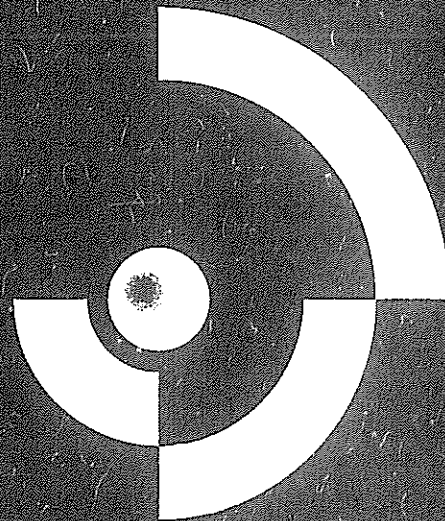


ÚRAD JADROVÉHO DOZORU SLOVENSKEJ REPUBLIKY

BNS III. 4. 3 / 2000

Požiadavky na hodnotenie palivových zavážok



*BEZPEČNOSŤ  
JADROVÝCH ZARIADENÍ*

**Požiadavky na hodnotenie  
palivových zavážok**

revízia 2

Požiadavky na hodnotenie palivových zavážok

Vydal Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky.

Účelová dokumentácie

Spracovateľ : Ing. Vincent Petényi, CSc.

Recenzenti : Ing. Jaroslav Majerčík, CSc. – VÚJE, a. s., Trnava  
Ing. Juraj Kmošena – SE, a. s., Bratislava

BNS III.4.3/2000

ISBN 80-88806-15-1

Bratislava 2000

## **Anotácia**

V bezpečnostnom návode sú uvedené požiadavky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky na obsah dokumentácie, ktorú má predložiť prevádzkovateľ JE v procese schvaľovania palivovej záväzky pre plánovanú kampaň reaktora.

## **Kľúčové slová**

palivová záväzka, bezpečnostná správa, kľúčové neutrónovo-fyzikálne parametre aktívnej zóny, hodnotenie jadrovej bezpečnosti  
core reload design, safety report, core key neutronics parameters, reactor core safety assessment

## Obsah

1. Úvod	str. 1
2. Predmet a účel	1
3. Rozsah platnosti	1
4. Použité skratky	2
5. Vymedzenie pojmov	2
6. Základné požiadavky na hodnotenie jadrovej bezpečnosti palivových zavážok	3
6.1 Použité výpočtové programy a podmienky vykonávania výpočtov	3
6.2 Požadovaná dokumentácia k výmene paliva	3
6.3 Určenie rozsahu kľúčových parametrov	3
6.3.1 Kontrola technologických parametrov	3
6.3.2 Všeobecné kľúčové jadrové parametre	3
6.3.3 Hodnoty kľúčových parametrov pre špecifické udalosti	6
7. Literatúra	9

## Predhovor

Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky (ÚJD SR) začal v roku 1995 vydávať vlastné neperiodické publikácie, ako edíciu Bezpečnosť jadrových zariadení, s cieľom zverejňovať všeobecne záväzné právne predpisy, bezpečnostné požiadavky, odporúčania a návody súvisiace s predmetom činnosti Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky.

V rámci edície Bezpečnosť jadrových zariadení Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky vydáva tri skupiny publikácií:

Obsahom prvej skupiny publikácií sú vybrané všeobecne záväzné právne predpisy a medzinárodné zmluvy z oblasti mierového využívania jadrovej energie; sú označené červeným pruhom.

V druhej skupine sú dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti charakteru odporúčaní a návodov, ktoré konkretizujú a dopĺňajú požiadavky všeobecne záväzných právnych predpisov. Odporúčania dokumentov tejto kategórie nie sú všeobecne záväzné, avšak ich dodržiavanie zjednodušuje plnenie požiadaviek Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zo strany dozorovaných organizácií; sú označené zeleným pruhom.

Obsahom tretej skupiny publikácií sú ostatné dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti informatívneho charakteru.

Pri spracovaní dokumentov druhej a tretej skupiny sa využívajú dokumenty Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu vo Viedni a iných medzinárodných organizácií, medzinárodné a národné technické normy, ako aj dokumenty vydané zahraničnými dozornými orgánmi a odbornými organizáciami. Dokumenty sú spracované na základe rozhodnutia vedenia Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky pracovníkmi Úradu alebo externými organizáciami, ktoré sa podieľajú na využívaní jadrovej energie v Slovenskej republike a od ktorých sa očakáva zaslanie pripomienok na základe skúseností s ich uplatnením. Po jednoročnom uplatnení a zapracovaní akceptovateľných pripomienok sa vydá konečná verzia dokumentu, ktorého aktuálnosť bude periodicky prehodnocovaná.

Predmetná publikácia „Požiadavky na hodnotenie palivových zavážok“ je bezpečnostným návodom. Bezpečnostný návod konkretizuje požiadavky na obsah dokladov, ktoré má predložiť prevádzkovateľ v zmysle Rozhodnutí ÚJD SR /1, 2, 3, 4/ a v zmysle „Výnosu ČSKAE č. 6/1980 o zaistení jadrovej bezpečnosti pri spúšťaní a prevádzke jadrovo-energetických zariadení“.

Pripomienky a doplnky k tejto publikácii zasielajte na Úrad jadrového dozoru SR, odbor legislatívy a zabezpečovania kvality, Bajkalská 27, P.O.Box 24, 820 07 Bratislava.

## 1. Úvod

V zmysle bezpečnostného návodu /5/ pred zavezením nového paliva, resp. pri využívaní súčasného paliva v zmenených podmienkach prevádzkovateľ predkladá žiadosť na ÚJD SR, ktorého súčasťou je aj upravená PpBS. Ako návod na vypracovanie PpBS ÚJD SR odporúča US-NRC-RG 1.70 /6/. Predmet kapitol 4.2, 4.3 a 4.4 je uvedený v /5/ a návod na vypracovanie kap. 15 je uvedený v BNS I.11.1/1999 /7/.

