

Technická správa

Predprevádzková bezpečnostná správa

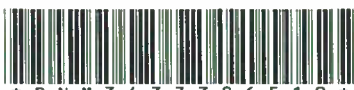
Kapitola 11.02 Zdroje ionizujúceho žiarenia

Stavba: Dostavba 3. a 4. blok JE Mochovce, stavenisko: Jadrová časť

Construction: 3&4 Unit NPP Mochovce Completion, site: Nuclear Island

Stavebník: Slovenské elektrárne, a.s., Bratislava, 3. a 4. blok JE Mochovce

Constructor: Slovenské elektrárne, a.s., Bratislava, 3&4 Unit NPP Mochovce

SE Rev		Date / Dátum	IS	Supervision Outcome / Stav schválenia		Supervised by / Overil		Checked by / Kontroloval		Approved by / Schválil		
 SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE				Language / Jazyk		S	Safety Class / Bezpečnostná trieda		N	SEC. INDEX / INDEX utajenia		Company use/P
				Submitted to Client to / Predložené odberateľovi na:		Approval / Schválenie		A	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: 10			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: PNM34373965				A4	6.01	RS	Z	8		
 * P N M 3 4 3 7 3 9 6 5 1 0 *						Sheet / List	Of / z		Plant System / Systém elektrárne	Component / Komponent		
						1	30					

SE Contract No. / Číslo zmluvy SE: 4600003952				VUJE Contract No. / číslo zmluvy VUJE: 1719/00/09			
Part name / Označenie časti: PNM3437396510_S_C00_V				Issued on / Vydané dňa: 11.07.2019			
Kód citlivosti ¹⁾ / Sensitivity code ¹⁾	3	Name / Meno	Organization / Organizácia	Dept. / Útvar	Date / Dátum	Signature / Podpis	
Author / Vypracoval:			• VUJE, a.s.	• 0730	• 11.07.2019		
Co-author / Spolupracoval:			• VUJE, a.s.	• 0730	• 11.07.2019		
			•	•	•		
			•	•	•		
			•	•	•		
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.

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.	• Predprevádzková bezpečnostná správa • Kapitola 11.02 Zdroje ionizujúceho žiarenia	• PNM3437396510_S_C00_V	• 10
2.	• Predprevádzková bezpečnostná správa • Kapitola 11.02 Zdroje ionizujúceho žiarenia	• PNM3437396510_S_C01_V	• 10
3.	•	•	•
4.	•	•	•
5.	•	•	•
6.	•	•	•
7.	•	•	•
8.	•	•	•
9.	•	•	•
10.	•	•	•
11.	•	•	•

OBSAH

OBSAH.....	4
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ.....	5
ÚVOD.....	7
11.2 Zdroje ionizujúceho žiarenia	8
11.2.1 Primárny okruh	8
11.2.1.1 Aktívna zóna	8
11.2.1.2 Chladivo primárneho okruhu.....	9
11.2.1.3 Vzduch v šachte reaktora	15
11.2.1.4 Voda bazénu vyhoreného paliva.....	15
11.2.1.5 Vnútny povrch potrubia primárneho okruhu	15
11.2.2 Súvisiace technologické systémy	18
11.2.2.1 Kompenzátor objemu (KO).....	18
11.2.2.2 Odplyňovač systému dopĺňovania	18
11.2.2.3 Stanice špeciálneho čistenia vody (ŠOV).....	18
11.2.2.4 Nádrže sorbentov a koncentrátu.....	20
11.2.2.5 Priestory pomocných okruhov.....	20
11.2.3 Sekundárny okruh.....	21
11.2.4 Systémy ventilácie a špeciálna čistiaca stanica plynov	23
11.2.4.1 Systémy ventilácie.....	23
11.2.4.2 Špeciálna čistiaca stanica plynov.....	24
11.2.5 Priestrely gama a neutrónového žiarenia.....	25
LITERATÚRA	26
ZOZNAM OBRÁZKOV	30

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A OZNAČENÍ

AE	Atómová elektráreň
AF	Anexový filter
AZ	Aktívna zóna
BAPP	Budova aktívnych pomocných prevádzok
BVP	Bazén vyhoreného (jadrového) paliva
EBO	Elektrárne Bohunice
EDU	JE Dukovany
EMO	JE Mochovce
EMO12	Jadrová elektráreň Mochovce 1. a 2. blok
FOV	Filter odpadových vôd
GO	Generálna odstávka
HCČ	Hlavné cirkulačné čerpadlo
HCP	Hlavné cirkulačné potrubie
HP	Hermetický priestor
HRK	Havarijná regulačná a kompenzačná kazeta
HSCHZ	Havarijný systém pre chladenie aktívnej zóny
HUA	Hlavná uzatváracia armatúra
HZ	Hermetická zóna
I.O.	Primárny okruh
IAEA	Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu (angl. International Atomic Energy Agency)
II.O.	Sekundárny okruh
JE	Jadrová elektráreň
KF	Katexový filter
KO	Kompenzátor objemu
KP	Kontrolované pásmo
LaP	Limity a podmienky
MF	Mechanický filter
MO34	Jadrová elektráreň Mochovce 3. a 4. blok

NR SR	Národná rada Slovenskej republiky
PČ	Palivový článok
PD	Príkon dávky
PG	Parogenerátor
PK	Produkty korózie
PP	Palivový prútik
PpBS	Predprevádzková bezpečnostná správa
PWR	Tlakovodný reaktor
RGO	Rozšírená generálna odstavka
RN	Rádionuklid
SE	Slovenské elektrárne, a.s.
SR	Slovenská republika
SRK	Systém radiačnej kontroly
ŠOV	Špeciálne čistenie (očistka) vody
TRU	Transurány
ÚJD SR	Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
USA	Spojené štáty americké
ÚVZ SR	Úrad verejného zdravotníctva Slovenskej republiky Bratislava
VK	Ventilačný komín
VP	Vykonávací projekt
VUJE	VUJE, a.s.
VVER	Tlakovodný energetický reaktor
VZT	Vzduchotechnický
ZF	Zmesný filter
ŽP	Životné prostredie

ÚVOD

Táto technická správa je súčasťou PpBS MO34.

