

Technická správa

Predprevádzková bezpečnostná správa

Kapitola 06.01.03 Jadrový projekt

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	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: 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: PNM34361029			A4	6.01	RS	Z	8
 * P N M 3 4 3 6 1 0 2 9 0 5 *				Sheet / List	Of / z		Plant System / Systém elektrárne	Component / Komponent
				1	31			

SE Contract No. / Číslo zmluvy SE: 4600003952				VUJE Contract No. / číslo zmluvy VUJE: 1719/00/09			
Part name / Označenie časti: PNM3436102905_S_C00_V				Issued on / Vydané dňa: 21.08.2019			
Kód citlivosti ¹⁾ / Sensitivity code ¹⁾	3	Name / Meno	Organization / Organizácia	Dept. / Útvar	Date / Dátum	Signature / Podpis	
Author / Vypracoval:			• VUJE, a.s.	• 0220	• 21.08.2019		
Co-author / Spolupracoval:			• VUJE, a.s.	• 0220	• 21.08.2019		
			•	•	•		
			•	•	•		
Checked by / Kontroloval:			• VUJE, a.s.	• 0220	• 21.08.2019		
			•	•	•		
			•	•	•		
			•	•	•		
Verified by / Overil:			• VUJE, a.s.	• 0720	• 21.08.2019		
Approved by / Schválil:			• VUJE, a.s.	• 1703	• 21.08.2019		

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
• Celý dokument	• Zapracovanie pripomienok SE	• Comment sheet MO34-CS-N012-20190819-002
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•
•		•

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 06.01.03 Jadrový projekt	• PNM3436102905_S_C00_V	• 05
2.	• Kapitola 06.01.03 Jadrový projekt	• PNM3436102905_S_C01_V	• 05
3.	.	.	.
4.	.	.	.
5.	.	.	.
6.	.	.	.
7.	.	.	.
8.	.	.	.
9.	.	.	.
10.	.	.	.
11.	.	.	.

OBSAH

OBSAH.....	4
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ.....	5
ÚVOD.....	8
6.1.3 Jadrový projekt	9
6.1.3.1 Projektové východisko	10
6.1.3.2 Popis - jadrové charakteristiky	13
6.1.3.2.1 Popis konštrukcie a stratégie palivového cyklu.....	13
6.1.3.2.2 Vyhorevanie paliva	13
6.1.3.2.3 Rozloženie vývinu energie.....	14
6.1.3.2.3.1 Východiskové kritériá projektovania pre aktívnu zónu s 349 kazetami.....	14
6.1.3.2.3.2 Koeficienty rezerv, koeficienty nerovnomernosti	14
6.1.3.2.3.3 Výpočtové koeficienty nerovnomernosti palivových zavážok	16
6.1.3.2.3.4 Rozloženie vývinu energie pre termohydraulické analýzy.....	16
6.1.3.2.4 Koeficienty reaktivity a záporná spätná väzba reaktivity. Kontrola reaktivity systémom bórovej regulácie.	21
6.1.3.2.5 Mechanický systém regulácie (SORR) a jeho účinnosť	21
6.1.3.2.6 Reaktivita reaktora počas výmeny paliva	22
6.1.3.2.7 Prechodové procesy a nestacionárna xenónová otrava, stabilitosť poľa vývinu energie, skoky lokálneho výkonu. Kontrola rozloženia vývinu energie	23
6.1.3.2.7.1 Všeobecné ustanovenia	23
6.1.3.2.8 Vstupné údaje pre havarijné analýzy	24
6.1.3.2.9 Vlastnosti gadolína a jeho použitie vo VVER.....	25
6.1.3.2.10Prevádzková kontrola aktívnej zóny (SVRK).....	26
6.1.3.3 Analytické metódy.....	28
LITERATÚRA	29
ZOZNAM OBRÁZKOV	30
ZOZNAM TABULIEK	31

Zoznam Použitých Skratiek a Označení

AZ	aktívna zóna
B, W	vyhorenie, MWd/kgU
c_B	koncentrácia bóru v chladive, g/kg
c_{H3BO3}	koncentrácia kyseliny boritej v chladive, g/kg
dov	dovolená hodnota
DPZ	samonapájací detektor neutrónov
HRK	havarijná, regulačná a kompenzačná kazeta
H₆, H_{REG}	výpočtová (podľa BIPR-7) výška polohy regulačnej skupiny kaziet HRK, (rozdiel výšky hornej hranice paliva v TVS HRK pracovnej skupiny a dolnej hranice paliva v PK), cm
H₁₋₅	výpočtová výška polohy kaziet HRK 1-5 skupiny (rozdiel výšky hornej hranice paliva v TVS HRK 1.-5. skupiny a dolnej hranice paliva v PK), cm
H₁₋₆	výpočtová poloha všetkých kaziet HRK, cm
JZ	Jadrové zariadenie
k	číslo najviac zaťaženého úseku (vrstvy) kazety, počítajúc od spodu AZ (pod úsekom, alebo vrstvou sa rozumie 1/42 dĺžky palivového stĺpca v PK)
K0, BOC	začiatok kampane reaktora
K1, T_{EOBC}	koniec bórovej kampane reaktora
K2, T_{EOSC}	koniec kampane reaktora na 100% výkone, pri úplnom vytiahnutí pracovnej skupiny kaziet HRK z aktívnej zóny
K3, EOC,	koniec kampane reaktora so zahrnutím prevádzky na teplotnom a výkonovom efekte
T_{EOC}	reaktivity
K_{ef}	efektívny koeficient rozmnoženia
K_{inž}^{kaz}	inžiniersky koeficient rezervy neurčitostí výkonu kazety
K_{inž}^{tv el}	inžiniersky koeficient rezervy neurčitostí výkonu palivového prútika
K_{inž}^{tabl}	inžiniersky koeficient rezervy neurčitostí výkonu palivovej tabletky
K_{mech}^{kaz}	mechanický koeficient rezervy výkonu kazety - zahrňuje technologické tolerancie na palivo
K_{mech}^{tv el}	mechanický koeficient rezervy výkonu palivového prútika - zahrňuje technologické tolerancie na palivo
K_{mech}^{tabl}	mechanický koeficient rezervy výkonu tabletky - zahrňuje technologické tolerancie na palivo
K_{met}^{kaz}	metodický koeficient rezervy výkonu kazety - uvažuje chybu fyzikálnych výpočtov
K_{met}^{tv el}	metodický koeficient rezervy výkonu palivového prútika - uvažuje chybu fyzikálnych výpočtov
K_{met}^{tabl}	metodický koeficient rezervy výkonu tabletky - uvažuje chybu fyzikálnych výpočtov
K_{inž}^{Δt}	inžiniersky koeficient rezervy na ohreve chladiwa
K_K	koeficient nerovnomernosti vývinu energie v palivových prútikoch kazety
K_N	koeficient rezervy neurčitostí výkonu reaktora
KNI	neutrónový merací kanál
Kq	koeficient nerovnomernosti výkonu kaziet = výkon kazety / (výkon reaktora / 349)
Kr	koeficient nerovnomernosti výkonu palivových prútikov aktívnej zóny = výkon prútika / (výkon reaktora / (349*126))