Neutrónovo-fyzikálny návrh aktívnej zóny reaktora (kap. 4.3 podľa /6/) v PpBS sa vykonáva pre tzv. „Reprezentatívnu palivovú záťažku“. Reprezentatívna palivová záťažka (RPZ) z hľadiska neutrónovo-fyzikálnych parametrov pokrýva parametrami všetky v budúcnosti predpokladané palivové záťažky.

Na základe reprezentatívnej palivovej záťažky je zostavený súbor tzv. „Súbor referenčných kľúčových bezpečnostných parametrov (RKBP)“, ktorý slúži ako vstup pre vykonanie bezpečnostných analýz prezentovaných v kapitole 15 podľa označenia /6/.

Jednotlivé palivové záťažky svojimi neutrónovo-fyzikálnymi parametrami sa odlišujú od RPZ. Z vyššie uvedeného dôvodu je potrebné pre každú palivovú záťažku vykonať porovnanie RKBP s aktuálnymi parametrami pre danú palivovú záťažku. V prípade, že aktuálne parametre ležia v predpísanom intervale RKBP zostávajú v platnosti referenčné bezpečnostné analýzy t.j. PpBS. V prípade, že aktuálne parametre sú mimo rámca RKBP je potrebné vykonať nové doplňujúce bezpečnostné hodnotenie pre danú záťažku.

Pri vypracovaní bezpečnostného návodu boli využité najmä podklady uvedené v /8/.

## 2. Predmet a účel

Bezpečnostný návod ustanovuje požiadavky na rozsah kľúčových bezpečnostných parametrov a spôsobu ich predkladania v rámci schvaľovania palivových záťažok.

Účelom predmetnej publikácie je poskytnutie všeobecného návodu žiadateľovi na vypracovanie rozsahu kľúčových bezpečnostných parametrov a formy ich predkladania na ÚJD SR.

## 3. Rozsah platnosti

Bezpečnostný návod obsahuje všeobecné princípy vyžadované ÚJD SR pri vypracovaní rozsahu kľúčových bezpečnostných parametrov, nápravné opatrenia v prípade, že niektorý kľúčový bezpečnostný parameter sa nachádza mimo interval akceptovateľnosti a spôsob ich predkladania na ÚJD SR.

Prevádzkovateľ môže navrhnúť aj odlišný postup pre stanovenie rozsahu kľúčových bezpečnostných parametrov a formu ich predkladania. ÚJD SR akceptuje takýto prístup len vtedy, ak výber kľúčových parametrov nie je menej konzervatívny ako je uvedený v predkladanom návode a je plne v súlade s metodikou zvolenou v predmetnej PpBS.

## 4. Použité skratky

ČSKAE – Československá komisia pre atómovú energiu  
 ÚJD SR – Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky  
 PpBS – Predprevádzková bezpečnostná správa  
 KBP – Kľúčové bezpečnostné parametre  
 KJP – Kľúčové jadrové parametre  
 RKBP – Referenčné kľúčové bezpečnostné parametre  
 RKJP – Referenčné kľúčové jadrové parametre  
 LaP – Limity a podmienky pre daný typ reaktorov VVER-440  
 RPZ – Referenčná palivová záťaž  
 BOC – Začiatok palivovej kampane reaktora  
 EOC – Koniec palivovej kampane reaktora  
 AO1 – Automatické odstavenie reaktora

## 5. Vymedzenie pojmov

### 5.1 Prevádzkovateľ

Pre účely tohoto návodu v zmysle zákona č. 130/1998 Z. z. sa prevádzkovateľom rozumie organizácia, ktorá v zmysle § 4 má oprávnenie od ÚJD SR na prevádzku jadrových zariadení.

### 5.2 Palivová kazeta

Pozostáva zo súboru palivových prútikov obsahujúcich palivové tabletky, izolačné tabletky, pružiny, rúrkové pokrytie, zátky, plniaci plyn, resp. palivové prútiky obsahujúce vyhorievajúce absorbátory, dištančné mriežky a pružiny, hlavice a obálku palivovej kazety.

### 5.3 Havarijná a regulačná kazeta (HRK)

Pozostáva z palivovej kazety spojenej so šesťhranným absorpčným nadstavcom. HRK využíva sa pre riadenie reaktivity v reaktore a na havarijné odstavenie reaktora.

### 5.4 Kľúčové bezpečnostné parametre

Pozostávajú zo súboru neutrónovo-fyzikálnych, hydraulických a termomechanických parametrov, ktoré tvoria vstupné údaje pre vykonávanie bezpečnostných analýz.

### 5.5 Kľúčové jadrové parametre

Pozostávajú zo súboru neutrónovo-fyzikálnych parametrov, ktoré tvoria vstupné údaje pre vykonávanie bezpečnostných analýz.

### 5.6 Referenčné kľúčové bezpečnostné parametre

Predstavujú KBP použité pre bezpečnostné analýzy v PpBS.

### 5.7 Referenčné kľúčové jadrové parametre

Predstavujú KJP použité pre bezpečnostné analýzy v PpBS.



## 6. Základné požiadavky na hodnotenie jadrovej bezpečnosti palivových zavážok

### 6.1 Použité výpočtové programy a podmienky vykonávania výpočtov

Použité výpočtové programy a metodika vykonávania výpočtov má byť v súlade s požiadavkami uvedenými v /9/.

### 6.2 Požadovaná dokumentácia k výmene paliva

Mesiac pred začiatkom výmeny paliva prevádzkovateľ predkladá na ÚJD SR žiadosť na odsúhlasenie palivovej zavážky.

Žiadosť obsahuje:

- a) potvrdenie, že palivové kazety sú v súlade s technickou dokumentáciou od dodávateľa paliva a že sú v súlade s PpBS,
- b) neutrónovo-fyzikálne charakteristiky v rozsahu uvedenom v správe VÚJE Ev. č. UI/0250/097/01 /10/,
- c) pracovný program výmeny paliva v rozsahu ako ju predkladajú SE-Atómové elektrárne Bohunice (Príloha k „Prevádzkovému predpisu“ TPP-199 pre JE V-1 a T-81 pre JE V-2),
- d) porovnanie súboru kľúčových bezpečnostných parametrov s PpBS (okrem údajov, ktoré sa získavajú v rámci FS) ako sú uvedené v Tab. 1-5.