Správa je vypracovaná podľa požiadaviek [II.1], [II.3], [II.4], [II.10] a [II.13] a uvádza popis všetkých zdrojov žiarenia a možné cesty a spôsoby individuálneho ožiarenia. Pritom bolo prihliadnuté v primeranom rozsahu k [II.18].

Pri vypracovávaní tejto kapitoly PpBS boli zohľadnené pripomienky ÚJD SR uvedené v rozhodnutí č. 267/2008. Sú zdôraznené skúsenosti a poznatky z prevádzky oboch blokov JE EMO12 v oblasti minimalizácie dávok prijatých pracovníkmi spôsobené priestrelni neutrónového a gama žiarenia, ktoré sú podrobnejšie popísané v [I.14], kde sú uvedené a popísané aj prijaté opatrenia ako prídavné tienenie. Boli prijaté mnohé opatrenia JE EMO12 pre optimalizáciu chemického režimu primárneho okruhu a pre minimalizáciu tvorby koróznych produktov a dávok prijatých pracovníkmi počas normálnej prevádzky a počas jednotlivých odstávok spojených s činnosťami údržby. Tieto opatrenia boli zohľadnené aj pri vypracovávaní mnohých postupov a prevádzkových predpisov JE MO34, upravujúcich chemický režim primárneho okruhu. Táto Kapitola PpBS uvádza prehľad najvýznamnejších opatrení.

11.2 Zdroje ionizujúceho žiarenia

11.2.1 Primárny okruh

11.2.1.1 Aktívna zóna

Reaktor obsahuje maticu palivových prútikov zmontovaných do palivových súborov (kaziet) spolu s radiáciami a kontrolnými prvkami. Palivový súbor pozostáva zo 126 palivových prútikov obsahujúcich obohatený urán vo forme valcových tabletiiek oxidu uránu. Aktívnu zónu tvorí 349 palivových súborov uložených v hexagonálnej mriežke. Celková hmotnosť uránu (vo forme UO_2) v AZ je 43856,7 kgU. Aktívna zóna reaktora je chladená a moderovaná ľahkou vodou pri tlaku 12,36 MPa_{abs}. Bór rozpustený v chladive vo forme kyseliny boritej slúži ako absorbátor neutrónov a zmenou jeho koncentrácie sa kompenzujú pomalé zmeny reaktivity. Podobne ako v referenčnej elektrárni EMO12 aj v MO34 sa predpokladá využitie nového profilovaného paliva druhej generácie s gadolíniovým absorbátorom (ďalej označovaného ako nové palivo typu Gd-II 4,87% so stredným obohatením palivových kaziet a HRK 4.87%, na rozdiel od starého paliva Gd-II 4.25% so stredným obohatením palivových kaziet 4.25% a HRK 3.84). V palivovej kazete paliva typu Gd-II je palivový zväzok tvorený 120 palivovými prútikmi s obsahom UO_2 a šiestimi prútikmi s obsahom UO_2 a 3,35 % prímiesi Gd_2O_3 [I.2]. Takáto prímies gadolína v palive len málo významne vplýva na procesy úniku produktov štiepenia z paliva v porovnaní s pôvodnými palivovými prútikmi bez Gd_2O_3 . Palivo v AZ je hlavným zdrojom látok emitujúcich ionizujúce žiarenie. Vyššie uvedené údaje charakterizujú podmienky, pre ktoré bol robený výpočet aktivít v palive, pod obalom a v chladive.

Hodnoty aktivít v profilovanom palive s gadolíniovým absorbátorom druhej generácie Gd-II 4.87% boli prevzaté z [III.1]. Výpočty aktivity a nuklidového zloženia pre celý reaktor po odstavení na konci kampane boli vykonané pre 14. kampaň 3. bloku EMO. Táto kampaň predstavuje už stacionárnu kampaň pre MO34 s palivom Gd-II 4,87%. Nominálny výkon reaktora vo výpočtoch bol 1375 MW tepelných, dĺžka kampane 330 efektívnych dní a doba pobytu paliva v reaktore maximálne 6 rokov. Údaje pre staré palivo Gd 4.25% boli vypočítané pre 10. (stacionárnu) kampaň, dĺžku kampane 330 efektívnych dní a dobu pobytu paliva v reaktore maximálne 5 rokov [III.3],

Porovnaním hodnôt je možné vidieť, že hodnoty aktivít v palive a v medzere pod pokrytím palivových prútikov pre nové a staré palivo (Gd II s obohatením 4,87 a 4,25%, v tomto poradí) sú veľmi blízke, najmä ak zohľadníme neistoty vypočítaných údajov.

