6.1.1.5.1 Hlavné komponenty systému

Kazeta HRK

Každá kazeta HRK pozostáva z palivovej časti (spodná časť kazety) a absorpčnej časti (vrchná časť kazety). Opis konštrukcie kazety HRK, jej materiálové zloženie a konštrukčné výkresy sú uvedené v kapitole 6.1.1 PpBS [I.2] a na obr. Obrázok 6.1.6-1. Vybrané parametre palivovej a absorpčnej časti kazety HRK sú v [I.2] a uvedené v tabuľke Tabuľka 6.1.6-1.

Vložená tyč

Vložená tyč je spojovacím elementom medzi pohonom a kazetou HRK. Pre tento účel má vložená tyč vo svojej hornej časti úchyt s bajonetovým uzáverom, ktorý spája navzájom pohon HRK a vloženú tyč. Úchyt je spojený s prechodovou časťou, ktorá kryje tiahlo a vnútornú rúrku. Táto rúrka je vlastne nosnou časťou vlozenej tyče. Na spodnom konci prechodovej časti (prechodového kusu) je tzv. záchyť, ktorý zapadá do zodpovedajúceho zámku v kazete HRK. Koniec tiahla, prechádzajúci záchyťou, má trojuholníkový prierez, ktorý umožňuje pootočeniu a uzamknutiu záchyty v zámku kazety HRK a zároveň zaisťuje celé spojenie proti otáčaniu.

Základné údaje vlozenej tyče:

- maximálny priemer ϕ 155 mm
- dĺžka 4824 mm
- hmotnosť 61 kg.

Tabuľka 6.1.6-1 Vybrané charakteristiky AZ a kaziet HRK druhej generácie

Hodnoty v tabuľke sú prevzaté z kapitol 6.1.1 a 6.1.3 PpBS [I.2], [I.3].

Charakteristika	Hodnota
Počet pracovných kaziet v AZ	312 ks
Počet kaziet HRK v AZ	37 ks
Krok kaziet v AZ	147 mm
Krok kaziet HRK	441 mm
Rozmer kazety „pod kľúč“	145 mm
Hmotnosť kazety HRK	330 kg
Hmotnosť palivovej časti kazety HRK	220 kg
Hmotnosť absorpčnej časti (nadstavca) kazety HRK	110 kg
Počet palivových prútikov bez/s obsahom Gd_2O_3 v palivovej časti kazety HRK	120 / 6 ks
Krok palivových prútikov v palivovej časti kazety HRK	12,3 mm
Vonkajší priemer obalu palivového prútika	9,1 mm
Vonkajší priemer palivovej tabletky	7,6 mm
Priemer centrálného otvoru palivovej tabletky	1,2 mm
Výška palivovej tabletky	10 - 12 mm
Hmotnosť uránu v pracovnej kazete	126,3 kg
Výška palivového stĺpca v pracovnej kazete	2480 mm
Hmotnosť uránu v palivovej časti kazety HRK	120,3 kg

Charakteristika	Hodnota
Hrúbka obalovej rúry palivovej časti kazety HRK	1,5 mm
Dĺžka palivového prútika	2536 mm
Výška palivového stĺpca v palivovej časti kazety HRK	2360 mm
Počet dištančných mriežok	10 ks
Výška dištančnej mriežky	10 alebo 20 mm
Krok dištančných mriežok	250 mm
Vzdialenosť medzi dolnou opornou mriežkou a prvou dištančnou mriežkou	160 mm
Materiál obalovej rúry	Zr+2,5%Nb
Materiál dištančných mriežok	Zr+1,0 % Nb
Hustota dištančných mriežok	6550 kg/m ³
Hmotnosť dištančnej mriežky s výškou 10 mm	0,093 kg

Pohon kazety HRK V-213-Č

Pohon kazety HRK je elektromechanické zariadenie hrebeňového typu určené pre prevádzku v prostredí chladiva I.O. jadrového reaktora [III.1]. Pohon je zobrazený na obr. 6.1.6-4. Všetkých 37 kaziet má konštrukčne rovnaké pohony, v ktorých sa otáčanie elektromotora mení cez kinematickú spojku, dvojicu pastorok - ozubený hrebeň, na posuvný pohyb. Pohony sú umiestnené vo valcových puzdrách. Vnútro puzdra a pohonu sú zaplnené chladivom I.O. o tlaku 12,36 MPa abs a teplote v hornej časti pohonu do 100 °C (so zapnutým chladením). Spojenie pohonu HRK s vlastnou kazetou HRK je realizované vloženou tyčou, ktorá je s pohonom a kazetou spojená bajonetovým uzáverom. Každý pohon môže pracovať nezávisle na ostatných pohonoch alebo súčasne s nimi. Pri premiestňovaní kazety HRK je potrebné pohon kazety HRK napájať striedavým prúdom. Pri stáť kazety HRK v konštantnej polohe je pohon napájaný jednosmerným prúdom (brzdny režim). Havarijné odstavenie reaktora sa realizuje vypnutím napájania pohonu a voľným pádom všetkých skupín kaziet HRK do AZ. Pohon je dimenzovaný na premiestňovanie vlastných pohyblivých častí, vlozenej tyče a kazety HRK, spolu o hmotnosti do 500 kg. Pracovný zdvih hrebeňa je 2500 ± 30 mm, rýchlosť posuvu v režime regulácie je 20 ± 1 mm/s, rýchlosť pádu pri automatickom odstavení reaktora je v rozsahu $200 \div 300$ mm/s.

Pohon sa skladá z nasledujúcich častí:

- snímača ukazovateľa polohy
- elektromotora
- vretenového zariadenia
- reduktora
- hrebeňového uzla
- chladiča
- hydraulikkej zarážky.

Chladenie pohonov kaziet HRK zabezpečuje systém **vloženého okruhu** [I.61]. Tvoria ho samostatné cirkulačné okruhy, ktoré sú spojené s atmosférou v mieste hladiny vo vyrovnávacej nádrži a ich účelom je zabrániť prípadnému znečisteniu (kontaminácii) systému technickej vody dôležitej rádioaktívnymi látkami v prípade porušenia tesnosti chladených technologických zariadení. Funkciu systému zabezpečujú čerpadlá, výmenníky, vyrovnávacia nádrž, armatúry a spojovacie potrubia. Za normálnych pracovných podmienok je pracovné vždy jedno čerpadlo a jeden výmenník (ostatné dve čerpadlá a jeden výmenník sú

rezervné). Voda vloženého okruhu je pracujúcim čerpadlom dopravovaná k jednotlivým chladeným spotrebičom, kde sa ohrieva. Ohriata voda vloženého okruhu sa potom ochladzuje na pracujúcom výmenníku pomocou technickej vody dôležitej a postupuje späť na nasávanie čerpadla a ďalej sa vracia do okruhu.

Snímač ukazovateľa polohy slúži k indikácii polohy kazety HRK počas pracovného chodu a k vymedzeniu jej krajných polôh (DKV, HKV). Systém vyhodnotenia polohy umožňuje rozlíšiť aj polohu kazety na mechanickom doraze a DKV. Snímač ukazovateľa polohy je hermeticky montovaný na ložiskový štít elektromotora vo vrchnej časti pohonu HRK. Počas prevádzky je snímač ukazovateľa polohy zaplnený vodou primárneho okruhu. Pre vlastnú indikáciu polohy slúži posuv matky z magnetického materiálu po skrutke. Matka sa pohybuje v dutine, tvorenej 10-imi cievkami, z ktorých každá predstavuje zmenu polohy kazety HRK o 250 mm. Oddelenie dutiny skrutky a matky od cievok je vykonané nehrdzavejúcou „košielkou“. Indikácia polohy pomocou snímača ukazovateľa polohy nie je teda spojitá, ale výška AZ je rozdelená na desať 250 mm úsekov so samostatnou indikáciou dolnej, hornej koncovej polohy kazety HRK a mechanického dorazu. Poloha HRK podľa ukazovateľa polohy na BD je indikovaná na BD v číselnej forme. Snímač zabezpečuje indikáciu zmeny polohy regulačnej kazety po každých 250 mm s presnosťou ± 10 mm, ako je uvedené v dokumente [III.1].

Pre určenie presnej polohy (jemnej v [mm]) každej kazety HRK v rozsahu pracovného chodu od mechanického dorazu do horného koncového vypínača slúži blok merania a indikácie nachádzajúci sa v skrinách riadenia motorov systému RRCS [I.29]. Jemné polohy kaziet sú zobrazené na bloku indikácie systému ovládania kaziet HRK na pulte operátora.

Elektromotor (synchronne-reakčný) má hermetickú konštrukciu a je určený na premiestňovanie a zaistovanie polohy hrebeňa s kazetou HRK v pracovnej polohe. Statorové vinutie má uložené v hermetickom priestore. Tento priestor je chladený pretekajúcou vodou. Rotor, uložený v ložiskách z nehrdzavejúcej ocele, pracuje v prostredí primárneho okruhu. Elektromotor je napájaný cez hermetický konektor.

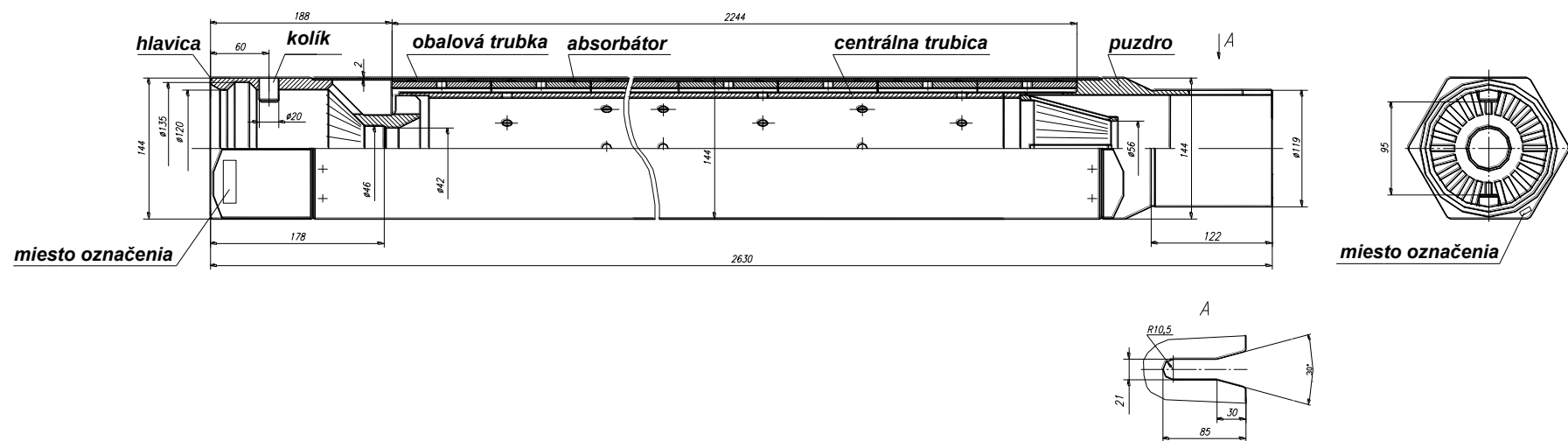
Vretenové zariadenie je určené k prenosu krútiaceho momentu z elektromotora na reduktor a k obmedzeniu rýchlosti pádu hrebeňa s kazetou HRK v režime odstavenia reaktora. Nosnou časťou je teleso zvarené z rúry a prírub. V tomto telese je na ložiskách z nehrdzavejúcej ocele uložené vreteno. Do vretena sa zasúva hrebeň pri pohybe smerom nahor. Spojenie vretena s rotorom elektromotora je realizované poistnou spojkou a s reduktorom ozubeným kolesom. Poistná spojka chráni ozubené kolesá a ložiská pred preťažením. Pri prekročení danej hodnoty krútiaceho momentu dôjde k vzájomnému kĺzaniu hnanej a hnacej časti spojky. Na dolnej časti vretena je umiestnený odstredivý regulátor, brániaci trením brzdových čelustí o puzdro telesa (pri zvyšovaní otáčok vretena v režime havarijného odstavenia) zvyšovaniu rýchlosti pádu hrebeňa s kazetou HRK. Zmenou predpätia pružín odstredivého regulátora je možné túto rýchlosť meniť.

Reduktor mení otáčavý pohyb elektromotora na posuvný pohyb hrebeňa. Centrálnym otvorom reduktora prechádza hrebeň, vedený vodiacimi kladkami. V hornej časti reduktora je puzdro, slúžiace ako dolná zarážka hrebeňa. Toto puzdro dosadá na pružinový tlmič, ktorého úlohou je pohltiť kinetickú energiu padajúcich častí uzla hrebeňa a otáčajúcich sa častí pohonu pri dosadnutí na spodnú zarážku (po páde kazety HRK v režime rýchleho odstavenia reaktora). Je najzložitejším kinetickým uzlom pohonu HRK a preto je po celej dĺžke zakrytý plášťom, ktorý ho chráni pred znečisťovaním.