Ko	koeficient nerovnomernosti rozloženia lineárneho výkonu v palivových prútikoch (koeficient nerovnomernosti výkonu palivových tabletiiek) = výkon tabletky / (výkon reaktora / (349*126*dĺžka palivového prútika))
Kz	koeficient nerovnomernosti vývinu energie po výške palivovej kazety = maximálny výkon po výške kazety / výkon kazety
Kv	koeficient nerovnomernosti vývinu energie v objeme aktívnej zóny (bez zahrnutia nerovnomernosti v priereze kazety) = výkon výpočtového bodu / (výkon reaktora / (349 * počet výpočtových bodov po výške kazety))
l, l_{ok}	stredná doba života okamžitých neutrónov, s
m	číslo palivového prútika v kazete, ktorému zodpovedá koeficient nerovnomernosti
max	maximálna hodnota
min	minimálna hodnota
MKV	minimálny kontrolovaný výkon
n	číslo kazety, ktorej zodpovedá koeficient nerovnomernosti
n-f	neutrónovo-fyzikálne (charakteristiky)
n_{predch}	pozícia kazety (číslo kazety) v AZ v predchádzajúcej kampani
N_{RE}, N	tepelný výkon reaktora, MW, %
PK	pracovná kazeta
Sm	Index zahrnutia vplyvu Sm-149 (Sm= -2 - koncentrácia Sm sa počíta z vyhorenia na daný moment kampane reaktora)
SORR	systém ochrany a riadenia reaktora
t	teplota, °C
TČ	termočlánok
T_{ef}	efektívna dĺžka prevádzky, deň
t_{vel}	palivový prútik
t_{veg}	palivový prútik
TVS HRK	palivová časť HRK
t_{vst}	teplota chladiva na vstupe do reaktora, °C
t_{výst}	teplota chladiva na výstupe z reaktora, °C
T	čas, s
ZoD	zmluva o diele
Xe	index zahrnutia vplyvu Xe-135 = 0 - bez otravy, = 1 - rovnovážna koncentrácia Xe, = -1 - koncentrácia Xe sa berie z predchádzajúceho stavu, = -2 - koncentrácia Xe sa počíta z vyhorenia na daný moment kampane reaktora
Q_{kaz}^{max}	maximálny prevádzkový výkon kazety, MW
Q_{tvel}^{max}	maximálny prevádzkový výkon palivového prútika, kW
Q_{tabl}^{max}	maximálny prevádzkový výkon palivovej tabletky (výška tabletky 1cm), W
Q_{kaz}	stredný výkon kazety, MW
Q_{tvel}	stredný výkon palivového prútika, kW
Q_{tabl}	stredný výkon palivovej tabletky o výške 1cm, W
ql	lineárny výkon palivového prútika, W/cm
q̄l	stredný lineárny výkon palivového prútika (zodpovedá $\overline{Q_{tabl}}$), W/cm

Δq_l	lokálny skok lineárneho výkonu, W/cm
β_{ef}	efektívny podiel oneskorených neutrónov
$\Delta \rho$	efektívnosť, %
ρ	reaktivita aktívnej zóny, %
γ	hustota chladiva, g/cm ³
$\partial \rho / \partial \gamma$	koeficient reaktivity od hustoty chladiva – derivácia reaktivity AZ podľa hustoty, pri konštantných ostatných parametroch (teplota chladiva, výkon, koncentrácia bóru, otrava, vyhorenie), cm ³ /g
$\partial \rho / \partial t_u$	teplotný koeficient reaktivity na palive – derivácia reaktivity aktívnej zóny podľa rozloženia teploty paliva pri konštantných ostatných podmienkach (výkon väčší ako nula), 1/°C
$\partial \rho / \partial t_c$, $\partial \rho / \partial t_m$	teplotný koeficient reaktivity na chladive – derivácia reaktivity aktívnej zóny podľa strednej teploty chladiva so zahrnutím zmeny hustoty pri konštantných ostatných parametroch (výkonu, koncentrácii bóru atd.), 1/°C
$\partial \rho / \partial NB$	plný výkonový koeficient reaktivity – derivácia reaktivity aktívnej zóny podľa výkonu pri konštantnej teplote chladiva na vstupe do aktívnej zóny (zahrňuje zmeny teploty paliva a chladiva so zahrnutím zmeny hustoty po výške aktívnej zóny), 1/MW
$\partial \rho / \partial c_c$,	koeficient reaktivity na kyseline boritej, %/(g/kg)
$\partial \rho / \partial c_B$	koeficient reaktivity na kyseline boritej, %/(g/kg)

ÚVOD

Kapitola je vypracovaná na základe podkladov a údajov od dodávateľa paliva.

Rozsah a obsah kapitoly zodpovedá požiadavkám Bezpečnostného návodu „Rozsah a obsah bezpečnostnej správy“, časť 6.6.1.3 Jadrový projekt.

Opis projektu neutrónovo-fyzikálnych vlastností a správania sa aktívnej zóny reaktora zahrňuje:

- a) opis neutrónovo-fyzikálnych požiadaviek na projekt vrátane ohraničení na riadenie reaktivity, napríklad ohraničenia na výkon jadrového reaktora (aktívnej zóny), na výkon palivového prútika (maximálny, lineárny, prevádzkový), ohraničenia na vyhorenie jadrového paliva/ palivového prútika, ohraničenia na prebytok reaktivity, koeficienty reaktivity, na riadenie rozloženia výkonu a na vnášanie zápornej reaktivity;
- b) neutrónovo-fyzikálne charakteristiky jadrového paliva v aktívnej zóne vrátane parametrov neutrónovej fyziky aktívnej zóny, rozloženie obohatenia paliva, rozloženie vyhorenia, rozloženie vyhoriavajúcich absorbátorov neutrónov, rozmiestnenie orgánov riadenia a schémy výmeny paliva; dĺžka palivovej kampane, obohatenie jadrového paliva;
- c) 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;
- d) rozloženie výkonu v palivových prútikoch a palivových článkoch i v aktívnej zóne ako celku vrátane informácie o axiálnom a radiálnom rozložení výkonu; koeficienty rezerv, koeficienty nerovnomernosti, všeobecná schopnosť riadenia reaktivity;
- e) závislosť dovoľeného lineárneho výkonu a dovoľeného lokálneho skoku lineárneho výkonu v závislosti od vyhorenia jadrového paliva;
- f) preukázanie neutrónovo-fyzikálnej stability aktívnej zóny počas palivového cyklu s úvahami rozšírenými na všetky v projekte uvažované stavy JZ.

Podrobný obsah správy sa nachádza v dokumente PNM3436102904.

6.1.3 Jadrový projekt

6.1.3.1 Projektové východisko

Zdrojom tepla v aktívnej zóne reaktora je štiepenie jadier paliva predovšetkým pomalými (tepelnými) neutrónmi. Ako jadrové palivo sa používa urán vo forme UO_2 .

Vo všetkých palivových zavážkach pri nominálnom tepelnom výkone reaktora 1375 MW sa používa palivo 2. generácie, v prvej zavážke sú to neprofilované kazety s obohatením 1,6; 2,4; 3,6 % ^{235}U , počnúc druhou zavážkou sa zavádzajú profilované kazety s palivovými prútikmi s obsahom Gd_2O_3 a so stredným obohatením 4,87%, s maximálnym obohatením uránu izotopom ^{235}U 4,95 % (váhovo) a počnúc piatou zavážkou sa v každej nepárnej kampani do centra zaváža jedna kazeta HRK s obohatením 1,6 %, táto kazeta je v centre aktívnej zóny 2 roky.

Projekt je rozpracovaný vzhľadom k základnému režimu prevádzky reaktora s uvažovaním možnosti prevádzky aktívnej zóny v režime sledovania zaťaženia siete.

Aktívnu zónu je možné si približne predstaviť v tvare valca.. V skutočnosti sú to aktívne časti 349 šesťhranných palivových kaziet, rozmiestnených v trojuholníkovej mriežke.. Z hľadiska funkčných možností sú kazety rozdelené na dva typy: k prvému typu patria pracovné kazety (312 ks), tieto sú nepohyblivé; k druhému typu patria dvojdielne kazety HRK (37 ks), ktoré sa môžu vertikálne premiestňovať v aktívnej zóne. Tieto kazety patria do mechanického systému riadenia reaktivity.

V Jadrovom projekte sú uvedené základné neutrónovo - fyzikálne charakteristiky palivových zväzkov s ich dĺžkami kampaní.

Stratégia palivových cyklov je založená na zabezpečení plánovanej dĺžky prevádzky zväzkov.

Pre kompenzáciu zásoby reaktivity a pre riadenie reaktora sú určené dva nezávislé systémy pôsobenia na reaktivitu, založené na rôznych technických princípoch:

- mechanický systém, skladajúci sa z 37 kaziet HRK;
- kvapalný systém, založený na zmene koncentrácie kyseliny boritej v chladiace primárneho okruhu.

Pri odstávnej koncentrácii kyseliny boritej sa vykonáva výmena paliva aktívnej zóny. Aktívna zóna po výmene paliva, pri do hornej polohy vytiahnutých všetkých kazetách HRK je podkritická so zarátaním odchýlky počiatočnej hodnoty kritickej koncentrácie kyseliny boritej a so zarátaním chyby pri výmene paliva.

Každý z týchto systémov je schopný zabezpečiť odstavenie reaktora z ľubovoľného prevádzkového stavu bez prevýšenia limitov na poškodenie palivových prútikov.

Krok palivovej mreže zabezpečuje samoochranu aktívnej zóny pri práci na ľubovoľnom výkone v dôsledku záporných spätných väzieb od výkonu a teploty chladiča a paliva (koeficienty reaktivity od výkonu a teploty sú záporné).