Vo výpočtoch pre staré palivo bol použitý modelový softvér RELWWER-2.0 [III.16], vo výpočtoch pre nové palivo bol použitý softvér RELWWER-UNI, ktorý je rozšírenou verziou programu RELWWER-2.0 zohľadňujúci empirické údaje o vyhorení [I.34]. Neistoty celkových aktivít štiepných produktov vypočítaných softvérom RELWWER-UNI sa oceňujú na približne 10%. Neistoty sú spôsobené výberom hodnôt parametrov modelu akými sú použité nezávislé výťažky, konštanty doby polpremeny, koeficienty rýchlostí úniku cez jednotlivé bariéry v palive, použitý model transportu štiepných produktov v primárnom okruhu: usadzovanie, úniky, čistenie atď.

11.2.1.2 Chladivo primárneho okruhu

Rádioaktívita chladiva I.O. pozostáva z niekoľkých charakteristických skupín RN:

- Štiepne produkty a transuránové prvky,
- Produkty aktivácie chladiva a jeho prímiesí,
- Korózne produkty,
- Trícium.

V nasledujúcej časti sú zvlášť analyzované príspevky jednotlivých skupín RN. Pre ocenenie, alebo výpočet týchto príspevkov boli vyhodnotené údaje z podobných JE.

A. Produkty štiepenia a transuránové prvky

Prítomnosť štiepných produktov a transuránových prvkov v chladive I.O. je dôsledkom rôznych procesov prítomných v I.O. Poškodenie palivových príspevkov a ich následná strata tesnosti spôsobuje únik štiepných produktov a transuránových prvkov zachytených v peletách paliva, alebo ktoré sa nahromadili v medzere medzi palivom a pokrytím. Taktiež tomu prispieva aj urán v povrchovej kontaminácii materiálov pokrytia, ako aj urán v chladive z predošlého poškodenia palivových prútikov.

Preto množstvo poškodených palivových prútikov je fundamentálnym parametrom pri hodnotení obsahu rádioaktívnych štiepných produktov a transuránových prvkov v chladive I.O.

V [II.14] sú definované dva limity: prevádzkový limit a pre bezpečnú prevádzku reaktora.

Prevádzkový limit

Ak by bol tento limit prekročený, prevádzkový personál by musel vykonať činnosti vedúce k prinavráteniu reaktora do normálnej činnosti. V prípade, že reaktor nie je možné prinavrátiť do normálnej prevádzky, reaktor sa musí odstaviť.

Limit pre bezpečnú prevádzku

Ak by sa tento limit prekročil, reaktor sa odstavuje z prevádzky.

Limit pre bezpečnú prevádzku je relevantným limitom pre rádiologické bezpečnostné analýzy vyhodnotenia zdrojových členov. Prevod takýchto hodnôt na hodnoty aktivít chladiva I.O. závisí od mnohých faktorov, typu a rozsahu defektov, účinnosti čistiaceho systému chladiva I.O. ako aj obmedzených možností odtlačovania iných zariadení (napr. parogenerátor).

V ďalšom je popísaná metodológia aplikovaná pri vyhodnotení maximálnych aktivít RN štiepných produktov v chladive I.O. TRU prvky neboli uvažované pri vyhodnotení aktivity chladiva I.O., pretože ako je preukázané v kap. 07.01 PpBS [I.12], kde je ocenená bezpečnosť v podmienkach normálnej prevádzky JE, ich príspevok k ročnej efektívnej dávke z výpustí je o 3 - 6 rádov nižšia ako príspevky kritických RN. Typické prevádzkové hodnoty z chemickej databázy referenčnej JE EMO12 sú zobrazené na Obrázok 11.2-3.

V národnej legislatíve Slovenskej republiky nie je žiadna špecifická požiadavka na zoznam rádionuklidov prítomných v chladive I.O., a pre ktoré by bolo nevyhnutné vyhodnotiť ich príspevok. Takýto zoznam RN bol dedukovaný na základe bezpečnostnej správy pre reaktory toho istého typu, ako podľa rádiologickej významnosti jednotlivých rádionuklidov.

Faktor spiking efektu pre jód

Faktor spiking efektu 55 bol aplikovaný pre jód v rádiologických analýzach pre obálkové projektové havárie a vybrané obálkové prípady očakávaných udalostí [I.17].

Faktor spiking efektu pre vzácne plyny

Pre vzácne plyny bol v rádiologických analýzach aplikovaný faktor spiking efektu 10.

Nakoľko v [II.17] nie sú uvedené žiadne špecifické odporúčania pre vzácne plyny, táto hodnota môže byť považovaná za konzervatívnu. Treba poznamenať, že taká istá hodnota bola použitá aj v PpBS pre JE EMO12 ako aj v PpBS EBO-V2.

Faktor spiking efektu pre cézium (rubídium)

Z hľadiska rádiologickej významnosti bol v [I.17] ocenený najhorší prípad predpokladajúci faktor spiking efektu 55 tiež pre cézium (rubídium). To znamená veľmi konzervatívny predpoklad, že všetky céziá a rubídiá sú kombinované s jódom.

B. Produkty aktivácie chladiva a jeho prímiesí

Samotné primárne chladivo ako aj prímiesi v ňom obsiahnuté sú aktivované neutrónovým tokom pri prechode cez AZ reaktora. Vytvorené aktivačné produkty sú potom transportované cez I.O. do systémov a komponentov spojených s ním. Z tohto dôvodu aktivita aktivačných produktov v chladive I.O. reprezentuje významný zdroj tak z hľadiska kontaminácie, ako aj radiačnej ochrany.