Hrebeňový uzol slúži na spojenie pohonu s vloženou tyčou (a tým priamo s kazetou HRK) a je tvorený objímkou, ozubeným hrebeňom, tyčami, záchyтом a západkou. Záchyт vytvára ukončenie hrebeňového uzla a slúži na prepojenie s vloženou tyčou. Záchyт má možnosť osového posunu vzhľadom k hrebeňu pre vymedzenie úchyliet dĺžok jednotlivých častí pohonu HRK a kanála reaktora. Tyč so západkou slúži na spájanie a rozpájanie pohonu s vloženou tyčou.

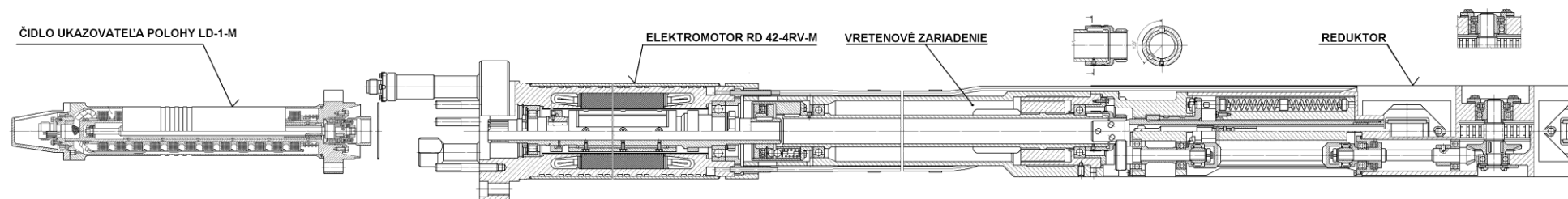
Chladič slúži na zabezpečenie požadovaných tepelných podmienok pre prácu pohonu v hermetickom puzdre veka reaktora. Je tvorený rúrkami a chladiacim hadom. Rúrky sú privarené k nátrubkom elektromotora, cez ktoré vstupuje chladiaca voda do jednej zo skrutkovitých drážok statora elektromotora, prechádza chladičom a vracia sa druhou skrutkovitou drážkou do výstupu z pohonu HRK.

Hydraulická zarážka bráni vysunutiu hrebeňa s kazetou HRK v prípade porušenia hermetickosti priestoru, tvoreného puzdrom veka reaktora a pohonom. Hlavnou časťou zarážky je piest s tesniacimi krúžkami a gučkami. V prípade, že dôjde k porušeniu hermetickosti uvedeného priestoru, vznikne tlakový spád, pôsobením ktorého sa piest (držaný za normálnych pracovných podmienok v dolnej polohe pružinou) začne posúvať nahor, gučkami zaklinuje hrebeňovú tyč v puzdre a znemožní jej pohyb ďalej nahor. Odklinovanie sa vykoná pohybom hrebeňa smerom nadol.

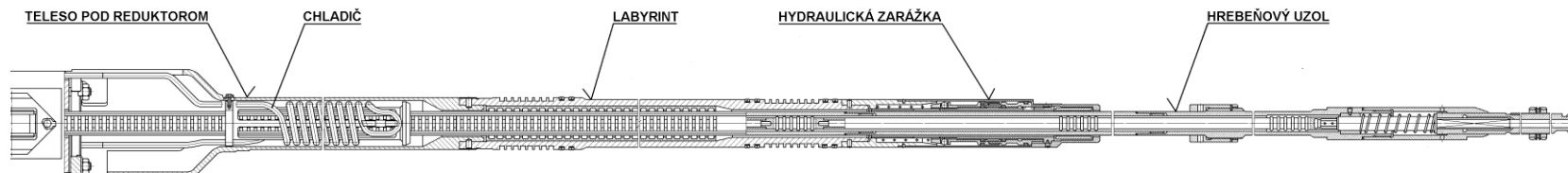


Obrázok 6.1.6-1 Schéma absorpčnej časti kazety HRK [I.2].

Horná časť pohonu HRK



Spodná časť pohonu HRK



Obrázok 6.1.6-2 Schéma konštrukčného usporiadania pohonu kazety HRK [III.12].

6.1.6.1.2 Bezpečnostné hodnotenie systému

6.1.6.1.2.1 Projektové princípy dosiahnutia spoľahlivosti funkcií

6.1.6.1.2.1.1 Jednoduchá porucha a redundancia

Konštrukcia bezpečnostných systémov zahrnutých v mechanickom riadení reaktivity je odolná voči jednoduchej poruche [I.1].

Za účelom vyhovieť kritériu jednoduchej poruchy, sú havarijné vypínače inštalované v dvoch rôznych podsystemoch ktoré sú obe navrhnuté za účelom odolať následkom jednoduchej poruchy. Otvorenie jedného z týchto vypínačov je dostatočné k prerušeniu napájania pohonov HRK a tým k spôsobeniu pádu všetkých HRK do AZ.

Systém automatického odstavenia reaktora, diverzitého systému rýchleho odstavenia reaktora, systému merania neutrónového toku a systému zaistenia bezpečnosti sú odolné voči jednoduchej poruche: pozostávajú z troch fyzicky, funkčne a elektricky nezávislých redundancií. Každá z redundancií pozostáva z troch funkčne oddelených kanálov, ktoré zabezpečia odolnosť voči neželaným aktiváciám odstavenia reaktora vďaka selektívnej logike (dva signály z troch).

Odolnosť voči jednoduchej poruche sa nevyžaduje pri konštrukcii systémov so vzťahom k bezpečnosti, t.j. netýka sa systémov ovládania pohonov kaziet HRK, regulácie výkonu reaktora, limitačného systému reaktora a systému vnútroreaktorovej kontroly AZ. [I.1].

Podrobnejšie informácie o bezpečnostnom hodnotení systémov zahrnutých v mechanickom riadení reaktivity sú v [I.7].

6.1.6.1.2.1.2 Porucha so spoločnou príčinou

Konštrukcia bezpečnostných systémov zahrnutých v mechanickom riadení reaktivity je odolná voči poruche so spoločnou príčinou [I.1]. Nižšie je uvedený stručný opis opatrení týkajúcich sa diverzity, nezávislosti, fyzického a funkčného oddelenia realizovaných v konštrukcii týchto systémov tak, aby odolávali poruche so spoločnou príčinou. Podrobnejšie informácie o bezpečnostnom hodnotení systémov zahrnutých v mechanickom riadení reaktivity sú v [I.7].

V projekte sa nevyžaduje odolnosť systémov so vzťahom k bezpečnosti [I.1] voči jednoduchej poruche.

6.1.6.1.2.1.2.1 Diverzita

Výkonové vypínače spĺňajú požiadavky diverzity hardvérového návrhu, elektrickej a fyzickej diverzity. U softvérových systémov je odolnosť voči poruche zo spoločnej príčiny zabezpečená hardvérovou alebo funkčnou diverzitou.

Systém zaistenia bezpečnosti je založený na diverzítnej platformách [I.9]. Každý pohon, ktorý je riadený týmto systémom, je ovládateľný aj ručne tlačidlami.

Odolnosť systému automatického odstavenia reaktora voči poruche so spoločnou príčinou je zabezpečená diverzítnej systémom [I.30], kontrolovaným diverzítnej počítačom.

6.1.6.1.2.1.2.2 Nezávislosť

Systémy schopné automaticky odstaviť reaktor sú nezávislé od všetkých ostatných funkčných systémov. Signály medzi systémami sú galvanicky oddelené.

6.1.6.1.2.1.2.3 Funkčná oddelenosť

Medzi podsystémami havarijných vypínačov nie je výmena signálov.

Medzi redundanciami systému zaistenia bezpečnosti nie je výmena signálov.

Iniciačné kritériá na odstavenie reaktora sú rozdelené medzi systémy automatického odstavenia reaktora a diverzitého systému rýchleho odstavenia reaktora. Každá redundancia týchto systémov posiela výsledný signál havarijných vypínačov.

6.1.6.1.2.1.2.4 Fyzická oddelenosť

Dva podsystémy havarijných vypínačov sú inštalované v dvoch rozdielnych miestnostiach.

Tri kanály podsystémov zaistenia bezpečnosti sú v troch fyzicky oddelených redundanciách.

Redundancie systémov odstavenia reaktora sú funkčne, fyzicky a elektricky oddelené.

Každá z troch redundancií systému merania neutrónového toku je nezávislá (oddelené miestnosti, napájanie, bez funkčných prepojení) [I.66].

6.1.6.1.2.2 Ľudský faktor

Hybridná (digitálno-analogová) bloková dozorňa [I.17] umožňuje programové (automatické) ovládanie aj manuálne klasické ovládanie pomocou ovládacích prvkov na paneloch a pultoch BD. Návrh rešpektuje súčasné ergonomické požiadavky. Na paneloch BD a ND sú zobrazené všetky potrebné informácie o polohách kaziet HRK. Prevádzkové, poruchové stavy systému skupinového a individuálneho riadenia pohonov HRK sú registrované a indikované v skrinách monitorovania a diagnostiky. Do informačného a riadiaceho systému je vysielaná informácia o poruche systému ovládania regulačných kaziet. Indikácia zapracovania ochrán reaktora je vyvedená na blokovej dozorni. Panely núdzovej dozorne umožňujú monitorovať podkritickosť reaktora. Pracovné stanice informačného a riadiaceho systému majú rovnakú funkčnosť.

Návrh blokovej dozorne spolu s vysokou úrovňou automatizácie kritických činností znižuje riziko zlyhania ľudského faktora. Pri prekročení dovolených hodnôt sledovaných fyzikálnych parametrov sú ochrany reaktora aktivované automaticky. Pri nesprávnej činnosti operátora, napr. pri vysunutí kaziet HRK o vysokú hodnotu, dochádza opäť k prekročeniu dovolených hodnôt a k automatickému zapracovaniu ochrán reaktora (odstavenie reaktora, znižovanie výkonu reaktora, zákaz zvyšovania výkonu), ktoré majú prioritu nad manuálnym ovládaním kaziet.

V prípade odstavenia reaktora je pomocou automatických zásahov zabezpečené zabránenie vniknutiu ČK do I.O.

6.1.6.1.2.3 Plnenie legislatívnych požiadaviek

Podľa vyhlášky ÚJD SR č. 50/2006, Príloha č.3, Časť B/II., A Primárny okruh, tlaková nádoba a aktívna zóna jadrového reaktora [II.10]:

(1) Tlaková nádoba jadrového reaktora, primárny okruh a jeho pomocné systémy, riadiace systémy a bezpečnostné systémy sa musia projektovať tak, aby

a) počas stavu normálnej prevádzky, pri abnormálnej prevádzke a pri projektových haváriách bola s dostatočnou rezervou zabezpečená požadovaná pevnosť, životnosť a funkčná spoľahlivosť ich častí a zariadení,

- b) nedochádzalo k neprípustným únikom chladiva,
- c) materiály použité na ich výrobu sa vyberali tak, aby sa čo najmenej aktivovali počas normálnej prevádzky,
- d) boli dostatočne odolné proti vzniku a rozvoju porúch.

Technické zdôvodnenie

Výsledky stendových skúšok životnosti pracovných kaziet a kaziet HRK a výsledky skúšok makety kazety HRK spolu s pohonom sú analyzované v kapitole 6.1.1 PpBS [I.2], [III.1], [III.2], [III.3], [III.4], [III.5], [III.6], [III.7], [III.8], [III.9], [III.10]. Projektové parametre pohonov boli overené na dvoch prototypoch pohonov v ŠKODA Plzeň. Tieto prototypy boli podrobené skúškam prevádzkovej spoľahlivosti pri prevádzkových podmienkach a skúškam pri všetkých havarijných režimoch [I.2]. Výsledky skúšok potvrdzujú, že projekt kazety HRK a jej pohonu spĺňa požiadavky na pevnosť, životnosť a funkčnú spoľahlivosť.

Kazeta HRK sa nachádza vo vnútri tlakovej nádoby reaktora a nemôže spôsobiť neprípustný únik chladiva. Pohon kazety HRK tvorí hranicu primárneho okruhu a jeho netesnosť by mohla spôsobiť únik chladiva I.O. Tesnosť I.O. v spojoch pohonu je vo všetkých prevádzkových a havarijných stavoch zabezpečená tesnením z expandovaného grafitu [I.63].

