



## Technická správa

# Predprevádzková bezpečnostná správa

## Kapitola 06.01 Reaktor

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

		LC							
SE Rev	Date / Dátum	IS	Supervision Outcome / Stav schválenia	Supervised by / Overil		Checked by / Kontroloval	Approved by / Schválil		
			Language / Jazyk	S	Safety Class / Bezpečnostná trieda	N/N	SEC. INDEX / INDEX utajenia	Company use/P	
			Submitted to Client to / Predložené odberateľovi na:	Approval / Schválenie	x	Information Only / Len na informáciu			
<small>The SE a.s. approval refers to the contract clauses only. All design responsibilities are charged to the Contractor / Schválenie SE a.s. sa vzťahuje iba na zmluvné náležitosti. Za vypracovanie projektu nesie dodávateľ plnú zodpovednosť.</small>									
EPS No / Číslo EPS: PNM34365000		Revision index / Index revízie: 05		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: PNM34361026			A4	6.01	RS	Z	8	
 * P N M 3 4 3 6 1 0 2 6 0 5 *				Sheet / List	Of / z		Plant System / Systém elektrárne	Component / Komponent	
				1	10				

SE Contract No. / Číslo zmluvy SE: 4600003952				VUJE Contract No. / číslo zmluvy VUJE: 1719/00/09			
Part name / Označenie časti: PNM3436102605_S_C00_V				Issued on / Vydané dňa: 11.07.2019			
Kód citlivosti <sup>1)</sup> / Sensitivity code <sup>1)</sup>	3	Name / Meno	Organization / Organizácia	Dept. / Útvar	Date / Dátum	Signature / Podpis	
Author / Vypracoval:			• VUJE, a.s.	• 0220	• 11.07.2019	•	
Co-author / Spolupracoval:			•	•	•	•	
Checked by / Kontroloval:			• VUJE, a.s.	• 0220	• 11.07.2019	•	
Verified by / Overil:			• VUJE, a.s.	• 0720	• 11.07.2019	•	
Approved by / Schválil:			• VUJE, a.s.	• 1703	• 11.07.2019	•	

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

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

## Revision record / Záznam o revízii

<b>Identification /</b> <b>Identifikácia</b> (part/page/chapter/ member/section) (časť/strana/kapitola/ článok/odstavec)	<b>Brief description of modification /</b> <b>Stručná charakteristika úpravy</b> (description of modification and manner of implementation) (popis úpravy a spôsobu zapracovanie)	<b>Reason of modification /</b> <b>Dôvod úpravy</b> (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 Reaktor	• PNM3436102605_S_C00_V	• 05
2.	• Kapitola 06.01 Reaktor	• PNM3436102605_S_C01_V	• 05
3.	•	•	•
4.	•	•	•
5.	•	•	•
6.	•	•	•
7.	•	•	•
8.	•	•	•
9.	•	•	•
10.	•	•	•
11.	•	•	•

**OBSAH**

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ.....	5
ÚVOD.....	6
6.1 REAKTOR .....	7
LITERATÚRA .....	10

## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ

AZ	- aktívna zóna
HUA	- hlavná uzatváracia armatúra
HCS	- hlavná cirkulačná slučka
HCČ	- hlavné cirkulačné čerpadlo
HRK	- havarijné regulačné a kompenzačné kazety
JE	- jadrová elektrárň
JZ	- jadrové zariadenie
MAAE	- Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu
EMO12	- Jadrová elektrárň Mochovce 1. a 2. blok
MO34	- Jadrová elektrárň Mochovce 3. a 4. blok
PpBS	- predprevádzková bezpečnostná správa
SE, a.s.	- Slovenské elektrárne, a.s.
ÚJD SR	- Úrad jadrového dozoru SR

## ÚVOD

Správa je súčasťou Predprevádzkovej bezpečnostnej správy MO34 (PpBS), vypracovanej v súlade s Vyhláškou č. 58/2006 [II.3], ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovovania dokumentácie jadrových zariadení, potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam.

Kapitola PpBS 6.1 je vypracovaná v súlade s bezpečnostným návodom ÚJD SR BNS I.1.2/2008 [II.1], pričom bolo v primeranom rozsahu prihladené k novému platnému návodu BNS I.1.2/2014 [II.4].