### 6.3 Určenie rozsahu kľúčových parametrov

#### 6.3.1 Kontrola technologických parametrov

Návrh a bezpečnostné hodnotenie predpokladanej zavážky sa začína zostavením a hodnotením základných technologických parametrov reaktora. Hodnotenie zahŕňa potvrdenie platnosti základných údajov o aktívnej zóne a podmienky prevádzkovania elektrárne. Súlad týchto parametrov predpokladaných v PpBS sa kontroluje vid'. tab. 1.

#### 6.3.2 Všeobecné kľúčové jadrové parametre

Tento odstavec popisuje metodiku a stav aktívnej zóny pre určenie kľúčových jadrových parametrov (KJP) pre plánovanie prekládky.

Hodnoty aktuálnych KJP sa porovnávajú s limitnými hodnotami v PpBS tzv. „Referenčné kľúčové jadrové parametre“ (RKJP).

V prípade, že všetky KJP pre danú palivovú vsádzku sa nachádzajú v dovolených hraniciach RKJP, zostávajú v platnosti bezpečnostné analýzy v PpBS a nie je potrebné vykonávať dodatočné analýzy.

Pri porovnávaní aktuálnych hodnôt KJP s dovolenými hodnotami, sa uvažujú nepresnosti výpočtov, najmä u parametrov, ktoré môžu byť experimentálne určené, ako sú izotermický teplotný koeficient, efektívnosť HRK, efektívnosť  $H_3BO_3$ , atď..

Čím bližšie sú príslušné KJP k hraničným hodnotám, tým väčšiu úlohu nadobúdajú nepresnosti príslušných KJP.

Všeobecný súbor KJP zahŕňa koeficienty reaktivity, kinetické údaje, efektívnosti HRK a hodnoty koeficientov nerovnomernosti rozloženia výkonu v aktívnej zóne reaktora. Všeobecné KJP nie sú veľmi citlivé k malým zmenám vo vyhorení, určenie týchto hodnôt pre aktuálnu záťažku využíva hodnoty predpokladané v predchádzajúcej kampani reaktora pre palivové kazety, ktoré zostávajú v reaktore na ďalšiu kampaň.

Prechodové a havarijné procesy analyzované v PpBS, ktoré nie sú jednotlivo uvedené v tomto návode sú analyzované na základe všeobecných KJP uvedených v tomto odstavci.

### 6.3.2.1 Hodnoty koeficientov reaktivity a kinetických parametrov

Základný súbor koeficientov reaktivity a kinetických parametrov je uvedený v tab. 2. Uvedené parametre pokrývajú možný rozsah ich hodnôt od stavu, keď reaktor je kritický na nulovom výkone až po nominálne výkonové hladiny v priebehu celej životnosti záťažky.

Pre koeficienty reaktivity a kinetické parametre je potrebné stanoviť v PpBS maxima a minima reprezentatívnych parametrov a pre každú palivovú záťažku overiť v nasledujúcich stavoch AZ:

- a) nulový výkon reaktora ( $N < 2\% N_{nom}$ , kritický reaktor, resp. reaktor v spúšťacom intervale)
  - a.1)  $T_M$  sa rovná najnižšej hodnote podľa LaP s polohou HRK:
    - a.1.1) úplne vytiahnuté HRK
    - a.1.2) úplne zasunuté HRK (podľa LaP)
  - a.2)  $T_M$  sa rovná najvyššej prípustnej hodnote s polohou HRK:
    - a.2.1) úplne vytiahnuté HRK
    - a.2.2) úplne zasunuté HRK (podľa LaP)

#### Poznámka:

*Pri stanovení hodnôt v PpBS je potrebné uvážiť aj efekty otravy zodpovedajúce predchádzajúcej prevádzke na nominálnej výkonovej hladine a „min“ a „max“ príslušného parametra vybrať na základe týchto analýz. Pri kontrole záťažok vypočítať príslušné parametre pre takto definované stavy.*

*Obdobne postupovať aj v prípade HRK. Ďalej je potrebné stanoviť bezpečnostnú filozofiu aj pre zasunutie HRK, pri ktorom je potrebné zvážiť požadovanú efektívnosť na zásah A01, havárie pri páde, resp. nekontrolovanom vysúvaní HRK ako aj vystrelenie HRK.*

- b) nominálny výkon
  - b.1) Stacionárna otrava Xe s polohou HRK:
    - b.1.1) úplne vysunuté HRK
    - b.1.2) zasunuté HRK do najnižšej povolenej polohy (podľa LaP)
  - b.2) bez Xe otravy s polohou HRK ako v b.1.1) a b.1.2)

#### Poznámka:

*V PpBS je potrebné vyššie uvedené parametre potvrdiť aj na nižších výkonových úrovniach, minimálne na úrovni 50%  $N_{nom}$  pri odpovedajúcom počte pracujúcich HCČ.*

Stavy reaktora na nulovom výkone a na nominálnom výkone majú byť analyzované pre začiatok kampane (BOC) a pre koniec kampane (EOC).

V prípade, že splnenie kritérií pre niektoré kľúčové parametre je preukázané v dokumentácii 6.2.b, príslušný parameter je možné vypustiť z tab. 2.

### 6.3.2.2 Hodnoty účinnosti HRK

Kľúčové hodnoty účinnosti HRK súvisia najmä s reaktivitou, ktorá sa uvažuje pri rýchlom odstavení reaktora alebo sa uvoľňuje pri vysúvaní HRK (normálne, resp. nekontrolované).

V tabuľke č. 3 je uvedený rozsah kľúčových parametrov, ktoré majú byť analyzované v PpBS, resp. sú obmedzené LaP.