Konstruktívne materiály kaziet HRK a ich pohonov (12Ch18N10T, 08Ch18N10T, 06Ch18N10T, 12Ch18N9T a zirkóniové zliatiny E-110 a E-125) majú nízky absorpčný prierez pre tepelné neutróny, vysokú odolnosť voči deformácii spôsobenej tlakovými rozdielmi a vzájomným mechanickým pôsobením, vysokú koróziu odolnosť voči pôsobeniu chladiva, paliva a štiepných produktov [I.2], [I.4]. Mechanicky namáhané časti pohonov HRK sú vyrobené z materiálov odolných voči mechanickému opotrebeniu (14Ch17N2, 1Ch13N3, 20Ch17N2B-Š). Vyššie spomínané materiály sú dostatočne známe a sú vhodné pre použitie v JE typu VVER-440 [II.4].

- (2) Tlaková nádoba jadrového reaktora a zariadenia primárneho okruhu sa musia projektovať tak, aby bolo možné počas stavu normálnej prevádzky vykonávať pravidelne alebo nepretržite kontrolu ich stavu a skúšky potrebné na overenie jadrovej bezpečnosti.**

Technické zdôvodnenie

Po každej výmene paliva sa v rámci testov fyzikálneho spúšťania vykonáva skúška AO reaktora, meranie celkovej účinnosti kaziet HRK, meranie doby pádu kaziet HRK [I.56] a meranie integrálnej a diferenciálnej charakteristiky 6. skupiny kaziet HRK [I.55], [I.57]. Po každom dosiahnutí kritického stavu sa kontroluje spojenie kaziet HRK s pohonmi [I.54]. Diagnostika a prevádzkový stav systému ovládania regulačných kaziet sa spracúva, zaznamenáva, zobrazuje v skriniach monitorovania a diagnostiky. Poruchy systému sú vysielané do systému PICS.

- (3) Súčasťou projektu tlakovej nádoby jadrového reaktora a zariadení primárneho okruhu musia byť**
- a) programy a metódy prevádzkových kontrol a skúšok,
 - b) kritériá na hodnotenie výsledkov prevádzkovej kontroly a skúšok,
 - c) aplikované viacnásobné fyzické bariéry na zabránenie úniku rádioaktívnych látok do pracovného prostredia a do životného prostredia,
 - d) najmenej tri rôznorodé systémy monitorovania a vyhodnocovania únikov za prevádzky, ak sa použije prístup „únik pred roztrhnutím“.

Technické zdôvodnenie

Plán skúšok a inšpekcií kaziet HRK je uvedený v kapitole 6.1.1 PpBS [I.2]. Programy prototypových, odovzdávacích, spúšťačích a nastavovacích skúšok pohonov kaziet HRK boli vypracované pre dodávku pohonov pre 3. a 4. blok EMO v ŠKODA Plzeň [III.2], [III.3]. Výsledky pevnostného výpočtu modernizovaného pohonu regulačného orgánu, únavovej životnosti a seizmickej odolnosti tlakových častí PRO-M vyhovujú kladeným požiadavkám [III.4], [III.5]. Počas prevádzkovania bloku sa vykonáva kontrola, montáž a nastavenie pohonov kaziet HRK pomocou špeciálneho náradia na vertikálnom stanovišti pre kontrolu pohonov pred montážou pohonov na veko reaktora [I.49]. Montáž pohonu na veko reaktora, jeho opravy alebo výmenu sa vykonáva iba pri odstavenom reaktore, po zavezení plošiny pre obsluhu horného bloku reaktora. Počas prevádzky bloku na výkone je tento priestor neprístupný. Po každej výmene paliva sa v rámci testov FS vykonáva meranie celkovej účinnosti kaziet HRK, meranie doby pádu, meranie integrálnej a diferenciálnej charakteristiky 6. skupiny kaziet HRK [II.7]. Po každom dosiahnutí kritického stavu reaktora sa vykonáva kontrola spojenia kaziet HRK so svojimi pohonmi. Kontrola prevádzkyschopnosti kaziet HRK, indikácie ich polohy, rozsúhlasenia 6. skupiny kaziet HRK, sledovanie teploty pohonov počas kampane sú vykonávané pravidelne, v súlade s požiadavkami na kontrolu uvedenými LaP [I.48].

Prvou bariérou na zabránenie úniku rádioaktívnych látok do pracovného prostredia a do životného prostredia je chemická a fyzikálna štruktúra jadrového paliva. Druhá ochranná bariéra je tvorená pokrytím paliva. Tretia ochranná bariéra je tvorená tlakovou hranicou primárneho okruhu. Štvrtá ochranná bariéra je tvorená hermetickým priestorom. Palivová časť kazety HRK obsahuje palivové prúťky, ktoré plnia funkciu prvej a druhej bariéry. Vzhľadom na to, že pohon kazety HRK je súčasťou hranice I.O., plní taktiež funkciu tretej bariéry.

Počas prevádzky reaktora je detekcia únikov chladiva I.O. zabezpečená diagnostickým systémom [I.10], na princípe merania vlhkosti v HZ, emisie ultrazvukového poľa vybraných komponentov I.O. a na princípe merania radiácie v HZ. Monitorovanie radiačnej situácie vykonáva radiačný monitorovací systém RMS [I.27]. Sledovanie fyzikálnych parametrov AZ zabezpečuje SVRK [I.33]. Systém PAMS [I.45] monitoruje plnenie bezpečnostnej funkcie elektrárne: riadenie reaktivity, chladenie AZ, udržiavanie integrity chladiaceho systému reaktora, udržiavanie integrity HZ, udržiavanie integrity paliva, stanovenie lokality a množstva rádioaktívnych únikov.

(4) Konzervatívny prístup použitý pri projekte aktívnej zóny jadrového reaktora a s ňou spojených riadiacich systémov a bezpečnostných systémov musí zabezpečiť, aby

- a) všetky vnútroreaktorové časti boli navrhnuté, vyrobené a zmontované tak, aby odolali statickým účinkom a dynamickým účinkom pri normálnej prevádzke, abnormálnej prevádzke a pri projektových haváriách v rozsahu potrebnom na zaistenie bezpečného odstavenia jadrového reaktora, na udržanie podkritickosti a dostatočného chladenia aktívnej zóny,
- b) sa pri normálnej prevádzke a abnormálnej prevádzke neprekročili medzné parametre palivových článkov,
- c) pri havarijných podmienkach
 - 1. sa neuvoľnil taký prebytok reaktivity, ktorý by mohol viesť k nekontrolovateľnej štiepnej reakcii,
 - 2. jadrový reaktor bolo možné bezpečne uviesť do podkritického stavu a udržať ho v tomto stave,
 - 3. aktívnu zónu bolo možné chladiť po celý čas uvoľňovania tepla,

4. sa neprekročilo medzné porušenie palivových článkov.

Technické zdôvodnenie

Výsledky skúšok pracovných kaziet a kaziet HRK a výsledky skúšok makety kazety HRK spolu s pohonom sú analyzované v kapitole 6.1.1 PpBS [I.2]. Prototypy pohonov kaziet HRK boli podrobené skúškam prevádzkovej spoľahlivosti pri prevádzkových podmienkach a skúškam pri všetkých havarijných režimoch. Výsledky skúšok potvrdzujú, že kazeta HRK a jej pohon sú navrhnuté tak, aby odolali statickým a dynamickým účinkom pri normálnej prevádzke, abnormálnej prevádzke a pri projektových haváriách v rozsahu potrebnom na zaistenie bezpečného odstavenia jadrového reaktora, na udržanie podkritickosti a dostatočného chladenia aktívnej zóny.

Bezpečnostné analýzy uvedené v podkapitolách kapitoly 7 PpBS [I.20] ukázali, že pri abnormálnej prevádzke nedôjde k prekročeniu medzných parametrov palivových článkov a pri havarijných podmienkach nedôjde k nekontrolovateľnej štiepnej reakcii, reaktor je možné bezpečne odstaviť a udržať ho v podkritickom stave, je zabezpečené chladenie AZ a nedôjde k porušeniu palivových prútikov.

Podľa vyhlášky ÚJD SR č.50/2006, Príloha č.3, Časť II., H Bezpečnostné systémy [II.2]:

- (1) Projekt musí zabezpečiť, aby bezpečnostné systémy mali výstup pre aktiváciu systému odstavenia jadrového reaktora a ďalej tieto systémy musia**
- a) **sa automaticky uviesť do činnosti s cieľom zabezpečiť neprekročenie projektových parametrov pri výskyte udalostí podľa § 2 písm. o) a p) [II.2],**
 - b) **byť schopné uviesť jadrový reaktor do podkritického stavu pri všetkých prevádzkových stavoch a udržať ho v podkritickom stave aj v situácii s najvyššou úrovňou reaktivity aktívnej zóny,**
 - c) **byť schopné zabrániť samovoľnému vzniku kritického stavu; táto požiadavka musí byť splnená aj za predpokladaných činností zvyšujúcich reaktivitu pri uvedení jadrového reaktora do podkritického stavu, a to aj pri jednoduchej poruche týchto systémov,**
 - d) **pozostávať najmenej z dvoch nezávislých systémov založených na rôznych princípoch a schopných vykonávať funkciu aj pri jednoduchej poruche,**
 - e) **byť projektované tak, že jeden zo systémov podľa písmena d) musí byť schopný uviesť jadrový reaktor čo najrýchlejšie do podkritického stavu s rezervou zápornej reaktivity,**
 - f) **byť projektované tak, že jeden zo systémov podľa písmena d) musí byť schopný uviesť jadrový reaktor do podkritického stavu a udržať ho v tomto stave aj v situácii s najvyššou úrovňou reaktivity aktívnej zóny,**
 - g) **umožniť riadenie reaktivity alebo úpravu rozloženia neutrónového toku za prevádzky tak, aby bola neustále zachovaná rezerva zápornej reaktivity na uvedenie jadrového reaktora do podkritického stavu.**

Technické zdôvodnenie

Bezpečnostné systémy RTS, DRTS, EXCORE [I.8], [I.30], [I.32], ESFAS [I.31] aktivujú odstavenie reaktora automaticky, bez zásahu obsluhy, po prekročení nastavených medzných hodnôt vybraných fyzikálnych parametrov. Tabuľka hodnôt nastavenia systému automatických ochrán reaktora RTS a tabuľka hodnôt nastavenia systému zaistenia bezpečnosti ESFAS sú uvedené v [I.48].

Zásoby a zmeny reaktivity, celkové účinnosti systému kaziet HRK, účinnosti vystrelenej kazety, reaktivity reaktora počas výmeny paliva pre prvých 14 predpokladaných záväzkov sú uvedené v kapitole 6.1.3 PpBS [I.3]. Najväčšiu zásobu reaktivity majú bloky na začiatku prvej kampane pri teplote 20°C. Pri odstavení

reaktora v horúcom stave je podkritickosť reaktora zabezpečená pádom kaziet HRK. Pri haváriách, ktoré spôsobujú rýchle vychladzovanie I.O. (napr. LOCA [I.24] alebo pri zvýšení odvodu tepla z I.O. sekundárnym okruhom [I.23]) dochádza po automatickom odstavení reaktora pomocou kaziet HRK aj k automatickej aktivácii HSCHZ a tým k zvýšeniu koncentrácie kyseliny boritej v chladiive I.O. Bezpečne podkritický stav reaktora je tak zabezpečený kombináciou rýchleho odstavenia reaktora pomocou mechanického systému riadenia reaktivity a zvýšením koncentrácie kyseliny boritej v chladiive I.O. Samostatný účinok kaziet HRK by v takýchto prípadoch mohol byť nedostatočný a vplyvom vychladzovania I.O. by mohlo dôjsť k dosiahnutiu sekundárnej nekontrolovanej kritickosti. Rýchle vychladzovanie I.O. je najnebezpečnejšie na konci kampane, kedy má teplotný koeficient reaktivity najviac zápornú hodnotu [I.3]. Kombináciou mechanického systému riadenia reaktivity a zvýšenia koncentrácie kyseliny boritej v chladiive I.O. je možné vždy uviesť jadrový reaktor do podkritického stavu a udržať ho v podkritickom stave aj v situácii s najvyššou úrovňou reaktivity AZ.

Na základe výsledkov deterministických bezpečnostných analýz uvedených v podkapitolách kapitoly 7 PpBS [I.20] je možné prehlásiť, že pri vzniku analyzovaných iniciačných udalostí nedôjde k samovoľnému vzniku kritického stavu (nekontrolovaná kritickosť) ani pri jednoduchej poruche bezpečnostných systémov (napr. zaseknutí jednej kazety HRK v HKP).