Správa obsahuje prehľad náplne jednotlivých kapitol 6.1.1 až 6.1.7, spracovaných v rámci PpBS Kapitola 6.1 Reaktor.

## 6.1 REAKTOR

V správe je informatívne uvedený prehľad náplne jednotlivých kapitol 6.1.1 až 6.1.7, spracovaných v rámci PpBS Kapitola 6.1 Reaktor.

### Kapitola 6.1.1 Projekt jadrového paliva

V kapitole 6.1.1 [I.1] je opísaný systém jadrového paliva. Sú charakterizované projektové východiská a použité materiály, opísaná je konštrukcia aktívnej zóny, pracovných a regulačných kaziet. Konštrukčný návrh je zhodnotený v nadväznosti na prevádzkové režimy paliva. Ďalej je opísaný systém kontroly a riadenia reaktora, ako aj plán skúšok a inšpekcií.

Kapitola obsahuje tiež bezpečnostné odôvodnenie požiadaviek na projekt, okrem iného projektové ohraničenia pre palivo a jeho funkčné charakteristiky v termínoch želateľného (očakávaného) správania sa počas ustanovených podmienok vrátane normálnej prevádzky, abnormálnej prevádzky a havarijných podmienok.

### Kapitola 6.1.2 Projekt vnútorných častí reaktora

V kapitole 6.1.2 [I.2] je opísaný projekt vnútorných častí reaktora, ktorý zahŕňa:

- a) systém vnútorných konštrukcií, definovaných ako všeobecné vonkajšie súčasti jadrového paliva, t.j. konštrukcie, do ktorých je jadrové palivo umiestnené. Ďalej sú zahrnuté zodpovedajúce konštrukčné výkresy vnútorných častí reaktora;
- b) opis analytických nástrojov, metód a výpočtových programov (spolu s informáciou o overení, potvrdení a neurčitostiach) použitých na výpočet pevnosti a zaťaženia vnútorných častí reaktora;
- c) fyzikálne charakteristiky vnútorných konštrukcií / komponentov pre všetky v projekte uvažované stavy JZ vrátane termicko-hydraulických, pevnostných a mechanických charakteristík i očakávaného statického, dynamicko-mechanického zaťaženia, počet cyklov ako aj vplyv ožiarenia na schopnosť vnútorných konštrukcií vykonávať svoje projektom stanovené funkcie počas životnosti JZ;
- d) významné podporné komponenty vrátane samostatných technických riešení a opatrení pre spomaľovanie neutrónov a umiestnenie paliva so zodpovedajúcimi projektovými výkresmi a uvažovaním vplyvu prevádzky na vykonávanie stanovených funkcií, ako aj programy riadeného starnutia a / alebo programy kontrol / inšpekcií na monitorovanie vplyvu ožiarenia a starnutia na vlastnosti vnútorných konštrukcií.

### Kapitola 6.1.3 Jadrový projekt

V kapitole 6.1.3 [I.3] je uvedený opis neutrónovo-fyzikálnych vlastností a správania sa aktívnej zóny, ktorý zahŕňa:

- opis neutrónovo-fyzikálnych vlastností aktívnej zóny vrátane ohraničenia na výkon jadrového reaktora (aktívnej zóny), na výkon palivového prútika (maximálny, lineárny, prevádzkový), ohraničenia na vyhorenie jadrového paliva resp. palivového prútika, ohraničenia na koeficienty reaktivity a pod.;