Preukázanie niektorých kľúčových parametrov z tab. 3 môže obsahovať aj iná dokumentácia, napr. dokumentácia predkladaná k bodu 6.2b, a preukázanie doby pádu HRK môže byť obsiahnuté v dokumentácii pripravenosti bloku k FS. Parametre uvedené v inej dokumentácii je možné z tab. 3 vypustiť.

Hodnotu okamžitej podkritičnosti pri rýchlom odstavení reaktora predstavuje rozdiel reaktivity medzi východiskovým (kritickým) a konečným stavom (podkritickým) reaktora definovaným:

- východiskový stav: nominálny výkon (nulový výkon) kritická koncentrácia  $H_3BO_3$ , stac. Xe (bez Xe), najnižšia prípustná poloha HRK pre prechodové procesy (podľa LaP)
- konečný stav: nominálny výkon (nulový výkon), koncentrácia  $H_3BO_3$  podľa bodu a), stac. Xe (bez Xe), všetky HRK v dolnej polohe okrem najúčinnnejšej zaseknutej kazety.

Pri rýchlom odstavení reaktora z výkonu je potrebné preukázať aj postupnosť zavádzania zápornej reaktivity podľa tvarovej funkcie uvedenej v PpBS. Tvarová funkcia pri účinkovaní A0-1 sa stanovuje tak, že sa pracovná skupina HRK umiestni do najnižšej povolenej východzej polohy, zostávajúce HRK sú zasúvané z počiatočnej polohy okrem najúčinnnejšej HRK. Podiel podkritičnosti pri zasúvaní HRK na danú polohu k celkovej podkritičnosti pri úplnom zosunutí N-1 HRK normovaná na „1“).

#### Poznámka:

*Účinnosť jednotlivých skupín HRK pri dosahovaní kritického stavu, pri prechode na výkonový režim, resp. prevádzka na nominálnom výkone tvorí neoddeliteľnú súčasť reaktivity pre jednotlivé kazety a skupiny HRK a má preukázať v PpBS, že pri nekontrolovanom vytahovaní jednotlivých HRK, resp. celých skupín sú splnené základné kritériá bezpečnosti.*

### 6.3.2.3 Hodnoty koeficientov nerovnomernosti v aktívnej zóne reaktora

Analýzy prechodových a havarijných procesov sú založené na využití modelu bodovej kinetiky so zahrnutím konzervatívnych spätných väzieb od reaktivity. Výkonové rozloženie, ktoré vstupuje do výpočtov sa uvažuje nemenné počas celého procesu, vypočítava sa nezávisle na základe trojdimenzionálnych neutrónovo-fyzikálnych analýz až na úroveň palivových prútikov. Pri súčasných analýzach pri výpočte zásoby do krízy prestupu tepla, maximálneho tepelného toku, teploty paliva atď. vstupujú tieto výkonové rozloženia do výpočtov prostredníctvom koeficientov nerovnomernosti  $k_q$ ,  $k_v$ ,  $k_r$ ,  $k_o$  atď. (význam koef. nerovnomernosti je uvedený v tab. 4).

V bezpečnostných analýzach pri uvážení koeficientov neurčitosti a inžinierskych koeficientov sú príslušné veličiny transformované, napr. na lokálnu hustotu tepelného toku z palivového prútika ( $F_Q$ ), resp. na nárast entalpie (ohrevu) chladiva pozdĺž termohydraulického kanálu ( $F_{\Delta H}$ ).

Vzhľadom k tomu, že príslušné koeficienty neurčitosti reprezentujú výrobné tolerancie, nepresnosti výpočtov atď., ktoré sú určované využitím experimentálnych výsledkov na experimentálnych stendoch a analýzou prevádzkových meraní, pri havarijných analýzach je dostačujúce uvažovať koeficienty neurčitosti konštantné.

Z vyššie uvedeného dôvodu je možné priamo limitovať samotné koeficienty nerovnomernosti.

*Poznámka:*

*Limitné hodnoty koeficientov nerovnomernosti majú byť stanovené aj pre znížené výkonové hladiny, ktoré majú byť preukázané v PpBS.*

Rozsah príslušných koeficientov nerovnomernosti je v tab. 4.

V prípade, že v bode 6.2.b sú už niektoré koeficienty zahrnuté je možné príslušné koeficienty vypustiť z tab. 4.

### 6.3.3 Hodnoty kľúčových parametrov pre špecifické udalosti

V tejto časti sú zahrnuté tie kľúčové parametre, ktoré sú potrebné k doplneniu údajov v tab. 3 a 4, resp. presahujú ich rozsah pri analýze špecifických udalostí.

Špecifické udalosti je kategória udalostí, pre ktoré je potrebná samostatná kontrola niektorých parametrov z dôvodu špecifických východiskových podmienok, alebo z dôvodu špecifického priebehu procesu z hľadiska kľúčových parametrov pre túto oblasť.

#### 6.3.3.1 Nekontrolované vy'ahovanie skupín HRK

Samostatne kontrolované parametre v tomto prípade sú rýchlosť zavádzania reaktivity vysúvanou skupinou HRK a faktory horúceho kanálu  $F_Q$  (lokálna hustota tepelného toku) a  $F_{\Delta H}$  (zvýšenie entalpie). Pre kontrolu  $F_Q$  a  $F_{\Delta H}$  môžu byť využité príslušné koeficienty nerovnomernosti  $k_r$  a  $k_o$  získané z  $F_Q$  a  $F_{\Delta H}$  s uvážením koeficientov neurčitosti z PpBS. Príslušné hodnoty kontrolovaných parametrov sú v tab. 5.

Analýzy majú pokryť výkonové hladiny:

- nulový výkon
- nízky výkon ~ 2%  $N_{nom}$
- nominálny výkon

Východiskovým stavom pre každú výkonovú hladinu je kritický reaktor s najnižším zasunutím HRK (podľa LaP), s najnižším prietokom chladiva a s krajnými prípustnými teplotami chladiva. Z tohoto stavu sa vysúva skupina HRK do hornej krajnej polohy, pričom bez zmeny podmienok aktívnej zóny sa sledujú maximá koeficientov nerovnomernosti. V tab. 5 môžu byť uvedené priamo hodnoty  $\Delta\rho / \Delta t$ ,  $F_Q$  a  $F_{\Delta H}$  alebo zodpovedajúce hodnoty  $\Delta\rho / \Delta t$ ,  $k_r$  a  $k_o$ .