Riadenie reaktivity je zabezpečené pomocou dvoch nezávislých systémov založených na rozdielnych fyzikálnych princípoch: systému kaziet HRK a systému bórovej regulácie, príp. HSCHZ. Odolnosť systému kaziet HRK proti jednoduchej poruche (napr. zaseknutie kazety v HKP) je zabezpečená rezervou celkovej účinnosti systému kaziet HRK. V prípade výpadku napájania pohonov kaziet dochádza k voľnému pádu kaziet HRK do AZ vplyvom gravitácie a k odstaveniu reaktora. Odolnosť systému bórovej regulácie [I.19] ale hlavne HSCHZ [I.6] proti jednoduchej poruche je zabezpečená redundanciami dôležitých potrubných trás, nádrží a čerpadiel a aplikovaním zásad funkčného, fyzického a elektrického oddelenia.

Na rýchle odstavenie reaktora slúži systém kaziet HRK. Pri páde kaziet HRK do AZ dochádza k zasúvaniu absorpčnej časti kaziet HRK do AZ a zároveň k vysúvaniu palivovej časti, čím je účinok systému kaziet HRK ešte zosilnený. Požadovaná doba pádu kaziet HRK podľa LaP je v rozmedzí 8 až 13 sekúnd. Pomocou kaziet HRK je možné v horúcom stave bezpečne odstaviť reaktor. Pri ďalšom zvyšovaní reaktivity, napr. vplyvom rýchleho vychladzovania I.O. môže byť na dosiahnutie bezpečnej podkritickosti reaktora potrebné zvýšenie koncentrácie kyseliny boritej v chladiive I.O., napr. nadávkovaním 40g bórneho koncentráту pomocou VT systému HSCHZ [I.6].

Pomocou HSCHZ príp. pomocou systému bórovej regulácie je možné zvýšením koncentrácie kyseliny boritej v chladiive I.O. nad odstavnú hodnotu C_{VP/H_3BO_3} uviesť jadrový reaktor do podkritického stavu a udržať ho v tomto stave aj v situácii s najvyššou úrovňou reaktivity aktívnej zóny.

Počas normálnej prevádzky reaktora je 6. skupina regulačných kazietu držiavaná v dovolenom rozmedzí polôh [I.3], čím je zachovaná rezerva zápornej reaktivity na rýchle odstavenie reaktora do podkritického stavu. Prevádzkyschopnosť HSCHZ a zásoba bórneho koncentrátu v jeho nádržiach sú pravidelne kontrolované, v súlade s požiadavkami na kontrolu uvedenými v LaP [I.48].

- (2) Projekt musí zahŕňať aj výskyt možných postulovaných iniciačných udalostí v stavoch nízkeho výkonu alebo odstavenia reaktora, keď môže byť znížená pohotovosť bezpečnostných systémov alebo radiacích systémov.**

Technické zdôvodnenie

Nekontrolované vyťahovanie skupiny kaziet HRK pri spúšťaní je analyzované v kapitole 7.2.1.2 PpBS [I.22]. Havárie a očakávané prechodové procesy pre nevýkonové prevádzkové režimy sú analyzované v kapitole 7.2.1.14 PpBS [I.26]. Uvedené bezpečnostné analýzy preukazujú jadrovú bezpečnosť pri uvedených možných stavoch.

- (3) **Projekt musí zabezpečiť kvalifikované prístrojové vybavenie vrátane záznamových zariadení na zaistenie nevyhnutných informácií pre monitorovanie zmien stavu prostredia jadrového zariadenia, stavu jeho bezpečnostných systémov pre automatické odstavenie reaktora a zmiernenie následkov havárií, ako aj ostatných systémov dôležitých pre bezpečnosť počas havarijných podmienok a po nich, v prípade vybraných ťažkých havárií len v primeranej miere. Tento systém musí poskytovať vybraným zamestnancom potrebné informácie o priebehu havárie a uvoľnení rádioaktívnych látok.**

Technické zdôvodnenie

Všetky dôležité parametre o stave AZ, dôležitých zariadení a bezpečnostných systémov sú zobrazované a zaznamenávané na samotných zariadeniach, paneloch BD a ND [I.17], [I.18] a v systéme PICS [I.11]. Všetky dôležité prístroje, záznamové zariadenia, ktoré monitorujú dôležité parametre stavu prostredia jadrového zariadenia sú kvalifikované.

V porovnaní s vyhláškou ÚJD SR č. 50/2006 [II.10], vyhláška č. 430/2011 [II.2] obsahuje zmenu značenia osobitnej požiadavky H na I.

Záverom možno konštatovať, že projekt systému mechanického riadenia reaktivity spĺňa všetky požiadavky definované pre podporný bezpečnostný systém vo vyhláške ÚJD SR č. 50/2006 [II.10], ako aj v súčasnosti platnej vyhláške ÚJD SR č. 430/2011 [II.2].

6.1.6.1.2.4 Hodnotenie bezpečnosti

6.1.6.1.2.4.1 Ochranné systémy

Odstavenie jadrového reaktora za stavu abnormálnej prevádzky, ktorý by mohol viesť k havarijným podmienkam, a na odstavenie jadrového reaktora s cieľom zmierniť následky havarijných podmienok zabezpečujú ochranné systémy automatického odstavenia reaktora.

Funkciou havarijných vypínačov je odstavenie reaktora prerušením silového napájania pohonov regulačných kaziet a tým spôsobené spustenie všetkých kaziet pôsobením zemskej gravitácie do aktívnej zóny reaktora.

Prerušenie napájania pohonov kaziet HRK môže byť vykonané nezávisle dvoma systémami odstavenia reaktora..

Systémy odstavenia reaktora pracujú plne automaticky bez možnosti zásahu operátora. Pôsobenie akčného signálu na odstavenie reaktora je neprerušiteľné [I.21].

Bezpečnostné systémy pôsobiace na odstavenie reaktora podľa analýz spoľahlivosti [I.28] spĺňajú na ne kladené požiadavky.

Operátor môže manuálne iniciovať signál pôsobiaci na odstavenie reaktora.

Systém EXCORE má výberovú logiku.

Bezpečnostný riadiaci systém aktivácie technických prostriedkov zaistenia bezpečnosti tvorí súčasť ochranných systémov bloku JE. Systém pracuje plne automaticky.. Systém je odolný voči jednoduchej poruche a poruche zo spoločnej príčiny. Redundantné časti systému sú vzájomne nezávislé (funkčne, elektricky a priestorovo). Umožňuje realizáciu periodických skúšok pre preukázanie funkčnej spôsobilosti, pri zachovaní schopnosti realizovať projektové funkcie. Umožňuje včasné rozpoznanie a odstránenie porúch zariadenia. Pri rozpoznaní poruchy sa systém automaticky nastaví do bezpečného stavu. Zabezpečená je odolnosť voči zlyhaniu ľudského faktora a iným vplyvom [I.9]. Nezávislosť systému je zabezpečená funkčnou izoláciou, fyzickou separáciou [I.67].

Pri platnom signále AO1 sú v limitačnom systéme reaktora automaticky generované signály AO3 a AO4.

Systém ovládania regulačných kaziet je seizmicky odolný. Úroveň seizmickej odolnosti. zahŕňa systémy a komponenty, ktoré by mohli v dôsledku seizmických interakcií priamo alebo sprostredkované spôsobiť stratu funkčnosti, pevnosti, hermetickosti alebo stability polohy prvkov zaradených do 1. seizmickej kategórie. Konštrukčné riešenie skrií systému zabezpečí, že skrine vyhovujú pri skúškach na seizmickú odolnosť a elektromagnetickú kompatibilitu. Postup skúšok je opísaný v sprievodnej technickej dokumentácii. Po pripravenosti nadväzujúcich systémov sa v režime simulácie automaticky otestuje funkčnosť jednotlivých častí systému. Funkčnosť jednotlivých podsystémov a komunikácií sa overí na obrazovke príslušnej skrine, a to i v prípade, že nie je hlásená žiadna porucha - tzn. na príslušných skriniach systému a hornom paneli nesvieti ani jedna poruchová signálka. Funkčnosť elektronických jednotiek a blokov náhradných dielov musí byť pravidelne overovaná[I.29].

V rámci opravnej údržby systému RRCS nie sú plánované opravy komponentov, chybná časť bude vymenená a nahradená funkčnou. Systém RRCS obsahuje vlastnú vnútornú trvalo pracujúcu diagnostiku. Táto diagnostika v prípade poruchy signalizuje príchod sumárnej poruchy na hornom paneli SMD a ďalej bude signalizovaná na obrazovke SMD.

Projektová životnosť systému RRCS je 40 rokov. Táto životnosť systému bude zabezpečená dodávkou náhradných dielov, respektíve ich kompatibilných modulov [I.29].

6.1.6.1.2.4.2 Kazety HRK a ich pohony

Napájanie motoru kazety HRK je zálohované. [I.29].

Spojenie (uzamknutie) kazety HRK s mechanizmom pohonu je možné kontrolovať automaticky. Systém RRCS obsahuje programové prostriedky pre podporu vykonania skúšok pohonov HRK na reaktore.

Výpočtové hodnoty celkových účinností systému kaziet HRK a účinností kaziet HRK s jednou najúčinnnejšou kazetou zaseknutou v HKP pre prvých 14 palivových kampaní 3. bloku EMO sú uvedené v kapitole 6.1.3 PpBS, tab. 6.6.1.3.2.8-2 [I.3]. Celkové účinnosti systému kaziet HRK s jednou zaseknutou najúčinnnejšou kazetou pre nominálny a nulový výkon na začiatkoch a koncoch palivových kampaní sú uvedené v tab. 6.6.1.3.2.8-2 [I.3] a je určená minimálna účinnosť pre tieto stavy reaktora. Táto výpočtová hodnota vstupuje do bezpečnostných analýz, ktoré preukazujú schopnosť mechanického systému riadenia reaktivity bezpečne odstaviť reaktor aj v prípade zaseknutia najúčinnnejšej kazety HRK v HKP [I.3], [I.22]. Výpočtové hodnoty účinnosti mechanického systému kaziet HRK sú experimentálne overované meraním na začiatku každej palivovej kampane počas FS [II.7]. Pri tomto overovaní sa porovnáva súlad výpočtových a nameraných hodnôt v rámci stanovených kritérií úspešnosti testov FS [II.7]. Splnením kritéria úspešnosti je experimentálne overená výpočtová hodnota účinností systému kaziet HRK a je možné pokračovať v činnostiach nábehu bloku.

Ak dôjde po odstavení reaktora pomocou kaziet HRK k vychladzovaniu I.O. na zabezpečenie podkritickosti reaktora je potrebné aj zvýšenie koncentrácie kyseliny boritej v chladive I.O.

Vo všetkých režimoch normálnej prevádzky sa kazety HRK pohybujú pracovnou rýchlosťou 2 cm/s.

V rámci kapitoly 7.2.1.2 PpBS [I.22] boli vykonané tieto analýzy bezpečnosti týkajúce sa zlyhania mechanického systému riadenia reaktivity: nekontrolované vyťahovanie skupiny kaziet HRK pri spúšťaní, nekontrolované vyťahovanie skupiny kaziet HRK na výkone, neriadený pohyb kaziet HRK a vystrelenie kazety HRK z aktívnej zóny. Z vykonaných analýz vyplýva, že v prípade vzniku uvedených iniciačných udalostí nenastane porušenie kritérií prijateľnosti stanovených pre danú kategóriu procesov [I.22].

Analýza očakávaných udalostí so zlyhaním automatického odstavenia reaktora (ATWS) bola vykonaná v kapitole 7.2.1.9 PpBS [I.25]. Výsledky analýz ukazujú, že v prípade vzniku analyzovaných iniciačných udalostí nedôjde k porušeniu kritérií prijateľnosti stanovených pre danú kategóriu procesov.

Okrem regulácie reaktivity v normálnych a abnormálnych režimoch plní mechanický systém riadenia reaktivity aj bezpečnostnú funkciu 2b [II.2], [I.1] „Zariadenia na odstavenie jadrového reaktora za stavu abnormálnej prevádzky, ktorý by mohol viesť k havarijným podmienkam, a na odstavenie jadrového reaktora s cieľom zmierniť následky havarijných podmienok“.

Kazety HRK a pohony kaziet HRK sú projektované na prácu v prostredí a pri parametroch chladiva primárneho okruhu. Doterajšie skúsenosti z prevádzky blokov VVER-440, preukázanie podľa výpočtov a vykonané skúšky [I.2], [III.1], [III.2], [III.3], [III.4], [III.5], [III.6], [III.7], [III.8], [III.9], [III.10] ukazujú, že konštrukcia kaziet HRK a ich pohonov s dostatočnou rezervou zabezpečuje splnenie požiadaviek na ich pevnosť, tesnosť, životnosť, seizmickú odolnosť a funkčnú spoľahlivosť. Kazety HRK, pohony kaziet HRK a výkonové vypínače sú schopné odolať statickým účinkom a dynamickým účinkom pri normálnej prevádzke, abnormálnej prevádzke a pri projektových haváriách v rozsahu potrebnom na zaistenie bezpečného

odstavenia jadrového reaktora, na udržanie podkritickosti a dostatočného chladenia aktívnej zóny [III.5], [III.7], [III.8], [III.9], [III.10].