Najväčší príspevok predstavuje ^{16}N , ktorý vzniká reakciou typu (n,p) na jadrách kyslíka ^{16}O :



Aktiváciou nuklidov kyslíka vzniká ešte ^{17}N , podľa nasledovnej reakcie:



Tento je však málo významný, pretože jeho aktivita je o 3 rády nižšia oproti ^{16}N [III.17].

Aktivita týchto rádionuklidov je určená výkonom reaktora a nezávisí od doby prevádzky.

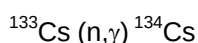
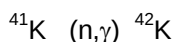
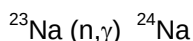
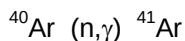
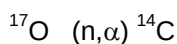
Čo sa týka aktivácie prímiesí primárneho chladiva významnú úlohu v tomto zohráva chemický režim.

Pre kompenzáciu reaktivity sa v primárnom chladive používa kyselina boritá (H_3BO_3). Acidita kyseliny boritej je následne kompenzovaná prídavkom silne alkalického KOH. Pre elimináciu rozpusteného kyslíku sa do I.O. dávkuje amoniak (NH_3), ktorého rádiolytickým rozkladom vzniká vodík.

Pomerne značné koncentrácie prídavných látok zvyšujú i možnosť kontaminácie chladiva nežiaducimi nečistotami, ktoré predstavujú buď nebezpečenstvo porušenia integrity materiálov (chloridy) alebo sa aktivujú a zvyšujú tak radiačnú záťaž personálu.

Limitné hodnoty prímiesi dávkovaných chemikálií (nečistoty) sú uvedené v certifikátoch čistoty dodávaných chemikálií (tieto sa po celú dobu ich používania na EMO zásadne nezmenili).

Rádionuklidy ^{24}Na , ^{42}K , ^{41}Ar , ^{14}C ako aj ^{134}Cs (^{134}Cs vzniká aj štiepením) sú vytvárané aktiváciou prímiesi primárneho chladiva nasledovnými reakciami:



C. Produkty korózie

Tak ako v prípade aktivačných produktov aj produkty korózie sa pri prechode aktívnou zónou aktivujú.

Aktivita produktov korózie je spôsobená tromi príspevkami:

- aktiváciou konštrukčných materiálov AZ a ich uvoľňovaním do chladiva,
- aktiváciou produktov korózie v chladive pri prechode AZ,
- aktiváciou produktov korózie, usadených v AZ reaktora.

Aby sa minimalizovala aktivita korózných produktov musí byť na jednej strane venovaná veľká pozornosť konštrukčným materiálom a na druhej strane chemickému režimu primárneho chladiva s cieľom minimalizovať koróziu. Rýchlosť korózie konštrukčných materiálov závisí predovšetkým od hodnoty pH, obsahu kyslíka, chloridov, termodynamickej stability a povrchovej úpravy materiálu. Minimálna rýchlosť korózie materiálu zodpovedá slabo zásaditému prostrediu. Hodnota pH_{300} (pH pri 300 °C) chladiva má vplyv na usadzovanie korózných produktov a iných nečistôt na povrchoch palivových prútikov. Optimálna pH_{300} je v rozmedzí 7.2 – 7.35.

D. Trícium

Trícium (^3H) je rádioaktívny izotop vodíka s polčasom rozpadu 12,26 rokov [III.2] emitujúci beta žiarenie s maximálnou energiou 18,6 keV (v novej literatúre možno nájsť presnejšiu hodnotu 12.32 rokov [III.5], ktorá významne neovplyvňuje výsledok výpočtov). Z dôvodu relatívne dlhej doby polpremeny je trícium významným rádionuklidom z hľadiska ďalšieho zaobchádzania s vodou primárneho okruhu po prečistení na čistiacich staniciach.

Za účelom popisu zdrojov tvorby trícia (^3H) v chladive I.O. počas normálnej prevádzky reaktorového bloku typu VVER-440/V213, s cieľom ocenenia maximálnej aktivity (inventáru) trícia v priebehu stacionárnej kampane, bola vypracovaná metodika [III.2]. Metodika obsahuje detailný popis teoretických modelov jednotlivých zdrojov ^3H v chladive a výsledných analyticko - numerických riešení pre výpočet aktivity ^3H v chladive a úniku aktivity trícia vo vypúšťaných vodách v priebehu kampane. Za účelom presného a konzistentného stanovenia čiastkových zdrojov ^3H a sumárnej aktivity trícia v chladive bol vypracovaný výpočtový program (TRICIUM-1, [III.2]) v zdrojovom kóde Fortran 77. Uvažované sú nasledujúce reakcie pre tvorbu trícia:

1. ATR1: Aktivácia deutéria: $^2\text{H} \text{ (n, } \gamma\text{)} ^3\text{H}$,
2. ATR2: Trojité štiepenie uránu,

3. ATR3: Absorpcia neutrónov jadrami bóru nachádzajúceho sa v chladive - reakcia: $^{10}\text{B} (n, 2\alpha) ^3\text{H}$,
4. ATR4: Absorpcia neutrónov jadrami bóru nachádzajúceho sa v chladive - reakcia: $^{10}\text{B}(n, \alpha) ^7\text{Li} (n, n', \alpha)^3\text{H}$.