Výpočty majú byť vykonané na začiatku (BOC) kampane a na konci kampane (EOC).

#### 6.3.3.2 Vystrelenie regulačnej kazety

V doposiaľ vykonaných analýzach sa uvažovalo obmedzenie na reaktivitu zavedenú vystrelením najúčinnnejšou HRK tak, že nebolo potrebné kontrolovať ostatné kľúčové

parametre reaktora  $F_Q$  a  $F_{\Delta H}$ . Vyššie uvedené obmedzenie významne zužuje spôsob rozmiestnenia kaziet v aktívnej zóne reaktora.

Súčasným programovým vybavením umožňuje zmierniť požiadavky na obmedzenie reaktivity pri zavedení kontroly horúceho kanálu ( $F_Q$  a  $F_{\Delta H}$ ).

Kontrolované parametre pri každej prekládke sú zavedená reaktivita vystrelenou kazetou a faktory horúceho kanálu. V prípade, že kľúčové parametre pre danú záťažku zostanú pod hranicou v PpBS zostávajú v platnosti pôvodné bezpečnostné analýzy.

Preukázanie splnenia kľúčových parametrov má byť vykonané pre:

- nulový výkon
- nominálny výkon

Východiskovým stavom pre vyššie uvažované výkonové hladiny je kritický reaktor s najnižším dovoleným zasunutím HRK, so zodpovedajúcim najnižším prietokom chladiva, s krajne prípustnými teplotami chladiva pre daný stav. Z tohoto stavu sa potom vysunie najefektívnejšia kazeta, pri nezmenených parametroch reaktora do krajnej hornej polohy a kontrolujú sa maximálna zavedená reaktivita a koeficienty nerovnomernosti (resp.  $F_Q$  a  $F_{\Delta H}$ ). Výpočty sa vykonávajú pre BOC a EOC.

#### 6.3.3.3 Chybná činnosť regulačných kaziet

Pod touto poruchou sa rozumie taká chybná činnosť regulačných kaziet, ktorá nevedie k odstaveniu reaktora, regulátor udržiava výkon reaktora a je značne narušené výkonové rozloženie v aktívnej zóne. Ako typické udalosti je potrebné uvažovať zaseknutie regulačnej kazety v hornej, resp. v dolnej polohe a pád najúčinnnejšej HRK.

Pre prípad zaseknutia regulačnej kazety v dolnej polohe a pre pád najúčinnnejšej kazety sa kontroluje  $F_{\Delta H}$  (alebo  $k_r$  získané pri započítaní príslušného koeficientu horúceho kanálu z PpBS) pri najvyššej a najnižšej východiskovej polohe regulačných kaziet na nominálnom výkone reaktora. V prípade pádu kazety sa kontroluje aj jej účinnosť.

V prípade zaseknutia regulačnej kazety v hornej polohe sa kontroluje rozloženie výkonu pri najnižšej polohe zostávajúcich HRK.

Výpočty je potrebné vykonať pre začiatok a koniec kampane.

#### 6.3.3.4 Neúmyselné znižovanie koncentrácie kyseliny boritej

Táto udalosť je posudzovaná z hľadiska dostatočného časového intervalu pre určenie nápravných opatrení operátorom po zistení neplánovaného zriedenia kyseliny boritej. Za dostatočný je pritom podľa PpBS považovaný interval:

- $t = 30$  minút, ak dôjde k takejto udalosti pri výmene paliva
- $t = 15$  minút, pri ostatných režimoch

V PpBS pre tieto udalosti sú určené hodnoty pomeru  $C_B$  (koncentrácia  $H_3BO_3$  po uplynutí času „t“) k  $C_{B0}$  (počiatočná koncentrácia  $t = 0$ ) pri maximálnom možnom prietoku čistého kondenzátu.

Hodnota tohoto pomeru vyjadruje požiadavku na východiskovú koncentráciu  $H_3BO_3$  a na koncentráciu, pri ktorej reaktor stráca rezervu na odstavenie, resp. sa stáva kritickým.

Pre prevádzkové režimy na začiatku kampane sa  $C_B$  a  $C_{BO}$  kontrolujú na začiatku kampane bez Xe otravy pre nasledujúce režimy podľa LaP:

Režim 1:

- $C_{BO}$  - hodnota kritickej koncentrácie  $H_3BO_3$  pri plnom výkone, pri najnižšej povolenej polohe regulačnej skupiny HRK
- $C_B$  - maximálna hodnota kritickej koncentrácie  $H_3BO_3$  v horúcom stave pri nulovom výkone, HRK okrem najúčinnnejšej kazety zasunuté do AZ

Režim 2:

- $C_{BO}$  - minimálna koncentrácia  $H_3BO_3$  v horúcom stave pri nulovom výkone, HRK zasunuté do najnižšej povolenej polohy
- $C_B$  - maximálna kritická koncentrácia  $H_3BO_3$  v horúcom stave, nulový výkon, všetky HRK okrem najúčinnnejšej sú zasunuté v AZ, najúčinnnejšia zaseknutá v hornej polohe

Režim 3-5:

- $C_{BO}$  - minimálna koncentrácia  $H_3BO_3$  pri teplote daného stavu (odstavná koncentrácia), všetky HRK zasunuté do AZ okrem najúčinnnejšej, ktorá zostáva zaseknutá v hornej polohe
- $C_B$  - maximálna hodnota kritickej koncentrácie  $H_3BO_3$  pri teplote daného stavu, všetky HRK okrem najúčinnnejšej zasunuté do AZ, najúčinnnejšia HRK zaseknutá v krajnej hornej polohe

Režim 6:

- $C_{BO}$  - minimálna koncentrácia  $H_3BO_3$  v studenom stave (minimálne 12 g/kg), vysunuté všetky HRK z AZ
- $C_B$  - maximálna hodnota kritickej koncentrácie kyseliny boritej v studenom stave, vysunuté všetky HRK

#### 6.3.3.5 Chybné pripojenie slučky

Kľúčovým parametrom pri tejto udalosti sa uvažuje teplotný koeficient moderátora na konci kampane.