Materiály použité pri konštrukcii kaziet HRK a ich pohonov (12Ch18N10T, 08Ch18N10T, 06Ch18N10T, 12Ch18N9T a zirkóniové zliatiny E-110 a E-125) sú dostatočne overené a vhodné pre použitie v jadrových aplikáciách [II.4], [I.4], [I.2]. Sú odolné voči rozvoju porúch, majú vhodné mechanické vlastnosti a neaktivujú sa nadmerne počas prevádzky. Mechanicky namáhané časti pohonov HRK sú vyrobené z materiálov odolných voči mechanickému opotrebeniu (14Ch17N2, 1Ch13N3, 20Ch17N2B-Š).

Pohon regulačného orgánu PRO-M je kontrolovaný a skúšaný v súlade s internou dokumentáciou zhotoviteľa Škoda JS a.s. [III.2]. Rozsah kontrolných operácií pre jednotlivé diely a podskupiny PRO-M sú predpísané na výrobných výkresoch, vrátane požadovaných kritérií úspešnosti. Pri realizácii výroby sú vykonané jednotlivé nedeštruktívne skúšky:

- Skúška ultrazvukom,
- Skúška prežarovaním,
- Skúšanie kapilárnou metódou,
- Skúška magnetickou práškovou metódou.

Pred začiatkom prevádzky sa každý PRO-M podrobuje skúškam podľa technického popisu a návodu na obsluhu PRO-M, ktorý je vypracovaný zhotoviteľom. Súčasťou skúšok pred uvedením do prevádzky je aj kontrola na vertikálnom stojane v JE. Predprevádzkové kontroly budú prebiehať podľa Programu spúšťacích prác PRO-M, ktorý je vypracovaný a odoslaný na schválenie pred zahájením montážnych prác [I.49], [III.13], [III.14], [III.15].

Požiadavky na údržbu PRO-M sú stanovené v dokumente Technický popis a návod na obsluhu PRO-M vypracovaný zhotoviteľom.

Havarijné odvodušenie reaktora je realizované cez odvodušenie jednej kazety HRK. Analýzy vykonané v rámci bezpečnostného opatrenia S14 [III.9], [III.10], [III.11], preukázali, že táto funkcia kazety nebude mať negatívny vplyv na riadenie reaktivity pomocou kaziet HRK.

Vo všetkých režimoch normálnej prevádzky nie je prekročená dovoľená hodnota rýchlosti vnosu kladnej reaktivity pri vysúvaní kaziet HRK [I.3].

Riadenie reaktivity je založené na dvoch rozdielnych princípoch: mechanickom princípe a na princípe kvapalného absorbátora (kyseliny boritej). Mechanický systém riadenia reaktivity umožňuje rýchle odstavenie reaktora v prevádzkovom (horúcom) stave aj v prípade zaseknutia jednej najúčinnnejšej kazety HRK v HKP [I.3]. Mechanický systém riadenia reaktivity v spolupráci so systémom bórovej regulácie resp. HSCHZ sú schopné uviesť reaktor do podkritického stavu aj v situácii s najvyššou úrovňou reaktivity aktívnej zóny a zabrániť samovoľnému rozvoju štiepnej reakcie. Koncepcia riadenia reaktora VVER-440 umožňuje, aby bola neustále zachovaná rezerva zápornej reaktivity na uvedenie jadrového reaktora do podkritického stavu. Bezpečnostné systémy aktivujú odstavenie reaktora a HSCHZ automaticky, bez zásahu obsluhy.

V projekte je zabezpečená dostatočná samo diagnostika bezpečnostných systémov, archivácia a vyvedenie všetkých dôležitých informácií o mechanickom systéme riadenia reaktivity na panely BD a ND, [I.17], [I.18] a do počítačového informačno-riadiaceho systému PICS [I.11].

Bezpečnostné analýzy iniciačných udalostí vyvolaných zlyhaním mechanického systému riadenia reaktivity [I.22] a analýzy ATWS [I.25] ukázali, že pri ich vzniku nenastane porušenie kritérií prijateľnosti stanovených pre danú kategóriu procesov.

6.1.6.2 Systém bórovej regulácie

Kapitola PpBS 6.1.6.2 je vypracovaná v súlade s bezpečnostným návodom ÚJD SR BNS I.1.2/2008 [II.5], pričom bolo prihladené k novému platnému návodu BNS I.1.2/2014 [II.11] (v primeranom rozsahu).

Pri vypracovaní predmetnej kapitoly PpBS boli súčasne zohľadnené aj pripomienky k PBS uvedené v rozhodnutí ÚJD SR č. 267/2008 [II.12].

Systém bórovej regulácie je založený na zmene koncentrácie kyseliny boritej (absorbátora) v chladive I.O. Riadenie je uskutočnené systémom doplňovania primárneho okruhu a bórovej regulácie v normálnych a abnormálnych prevádzkových podmienkach, zatiaľ čo havarijný systém chladenia aktívnej zóny zasahuje v havarijných prevádzkových podmienkach. Okrem chladenia aktívnej zóny je jeho účelom rýchlo vytvoriť odstavnu koncentráciu kyseliny boritej v chladive I.O.

Táto časť sa zaoberá najmä systémom doplňovania primárneho okruhu a bórovej regulácie. Havarijný systém chladenia aktívnej zóny je opísaný v [I.6].

6.1.6.2.1 Popis systému

6.1.6.2.1.1 Účel

Účelom systému doplňovania a bórovej regulácie je umožniť v normálnych a abnormálnych podmienkach prevádzky bloku riadenie reaktivity zmenou koncentrácie kyseliny boritej (absorbátora) v chladive I.O. Bórová regulácia umožňuje kompenzáciu dlhodobých zmien reaktivity v priebehu kampane (vyhorievanie), plynulé dosiahnutie prvého kritického stavu reaktora po výmene paliva, udržiavanie polohy regulačných kaziet v dovolenom rozsahu (prekompenzácia), vytvorenie a udržanie bezpečnej podkritickosti reaktora pri výmene paliva alebo pri potrebe vychladiť blok.

6.1.6.2.1.2 Bezpečnostné funkcie

Základnou bezpečnostnou funkciou systému doplňovania a bórovej regulácie je v súlade so zákonom č. 541/2004 Z. z. [II.1] „regulácia reaktivity“, „odvod tepla“ a „zadržanie rádioaktívnych materiálov vnútri fyzických bariér“.

Zaradenie nasledovných zariadení do bezpečnostných tried je v súlade s vyhláškou ÚJD SR č. 50/2006 Z.z. [II.10] a dokumentom „Zoznam vybraných zariadení pre 3. blok MO34 a spoločné zariadenia 3. a 4. bloku – textová časť“ [I.71] schváleného rozhodnutím ÚJD SR č. 63/2015 [II.13].

Hlavnou funkciou havarijného systému chladenia aktívnej zóny je *„odvod tepla z aktívnej zóny jadrového reaktora pri porušení chladiaceho okruhu jadrového reaktora s cieľom obmedziť poškodenie paliva“* [II.2].

Systém doplňovania a bórovej regulácie slúži *„na zabránenie neprípustným prechodovým procesom spojeným so zmenami reaktivity“, a „na udržanie dostatočného množstva chladiva na chladenie aktívnej zóny jadrového reaktora pri normálnej prevádzke a abnormálnej prevádzke“* [II.2].

Podrobná informácia o klasifikácii systémov a bezpečnostných funkciách je uvedená v [I.1].

6.1.6.2.1.3 Klasifikácia

Zariadenia mechanického systému riadenia reaktivity sú v súlade s vyhláškou 50/2006 [II.10] zaradené do bezpečnostnej triedy II a III

Zariadenia systému dopĺňovania I.O. a regulácie H_3BO_3 sú navrhnuté, skonštruované, dodané a inštalované v zmysle vyhlášky ÚJD SR č. 50/2006 [II.10] a v súlade s dokumentom „Zoznam vybraných zariadení pre 3. blok MO34 a spoločné zariadenia 3. a 4. bloku – textová časť“ [I.71] a príslušnými Plánmi kvality vybraných zariadení pre dané zariadenia mechanického systému riadenia reaktivity vydanými na základe zákona č. 541/2004 Z.z. [II.1], resp. v dobe odovzdania platnej vyhlášky ÚJD SR č. 56/2006 [II.14].

Po uplynutí platnosti prechodného ustanovenia uvedenom vo vyhláške ÚJD SR č. 430/2011 (viď. [II.2], §7 "Prechodné ustanovenie", t.j. 31.12.2014) je v platnosti §3 „Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried" predmetnej vyhlášky (t.j. ÚJD SR č. 430/2011 [II.2]).

Na základe vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 [II.2] pre vybrané zariadenia nie sú dodatočné požiadavky v porovnaní s vyhláškou ÚJD SR č. 50/2006 [II.10].

Z uvedeného a s odvolaním na obsah a konštatovania kap. 6.1.6.2.1.2 vyššie vyplýva, že **zariadenia systému dopĺňovania I.O. a regulácie H_3BO_3 požiadavky platnej vyhlášky ÚJD SR č. 430/2011 [II.2] (t.j. po uplynutí prechodného ustanovenia, viď §7 „Prechodné ustanovenie“ platné do 31.12.2014), spĺňajú.**

6.1.6.2.1.4 Funkcia systému bórovej regulácie

Riadenie reaktivity pomocou bórovej regulácie sa vykonáva zmenou koncentrácie rozpustného absorbátora (roztok kyseliny boritej), ktorý je rovnomerne rozložený v objeme chladiva I.O. Zvyšovanie koncentrácie kyseliny boritej sa vykonáva dávkovaním koncentráту kyseliny boritej do I.O. Pri zvyšovaní koncentrácie kyseliny boritej dochádza k zlepšovaniu absorpčných vlastností moderátora a k utlmovaniu štiepnej reakcie (vnesenie zápornej reaktivity). Znižovanie koncentrácie kyseliny boritej sa vykonáva dávkovaním čistého kondenzátu do I.O. Pri znižovaní koncentrácie kyseliny boritej dochádza k zhoršovaniu absorpčných vlastností moderátora a k rozvoju štiepnej reakcie (vnesenie kladnej reaktivity). Schéma systému bórovej regulácie a dopĺňovania je v [I.60].

Počas normálnej a abnormálnej prevádzky sa zmena koncentrácie kyseliny boritej vykonáva dávkovaním čistého kondenzátu alebo koncentráту kyseliny boritej do chladiva I.O. pomocou systému dopĺňovania a bórovej regulácie.

Znižovanie koncentrácie kyseliny boritej v I.O. (vnesenie kladnej reaktivity)

Chladivo odpúšťané z I.O. prechádza cez regeneratívny výmenník do odplyňovača, kde sa odplyní. Znižovanie koncentrácie kyseliny boritej v chladive I.O. sa dosahuje dopĺňovaním čistého kondenzátu do I.O. Čistý kondenzát je privádzaný na sanie dopĺňovacích čerpadiel z odplyňovača bórovej regulácie alebo priamo zo systému čistého kondenzátu. Z výtlaku dopĺňovacích čerpadiel smeruje dopĺňované médium na upchávky HCČ a do I.O. Časť chladiva je pomocou čerpadiel odpúšťania odpúšťaná cez systém čistenia drenážnych vôd do nádrže nečistého kondenzátu. Požadovaný prietok chladiva dopĺňovaného do I.O. je nastavený ručne pomocou regulátora na trase dopĺňovania. Regulátor na trase odpúšťania reguluje hladinu v kompenzátore objemu.

Na začiatku palivovej kampane (po výmene paliva) je v chladive I.O. odstavná koncentrácia kyseliny boritej na výmenu paliva a reaktor je hlboko podkritický. Dosahovanie prvého kritického stavu sa vykonáva vysunutím kaziet HRK do predpísanej polohy a následným postupným znižovaním koncentrácie kyseliny boritej až na úroveň kritickej koncentrácie. Najprv sa koncentrácia kyseliny boritej zníži pripojením filtrov systému čistenia vôd I.O. [I.5], [I.44], ktoré sa nasýti. Ďalej je koncentrácia kyseliny boritej znižovaná dopĺňovaním čistého kondenzátu do I.O. pomocou systému dopĺňovania a bórovej regulácie v režime veľkej bórovej regulácie a v režime malej bórovej regulácie.