Príspevok každého z týchto procesov k celkovej aktivite chladiva v primárnom okruhu závisí od režimu prevádzky reaktora, chemického zloženia prímies chladiva a činnosti pomocných zariadení primárneho okruhu (čistenie chladiva).

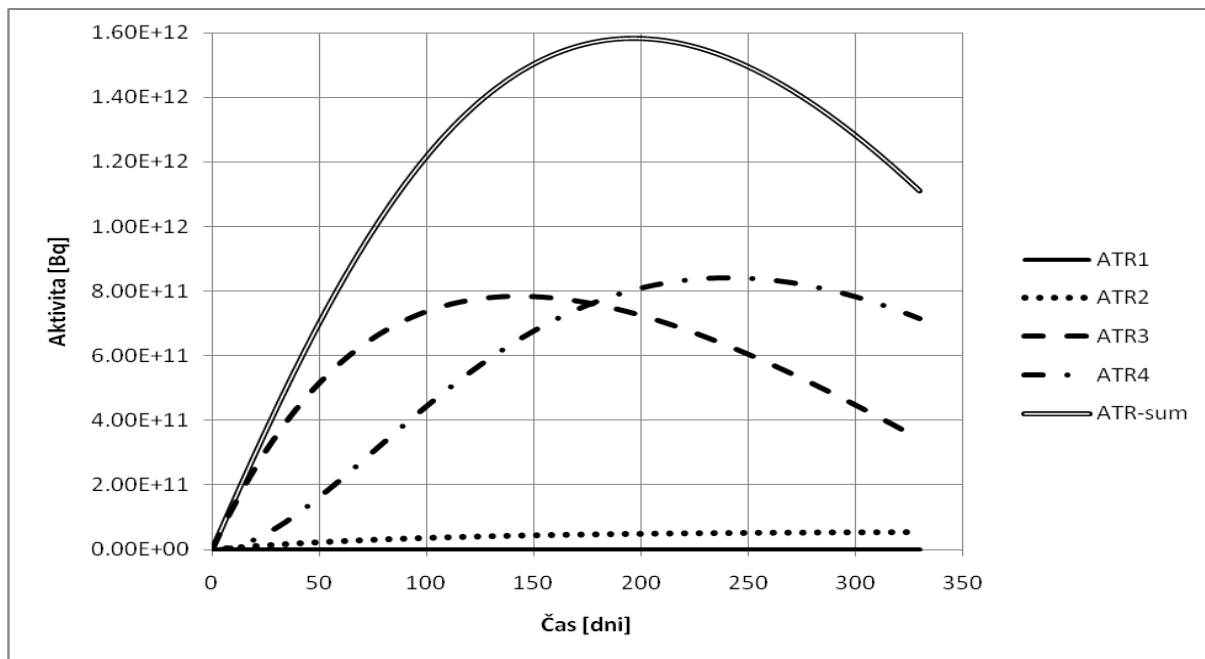
Výsledky výpočtu časového priebehu (v závislosti na efektívnych dňoch) aktivity trícia v chladive I.O od jednotlivých príspevkov (zdrojov: $\text{ATR-sum} = \text{ATR1} + \text{ATR2} + \text{ATR3} + \text{ATR4}$) sú uvedené na Obrázok 11.2-1 a zodpovedajúce priebehy vypočítanej kumulatívnej produkcie aktivity trícia od jednotlivých príspevkov (zdrojov: $\text{PRO-sum} = \text{PRO1} + \text{PRO2} + \text{PRO3} + \text{PRO4}$) sú uvedené na Obrázok 11.2-2. Priebehy na uvedených obrázkoch zodpovedajú základnému variantu, t.j. s uvažovaním počiatočnej koncentrácie kyseliny boritej v chladive I.O. rovnkej hodnote 5,0 g/kg chladiva.

Poznámka (1): Výpočtový model použitý v programe TRICIUM-1 uvažuje lineárny pokles koncentrácie H_3BO_3 z počiatočnej zadávanej maximálnej hodnoty (na konečnú minimálnu hodnotu (parameter FSHB). Z týchto parametrov, ako aj ďalších (TTZ, VCHL, ROV), program vypočíta priemernú (t.j. konštantnú počas celej kampane) rýchlosť úniku chladiva z I.O pri vodovýmene (odpúšťanie a dopĺňovanie I.O čistou vodou) - $\eta_U [\text{g} \cdot \text{s}^{-1}]$, z ktorej je vypočítaná „konštanta“ rýchlosti úniku jadier ^3H a ^7Li z I.O ($\eta = \eta_U / (\text{VCHL} \times \text{ROV})$, $[\text{s}^{-1}]$). Parameter „ η “ ovplyvňuje aktuálnu hodnotu aktivity ^3H v chladive I.O od všetkých zdrojov (ATR1 až ATR4).

Lineárny pokles koncentrácie H_3BO_3 z počiatočnej maximálnej hodnoty na konečnú minimálnu hodnotu musí byť, z hľadiska aktuálneho počtu jadier bóru v 1 kg chladiva, uvažovaný samostatne (t.j. oddelene od výpočtu parametra η) pre zdroje ^3H - ATR3 ($^{10}\text{B} (n, 2\alpha) ^3\text{H}$) a ATR4 ($^{10}\text{B}(n, \alpha) ^7\text{Li} (n, n', \alpha)^3\text{H}$). Aktuálna hodnota aktivity ^3H v chladive I.O zo zdrojov ATR1 a ATR2 nezávisí na aktuálnej koncentrácii H_3BO_3 v chladive I.O..