Vďaka relatívne nevelkým rozmerom aktívnej zóny je táto stabilná voči radiálnemu a axiálnemu kolísaniu rozloženia výkonu pri prechodových procesoch od xenónu.

6.1.3.2 Popis - jadrové charakteristiky

6.1.3.2.1 Popis konštrukcie a stratégie palivového cyklu

Neutrónovo-fyzikálne vlastnosti aktívnej zóny boli stanovené s ohľadom na materiálové, geometrické a fyzikálne charakteristiky palivovej mriežky. Palivová mriežka aktívnej zóny predstavuje tesne umiestnené palivové kazety, zaliate vodou. Parametre aktívnej zóny a paliva, používané ako počiatočné údaje pre určenie jadrových charakteristík, sú uvedené v Tab. 6.1.3.2.1-1 až 6.1.3.2.1-2.

Tab. 6.1.3.2.1-1 Charakteristika aktívnej zóny

Charakteristika	Hodnota
Počet kaziet v aktívnej zóne, ks	349
Počet pracovných kaziet, ks	312
Počet kaziet HRK, ks	37
Tepelný výkon reaktora, MW	1375
Teplota chladiva na vstupe do aktívnej zóny, °C	268
Stredný prietok chladiva, m ³ /hod	42600

Tab. 6.1.3.2.1-2 Charakteristiky kaziet druhej generácie

Charakteristika	Hodnota
Počet palivových prútikov v PK a palivovej časti kazety HRK, ks (profilované/neprofilované)	120/126
Počet palivových prútikov s Gd v PK a palivovej časti kazety HRK, ks (profilované/neprofilované)	6/0

Dáta sú z kapitoly Jadrového projektu.

V Jadrovom projekte sú uvedené schémy palivových zavážok a základné neutrónovo-fyzikálne charakteristiky aktívnych zón.

6.1.3.2.2 Vyhorevanie paliva

Pre jednotlivé zavážky boli výpočtom stanovené dĺžky kampaní a maximálna hĺbka vyhorenia vyvázaného paliva.

6.1.3.2.3 Rozloženie vývinu energie

6.1.3.2.3.1 Východiskové kritériá projektovania pre aktívnu zónu s 349 kazetami

Maximálny prevádzkový výkon ekvivalentnej palivovej tabletky s hĺbkou vyhorenia palivového prútika menej ako 15 MWdní/kgU, číselne zodpovedá maximálnemu lineárnemu výkonu palivového prútika.

6.1.3.2.3.2 Koeficienty rezerv, koeficienty nerovnomernosti

Dovolený výpočtový koeficient nerovnomernosti výkonu tabletiiek sa počítal s maximálnym prevádzkovým výkonom palivových tabletiiek s hĺbkou vyhorenia palivových prútikov menej ako 15 MWdní/kgU, pri veľkých vyhoreniach palivových prútikov sa dovolený výpočtový koeficient nerovnomernosti výkonu tabletiiek znižuje, pretože sa znižuje dovolený prevádzkový výkon palivových tabletiiek.

S menším K_q sa dovolené K_r znižuje tak ako sa zväčšuje K_{inz}^{tvel} [6.1.3.2-1].

Parameter K_q nie je limitovaný, má len informatívny charakter. So znižovaním K_q sa zväčšuje K_{inz}^{kaz} [I.2].

Možné odchýlky pri určovaní ohrevu chladiva v prúde sa zohľadňujú špeciálnym koeficientom $K_{inz}^{\Delta t}$, ktorý zahŕňa K_{inz}^{pnit} a zohľadňuje odchýlku a nerovnomernosť prietoku chladiva. So znižovaním K_v a K_q sa zväčšuje $K_{inz}^{\Delta t}$ [I.2].

Pre palivové tabletky vo vyhoretých palivových prútikoch existuje závislosť q_l^{max} od strednej hĺbky vyhorenia palivového prútika. Podľa tejto závislosti sú určené dovolené skoky lokálneho lineárneho výkonu v palivovom prútku v závislosti od jeho hĺbky vyhorenia. Ohraničenia pre skok lokálneho lineárneho výkonu sa používajú pri výbere závažok a nekontrolujú sa počas prevádzky.

Počas prevádzky sa pod vyhorením tabletky môže brať vyhorenie v $1/42$ časti dĺžky palivového prútika, ktorá je najmenším kontrolovaným úsekom paliva.

6.1.3.2.3.3 Výpočtové koeficienty nerovnomernosti palivových zavážok

Pre potlačenie prudkých vzostupov vývinu energie je v palivových častiach kaziet HRK na vnútornom povrchu obalovej rúry od horného okraja stĺpca v palivovom prútku po dolný okraj hlavice palivovej časti kazety HRK rozmiestnených šesť doštičiek z hafnia.

6.1.3.2.3.4 Rozloženie vývinu energie pre termohydraulické analýzy

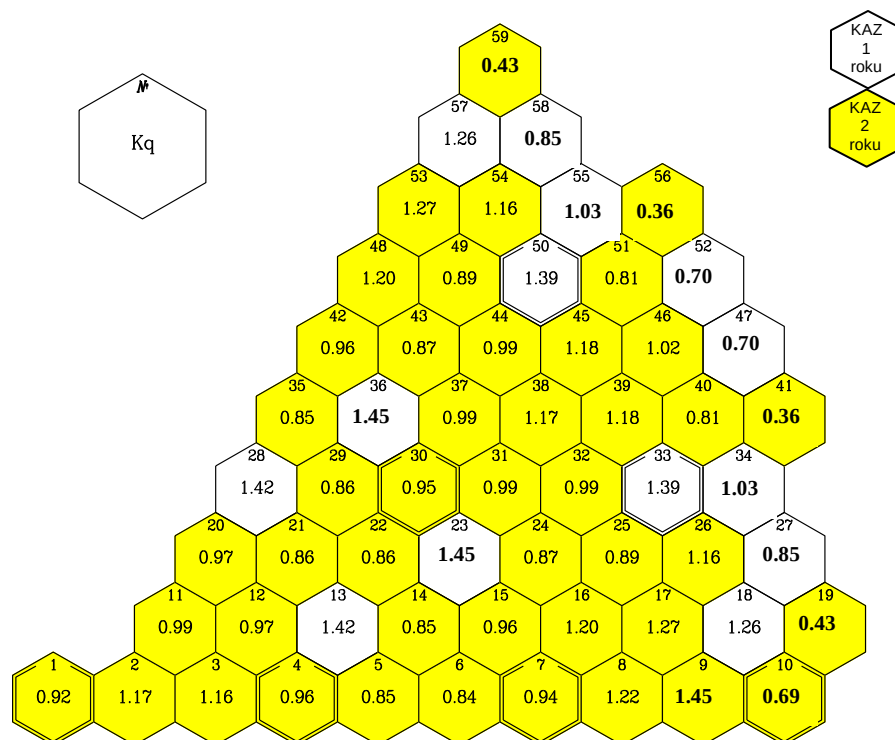
Zvolené palivové zavážky zabezpečujú neprevýšenie limitných hodnôt koeficientov nerovnomernosti počas prevádzky reaktora na nominálnom výkone.

V procese reálnej prevádzky energetických blokov sa môžu, z rôznych príčin, vyskytnúť odchýlky od režimu výmen paliva, uvedených v Jadrovom projekte. Preto termohydraulické analýzy pre normálne podmienky prevádzky a havarijné režimy boli vykonané pre konzervatívne rozloženia vývinu energie, pri ktorých sa pre jednu neprofilovanú kazetu so menším stredným obohatením a jednu kazetu s vyšším stredným obohatením dosahuje limitná hodnota výkonu prútika a tabletky, s uvažovaním koeficientov rezerv.