V priebehu kampane je potrebné úbytok reaktivity spôsobený vyhorevaním paliva kompenzovať postupným znižovaním koncentrácie kyseliny boritej v chladive I.O. Účinnosť vodovýmeny pri znižovaní koncentrácie kyseliny boritej so znižovaním koncentrácie klesá. Na konci kampane, kedy je koncentrácia kyseliny boritej v chladive I.O. nižšia ako 0,5 g/kg, sa na zvýšenie rýchlosti vyváždzania kyseliny boritej z I.O. využíva pripojenie filtrov čistiacej stanice drenážnych vôd[I.34].

Zvyšovanie koncentrácie kyseliny boritej v I.O. (vnesenie zápornej reaktivity)

Chladivo odpúšťané z I.O. prechádza cez regeneratívny výmenník do odplyňovača, kde sa odplyní. Časť chladiva z odplyňovača je potom pomocou čerpadiel odpúšťaná odpúšťaná cez systém čistenia drenážnych vôd [I.34] do nádrže nečistého kondenzátu a časť je privádzaná do sania doplňovacích čerpadiel. Do sania doplňovacích čerpadiel sú privádzané aj organizované úniky a koncentrát kyseliny boritej zo systému bórneho koncentráту. Z výtlaku doplňovacích čerpadiel smeruje doplňované médium na upchávky HCČ a do I.O. Požadovaný prietok chladiva doplňovaného do I.O. je nastavený ručne pomocou regulátora na trase doplňovania. Regulátor na trase odpúšťania drží konštantnú hladinu v kompenzátore objemu.

So znižovaním koncentrácie kyseliny boritej počas kampane sa účinnosť zvyšovania koncentrácie zvyšuje. Zvyšovanie koncentrácie pomocou systému doplňovania a bórovej regulácie sa vykonáva vždy na konci kampane, kedy je potrebné vytvoriť v chladive I.O. odstavnú koncentráciu na výmenu paliva. Počas kampane sa zvyšovanie koncentrácie pomocou systému doplňovania a bórovej regulácie niekedy vykonáva pri tzv. prekompenzácií keď sa poloha kaziet HRK blíži k minimálnej dovolenej polohe alebo ak je z dôvodu opravy alebo plynutia LaP potrebné zvýšiť koncentráciu kyseliny boritej v chladive I.O. V havarijných režimoch spojených s únikom chladiva I.O. je aktivovaný havarijný systém chladenia aktívnej zóny [I.6], [I.41], [I.42], ktorého úlohou je okrem zabezpečenia chladenia AZ aj vytvorenie bezpečnej podkritickosti reaktora nadávkovaním koncentráту kyseliny boritej do chladiva I.O. Koncentrácia kyseliny boritej v chladive I.O. je monitorovaná pomocou kontinuálnych meraní (bóromery) a chemických analýz vzoriek chladiva.

Počas normálnej prevádzky musia byť splnené nasledovné podmienky:

- doplňovacie čerpadlá musia byť počas normálnej prevádzky prevádzkyschopné [I.48], jeden doplňovací agregát je dovolené vyradiť z prevádzky na dovolenú dobu. Ak v tejto dobe vznikne porucha na niektorom z ostatných dvoch čerpadiel je dovolené prevádzkovať blok len po definovanú obmedzenú dobu,
- musí byť prevádzkyschopná aspoň jedna trasa doplňovania chladiva do I.O. a odpúšťania z I.O.,
- musia byť prevádzkyschopné tri čerpadlá bórového roztoku pričom sa pripúšťa vyradiť jedno čerpadlo na špecifikovanú maximálnu dovolenú dobu. Ak v tejto dobe vznikne porucha, je možné prevádzkovať blok po definovanú obmedzenú dobu,
- v nádrži bórneho koncentráту musí byť predpísané minimálne množstvo koncentráту kyseliny boritej s predpísanou koncentráciou [I.48],
- prevádzkyschopnosť systému doplňovania sa musí overovať súčasne s previerkou ochrán a blokad v predpísaných časových intervaloch.

Systémy na riadenie reaktivity väčšinou fungujú samostatne. Kombinovaná činnosť týchto systémov je vyžadovaná napr. pri prekompenzácií (zmena polohy regulačných kaziet za súčasnej zmeny koncentrácie kyseliny boritej v I.O.), odstavení reaktora na konci kampane alebo v havarijných režimoch. Vždy ide o vnášanie kladnej reaktivity pomocou jedného systému a zápornej reaktivity pomocou druhého systému

alebo o vnášanie zápornej reaktivity viacerými systémami (napr. pád všetkých kaziet HRK do AZ spojený so zvyšovaním koncentrácie kyseliny boritej v chladive I.O.). Je prísne zakázané súčasne vnášať kladnú reaktivitu rôznymi spôsobmi.

6.1.6.2.1.5 Popis projektu

Systém doplňovania primárneho okruhu a regulácia kyselinou boritou obsahuje nasledujúce základné podsystémy:

- Systém normálneho doplňovania a bórovej regulácie,
- Systém odpúšťania chladiwa I.O.,
- Systém technologická para – kondenzát,
- Systém rozvodu dusíka,
- Systém rozvodu chemikálií,
- Systém rozvodu technickej vody,
- Systém olejového hospodárstva čerpadiel doplňovania a bórovej regulácie,

Systém normálneho doplňovania a bórovej regulácie je určený k:

- Prívodu vody na upchávky HCČ vo všetkých režimoch prevádzky elektrárne,
- Doplňovaniu I.O. (kompenzácia neorganizovaných únikov),
- Vráteniu organizovaných únikov vo všetkých prevádzkových režimoch elektrárne do I.O.,
- Doplňovaniu I.O. v režimoch bórovej regulácie,
- Doplňovaniu I.O. v havarijných režimoch (netesnosti primárneho okruhu, prasknutie parovodu),
- Dochladzovaniu KO (v prípade odstavených HCČ),
- Regulovanému prívodu čistého kondenzátu do odplyňovačov doplňovania a bórovej regulácie,
- Zaplneniu I.O.

Systém normálneho doplňovania I.O. a bórovej regulácie sa nachádza vonku a vo vnútri hermetickej zóny. Nižšie je poskytnutá informácia o týchto systémoch.

6.1.6.2.1.5.1 Hlavné komponenty systému

6.1.6.2.1.5.1.1 Systém doplňovania a bórovej regulácie

Odplyňovače: Odplyňovač doplňovania zabezpečuje odplynenie chladiwa I.O. (odpúšťaného pri rôznych režimoch bórovej regulácie) a odplynenie organizovaných únikov. Odplyňovač bórovej regulácie slúži k ohrevu a odplyneniu čistého kondenzátu, riedeniu a odvodu uvoľnených plynov pri odplynení. Dočasne môže odplyňovač bórovej regulácie plniť funkciu odplyňovača doplňovania v prípade jeho výpadku.

Regeneratívne výmenníky, hlavné doplňovacie čerpadlá, dochladzovače: Odplynený čistý kondenzát v odplyňovači bórovej regulácie alebo chladiwo I.O. odplynené v odplyňovači doplňovania sú privádzané na sanie doplňovacích čerpadiel cez regeneratívne výmenníky, v ktorých sa ochladzujú na cca 50°C. Pri

zvýšení teploty odplyneného chladiva za týmito chladičmi nad 55°C sa uvádzajú do prevádzky dochladzovače.

Predradné doplňovacie čerpadlá: Zabezpečujú bezkavitačnú prevádzku hlavného čerpadla.

Čerpadlá odpúšťania: Počiatočné zaplnenie I.O. sa vykonáva pomocou jedného čerpadla odpúšťania. Obe čerpadlá zaisťujú odpúšťanie chladiva I.O. vo všetkých režimoch.

6.1.6.2.1.5.1.2 Hlavné komponenty systému doplňovania bórneho koncentráту

Zásobné nádrže bórneho koncentráту: Pracovné nádrže koncentráту bóru (40 g H₃BO₃/kg H₂O).

Nízkotlaké čerpadlo koncentráту kyseliny boritej: Pri zvyšovaní koncentrácie kyseliny boritej v primárnom okruhu je bórový koncentrát privádzaný do sacieho kolektora doplňovacieho čerpadla alebo do odplyňovačov pomocou nízkotlakého čerpadla bórového koncentráту.

Havarijné čerpadlá bórneho koncentráту: Zabezpečujú dodávku bórového koncentráту do sacieho kolektora doplňovacích čerpadiel.

Vysokotlaké čerpadlá koncentráту kyseliny boritej: Zabezpečujú doplňovanie koncentráту H₃BO₃ do I.O.

6.1.6.2.1.5.1.3 Hlavné komponenty systému ČK a vlastnej spotreby

Čerpadlá ČK systému doplňovania: Zabezpečujú dodávanie čistého kondenzátu k jednotlivým spotrebičom, ktoré sú v HVB a BPP.

Čerpadlá ČK systému bórovej regulácie: Zabezpečujú dodávanie čistého kondenzátu k jednotlivým spotrebičom, ktoré sú v HVB a BPP.

Čerpadlá vody vlastnej spotreby: Zabezpečujú dodávanie vody vlastnej spotreby k jednotlivým spotrebičom, ktoré sú v HVB a BPP.

Nádrže čistého kondenzátu: Slúžia na zásobu čistého kondenzátu.

Tepelný výmenník ohrevu vody: Využíva sa na ohrev obsahu nádrží vody vlastnej spotreby, na prívod ohriatej vody vlastnej spotreby.

6.1.6.2.1.5.1.4 Hlavné komponenty čistiacej stanice vôd I.O.

Regeneratívne protiprúdové výmenníky, protiprúdové dochladzovače: Účelom je ochladiť a dochladiť chladivo I.O. na teplotu prípustnú pre vstup do ionexového filtra, ktorého náplň znáša teplotu najviac do 60°C.

Katexový filter: Zachytáva produkty korózie konštrukčných materiálov obsiahnuté v chladive a zbavuje chladivo rozpustených produktov v kationovej forme. Ako filtračné médium je použitý katexový filter vo forme H⁺.

Anexový filter: Slúži na čistenie chladiva I.O. zachytávaním rozpustených produktov v aniónovej forme a zabezpečuje stabilitu chemického zloženia chladiacej vody. Ako filtračné médium je použitý anexový filter vo forme OH⁻.

Zmesný filter: Slúži na čistenie chladiva I.O.

Mechanické filtre (lapače ionexov): Slúžia na prípadné zachytenie ionexových častíc vyplavených z filtrov. Ako filtračné médium je použitá zmes katex vo forme H⁺ a anex vo forme OH⁻.

6.1.6.2.1.5.1.5 Hlavné komponenty čistiacej stanice drenážnych vôd

Nádrže nečistého kondenzátu: Do nádrží sú privádzané vody I.O. v režime bórovej regulácie a v režime dochladzovania. Tvoria zásobu média pre prevádzku destilačnej stanice.

Čerpadlá nečistého kondenzátu: Slúžia k prečerpávaniu nečistého kondenzátu k prečisteniu na destilačnej stanici alebo na filtroch.

Katexový filter v H^+ forme: Slúži k čisteniu chladiča I.O. pred skladovaním v nádrži nečistého kondenzátu a k čisteniu chladiča I.O. pri znižovaní obsahu H_3BO_3 v chladiči I.O. v režime bórovej regulácie pri hlbokom vyhorení paliva. Ako náplň sa používa katex vo forme H^+ .

Anexový filter v $(BO_3)^{3-}$ forme: Slúži k čisteniu chladiča I.O. pred skladovaním v nádrži nečistého kondenzátu. Ako náplň sa používa anex.

Anexový filter v OH^- forme: Slúži k znižovaniu obsahu H_3BO_3 v režime bórovej regulácie pri hlbokom vyhorení paliva. Ako filtračné médium je použitý anexový filter vo forme OH^- .

Mechanický filter štrbinového typu: Slúži k zachyteniu ionexových častíc väčších ako 0,1 mm z anexových a katexových filtrov.

6.1.6.2.2 Bezpečnostné hodnotenie systému

6.1.6.2.2.1 Projektové princípy dosiahnutia spoľahlivosti funkcií

Odolnosť voči jednoduchej poruche a poruche so spoločnou príčinou nie je vyžadovaná v návrhu systému doplňovania a bórovej regulácie [I.1]. Havarijný systém chladenia aktívnej zóny spĺňa podmienky odolnosti voči jednoduchej poruche a poruche so spoločnou príčinou. Pasívna časť tohto systému je navrhnutá ako redundantný systém so zálohovaním, ktorého redundancie sú fyzicky a funkčne nezávislé; všetky aktívne časti havarijného systému chladenia aktívnej zóny sú navrhnuté ako redundantné so zálohovaním, ktorých redundancie sú fyzicky oddelené a funkčne nezávislé, čo sa týka kontrolných a napájacích systémov. Navyše individuálne redundantné systémy sú umiestnené v špeciálne stavebne oddelených miestnostiach. Detailné bezpečnostné hodnotenie havarijného systému chladenia aktívnej zóny je v [I.6].