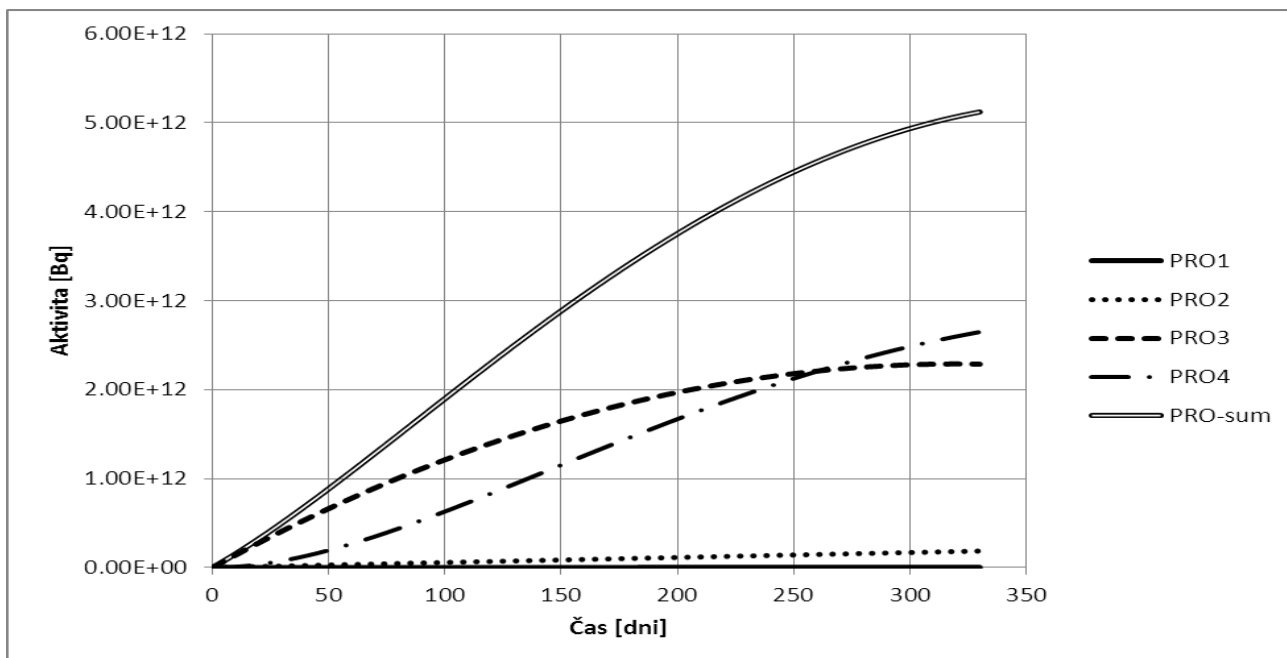
Z vyššie uvedeného popisu vyplýva, že:

- 1) Pri výpočte aktuálnej aktivity ^3H v chladive I.O od jednotlivých zdrojov v priebehu kampane (ATR1 až ATR4 - Obrázok 11.2-1) je uvažovaná vypočítaná hodnota parametra η .
- 2) Pri výpočte kumulatívnej produkcie ^3H od jednotlivých zdrojov v priebehu kampane (PRO1 až PRO4 - Obrázok 11.2-2) je definovaná nulová hodnota tohto parametru ($\eta_U = 0.0 \text{ g/s}$ a teda tiež $\eta = 0.0 \text{ s}^{-1}$) a predpokladá sa, že celková kumulatívna produkcia aktivity ^3H sa rovná celkovej výpuste do hydrosféry. Je treba zdôrazniť, že v tomto prípade musí byť zachovaný únik jadier ^7Li z chladiva I.O v dôsledku vodovýmeny, t.j. v bilančnej rovnici pre tvorbu jadier ^7Li z jadier ^{10}B (reakcia $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$) musí byť zachovaná vypočítaná hodnota parametra η .



Obrázok 11.2-1 Výsledky výpočtu časového priebehu aktivity trícia v chladiči I.O. od jednotlivých príspevkov