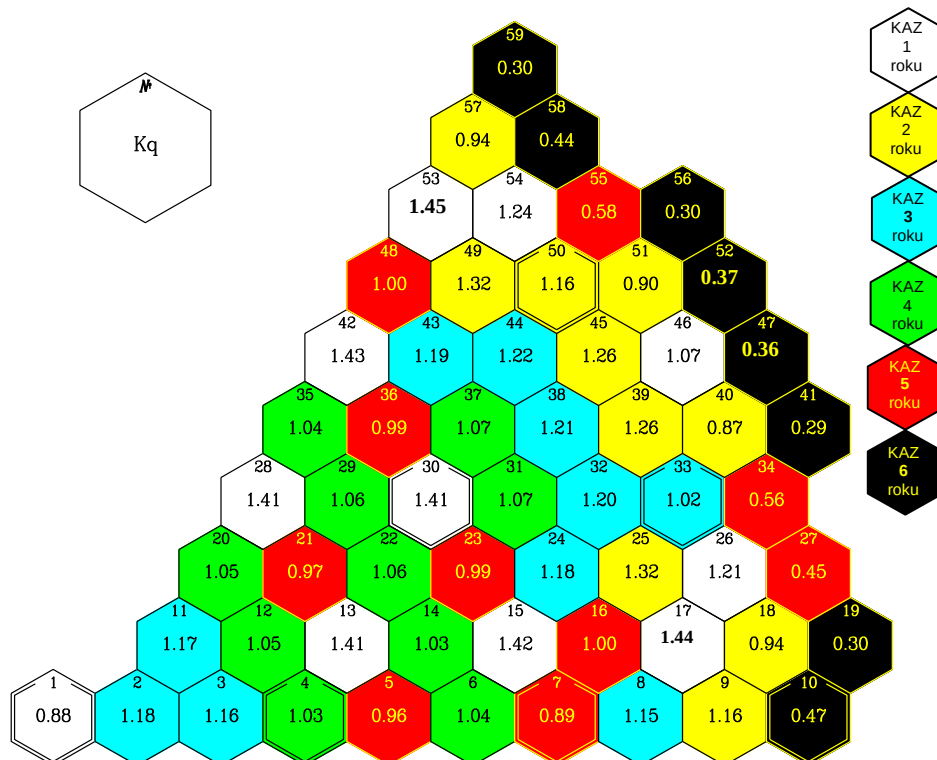
Koeficienty rezerv pre prvú a druhú zavážku sa trochu líšia od koeficientov rezerv, ktoré sa budú používať počnúc treťou zavážkou. Je to zviazané so zvýšením niektorých mechanických chýb pre kazety s nízkym obohatením, ktoré sa používajú v prvých zavážkach [I.2]. Preto sa robí osobitne konzervatívnosť 2. zavážky a osobitne konzervatívnosť stacionárnej zavážky. V druhej zavážke sú profilované aj neprofilované kazety, v stacionárnej zavážke je všetko palivo so stredným vyšším obohatením (počnúc treťou kampaňou, neprofilované kazety nie sú dôležité pre analýzy bezpečnosti).

Na Obr. 6.1.3.2.3-2, 6.1.3.2.3-3 je uvedené rozloženie relatívneho výkonu pracovných kaziet a kaziet HRK v aktívnej zóne druhej a stacionárnej zavážke pre konzervatívne výpočty. Na Obr. 6.1.3.2.3-4 až 6.1.3.2.3-6 sú uvedené relatívne výkony prútikov po priereze najzaťaženejších kaziet, ktoré sú pre konzervatívne termohydraulické výpočty. Maximálny vývin energie je v hornej časti aktívnej zóny nielen na konci práce na výkone 100 %, ale aj v ľubovoľný okamžik bórovej kampane pri vytiahnutej pracovnej skupine.

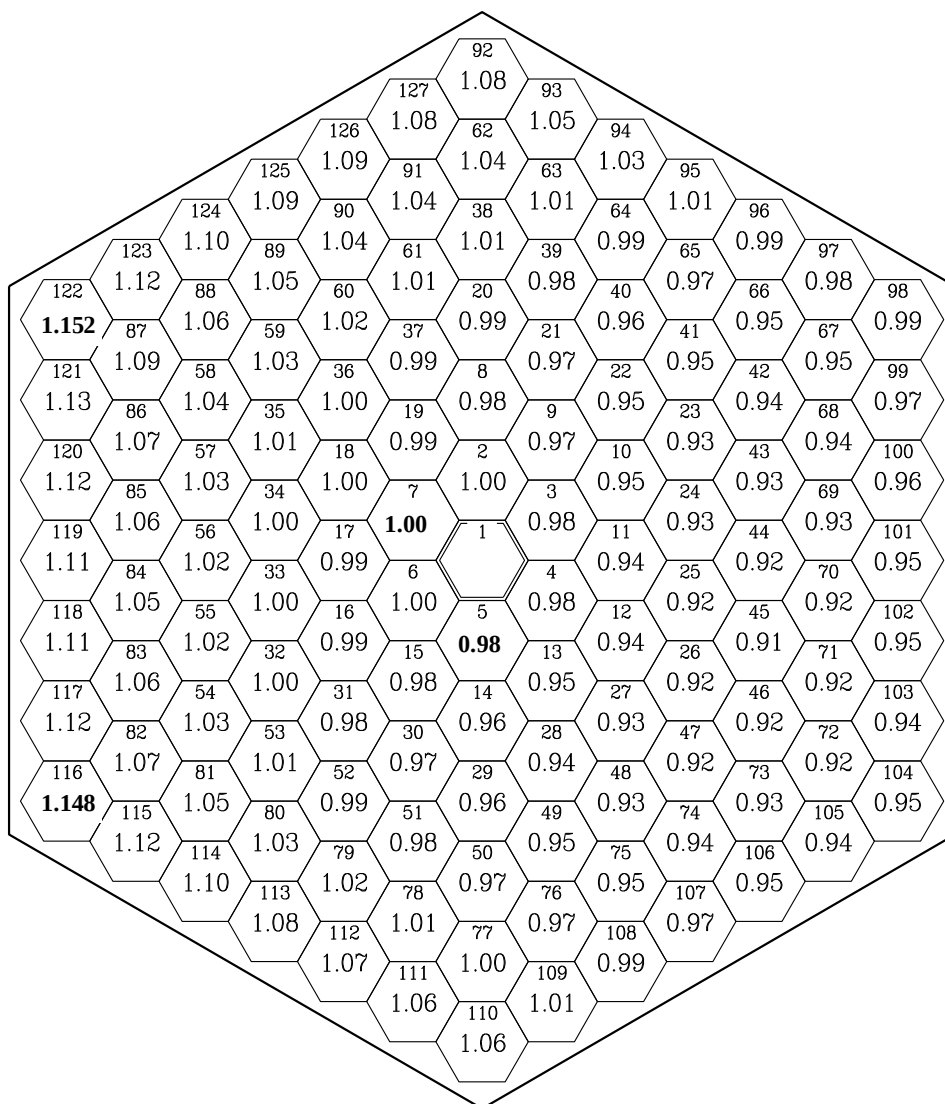
V [I.3] sa uvádzajú rozloženia relatívnych vývinov energie, ktoré môžu nastať počas reálnej prevádzky energetických blokov, pri prevádzkovaní prvej, druhej a stacionárnej zavážky. Stanovila sa limitná poloha pracovnej skupiny v rôznych dobách palivových zavážok, pri ktorej sa neprekročí maximálny výkon prútika a maximálny lineárny výkon prútika podľa Obr. 6.1.3.2.3-1.



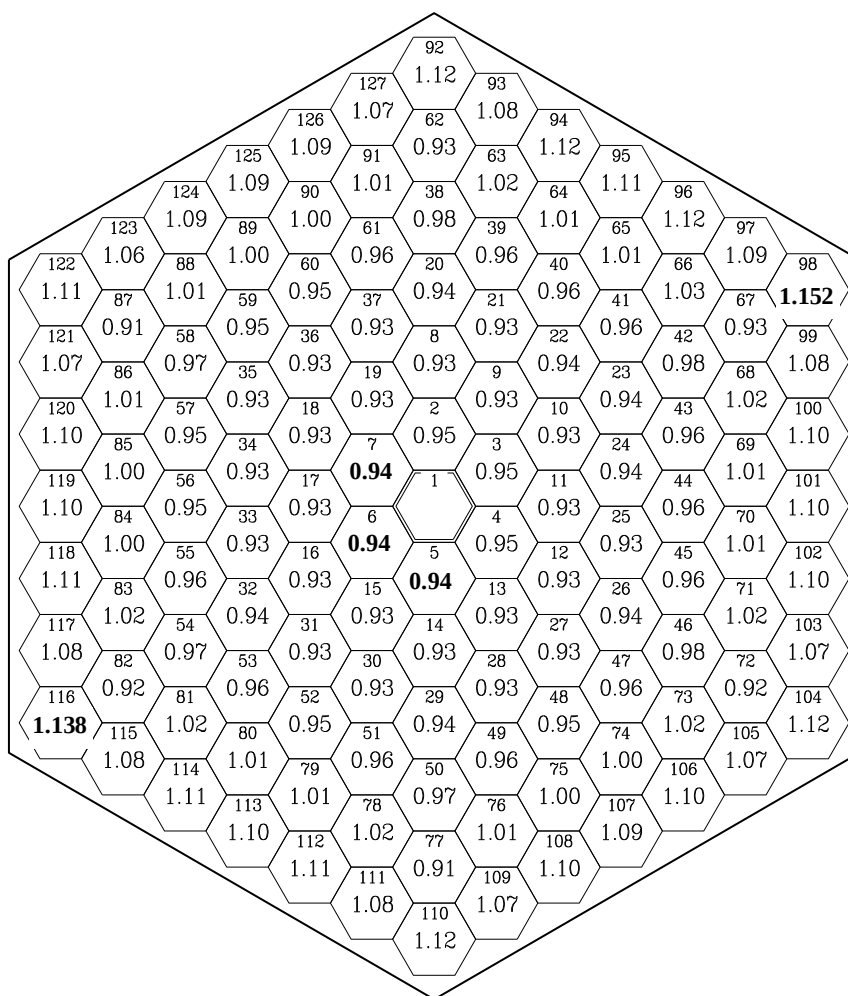
Obr. 6.1.3.2.3-1 Konzervatívne rozloženie relatívnych výkonov PK a palivových častí kaziet HRK pre termohydraulické výpočty v druhej závažke. Posudzuje sa najzaťaženejšia kazeta