- neutrónovo-fyzikálne charakteristiky jadrového paliva v aktívnej zóne vrátane parametrov neutrónovej fyziky aktívnej zóny, rozloženie obohatenia paliva, rozloženie vyhorenia, rozloženie vyhorievajúcich absorbátorov neutrónov, dĺžku palivovej kampane, rozmiestnenie regulačných orgánov a schémy výmeny paliva;
- rozloženie výkonu v palivových prútikoch a palivových článkoch i v aktívnej zóne ako celku, vrátane informácie o axiálnom a radiálnom rozložení výkonu a koeficientov nerovnomernosti;
- rozdelenie vývoja energie pre termo-hydraulické analýzy, koeficienty reaktivity a požiadavky na riadenie reaktivity;
- pracovný menovitý výkon palivových kaziet, výkon palivového článku, jeho lineárny výkon, rozdelenie prúdu chladiacej kvapaliny;
- závislosť dovoleného lineárneho výkonu a dovolenej lokálnej zmeny lineárneho výkonu v závislosti od vyhorenia jadrového paliva;
- stacionárnu a nestacionárnu xenónovú otravu, preukázanie neutrónovo-fyzikálnej stability aktívnej zóny počas palivového cyklu s úvahami rozšírenými na všetky v projekte uvažované stavy JZ;
- opis analytických nástrojov, metód a výpočtových programov (spolu s informáciou o overení, potvrdení a neurčitostiach), použitých na výpočet neutrónovo-fyzikálnych vlastností aktívnej zóny vrátane riadenia reaktivity.

Ďalej sú v kapitole popísané konštrukcie a stratégie palivového cyklu, východiskové kritériá pre projektovanie aktívnej zóny s 349 kazetami a východiskové údaje pre termohydraulické a havarijné analýzy.

V kapitole sú uvedené údaje o vplyve žiarenia na tlakovú nádobu reaktora.

#### **Kapitola 6.1.4 Termo-hydraulický projekt**

V kapitole 6.1.4 [I.4] j je opísaný prístup k riešeniu teplo-hydraulických (T-H) charakteristík AZ reaktora a celého primárneho okruhu pre projektom stanovené ohraničenia. V kapitole sú riešené stacionárne stavy pre vybrané prevádzkové režimy pri práci všetkých 6 HCČ a tiež pre prevádzkové režimy s nenominálnym počtom pracujúcich HCČ, t.j. s 5, 4 a 3 pracujúcimi HCČ. Výsledky z vykonaných výpočtov sú spracované prehľadne v tabuľkovej a grafickej forme. V ďalšej časti je uvedený popis výpočtových programov a kódov, ktoré boli použité pri výpočtoch teplo-hydraulických parametrov AZ reaktora a celého primárneho okruhu a základné požiadavky na skúšky a previerky teplo-hydraulických charakteristík primárneho okruhu a tiež základné požiadavky na prístrojové vybavenie pre monitorovanie parametrov AZ reaktora. V závere je uvedené zhodnotenie výsledkov výpočtov T-H parametrov AZ reaktora a celého primárneho okruhu a ich porovnanie s projektovými ohraničeniami.

Pre vybrané stacionárne prevádzkové režimy kapitola obsahuje:

- rozloženie prietokov, teplôt chladiva a tlakov v reaktore a HCS primárneho okruhu;
- rozloženie prietokov a teplôt chladiva a tlakových rozdielov v jednotlivých častiach aktívnej zóny reaktora;
- hydraulické odpory vnútorných častí reaktora a koeficienty odvodu tepla z AZ reaktora;
- koeficienty nerovnomernosti rozloženia vývinu tepla v aktívnej zóne reaktora;
- teplo-hydraulické charakteristiky maximálne zaťaženej bunky zväzku palivových prútikov kazety, obsah pary v chladive, koeficient rezervy do krízy odvodu tepla;



- teplota vonkajšieho povrchu pokrytia palivového prútika a paliva;
- neistoty výpočtov, neistoty určenia teploty paliva a pokrytia palivového prútika a deformácie rozloženia výkonu v AZ;
- neistoty korelácie stanovovania rezervy do krízy odvodu tepla, korelačné limity.

### **Kapitola 6.1.5 Materiály jadrového reaktora**

Kapitola 6.1.5 [I.5] obsahuje požiadavky na materiály vnútorných častí reaktorov a systému pohonov radiacích kaziet a popisuje jednotlivé metódy nedeštruktívnych kontrol, ktoré boli pri výrobe reaktorov, ich vnútorných častí a pohonov radiacích kaziet uplatňované.

Ďalej je uvedený popis a zdôvodnenie materiálov vnútorných častí reaktora, smerné chemické zloženie, požiadavky na mechanické vlastnosti, požiadavky na mechanické vlastnosti ocele, zliatin a zvarového kovu nosného plášťa reaktora, dna nosného plášťa reaktora, koša aktívnej zóny, bloku ochranných rúr a suchých kanálov merania neutrónového toku a teploty a systému založenia vzoriek ocele telesa tlakovej nádoby reaktora.