Ďalším parametrom, ktorý zásadným spôsobom rozhoduje o možnosti vzniku krízy prestupu tepla, je zvýšenie entalpie pozdĺž kanálu  $F_{\Delta H}$  (resp.  $k_r$  pri započítaní príslušného koeficientu pre horúci kanál), ktorý sa kontroluje pre zodpovedajúce teploty chladiva na vstupe do AZ v priebehu pripájania slučky.

Kontrolujú sa:

1. Prevádzka reaktora s piatimi slučkami, výkon reaktora, prietok chladiva, vstupná teplota do reaktora, regulačná skupina HRK podľa PpBS.
2. Prevádzka reaktora s tromi slučkami zostávajúce parametre ako v bode 1 v súlade s PpBS pre daný stav.

#### 6.3.3.6 Prasknutie hlavného parného kolektora alebo parného potrubia

Táto udalosť sa kontroluje na konci kampane, kedy teplotný koeficient moderátora je najzápornejší.

K vychladzovaniu reaktora dochádza po zásahu A01, pričom sa predpokladá, že najúčinnnejšia HRK zostáva zaseknutá v krajnej hornej polohe. V priebehu prechodového

procesu dochádza k dodávaniu chladiva s  $H_3BO_3$  do aktívnej zóny, čím dochádza k zvyšovaniu koncentrácií  $H_3BO_3$  z nulovej hodnoty.

Kontrolujú sa koeficient reaktivity od teploty moderátora (resp. hustoty moderátora) a Doplerov koeficient reaktivity.

Teplotný koeficient reaktivity (hustotný koeficient reaktivity) sa kontrolujú minimálne pre dve teploty (hustoty) pri nulovej koncentrácii  $H_3BO_3$  a pri koncentrácii uvažovanej v PpBS (podľa hodnotenia reálneho procesu).

Doplerov koeficient reaktivity sa kontroluje pre nulový výkon a pre výkonový stav, ktorý sa nastaví po sekundárnej kritičnosti (viď. PpBS kap. 15).

## 7. Literatúra

- /1/ Rozhodnutie ČSKAE č. 44/1985 – súhlas s vydaním kolaudačného rozhodnutia pre 1. blok JE V-2
- /2/ Rozhodnutie ČSKAE č. 41/1986 – súhlas s vydaním kolaudačného rozhodnutia pre 2. blok JE V-2
- /3/ Rozhodnutie ÚJD SR č. 110/1994 – rozšírenie rozhodnutia ČSKAE č. 5/1991
- /4/ Rozhodnutie ÚJD SR č. 318/98 – súhlas na prevádzku 1. bloku Atómovej elektrárne Mochovce
- /5/ V. Petényi „Požiadavky na vydanie súhlasu Úradu jadrového dozoru slovenskej republiky na používanie paliva v reaktoroch VVER-440, Bratislava 1999
- /6/ US NRC – Regulatory Guide 1.70 „Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants LWR Edition, Revision 3, November 1978“
- /7/ J. Husárček: Požiadavky na vypracovanie bezpečnostných analýz BNS I.11.1/1995, Bratislava 1995
- /8/ I. Tinka: Návrh metodiky kontroly bezpečnostných parametrov palivových vsádzok, Správa EGP 24-3599-20-001, December 1995
- /9/ J. Husárček: Požiadavky na zabezpečenie kvality počítačového informačného softwaru BNS I.12.1/1995, Bratislava 1995
- /10/ J. Majerčík: Výpočet schémy výmeny paliva a neutrónovo-fyzikálnych charakteristík reaktora VVER-440, Správa VÚJE ev. č. UI/0250/097/01

S E P - Atómové elektrárne Bohunice, odštepový závod, Jaslovské Bohunice

Ing. Kiseř Jozef  
nám. riaditeľa pre  
technickú podporu  
dňa : 18.7.94



Ing. Ducháč Alexander  
nám. riaditeľa pre  
prevádzku  
dňa : 18.7.94



PRACOVNÝ PROGRAM VÝMENY PALIVA

Príloha k T-81 pre 3. blok 10. výmena paliva, 1994

Výpracoval : Hajdušek Rastislav prom. fyz. *K. Hajdušek 27.7.94*  
Kontroloval: Ing. Paľák Ľuboslav *Ľ. Paľák 27.7.94*  
Ing. Malatin Pavol *Malatiné = 27.7.94*

Na schválenie odporúča : Ing. Kačmar Milan *Mr. Kačmar 18.7.94*  
Ing. Blanárík Marián *M. Blanárík 18.7.94*  
Ing. Naňo Ján *Naňo Ján 28.7.94*

Júli 1994



P R O G R A M v ý m e n y p a l i v a  
3. blok, 10. výmena paliva, 1994

Por. číslo	E t a p a
1 - 84	Vyvážanie vyhoretých pracovných kaziet do dolného roštu BS
85 - 180	Premiestnenie PK v reaktore
181 - 210	Zavážanie vyhoretých PK z BS do Re. Premiestnenie PK v reaktore
211 - 312	Vyvážanie absorbátorov do BS, vyvážanie vyhoretých pal. častí HRK do BS, premiestnenie pal. častí HRK v reaktore, zavážanie čerstvých pal. častí HRK do Re, zavážanie absorbátorov do Re, predmestnenie PK v Re v okolí HRK
313 - 364	Zavážanie čerstvých PK do Re, premiestnenie PK v Re, vyvážanie vyhoretých PK do BS, zavážanie vyhoretých PK z BS do reaktora
367 - 468	Premiestnenie čiastočne vyhoretých PK v Re, zavážanie čerstvých PK do Re
469 - 492	Zavážanie čerstvých pracovných kaziet do reaktora

3E BREVET DE

DATE: 1974. 7. 20.