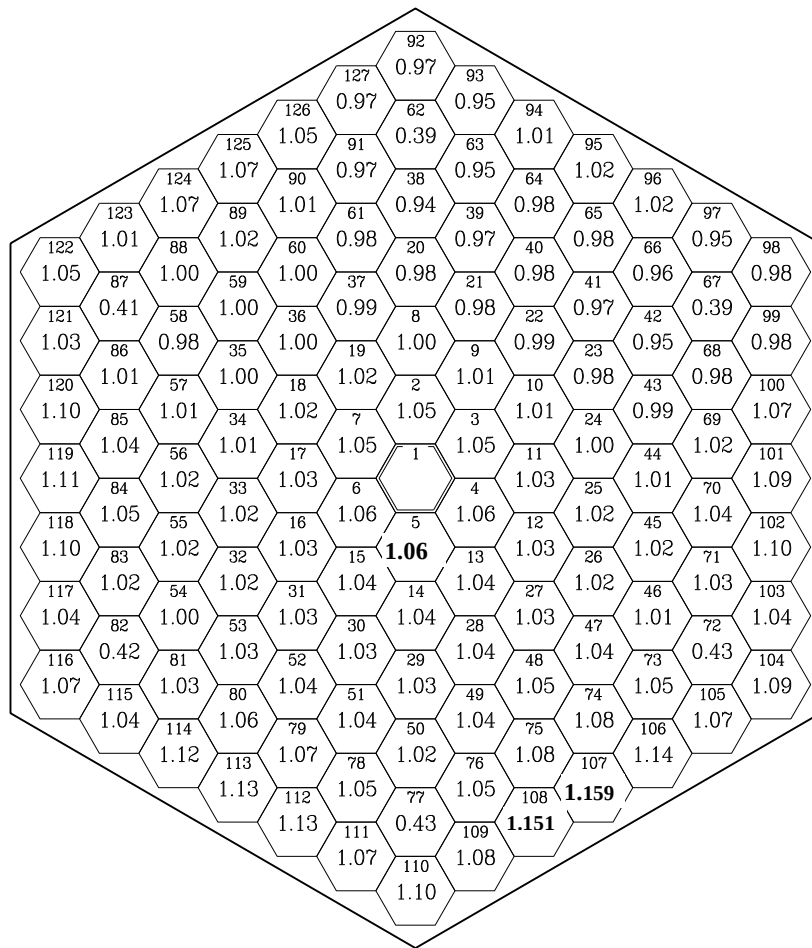
Obr. 6.1.3.2.3-2 Konzervatívne rozloženie relatívnych výkonov PK a palivových častí kaziet HRK pre termohydraulické výpočty v stacionárnej závažke. Posudzuje sa najzaťaženejšia kazeta



Obr. 6.1.3.2.3-3 Rozloženie relatívnych výkonov palivových prútikov po priereze PK pre konzervatívne výpočty v druhej závažke



Obr. 6.1.3.2.3-4 Rozloženie relatívnych výkonov palivových prútikov po priereze PK pre konzervatívne výpočty v druhej závažke



Obr. 6.1.3.2.3-5 Rozloženie relatívnych výkonov palivových prútikov po priereze PK pre konzervatívne výpočty v stacionárnej záťažke

6.1.3.2.4 Koeficienty reaktivity a záporná spätná väzba reaktivity. Kontrola reaktivity systémom bórovej regulácie.

Koeficienty reaktivity - dôležité charakteristiky aktívnej zóny. Záporné hodnoty koeficientov reaktivity od teploty chladiva ($\partial\rho/\partial t_M$ zohľadňuje aj zmenu hustoty), od teploty paliva a od výkonu dodávajú aktívnej zóne vlastnosti samoochrany a bránia jej samovoľnému rozbehu. Najdôležitejšie z pohľadu jadrovej bezpečnosti je dosahovanie kritického stavu po výmene paliva. Všetky prekládky, okrem prvej, boli vybrané tak, aby na BOC pri všetkých vytiahnutých HRK, pri neotrávenom stave Xe, teplotný koeficient reaktivity moderátora bol záporný a hustotný koeficient reaktivity chladiva kladný.

Uvedené rôzne koeficienty reaktivity a parametre bodovej kinetiky pre rôzne kritické stavy postupne odzrkadľujúce nahrievanie, zvyšovanie výkonu, stacionárnu otravu, vyhorevanie a vychladzovanie pred ďalšou výmenou paliva. Stavy pri nahrievaní sú fiktívne a používajú sa na určenie teploty, počínajúc ktorou je možné dosahovať kritický stav.

Vo všetkých projektových záväzkoch (okrem prvej) so započítaním chyby výpočtu sú koeficienty reaktivity $\partial\rho/\partial t_M \leq 0$.

V prvej palivovej záväzke je $(\partial\rho/\partial t_M + \partial\rho/\partial t_{U*}) \leq 0$, to znamená, že fyzikálne spúšťanie je možné zrealizovať pri týchto podmienkach. Limity a podmienky platné počas fyzikálneho spúšťania však môžu dočasne pripustiť a zmiernenie požiadavky na nezápornosť izotermického teplotného koeficienta. To umožní, aby poloha pracovnej skupiny HRK bola väčšia ako minimálna.

Bórový systém sa používa pri pomalých zmenách reaktivity, napríklad pri vyhorevaní paliva. kritická koncentrácia kyseliny boritej je uvedená pre rôzne stavy, tak pre úplne vytiahnuté kazety HRK, ako aj pre čiastočné zasunutie regulačnej skupiny HRK. V týchto istých tabuľkách sa uvádza aj bórový koeficient reaktivity (diferenciálna účinnosť kyseliny boritej).

Presnosť výpočtu je uvedená v [I.4].

6.1.3.2.5 Mechanický systém regulácie (SORR) a jeho účinnosť

Mechanický systém regulácie (systém pôsobenia na reaktivitu) pozostáva z 37 kaziet HRK a je rozdelený na šesť skupín. Šiesta skupina slúži na operatívnu reguláciu počas prevádzky záväzky a je počas bórovej kampane čiastočne zasunutá, po ukončení bórovej kampane sa šiesta skupina pomaly vyťahuje a umožňuje tým ďalšiu prevádzku.

Celková účinnosť HRK značne závisí od teploty chladiva. Najväčší význam majú tieto účinnosti v pracovných stavoch. Údaje ukazujú slabú zmenu účinnosti regulačnej skupiny od vyhorenia, napriek tomu, diferenciálna účinnosť sa v hornej časti aktívnej zóny značne zvyšuje na konci prevádzky záväzky a najsilnejšie je tento efekt viditeľný v horúcom stave (diferenciálna účinnosť sa zvyšuje).

Bolo posudzované vystrelenie centrálnej a periférnej (bočnej) HRK v horúcom (MKV) a pracovnom stave. V horúcom stave vystrelenie prebiehalo z polohy pracovnej skupiny. V pracovnom stave sa nachádzala HRK v minimálnej konzervatívnej dolnej polohe. Maximálnu účinnosť má necentrálna (bočná) HRK, vystreľovaná v horúcom stave na začiatku bórovej kampane.