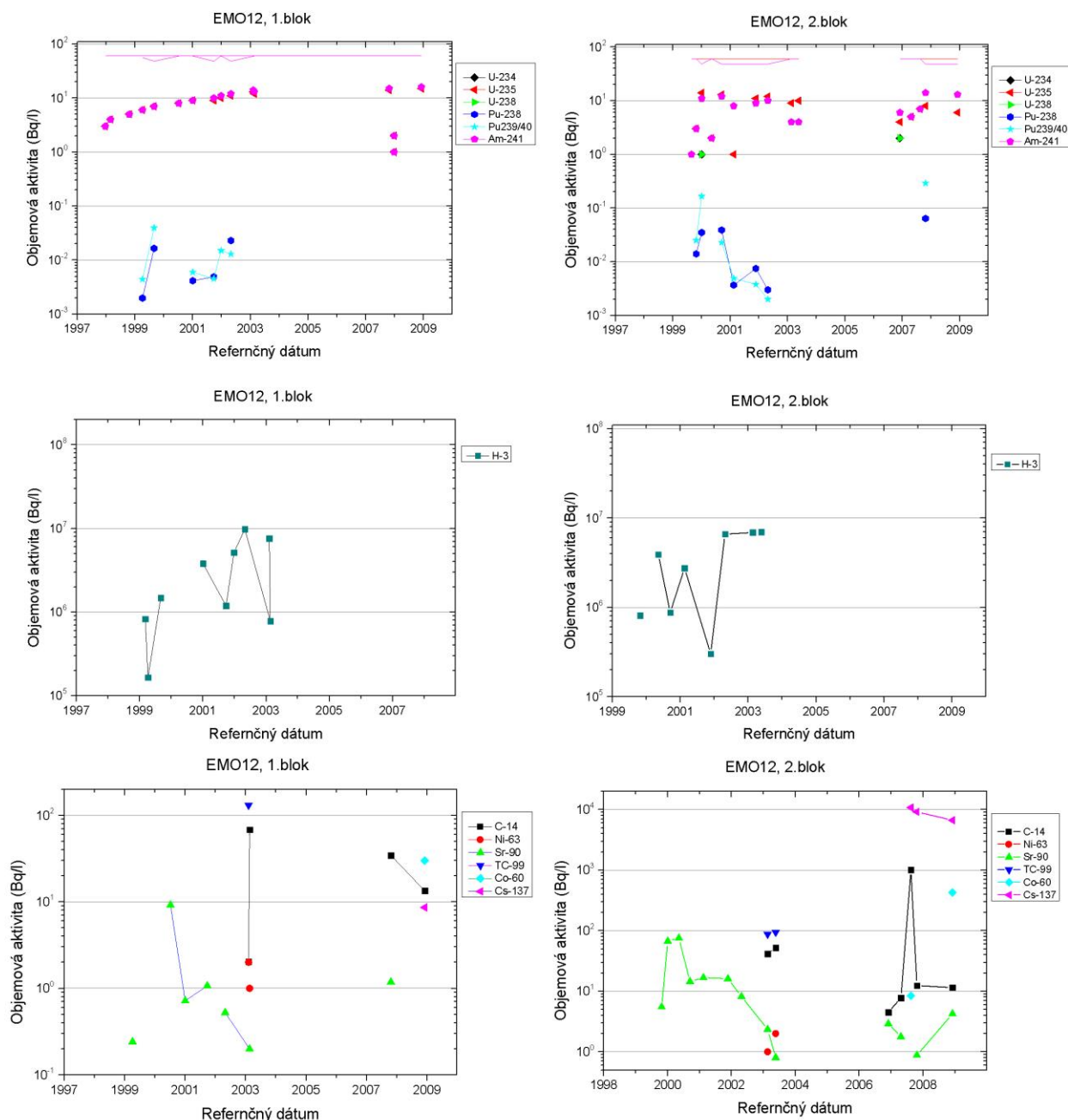
Príspevky k aktivite ^3H v chladiči od trojitého štiepenia uránu (ATR2, resp. PRO2) a hlavne od aktivácie deutéria (ATR1, resp. PRO1) sú nevýznamné v porovnaní so zdrojmi PRO3 (ATR3) a PRO4 (ATR4).



Obrázok 11.2-2 Výsledky výpočtu kumulatívnej produkcie aktivity trícia v chladiči I.O. od jednotlivých príspevkov

E. Sumárna aktivita RN v chladiči I.O. MO34

Na Obrázok 11.2-3 sú uvedené typické prevádzkové hodnoty špecifických aktivít TRU prvkov, ^3H a iných RN v chladiči I.O. podľa chemickej databázy referenčnej JE EMO12.



Obrázok 11.2-3 Typické hodnoty objemovej aktivity vybraných TRU, ^3H a ďalších RN v chladiči I.O. podľa prevádzkových údajov referenčnej JE EMO12

11.2.1.3 Vzduch v šachte reaktora

V šachte reaktora sú dva samostatné (oddelené) vzduchové priestory. Jeden je medzi stenou tlakovej nádoby a tepelnou izoláciou a druhý medzi tepelnou izoláciou a betónovou šachtou reaktora (štrbina pri betónovej stene šachty).

Prvý z nich nie je za prevádzky ventilovaný. Druhý z nich je ventilovaný - štrbinou pri betónovej šachte reaktora prúdi chladiaci vzduch cirkulačného VZT systému, ktorý zabezpečuje odvod tepla. Chladiaci vzduch ochladzuje steny betónovej šachty reaktora. Systém nasáva vzduch z boxu parogenerátorov, na chladičoch sa vzduch ochladzuje na cca. 35 °C. Ochladený vzduch je z priestoru spoločného výtlaku vedený jedným vzduchovodom do priestoru nad deliacou rovinou reaktoru a dvomi vzduchovodmi pod deliacu rovinu.

V oboch priestoroch šachty reaktora dochádza k neutrónovej aktivácii vzduchu, v dôsledku čoho sa v ňom generujú aktivačné produkty. Ich aktivita nie je meraná, jej kumulovaná úroveň je ohodnotená výpočtom. Pre výpočet v ňom boli uvažované nasledujúce vstupné údaje a predpoklady:

- zloženie vzduchu v šachte - dusík (75,51237 %), kyslík (23,1834 %), argón (1,286 %), uhlík (0,01318 %), neón (0,00164 %), kryptón (0,00033 %)
- konzervatívne bola zanedbaná filtrácia u všetkých rádionuklidov,
- hustota vzduchu ($\rho = 3,07 \cdot 10^{-6} \text{ g/cm}^3$) bola určená vzťahnutím ožiareného objemu vzduchu k celkovému objemu hermetického priestoru,

Výpočet pre reaktorový blok v EDU možno akceptovať aj pre reaktory MO34 - ide o aktiváciu vzduchu, na rovnakom type reaktoru: VVER440 typ 213. Napriek rozdielnemu obohateniu paliva možno predpokladať, že ani neutrónové toky v šachte reaktora sa nebudú významne líšiť.