Všetky dostupné údaje o chemickom zložení, mechanických vlastnostiach, pevnosti, plasticite, lomovej húževnatosti použitých materiálov, dokonca aj výrobné postupy, sú detailne popísané v PpBS kapitola 6.2.3 [I.8].

### **Kapitola 6.1.6 Funkčný projekt systémov riadenia reaktivity**

V kapitole 6.1.6 [I.6] je uvedený opis dvoch nezávislých systémov umožňujúcich riadiť reaktivitu na 3. bloku JE Mochovce. Riadenie reaktivity umožňuje prevádzkovať reaktor počas celej palivovej kampane, regulovať výkon a reaktor bezpečne odstaviť.

Systémy sú založené na rozdielnych fyzikálnych princípoch. Jedná sa o riadenie reaktivity pomocou kaziet HRK (mechanický systém riadenia reaktivity) a riadenie reaktivity zmenou koncentrácie kyseliny boritej (systém bórovej regulácie). Kapitola obsahuje opis systémov, ich technické zdôvodnenie a bezpečnostné hodnotenie.

Mechanický systém pozostáva z 37 kaziet HRK, zložených zo spodnej palivovej a hornej absorpčnej časti, rozmiestnených v AZ reaktora. Riadenie reaktivity sa vykonáva vertikálnym pohybom kaziet HRK v AZ.

Systém bórovej regulácie umožňuje meniť koncentráciu rozpustného absorbátora (roztok kyseliny boritej) rovnomerne rozloženého v chladive I.O. Dávkovanie koncentráту kyseliny boritej do I.O. zvyšuje koncentráciu absorbátora a znižuje reaktivitu AZ. Dávkovanie čistého kondenzátu znižuje koncentráciu absorbátora v chladive I.O a zvyšuje reaktivitu AZ.

### **Kapitola 6.1.7 Prevádzka aktívnej zóny v režimoch sledovania zaťaženia siete**

V kapitole 6.1.7 [I.7] je preukázaná možnosť prevádzky aktívnej zóny reaktora v režime sledovania zaťaženia siete pri základnom tepelnom výkone 1375 MW a vo špecifických režimoch prevádzky pri manévrovaní výkonu až do 2% Nnom. Sú použité palivové kazety 2. generácie. Analyzované sú palivové vsádzky od 2. kampane do dosiahnutia stacionárneho palivového cyklu s kazetami obohatenia 4,87%.

Sú uvedené dovolené intervaly polôh regulačných kaziet, ktoré zabezpečujú dodržanie hraničných hodnôt parametrov aktívnej zóny, dôležitých z hľadiska bezpečnosti prevádzky reaktora tak v základnom režime, ako aj pri sledovaní zaťaženia siete. Takýmito parametrami sú predovšetkým lineárne zaťaženie paliva a veľkosť jeho zmeny.

## LITERATÚRA

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

- [I.1] PpBS Kapitola 6.1.1 Projekt jadrového paliva
- [I.2] PpBS Kapitola 6.1.2 Projekt vnútorných častí reaktora
- [I.3] PpBS Kapitola 6.1.3 Jadrový projekt
- [I.4] PpBS Kapitola 6.1.4 Termo-hydraulický projekt
- [I.5] PpBS Kapitola 6.1.5 Materiály jadrového reaktora
- [I.6] PpBS Kapitola 6.1.6 Funkčný projekt systémov riadenia reaktivity
- [I.7] PpBS Kapitola 6.1.7 Prevádzka aktívnej zóny v režimoch sledovania zaťaženia siete
- [I.8] PpBS Kapitola 6.2.3 Tlaková nádoba reaktora

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

- [II.1] BNS I.1.2/2008 Rozsah a obsah bezpečnostnej správy, ÚJD SR, Bratislava, 11/2008
- [II.2] 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.3] Vyhláška ÚJD SR č. 58/2006 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovovania dokumentácie jadrových zariadení, potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam
- [II.4] BNS I.1.2/2014 Rozsah a obsah bezpečnostnej správy, ÚJD SR, Bratislava, 01/2014