Mechanický systém pôsobenia na reaktivitu je určený na rýchle uvedenie reaktora do podkritického stavu v havarijných situáciách.

Jednou z dôležitých úloh tohto systému je zabezpečenie jadrovej bezpečnosti počas havárií, spojených s roztrhnutiami parovodov a kolektorov v sekundárnom okruhu. Pri takejto havárii prebieha rýchle vychladzovanie chladiva primárneho okruhu, ktoré vedie k rýchlemu uvoľneniu kladnej reaktivity. Tento nárast reaktivity je tým väčší, čím je väčšia zápornosť koeficienta reaktivity od teploty chladiva. Tento koeficient dosahuje najväčšiu zápornú hodnotu na konci kampane.

Analýza bola vykonaná pre koniec bórovej kampane. Údaje ukazujú, že pri značnom znížení teploty primárneho okruhu aktívna zóna môže dosiahnuť sekundárnu kritickosť (nekontrolovanú).

6.1.3.2.6 **Reaktivita reaktora počas výmeny paliva**

Po ukončení prevádzky záväzky na výkone sa reaktor odstavuje na následnú výmenu paliva, počas ktorej sa kazety, ktoré vyčerpali svoju rezervu na vyhorenie, vyvážajú do bazénu skladovania a čerstvé kazety (doplňované palivo) sa zavážajú do aktívnej zóny.

Proces výmeny paliva je možné schematicky predstaviť vo forme štyroch etáp:

1. vyvezenie kaziet, ktoré majú vyčerpanú svoju rezervu na vyhorenie, do bazénu skladovania;
2. premiestnenie pracovných kaziet, zostávajúcich v aktívnej zóne pre prevádzku v nasledujúcej záväzke;
3. premiestnenie palivových častí kaziet HRK (TVS);
4. zavezenie nových (čerstvých) kaziet do aktívnej zóny.

Počas výmeny paliva, po vyňatí pracovnej kazety, sa na jej mieste vytvorí vodný objem s odstavnou koncentráciou kyseliny boritej v chladive.

Počas výmeny paliva sa demontuje veko reaktora, palivové časti kaziet HRK sú vo svojej dolnej polohe a absorpčné časti kaziet HRK sa nachádzajú v aktívnej zóne. Po výmene paliva pri odstavnej koncentrácii kyseliny boritej, kedy sa absorpčné časti kaziet HRK nachádzajú v hornej polohe (vytiahnuté z aktívnej zóny), sa všetkých 37 palivových častí kaziet HRK nachádza v aktívnej zóne. Údaje ukazujú, že aktívna zóna po výmene paliva pri vytiahnutých všetkých kazetách HRK, pri odstavnej koncentrácii kyseliny boritej je podkritická.

Systémy riadenia reaktivity sú popísané v [I.5] (Kapitola 6.1.6 Funkčný projekt systémov riadenia reaktivity).

6.1.3.2.7 Prechodové procesy a nestacionárna xenónová otrava, stabilita poľa vývinu energie, skoky lokálneho výkonu. Kontrola rozloženia vývinu energie

6.1.3.2.7.1 Všeobecné ustanovenia

V [I.1] sa uvádza rozloženie výkonu v aktívnej zóne pri stacionárnej polohe regulačnej skupiny počas bórovej kampane a pri jej úplnom vytiahnutí na konci prevádzky záťaže. V uvedených rozloženiach výkonu nie sú prevýšené dovolené koeficienty nerovnomernosti. V [I.3] je uvedené rozloženie relatívnych výkonov, ktoré môžu byť v prvej, druhej a stacionárnej záťaži pri zdvihnutí a spustení pracovnej skupiny v rôznych dobách prevádzky jednotlivých záťaží, pri ktorých nebude prekročený maximálny výkon palivového prútika a maximálny lineárny výkon prútika.

Analýza prechodových procesov ukazuje, že oscilácie rozloženia výkonu v závislosti od prerozdelenia xenónu sú samostatné. Oscilácie úrovne výkonu nie sú možné. Všetky oscilácie rozloženia výkonu v zóne môžu byť detegované. SVRK a regulačné systémy zabezpečujú neprevýšenie normálnych režimov prevádzkovania paliva.

Tento projekt palivovej záťaže musí zabezpečovať možnosť prevádzkovania reaktora v základnom režime, v režime udržiavania frekvencie siete (primárna regulácia) a v režime sledovania zaťaženia siete (sekundárna a terciárna regulácia).

Výpočty preukázali, že aj pri takých silných zmenách si aktívna zóna zachováva stabilitu a nevznikajú v nej kolísania výkonu, ktoré sú vyvolané prechodovými procesmi na Xe.

Zásoba reaktivity na vyhorenie na začiatku kampane sa kompenzuje bórom a čiastočne zasunutou pracovnou skupinou HRK. Postupne (vyhorenie) klesá koncentrácia bóru v primárnom okruhu až na nulu. Ďalšia práca bloku pri zvyšovaní vyhorenia je sprevádzaná pomalým vyťahovaním pracovnej skupiny HRK. Výkon sa pri tom pomaly prerozdeľuje tak ako sa premiestňujú regulačné kazety. Nie je to prechodový proces - reaktor postupne prechádza z jedného skoro stacionárneho stavu do druhého. Výpočty ukazujú, že v tom prípade ohraničenia podľa dovoleného zaťaženia sú splnené s malou rezervou až do úplného vytiahnutia pracovnej skupiny HRK. Podmienky práce palivového prútika v takomto režime sú menej prísne, ako pri rýchlej zmene polohy orgánov regulácie.

Oblasť dovolených polôh regulačnej skupiny je určená v súlade s nerovnosťami:

$$Q_{kaz}^{max} - Q_{kaz}^{dov} \leq 0$$

$$Q_{tvel}^{max} - Q_{tvel}^{dov} \leq 0$$

$$(Q_I - Q_I^{dov}(B_1))^{max} \leq 0$$

$$(dQ_I - dQ_I^{dov}(B_2))^{max} \leq 0$$

kde

Q_{kaz}^{dov} - dovolený výkon kazety, MW;

Q_{kaz}^{max} - maximálny výkon kazety, MW;

Q_{tvel}^{dov} - dovolený výkon palivového prútika, kW;

Q_{tvel}^{max} - maximálny výkon palivového prútika, kW;

$Q_I^{dov}(B_1)$ - dovolený lokálny lineárny výkon, W/cm;

- $(Q_1 - Q_1^{\text{dov}}(B_1))^{\text{max}}$ - maximálny rozdiel výpočtovej hodnoty lokálneho lineárneho výkonu od dovolenej hodnoty (v algebraickom zmysle), W/cm;
- $dQ_1^{\text{dov}}(B_2)$ - dovolený skok lokálneho lineárneho výkonu, W/cm;
- $(dQ_1 - dQ_1^{\text{dov}}(B_2))^{\text{max}}$ - maximálny rozdiel výpočtovej hodnoty skoku lokálneho lineárneho výkonu od dovolenej hodnoty (v algebraickom zmysle), W/cm;
- B_1 - vyhorenie palivového prútika, MWdni/kgU;
- B_2 - vyhorenie palivovej tabletky, MWdni/kgU.

Pretože systém SVRK na blokoch dovoľuje kontrolovať limity výkonu kaziet, palivových prútikov a lokálneho lineárneho výkonu, tak sa výpočtová kontrola v súlade s nerovnosťami môže považovať za odporúčanie. Výpočtovú kontrolu limitu skoku lokálneho lineárneho výkonu v súlade s nerovnosťami je potrebné považovať za povinnú.

6.1.3.2.8 Vstupné údaje pre havarijnú analýzu

V tejto kapitole sú uvedené maximálne a minimálne hodnoty neutrónovo-fyzikálnych charakteristík prvej palivovej zväžky s výkonom 1375 MW pri používaní neprofilovaných pracovných kaziet a palivových častí kaziet HRK s menším alebo väčším stredným obohatením. V tejto kapitole sú taktiež uvedené maximálne a minimálne hodnoty neutrónovo-fyzikálnych charakteristík zväžok s výkonom 1375 MW pri používaní pracovných kaziet a palivových častí kaziet HRK s vyšším stredným obohatením. Tieto hodnoty boli získané z údajov, pripravených pre projektové zväžky, z vypočítaných údajov pre zväžky s alternatívnou dĺžkou kampane odlišnou od stacionárnej projektovej [I.1].