3. BLOK

FRANCOZSKIH PRAE ZAV. STANCI

IPROK	VR. ČISTO	HEAETA	YVOR. PELEHA	SUF. ZAVRŠAC. STENOJA	FCOPIS	YOM. POKLEBA	SUR. ZAVRŠAC. STENOJA	PDP/JS	IFERACIJA	FEZU.	
		TIP	IL. YOBRE.	TEST	WACKA	CAS	V. I KOORD.	PCST	WACKA	CAS	
1	35656	136	58	1-58	13-75	3-4-95-24	2	34-143	5-10-16	5-25-35	AL --> BS
2	35662	136	58	1-49	13-20-42	3-65-18	3	38-140	5-30-24	5-25-35	AL --> BS
3	35654	136	58	8-25	14-10-36	2-55-16	1	58-147	7-20-24	5-25-35	AL --> BS
4	35652	136	58	19-26	15-20-33	2-75-33	339	40-113	7-48-15	1-45-22	AL --> BS
5	35649	136	58	23-48	16-0-43	4-10-7	7	31-145	3-85-14	5-15-24	AL --> BS
6	35636	136	56	16-61	15-15-3	5-20-5 af	8	23-146	5-25-2	5-15-24	AL --> BS
7	35622	136	19	11-52	14-50-17	5-25-27	9	55-146	4-60-43	5-15-24	AL --> BS
8	35792	136	19	2-51	13-35-25	4-45-27	10	87-146	7-0-32	5-15-24	AL --> BS
9	36797	136	19	3-32	13-59-0	3-5-35	11	69-146	7-10-19	5-15-24	AL --> BS
10	35815	136	19	13-24	14-75-20	2-45-47	12	91-146	7-80-9	5-15-24	AL --> BS
11	36819	136	17	22-35	15-40-18	2-30-3	13	93-146	8-15-47	5-15-24	AL --> BS
12	36864	136	19	21-54	15-75-36	4-65-43	14	82-145	6-3-8	5-5-12	AL --> BS
13	36954	136	59	3-54	13-45-40	4-70-3	15	84-145	6-40-45	5-5-12	AL --> BS
14	35795	136	2-35	13-55-21	3-30-2		16	85-145	6-20-36	5-5-12	AL --> BS
15	36794	136	59	14-24	14-50-17	2-45-43	17	83-145	7-20-24	5-5-12	AL --> BS
16	36834	136	59	21-32	15-75-39	3-5-33	18	96-145	7-48-15	5-5-12	AL --> BS
17	36827	136	59	22-51	15-40-17	4-45-23	19	92-145	8-0-4	5-5-12	AL --> BS
18	36843	136	59	13-87	14-75-20	5-25-28	20	81-144	5-88-14	4-75-0	AL --> BS
19	35834	136	4-1	8-61	14-10-33	5-20-8	21	95-144	6-25-7	4-95-0	AL --> BS
20	35845	136	4-1	3-46	13-20-15	3-10-10	22	82-144	5-60-15	4-95-0	AL --> BS

Tab. 1: Základné technologické parametre

Parameter	Referenčná hodnota	Literatúra	Hodnota pre danú vsádzku
Tepelný výkon reaktora (MW)			
Minimálny hmotnostný prietok chladiva reaktorom pri nominálnom výkone (kg/s)			
Minimálny hmotnostný prietok chladiva palivovou kazetou (kg/s)			
Maximálny hmotnostný prietok chladiva palivovou kazetou (kg/s)			
Maximálna teplota chladiva na vstupe do aktívnej zóny (°C)			
Tlak chladiva na výstupe z aktívnej zóny (Mpa)			
Stredný línearny výkon palivového prútika v aktívnej zóne (kW/m)			

Tab. 2: Koefficienty reaktivity a kinetické parametre

$\partial\rho/\partial T_U$  - teplotný koeficient reaktivity paliva (Doppler)

$\partial\rho/\partial T_M$  - teplotný koeficient reaktivity moderátora (vrátane hustotného)

$\partial\rho/\partial\gamma$  - hustotný koeficient reaktivity moderátora (pri konštatnej teplote)

$\partial\rho/\partial CH_3BO_3$  - účinnosť kyseliny boritej

$\beta_{ef}$  - efektívny podiel oneskorených neutrónov

$\Lambda$  - stredná doba života okamžitých neutrónov

MIN, MAX - sa chápu v matematickom zmysle

$$\frac{\partial\rho}{\partial T} = \frac{\partial\rho}{\partial T_M} + \frac{\partial\rho}{\partial T_U}$$

Parameter	Stav reaktora		Referenčné hodnoty		Literatúra	Vypočít. hodnoty pre danú vsádzku	
			MIN	MAX		MIN	MAX
$\frac{\partial\rho}{\partial T_U} \cdot 10^5$ [K <sup>-1</sup> ]	Nominálny výkon	BOC					
		EOC					
	Nulový výkon	BOC					
		EOC					
$\frac{\partial\rho}{\partial T_M} \cdot 10^4$ [K <sup>-1</sup> ]	Nominálny výkon	BOC					
		EOC					
	Nulový výkon	BOC					
		EOC					
$\frac{\partial\rho}{\partial\gamma}$ [1/(g/cm <sup>3</sup> )]	Nominálny výkon	BOC					
		EOC					
	Nulový výkon	BOC					
		EOC					
$\frac{\partial\rho}{\partial CH_3BO_3}$ [%/(g/kg)]	Nominálny výkon	BOC					
		EOC					
	Nulový výkon	BOC					
		EOC					
$\beta_{ef}$	BOC						
	EOC						
$\Lambda$ (ms)	BOC						
	EOC						
$\frac{\partial\rho}{\partial T_M}$	výkon > 2%		< 0				
$\frac{\partial\rho}{\partial T}$	výkon < 2% kg ≥ 0,99		< 0				