6.1.6.2.2.2 Ľudský faktor

Kontrola reaktivity systémom doplňovania a bórovej regulácie vyžaduje manuálne manipulácie operátorov. Manipulácie sú vykonávané prostredníctvom počítačovej stanice (softvérová kontrola) alebo klasickými ovládacími prvkami na konzolách. Hlavná a núdzová bloková dozornia rešpektuje súčasné ergonomické požiadavky [I.17], [I.18].

Kvôli chybe personálu môže nastať nekontrolované riedenie chladiča primárneho okruhu. S cieľom znížiť riziko nekontrolovateľného riedenia chladiča I.O. je zabezpečená spoľahlivosť napájania dôležitých armatúr na trase doplňovania a odpúšťania chladiča I.O.; v hlavnej blokovej dozorni sú zobrazené pohotovostné výstražné signály na základe údajov z bóromerov. Iniciačná udalosť „Znižovanie koncentrácie kyseliny boritej v chladiči I.O.“ spôsobený nesprávnou činnosťou systému doplňovania a bórovej regulácie je bezpečne zvládnuteľná a nedôjde k prekročeniu kritérií prijateľnosti [I.22].

Riziko ľudskej chyby je znížené vysokou úrovňou automatizácie kritických procesov. Prípade prekročenia sledovaných fyzikálnych parametrov sú automaticky aktivované ochrany reaktora a bezpečnostné systémy.

6.1.6.2.2.3 Plnenie legislatívnych požiadaviek

Podľa vyhlášky ÚJD SR č. 50/2006, Príloha č.3, Časť B/II., A Primárny okruh, tlaková nádoba a aktívna zóna jadrového reaktora [II.10]:

- (1) Tlaková nádoba jadrového reaktora, primárny okruh a jeho pomocné systémy, riadiace systémy a bezpečnostné systémy sa musia projektovať tak, aby**
- a) počas stavu normálnej prevádzky, pri abnormálnej prevádzke a pri projektových haváriách bola s dostatočnou rezervou zabezpečená požadovaná pevnosť, životnosť a funkčná spoľahlivosť ich častí a zariadení,**
 - b) nedochádzalo k nepripustným únikom chladiva,**
 - c) materiály použité na ich výrobu sa vyberali tak, aby sa čo najmenej aktivovali počas normálnej prevádzky,**
 - d) boli dostatočne odolné proti vzniku a rozvoju porúch.**

Technické zdôvodnenie

Potrubia a komponenty systému doplňovania a bórovej regulácie sú zhotovené z ušľachtilých nehrdzavejúcich ocelí, zaručujúcich dobrú zvariteľnosť, pevnosť a spoľahlivosť systému. Na konštrukciu systémov boli použité nehrdzavejúce ocele 08Ch18N10T a/ alebo 17 247.4. Chemické zloženie a mechanické vlastnosti týchto materiálov sú uvedené v [I.4]. Tieto materiály sú odporúčané pre použitie v zariadeniach a potrubiach JE typu VVER [II.4], [I.63].

- (2) Tlaková nádoba jadrového reaktora a zariadenia primárneho okruhu sa musia projektovať tak, aby bolo možné počas stavu normálnej prevádzky vykonávať pravidelne alebo nepretržite kontrolu ich stavu a skúšky potrebné na overenie jadrovej bezpečnosti.**

Technické zdôvodnenie

Systém doplňovania I.O. a bórovej regulácie umožňuje vykonávanie prevádzkových kontrol a skúšok. Počas prevádzky, v súlade s požiadavkami na kontrolu uvedenými v LaP [I.48], sa vykonáva overenie chodu a parametrov doplňovacích čerpadiel, overenie správnosti automatiky systému normálneho doplňovania I.O. a bórovej regulácie, previerka ochrán a blokad armatúr na trasách doplňovania a odpúšťania, kontrola polohy ručne a automaticky ovládaných armatúr na potrubných trasách doplňovania a odpúšťania a kontrola zaistenia ručne ovládaných armatúr proti neoprávnenej manipulácii. V prípade systému doplňovania bórového koncentrátu sa overuje štart od APS, chod a parametre čerpadiel bórového koncentrátu, správnosť automatiky systému bórového koncentrátu, kontrola polohy ručne a automaticky ovládaných armatúr na potrubných trasách bórového koncentrátu a kontrola zaistenia ručne ovládaných armatúr proti neoprávnenej manipulácii, kontrola objemu, teploty a koncentrácie roztoku kyseliny boritej v nádržiach bórového koncentrátu.

- (3) Súčasťou projektu tlakovej nádoby jadrového reaktora a zariadení primárneho okruhu musia byť**
- a) programy a metódy prevádzkových kontrol a skúšok,**
 - b) kritériá na hodnotenie výsledkov prevádzkovej kontroly a skúšok,**
 - c) aplikované viacnásobné fyzické bariéry na zabránenie úniku rádioaktívnych látok do pracovného prostredia a do životného prostredia,**
 - d) najmenej tri rôznorodé systémy monitorovania a vyhodnocovania únikov za prevádzky, ak sa použije prístup „únik pred roztrhnutím“.**

Technické zdôvodnenie

Skúšky a kontroly vykonávané pri výrobe, montáži a pred uvedením do prevádzky sú uvedené v sprievodnej dokumentácii jednotlivých zariadení, vo vykonávacom projekte, v dokumentácii pre spúšťanie, v prevádzkových predpisoch, v montážnej dokumentácii a IPZK alebo v plánoch kvality. Systém je prevádzkovaný v súlade s príslušným prevádzkovým predpisom pre systém doplňovania I.O. a bórovej regulácie.

Prvou bariérou na zabránenie úniku rádioaktívnych látok do pracovného prostredia a do životného prostredia je chemická a fyzikálna štruktúra jadrového paliva. Druhá ochranná bariéra je tvorená pokrytím paliva. Tretia ochranná bariéra je tvorená tlakovou hranicou primárneho okruhu. Štvrtá ochranná bariéra je tvorená hermetickým priestorom. Systém doplňovania a bórovej regulácie je súčasťou tretej bariéry.

Monitorovanie únikov za prevádzky je zabezpečené pomocou diagnostického systému [I.10], na princípe merania vlhkosti, emisie ultrazvukového poľa a na princípe merania radiácie. Monitorovanie radiačnej situácie vykonáva radiačný monitorovací systém [I.27]. V stavoch projektovej havárie pohavarijný systém monitorovania [I.45] monitoruje, či sú úspešne vykonávané nasledovné bezpečnostné funkcie: riadenie reaktivity, chladenie AZ, udržiavanie integrity chladiaceho systému reaktora, udržiavanie integrity hermetickej zóny, udržiavanie integrity paliva, stanovenie lokality a množstva rádioaktívnych únikov.

Podľa vyhlášky ÚJD SR č.50/2006, Príloha č.3, Časť II., B Systém doplňovania primárneho okruhu a systém čistenia chladiva [II.2]:

- (1) Systém doplňovania chladiva sa musí projektovať tak, aby bol schopný kompenzovať úniky a objemové zmeny chladiva pri normálnej prevádzke a abnormálnej prevádzke s uvažovaním odberu chladiva na čistenie.**

Technické zdôvodnenie

Systém doplňovania I.O. pozostáva z troch doplňovacích agregátov, pričom každý z agregátov je schopný dodávať do I.O. chladivo s prietokom 10 až 50 m³/h, čo postačuje na zabezpečenie kompenzácie únikov a objemovej zmeny chladiva pri normálnej prevádzke a abnormálnej prevádzke s uvažovaním odberu chladiva na čistenie [I.43], [I.44].

6.1.6.2.2.4 Hodnotenie bezpečnosti

Systém doplňovania I.O. a bórovej regulácie a systém doplňovania bórneho koncentráту nie sú bezpečnostnými systémami, sú definované ako výkonné systémy so vzťahom k bezpečnosti [I.1]. Funkčná schopnosť týchto systémov nemusí byť zachovaná vo všetkých projektoch predpokladaných udalostiach, ale je nevyhnutnou podmienkou pre normálnu prevádzku. V havarijných režimoch je zvýšenie koncentrácie kyseliny boritej v chladive I.O. (vnos zápornej reaktivity) zabezpečené havarijným systémom chladienia aktívnej zóny, ktorý je bezpečnostným systémom.

Systém doplňovania a bórovej regulácie pozostáva z dvoch samostatných vetiev a z troch doplňovacích agregátov pričom na fungovanie systému postačuje jedna vetva a jeden doplňovací agregát. Činnosť systému doplňovania bórneho koncentráту je tiež zabezpečená redundanciami nádrží a čerpadiel. Konštrukcia, redundancia, použité materiály, seizmické odolnosti týchto systémov a pravidelné vykonávanie prevádzkových kontrol zabezpečujú ich spoľahlivosť a schopnosť odolať statickým a dynamickým účinkom počas normálnej a abnormálnej prevádzky.

Jeden doplňovací agregát je schopný doplňať 10 až 50 m³/h chladiva do I.O., čo je dostatočné na zabezpečenie kompenzácie únikov a objemovej zmeny chladiva pri normálnej prevádzke a abnormálnej prevádzke.

Maximálna rýchlosť vnosu kladnej reaktivity systémom doplňovania a bórovej regulácie je omnoho nižšia ako v prípade vysúvania kaziet HRK. Na základe bezpečnostnej analýzy znižovania koncentrácie bóru v primárnom chladive v dôsledku chybnjej funkcie systému doplňovania a bórovej regulácie [I.22] maximálna dovolená rýchlosť vnosu kladnej reaktivity 0,07 β_{eff}/s nie je prekročená.

S cieľom znížiť nebezpečenstvo nekontrolovaného riedenia I.O., automatické zásahy v prípade odstavenia reaktora pomocou kaziet HRK vyšlú signál na zatvorenie armatúr na prívode ČK do odplyňovačov a na sanie doplňovacích čerpadiel [III.11], [I.60]. Je vyslaný aj signál na zatvorenie armatúry na výstupe odplyňovača a na otvorenie armatúry, ktorá zabezpečí prívod chladiva z odplyňovača doplňovania na sanie doplňovacích čerpadiel. Signál je vyslaný aj na zatvorenie armatúry natrase prívodu chladiva z filtrov na sanie doplňovacích čerpadiel, čím sa zabráni možnému zníženiu koncentrácie kyseliny boritej v chladive I.O. cez filtre. Napájanie armatúr na trase doplňovania a odpúšťania chladiva I.O. patrí do 1. kategórie zaisteného napájania. Aby nedošlo k zníženiu účinnosti ochrany proti nekontrolovanému riedeniu I.O., je organizačnými opatreniami zabezpečené, aby počas bórovej regulácie bola armatúra na trase odpúšťania vždy zatvorená a na doplňovanie ČK do I.O. sa nevyužíval odplyňovač doplňovania. Administratívnymi opatreniami je zabránené vniknutie ČK do I.O. počas dochladzovania reaktora a výmeny paliva.

Kontinuálne merania koncentrácie kyseliny boritej zabezpečujú bóromery s požadovanou presnosťou a spoľahlivosťou [I.47], [I.35]. Bóromery umožňujú aktivovať výstrahu.

V rámci ochrany I.O. proti pretlakovaniu v studenom stave (bezpečnostné opatrenie S01) sa v limitačnom systéme reaktora aktivujú automatické zásahy na odstavenie (a zákaz zapnutia) doplňovacích čerpadiel systému doplňovania a bórovej regulácie v závislosti od tlaku a teploty I.O.

V rámci ochrany I.O. proti pretlakovaniu (bezpečnostné opatrenie S02) je vedená trasa pomocného vstrelu do KO napájaná chladivom z výtlaku doplňovacích čerpadiel. Táto trasa slúži na dochladzovanie KO v prípade výpadku hlavnej trasy vstrekov do KO alebo v prípade výpadku HCČ. Trasu uvádza do prevádzky ručne operátor I.O. Administratívnymi opatreniami je zabezpečené, aby koncentrácia bóru v doplňovanom chladive nebola nižšia ako koncentrácia bóru v I.O. v opačnom prípade môže dôjsť k vnosu kladnej reaktivity.

Systémy kontinuálneho čistenia vody I.O. a doplňovania I.O. sú pred uvedením do prevádzky preskúšané podľa príslušných programov skúšok.

Jadrovú bezpečnosť počas prvého zavezenia jadrového paliva do AZ zabezpečujú činnosti a opatrenia týkajúce sa systému bórovej regulácie a systému merania neutrónového toku, uvedené v pracovnom programe 3F002 [I.52]. Opatrenia pre zaistenie jadrovej a radiačnej bezpečnosti pri výmene paliva uvádza 8TP/1037 [I.46].