Na ocenenie získaných výpočtových hodnôt neutrónovo-fyzikálnych charakteristík na nulovom výkone v prvej kampani je zväčšený konzervativizmus - chyba výpočtových hodnôt na nulovom výkone je zvýšená na 50 %.

Koeficienty reaktivity na nominálnom výkone sú konzervatívne uvedené pri polohe regulačnej skupiny od 50 do 100 % od spodku aktívnej zóny.

Koeficienty reaktivity na nulovom výkone sú uvedené pri polohe regulačnej skupiny od 20 do 100 % od spodku aktívnej zóny.

V tejto kapitole je informácia, týkajúca sa rôznych aspektov účinnosti kaziet tyčí, uvedená nie na koniec prevádzky na 100 % výkone, keď je regulačná skupina vyťahnutá, ale v momente ukončenia bórovej kampane, regulačná skupina čiastočne zasunutá, čo zabezpečuje konzervatívnosť vstupných údajov pre analýzu havárií. Uvedené hodnoty účinnosti automatickej ochrany sú získané s uvažovaním zaseknutia najúčinnnejšej kazety HRK, počiatočnou výškou regulačnej skupiny pre stavy na výkone a nižšou polohou pre stavy na MKV.

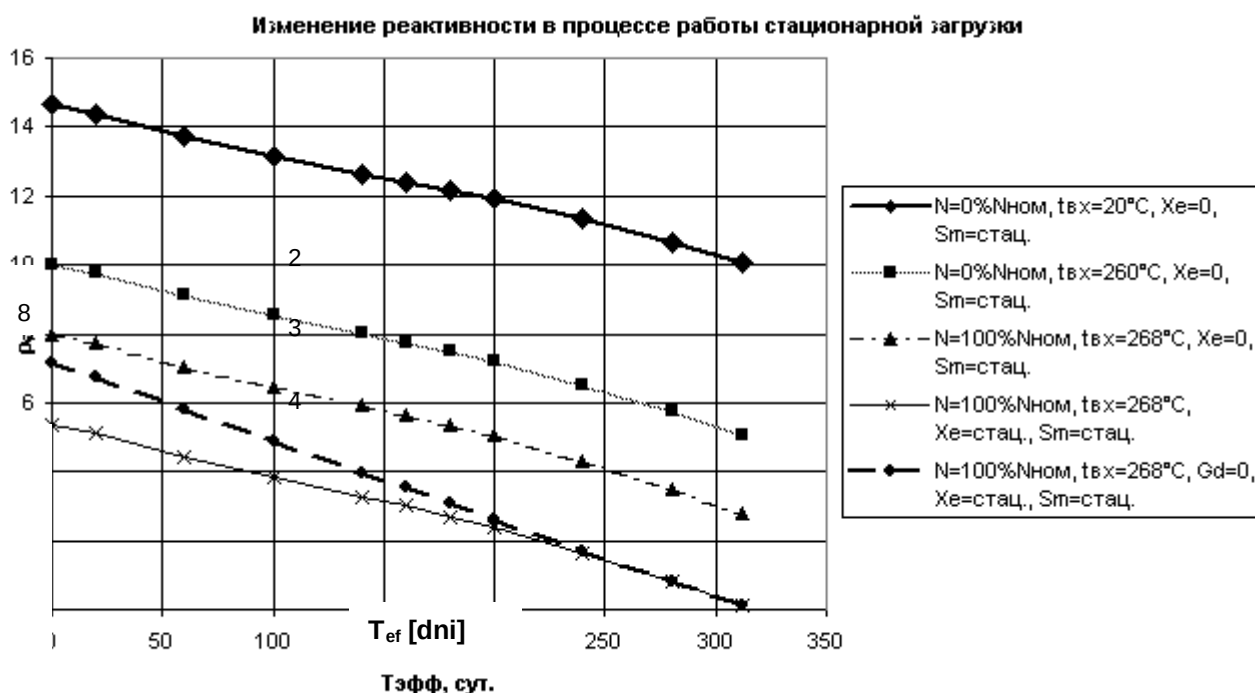
Vlastnosti gadolína a jeho použitie vo VVER

V reaktoroch VVER sa gadolínium používa ako vyhorevajúci absorbátor. Používa sa vo forme prášku Gd_2O_3 , zmiešaného s UO_2 . Niektoré izotopy gadolína majú veľmi vysoký účinný prierez pre absorpciu tepelných neutrónov v porovnaní s ^{235}U a vďaka tomu skoro úplne vyhárajú počas jednej kampane. Pritom sa gadolínium nemení na iný chemický element, tak ako sa to deje s bórom pri absorbovaní ním tepelných neutrónov, ale sa vytvárajú izotopy s malým účinným prierezom pre absorpciu tepelných neutrónov.

V dôsledku vyhorevania sa izotopy Gd – 155 a Gd – 157 s vysokým účinným prierezom pre absorpciu tepelných neutrónov premieňajú odpovedajúco na izotopy s malým účinným prierezom pre absorpciu tepelných neutrónov Gd – 156 a Gd – 158.

Na Obr. 6.1.3.2.9-2 je uvedená zmena reaktivity ($c_B=0$) počas prevádzky stacionárnej závažky. Pre stanovenie reaktivity kompenzovanej gadolíniom je uvedená fiktívna krivka 5, ktorá predstavuje zmenu reaktivity aktívnej zóny pre palivo so vyšším stredným obohatením bez gadolína.

Rozdiel reaktivít medzi krivkami 5 a 4 predstavuje reaktivitu kompenzovanú prítomnosťou gadolína v aktívnej zóne. Zvyšková reaktivita sa v nasledujúcich kampaniach zohľadňuje.



Obr. 6.1.3.2.8- 1Zmena reaktivity v priebehu prevádzky stacionárnej závažky

Integrovaný do paliva vyhorevajúci absorbátor na báze Gd_2O_3 zabezpečuje podstatné zlepšenie jadrovej bezpečnosti pri manipuláciách s palivom zvýšeného počiatočného obohatenia.

6.1.3.2.9 Prevádzková kontrola aktívnej zóny (SVRK)

Takýto prístup umožňuje zabezpečiť potrebnú úroveň bezpečnosti a hospodárnosti prevádzkovania paliva v aktívnej zóne VVER.

Rozmiestnenie TČ na výstupe z kaziet a KNI, obsahujúcich DPZ rovnomerne rozmiestnených po výške aktívnej zóny.

SVRK umožňuje kontrolovať parametre ohraničenia výkonu tak pre prvú prechodovú záťažku, ako aj pre nasledujúce palivové záťažky. Počíta sa a zobrazuje sa ako informatívny parameter relatívne rozloženie výkonu v objeme aktívnej zóny K_v v 42 vrstvách po výške.

SVRK zabezpečuje počas kampane možnosť preverky reprezentatívnosti výpočtového zdôvodnenia palivovej záťažky porovnaním projektového (vypočítaného pomocou výpočtových programov) kazetového a prútkového rozloženia vývinu energie s rekonštruovaným na základe údajov snímačov SVRK.

Princípy a výsledky preverky, v štádiu rozpracovania palivových záťažok, projektových ohraničení rozloženia vývinu energie v aktívnej zóne sú uvedené v bodoch 6.1.3.2.3.1 - 6.1.3.2.3.3. Nižšie sú uvedené princípy kontroly rozloženia vývinu energie v štádiu prevádzky palivových záťažok.

Projektovými ohraničeniami pri šiestich pracujúcich slučkách sú lineárne výkony pre kazety druhej generácie s vyšším stredným obohatením a závislosť lineárneho výkonu..

Pri práci troch, štyroch a piatich HCČ sa projektové ohraničenia určujú (znižujú) proporcionálne dovoleným úrovňam výkonu reaktora.

Počas prevádzky sa musia kontrolovať nasledujúce ohraničenia relatívnych veličín, charakterizujúcich vývin energie v reaktore (alebo ohraničenia zodpovedajúcich absolútnych veličín):

$$K_r^{\max} = (K_q \cdot \overline{K_k})^{\max} \leq (Q_{\text{prút}}^{\max} / \overline{Q_{\text{prút}}}) \cdot (1 + \Delta K_{N \text{ mer}})^{-1} \cdot (1 + \Delta K_{r, \text{mer}})^{-1};$$

$$K_o = (q_l / \overline{Q_{\text{tabl}}}) \leq (q_l^{\max} / \overline{Q_{\text{tabl}}}) \cdot (1 + \Delta K_{N \text{ mer}})^{-1} \cdot (1 + \Delta K_{o, \text{mer}})^{-1},$$

kde

$\Delta K_{N \text{ mer}}$ - koeficient, zohľadňujúci neurčitost' stanovenia výkonu reaktora.