Tab. 3: Účinnosť regulačných kaziet

- $\Delta\rho\beta$  - podkritičnosť, rozdiel reaktivity východiskového kritického stavu ( $\rho = 0$ ) a reaktivity stavu po definovanom zasunutí HRK do aktívnej zóny pri nulovom výkone s teplotou o 40°C nižšou oproti strednej teplote pri ostatných nezmenených parametroch podľa LaP (otrava,  $\text{CH}_3\text{BO}_3$ )
- $\Delta\rho_{HO}$  - podkritičnosť, rozdiel reaktivity východiskového stavu a reaktivity stavu po definovanom zasunutí HRK do AZ pri zachovaní hodnôt všetkých zostávajúcich parametrov (výkon, teploty, otrava,  $\text{CH}_3\text{BO}_3$ )

Parameter	Stav reaktora	Referenčné hodnoty	Literatúra	Najnepriaznivejšie hodnoty pre danú vsádzku							
				BOC	EOC						
Bezpečná zásoba podkritičnosti $\Delta\rho_{\beta}$ [%]	všetky režimy	$\leq -2$									
Rýchlosť zvyšovania reaktivity	výkon $\geq 0$ $k_{eff} \geq 0,99$	$\leq 0,07 \beta/s$									
Doba pádu HRK a zásahu HO-1, (s)	výkon $\geq 0$ $T \geq 180^\circ\text{C}$	$\delta_s < 13s$									
Okamžitá podkritičnosť pri rýchlom odstavení reaktora $\Delta\rho_{HO}$	nominálny výkon nulový výkon										
Tvarová funkcia axiálnej závislosti účinnosti HRK po signále HO-1											
Referenčná závislosť											
Z (cm)	250	225	200	175	150	125	100	75	50	25	0
f(z)	0.0										1.00
Najnepriaznivejšia vypočítaná závislosť pre danú vsádzku											
Z (cm)	250	225	200	175	150	125	100	75	50	25	0
f(z)	0.0										1.00

Tab. 4: Rozloženie výkonu v aktívnej zóne

Parameter	Referenčné hodnoty	Literatúra	Vypočítané maxima pre danú vsádzku	
			BOC	EOC
Radiálny koeficient nerovnomernosti rozloženia výkonu po kazetách $k_q$				
Objemový koeficient nerovnomer. rozloženia výkonu po pal. kazetách $k_v$				
Radiálny koeficient nerovnomer. rozlož. výkonu po pal. prútikoch $k_r$				
Objemový koeficient nerovnomernosti rozloženia výkonu po pal. prútikoch $k_o$				
Celkový faktor horúceho kanálu pre zvýšenie entalpie $F_{\Delta H}$				
Celková neurčitost' $F_{\Delta H}$				
Celkový faktor horúceho kanálu pre lokálnu hustotu tepelného toku, $F_Q$				
Celková neurčitost' $F_Q$				

\* v prípade, že  $k_o$  je závislý na vyhorení, je potrebné preukázať splnenie tejto podmienky v závislosti na vyhorení

Tab. 5: Parametre pre špecifické udalosti

Charakteristika stavu	Parameter	Referenčné hodnoty		Literatúra	Max. vypočít. hodnot pre danú vsádzku	
		BOC	EOC		BOC	EOC
<i>Nekontrolované vysúvanie skupiny regulačných kaziet pri nulovom výkone reaktora</i>						
Nulový výkon $k_{ef} \geq 0.99$	$\partial\rho/\partial t$ [%/s]					
	$F_{\Delta H}$					
	$F_Q$					
<i>Nekontrolované vysúvanie skupiny regulačných kaziet pri nenulovom výkone</i>						
Výkon 2% Nnom	$\partial\rho/\partial t$ [%/s]					
	$F_{\Delta H}$					
	$F_Q$					
Nominálny výkon	$\partial\rho/\partial t$ [%/s]					
	$F_{\Delta H}$					
	$F_Q$					
<i>Vystrelenie HRK</i>						
Nulový výkon	$\Delta\rho$ [%]					
	$F_{\Delta H}$					
	$F_Q$					
Nominálny výkon	$\Delta\rho$ [%]					
	$F_{\Delta H}$					
	$F_Q$					
<i>Chybná činnosť HRK (zaseknutie v dolnej alebo v hornej polohe, pád kazety)</i>						
<i>Nominálny výkon</i>						
Zaseknutie v dol. polohe	$F_{\Delta H}$					
Zaseknutie v hor. polohe	$F_{\Delta H}$					
Pád najúčinnejšej kazety	$F_{\Delta H}$					
	$\Delta\rho$ [%]					
<i>Neúmyselné znížovanie CH BO</i>						
Režim výmeny paliva	Max					--
Ostatné režimy	$C_B/C_{BO}$					--
Studený stav (20°C)	$\partial\rho/\partial C_{H_3BO_3}$ [%/(g/kg)]					--
<i>Chybné pripojenie nepracujúcej slučky</i>						
k trom pracujúcim	$F_{\Delta H}$					--
k piatim pracujúcim						--

Tab. 5: Parametre pre špecifické udalosti - pokračovanie

Charakteristika stavu		Parameter	Referenčné hodnoty		Literatúra	Max. vypočít. hodnota pre danú vsádzku	
			BOC	EOC		BOC	EOC
$C_p$ [g/kg]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	<i>Prasknutie HPK alebo parovožu (úlový výkon, zaseknutie najúčinnejšej HRK)</i>					
0.0	0,7	$\partial\rho/\partial\rho_c$ [1/(g/cm <sup>3</sup> )]	--			--	
	0,95		--			--	
3.0	0,7		--			--	
	0,95		--			--	
Výkon % Nnom		<i>Zasunutie všetky HRK okrem jednej najúčinnejšej</i>					
0.0		$\partial\rho/\partial T_v \cdot 10^4$	--			--	
50.0		[K <sup>-4</sup> ]	--			--	