Záverom možno konštatovať, že projekt systému mechanického riadenia reaktivity spĺňa všetky požiadavky definované pre podporný bezpečnostný systém vo vyhláske ÚJD SR č. 50/2006 [II.10], ako aj v súčasnosti platnej vyhláske ÚJD SR č. 430/2011 [II.2].

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

- [I.1] PNM34361021, PpBS, Kapitola 5.3 Kategorizácia vybraných zariadení do bezpečnostných tried
- [I.2] PNM34361027, PpBS, Kapitola 6.1.1 Projekt jadrového paliva
- [I.3] PNM34361029, PpBS, Kapitola 6.1.3 Jadrový projekt
- [I.4] PNM34361031, PpBS, Kapitola 6.1.5 Materiály jadrového reaktora
- [I.5] PNM34361037, PpBS, Kapitola 6.2.4 Návrh komponentov primárneho okruhu
- [I.6] PNM34361040, PpBS, Kapitola 6.4.1 Systém havarijného chladenia AZ
- [I.7] PNM34361051, PpBS, Kapitola 6.5 Systémy kontroly a riadenia
- [I.8] PNM34361052, PpBS, Kapitola 6.5.2 Systém automatických ochrán reaktora
- [I.9] PNM34361053, POSAR, Chapter 6.5.3 Reactor Engineered Safeguards Fast Actuation System (ESFAS)
- [I.10] PNM34361056, PpBS, Kapitola 6.5.4.1 Prevádzková diagnostika I.O.
- [I.11] PNM34361067, PpBS, Kapitola 6.5.5.1 Počítačový informačný a radiaci systém - PICS
- [I.12] PNM34361063, POSAR, Chapter 6.5.5.3 Reactor rod control system - RRCS
- [I.13] PNM34361064, POSAR, Chapter 6.5.5.4 Reactor control system
- [I.14] PNM34361065, POSAR, Chapter 6.5.5.5 Reactor limitation system
- [I.15] PNM34361066, POSAR, Chapter 6.5.5.6 In-core Monitoring System
- [I.16] PNM34361069, POSAR, Chapter 6.5.6.3 Turbine control system
- [I.17] PNM34361071, PpBS, Kapitola 6.5.7 Blokovaná dozorňa
- [I.18] PNM34361072, PpBS, Kapitola 6.5.8 Núdzová blokovaná dozorňa
- [I.19] PNM34361078, PpBS, Kapitola 6.7.2.2 Systém doplňovania a odpúšťania chladiva z primárneho okruhu
- [I.20] PNM34361099, PpBS, Kapitola 7 Analýzy bezpečnosti
- [I.21] PNM34361102, PpBS, Kapitola 7.2.0 Súhrn vstupných dát pre deterministické analýzy bezpečnosti
- [I.22] PNM34361105, PpBS, Kapitola 7.2.1.2 Poruchy reaktivity a zmeny rozloženia výkonu
- [I.23] PNM34361108, PpBS, Kapitola 7.2.1.5 Zvýšenie odvodu tepla z I.O. sekundárnym okruhom
- [I.24] PNM34361110, PpBS, Kapitola 7.2.1.7 Strata primárneho chladiva
- [I.25] PNM34361112, PpBS, Kapitola 7.2.1.9 Očakávané prechodové procesy bez odstavenia reaktora (ATWS)
- [I.26] PNM34361117, PpBS, Kapitola 7.2.1.14 Havárie a očakávané prechodové procesy pre nevýkonové prevádzkové režimy
- [I.27] PNM34373967, Kapitola 11.04 Monitorovanie radiačných charakteristík

- [I.28] Analýzy bezpečnosti a spoľahlivosti systému ochrany reaktora JE MO34
- [I.29] PS 3.10.01 RRCS Technická zpráva
- [I.30] DPS 3.10.01 RTS + DRTS Technická zpráva
- [I.31] , DPS 3.10.01 ESFAS Technická zpráva
- [I.32] DPS 3.10.01 EXCORE Technická zpráva
- [I.33] DPS 3.10.01 INCORE. Technical report
- [I.34] Čistící stanice drenážních vod I.O. - Filtry, DPS 3.11.01,
- [I.35] DPS3(4) Boron. Qualification Specification (Measurement set device)
- [I.36] System specification of RLS
- [I.37] I&C Function Specification for RLS (Level 3)
- [I.38] RLS. I&C Function Specification (Level 4)
- [I.39] RTB. System Specification. Logic Part
- [I.40] Description of The I&C System RCS
- [I.41] 3TP/1006 HSCHZ - pasívna a aktívna časť
- [I.42] 3TP/1009 VT Havarijný systém doplňovania I.O.
- [I.43] 3TP/1010 Systém doplňovania I.O., bórovej regulácie a upchávkovvej vody na HCČ
- [I.44] 3TP/1025 Systém čistenia chladiva I.O. ŠOV-1
- [I.45] 3TP/6024 PAMS na 3. bloku EMO
- [I.46] 8TP/1037 Výmena paliva a manipulácie s VČR a HB
- [I.47] 8TP/6025 Merania koncentrácie kyseliny boritej
- [I.48] 3LP/1001 Limity a podmienky bezpečnej prevádzky
- [I.49] 3P002 Program spúšťacích prác pohonov HRK
- [I.50] 3P021 Program skúšok systému KBF - kontinuálne čistenie vody P.O.
- [I.51] 3P022 Program skúšok systému doplňovania P.O. a regulácie kyseliny boritej
- [I.52] 3F002 Program zavážky aktívnej zóny reaktora 3. bloku JE Mochovce
- [I.53] 3F003 Program prvého uvedenia reaktora 3. bloku do kritického stavu
- [I.54] 3F004 Program kontroly spojenia pohonov HRK a kontroly symetrie zavezenia aktívnej zóny
- [I.55] 3F007 Program merania účinností H3BO3 a účinnosti HRK pri teplote 200°C
- [I.56] 3F009 Program meraní efektívností skupín regulačných kaziet metódou pádu
- [I.57] 3F011 Program merania účinností H3BO3 a účinnosti HRK pri teplote 260°C
- [I.58] 3AS/0100 Predpis pre riešenie abnormálnych stavov
- [I.59] 3NS/0300.1 Zoznam predpisov optimálnej obnovy bezpečného stavu pre FP-EOPs

- [I.60] Technická správa, Systém doplňování I.O. a regulácie H3BO3
- [I.61] Technická správa DPS 3.17.02, Vložené okruhy chlazení
- [I.62] ЯДЕРНЫЙ ПРОЕКТ, Техническое обоснование безопасности блоков 3,4 АЭС Моховце, ОКБ ГИДРОПРЕСС, РНЦ Курчатовский институт
- [I.63] DMO/012/0101/T/F3/S, Základné požiadavky na projekt MO34, WP 01.2 - Základné dáta, 12/2007
- [I.64] 3TP/1001 Unit with reactor V-213
- [I.65] 3TP/1002 Reactor V-213
- [I.66] Zdôvodnenie bezpečnostných tried EXCORE
- [I.67] RTS&DRTS Function specification (Level 3)
- [I.68] RTB. I&C Function specification (Level 3)
- [I.69] ESFAS. I&C Function specification (Level 3)
- [I.70] PS 3.11 Technická správa
- [I.71] Zoznam vybraných zariadení pre 3. blok MO34 a spoločné zariadenia 3. a 4. bloku - textová časť

II Legislatívne dokumenty (zákony, vyhlášky, normy, dokumenty MAAE, apod.)

- [II.1] Zákon č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon)
- [II.2] Vyhláška ÚJD SR č. 430/2011 Z. z., Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zo 16. novembra 2011, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť jadrových zariadení.
- [II.3] Vyhláška č. 31/2012 Z. z., Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky z 30. januára 2012, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovovania dokumentácie jadrových zariadení potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam.
- [II.4] Charakteristiky materiálov pre zariadenia a potrubia JE typu VVER, Sekcia II, vyd. Asociácia strojníkov inžinierov, 5/2001
- [II.5] BNS I.1.2/2008 Scope and Content of Safety Analysis Report
- [II.6] BNS I.1.6/2013 Requirements on description of a nuclear reactor in the Safety Analysis Report
- [II.7] BNS III.4.4/2004, Požiadavky na vypracovanie, realizáciu a hodnotenie výsledkov testov programu fyzikálneho spúšťania, ÚJD SR, Bratislava, 2004
- [II.8] Format and Content of the Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-4.1. Vienna, 5/2004
- [II.9] Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Guide No. NS-G-1.6. Vienna, 11/2003
- [II.10] Vyhláška ÚJD SR č. 50/2006 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť jadrových zariadení pri ich umiestňovaní, projektovaní, výstavbe, uvádzaní do prevádzky, prevádzke, vyradovaní a pri uzatvorení úložiska, ako aj kritériá pre kategorizáciu vybraných zariadení do bezpečnostných tried

- [II.11] BNS I.1.2/2014 Rozsah a obsah bezpečnostnej správy, ÚJD SR, Bratislava, 01/2014
- [II.12] Rozhodnutie ÚJD SR č. 267/2008 Pripomienky k rozsahu a obsahu PBS pre MO34
- [II.13] Rozhodnutie ÚJD SR č. 63/2015: Schválenie kategorizácie vybraných zariadení do bezpečnostných tried podľa dokumentov PNM34361188 a PNM34361189
- [II.14] Vyhláška ÚJD SR č. 56/2006 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách na dokumentáciu systému kvality držiteľa povolenia, ako aj podrobnosti o požiadavkách na kvalitu jadrových zariadení, podrobnosti o požiadavkách na kvalitu vybraných zariadení a podrobnosti o rozsahu ich schvaľovania

III Zdrojové dokumenty

- [III.1] PNM34088499, Pohon regulačného orgánu - modernizovaný (PRO-M)
- [III.2] PNM34201704, PLKVZ - 2. Etapa - Pohon regulačného orgánu - Modernizovaný (3. blok)
- [III.3] PNM34205298, Technická dokumentace pro PRO-M (3. a 4. blok)
- [III.4] PNM34204560_P06 Mechanické časti pohonu regulačného orgánu (PRO-M) reaktoru VVER 440 EMO34, Výpočet pevnosti a únavové životnosti
- [III.5] PNM34204560_P07, Tlakové časti pohonu regulačného orgánu (PRO-M) reaktoru VVER 440 EMO34, Výpočet pevnosti, únavové životnosti a seizmické odolnosti
- [III.6] Bezpečnostné opatrenie EH1: Zhodnocení seizmické odolnosti hlavní regulační kazety reaktoru VVER 440-213, JE Mochovce, blok 1, SR, Stevenson & Associates Plzeň, St. Peterburg, rep14-97.spl
- [III.7] Bezpečnostné opatrenie EH1: Zhodnocení seizmické odolnosti hlavní regulační kazety reaktoru VVER 440-213. JE Mochovce, blok 2, SR, Stevenson & Associates Plzeň, St. Peterburg, rep 07-99.spl
- [III.8] Bezpečnostné opatrenie S14: Analýza konstrukce pohonu RO ve vztahu k pohybu kazety HRK pro reaktor VVER 440/V-213, Škoda Praha s.r.o., Jaderné strojírenství, Ae 9021/ Dok/
- [III.9] Bezpečnostné opatrenie S14: Zkoušky nevyplutí kazety při havarijním odpyňování, Škoda JS s.r.o. Plzeň, Ae 9880/Dok
- [III.10] Bezpečnostné opatrenie S14: Zkoušky havarijního odvzdušnění reaktoru, nevyplutí kazety ARK a systému měření hladiny reaktoru VVER 440. Závěrečná zpráva, Škoda JS s.r.o., Ae 9917/Dok rev.0
- [III.11] Bezpečnostné opatrenie RC01: Definovanie zlepšení (vrátane vyhodnotenia prijatých opatrení), Framatome, NVOL DC 97 1775 S
- [III.12] PNM34200172, Pohon regulačného orgánu - uzel 1.9 (3JAZ00BB001.09, 3JDA00AE001-37)
- [III.13] PNM34205298, Program předávacích zkoušek, Ae 8107/Dok, Škoda JS a.s.
- [III.14] PNM34202774, Plán kontrol a zkoušek, Ae 19650 T, Škoda JS a.s.
- [III.15] PNM34204807, Plán kontrol a zkoušek, Ae 13068/Dok, Škoda JS a.s.

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 6.1.6-1 Schéma absorpčnej časti kazety HRK [I.2].	19
Obrázok 6.1.6-2 Schéma konštrukčného usporiadania pohonu kazety HRK [III.12].	20

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 6.1.6-1 Vybrané charakteristiky AZ a kaziet HRK druhej generácie	15
--	----