$\overline{K_k}$ - maximálna hodnota nerovnomernosti výkonu palivového prútika/palivového prútika s Gd v kazete, stredované po výške palivovej časti;

$\overline{Q_{\text{prút}}}$ - stredný výkon palivového prútika/palivového prútika s Gd, kW;

$\Delta K_{r, \text{mer}}$ - neurčitost' vyhodnotenia v SVRK relatívneho výkonu palivového prútika v aktívnej zóne K_r , rel.jedn.;

K_k - maximálna hodnota nerovnomernosti lokálneho výkonu palivového prútika/palivového prútika s Gd po jeho výške, rel.jedn.;

$q_l^{\max}$ = maximálny lineárny výkon;

$\overline{Q_{\text{tabl}}}$ - stredný lineárny výkon palivového prútika/palivového prútika s Gd, kW;

$\Delta K_{o, \text{mer}}$ - koeficient, vyjadrujúci neurčitost' stanovenia K_o , rel.jedn.

Pre systém vnútroreaktorovej kontroly 3.a 4. bloku JE Mochovce sú platné nasledujúce hodnoty koeficientov:

- $\Delta K_{r,mer} =$ – neurčitosť vyhodnotenia v SVRK relatívneho výkonu palivového prútika v aktívnej zóne, zahrňuje v sebe chybu stanovenia relatívneho výkonu kazety (K_q) a chybu výpočtu strednej po výške kazety poprútkovej nerovnomernosti vývinu energie v kazete, uvedená neurčitosť bola určená s pravdepodobnosťou 95 %;
- $\Delta K_{o,mer} =$ – neurčitosť vyhodnotenia v SVRK relatívneho výkonu úseku palivového prútika v aktívnej zóne, zahrňuje v sebe chybu stanovenia relatívneho výkonu kazety úseku kazety (K_v) a chybu výpočtu poprútkovej nerovnomernosti vývinu energie vo vrstve po výške kazety, uvedená neurčitosť bola určená s pravdepodobnosťou 95%.

SVRK je popísaný v [I.6] (Kapitola 6.5.5.6 Systém vnútrereaktorovej kontroly - Incore).

.

6.1.3.3 Analytické metódy

Všetky fyzikálne výpočty boli vykonávané s použitím komplexu programov vypracovaného vo FGU RNC Kurčatovský inštitút a atestovaného v Rusku BIPR-7A [II.1], PERMAK-A [II.2], TVS M [II.3].

Okrajové podmienky požadované programom BIPR-7A boli pripravované pomocou dvojrozmerného štvorgrupového jemnosieťového programu PERMAK-A. Mnohoparametrické závislosti málogrupových neutrónových prierezov výpočtových buniek, požadované programom BIPR-7A a PERMAK-A, boli počítané mnogogrupovým spektrálnym programom TVS-M.

Nepresnosti výpočtovej prognózy neutrónovo-fyzikálnych charakteristík pre reaktory VVER-440 s kazetami druhej generácie uvedeným komplexom programov nepresahujú nasledovné absolútne hodnoty:

- teplotný koeficient reaktivity moderátora, °C ⁻¹	3·10 ⁻⁵
(pri $ \partial\rho/\partial t_M > 3\cdot 10^{-5}$ $\Delta \partial\rho/\partial t_M = 3\cdot 10^{-5} + 0,1\cdot(\partial\rho/\partial t_M - 3\cdot 10^{-5})$;	
- koeficient reaktivity od hustoty chladiva, m ³ /kg	1,5·10 ⁻⁵
pri $ \partial\rho/\partial\gamma > 1,5\cdot 10^{-5}$ $\Delta \partial\rho/\partial\gamma = 1,5\cdot 10^{-5} + 0,1\cdot(\partial\rho/\partial\gamma - 1,5\cdot 10^{-5})$;	
- kritická koncentrácia kyseliny boritej na začiatku prevádzky zarážky, g/kg	0,3
- teplota sekundárnej kritickosti, °C	20.

Pre nižšie uvedené parametre nepresnosti neprevyšujú nasledovné relatívne hodnoty:

- teplotné koeficienty reaktivity paliva, %	15;
- výkonové koeficienty reaktivity reaktora, %	12;
- účinnosť regulačnej skupiny HRK, %	10;
- účinnosť jednej HRK regulačnej skupiny, %	15;
- účinnosť automatickej ochrany (bez najúčinnnejšej kazety HRK), %	10;
- účinnosť tekutého absorbátora, %	3;
- efektívny podiel oneskorených neutrónov, %	5;
- doba života okamžitých neutrónov, %	4;
- efekt otravy Xe-135, %	5;
- trvanie kampane palivovej zarážky, %	3.

Podrobnejšie informácie o presnosti výpočtov použitého výpočtového komplexu programov je v [I.2].

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

- [I.1] Safety Analysis Report, kap. 6.6.1.3 Jadrový projekt
- [I.2] Zdôvodnenie nových inžinierskych a mechanických koeficientov rezervy, ktoré vplývajú na projekt zavedenia paliva so stredným obohatením na blokoch № 3 a № 4 JE «Mochovce». Inv. №32/1-36-310, RNC KI, 2010
- [I.3] Vstupné údaje NFCH pre termohydraulické výpočty aktívnej zóny, pri normálnych podmienkach prevádzky s novým palivom s obohatením pre prvú, prechodovú a stacionárnu palivovú záťažku. Inv. №32/1-13-410, RNC KI, 2010
- [I.4] Projekt vnedrenia 6-ti godičného toplivného cikla na osnove ispol'zovanija profilirovannyh kasset srednego obogaščeniya po uranu 235 v uslovijach teplovoj moščnosti aktivnoj zony reaktora $N_{nom} = 1375$ MWt blokov 3, 4 AES Mochovce, Inv. №32/1-66-310, RNC KI, 2010
- [I.5] Kapitola 6.1.6 Funkčný projekt systémov riadenia reaktivity
- [I.6] Kapitola 6.5.5.6 Systém vnútroreaktorovej kontroly - Incore
- [I.7] 3TPP/0001 Normálna prevádzka bloku, kap. 5.11 Vyvedenie bloku na nominálny výkon
- [I.8] 4TPP/0001 Normálna prevádzka bloku, kap. 5.11 Vyvedenie bloku na nominálny výkon
- [I.9] Kapitola 6.1.1 Projekt jadrového paliva

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

- [II.1] Program pre PC. Program pre výpočet neutrónovo - fyzikálnych charakteristík aktívnej zóny reaktorov VVER, BIPR -7A (verzia 1.5), RNC KI, 2008
- [II.2] Program pre PC. Program pre poprútkové rozloženie výkonu a vyhorenia v aktívnej zóne, PERMAK -A (verzia 1.5), RNC KI, 2008
- [II.3] Program pre PC. Program pre prípravu a aproximáciu mnohoparametrických závislostí málogrupových neutrónových prierezov TVS. TVS-M (verzia 1.4), RNC KI, 2008
- [II.4] BNS I.1.2/2014

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 6.1.3.2.3-2 Konzervatívne rozloženie relatívnych výkonov PK a palivových častí kaziet HRK pre termohydraulické výpočty v druhej závažke. Posudzuje sa najzaťaženejšia kazeta	17
Obr. 6.1.3.2.3-3 Konzervatívne rozloženie relatívnych výkonov PK a palivových častí kaziet HRK pre termohydraulické výpočty v stacionárnej závažke. Posudzuje sa najzaťaženejšia kazeta	17
Obr. 6.1.3.2.3-4 Rozloženie relatívnych výkonov palivových prúťikov po priereze PK pre konzervatívne výpočty v druhej závažke.....	18
Obr. 6.1.3.2.3-5 Rozloženie relatívnych výkonov palivových prúťikov po priereze PK pre konzervatívne výpočty v druhej závažke.....	19
Obr. 6.1.3.2.3-6 Rozloženie relatívnych výkonov palivových prúťikov po priereze PK pre konzervatívne výpočty v stacionárnej závažke.....	20
Obr. 6.1.3.2.9- 1Zmena reaktivity v priebehu prevádzky stacionárnej závažky	25

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 6.1.3.2.1-1 Charakteristika aktívnej zóny	13
Tab. 6.1.3.2.1-2 Charakteristiky kaziet druhej generácie	13