VZT systém odvádza produkty aktivácie vzduchu z ventilovanej časti reaktorovej šachty. Okrem toho v dôsledku prúdenia vzduchu tohto systému nastáva čiastočný prienik aktivačných produktov z neventilovanej časti do vzduchového priestoru štrbiny pri betónovej stene šachty reaktora. Zo šachty reaktoru je vzdušina vytláčaná do boxu PG, kde nastáva miešanie so vzduchom cirkulačného systému, ktorý zabezpečuje chladenie tejto časti hermetického priestoru.

Vzduch z boxu PG je odsávaný VZT systémom a je vedený priamo (bez filtrácie) do ventilačného komína - vzhľadom k tomu, že ide o plynné RN produkty. Odsávací systém znižuje objemovú aktivitu ^{41}Ar v HZ asi o 2%. Z toho vyplýva, že príspevok z tohto zdroja k výpustiam ventilačným komínom nie je významný.

Aktivita vzduchu neventilovaného priestoru šachty reaktoru nie je meraná. V SRK je meraná celková objemová aktivita ventilovaného priestoru šachty reaktoru a boxu PG.

Uvedená prevádzková hodnota objemové aktivity ^{41}Ar v HZ bola nameraná jednoúčelovo nainštalovaným meracím systémom (v roku 1996). Podobne bola meraná objemová aktivita ^{41}Ar v HZ v EMO12 (na 1. bloku).

11.2.1.4 Voda bazénu vyhoreného paliva

Bazén vyhoreného paliva obsahuje bórovú vodu, ktorej koncentrácia nesmie klesnúť pod koncentráciu pri odstavení.

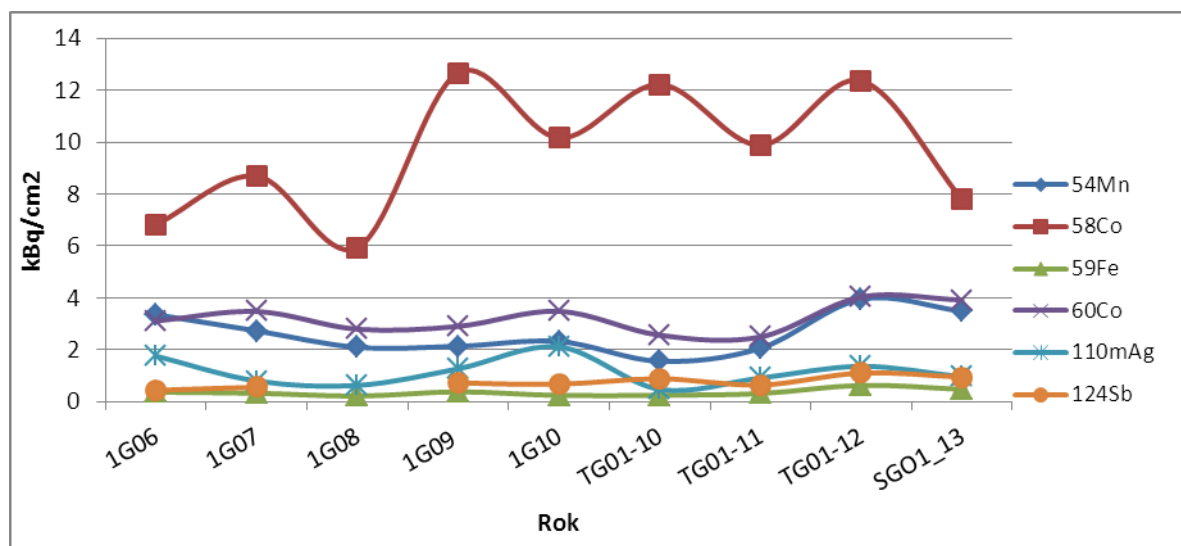
11.2.1.5 Vnútrotný povrch potrubia primárneho okruhu

Kontaminácia potrubia primárneho okruhu je spôsobená hlavne aktivovanými koróznymi produktmi, ktoré sa usadzujú na vnútorných povrchoch primárneho okruhu (hlavné cirkulačné potrubie, trubky parogenerátorov, tlaková nádoba reaktora atď.). Najväčší podiel aktivity majú hlavne nasledovné korózne produkty: ^{58}Co , ^{60}Co , ^{54}Mn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb a ^{59}Fe . Vznikajú aktiváciou prímiesi ocele rozpustených v chladiči I.O.. Úroveň aktivity koróznych produktov v chladiči I.O. a na vnútorných povrchoch súvisí s mnohými faktormi závislými od chemického režimu v I.O. najmä počas odstávky a nábehu reaktora. Priemerné hodnoty plošnej aktivity vnútorných povrchov slučky I.O. určené na základe mapovania vo vybraných monitorovacích bodoch hlavného cirkulačného potrubia počas GO na referenčnej JE EMO12 sú uvedené na Obrázok 11.2-4 (pre 1. blok) a Obrázok 11.2-5 (pre 2. blok).

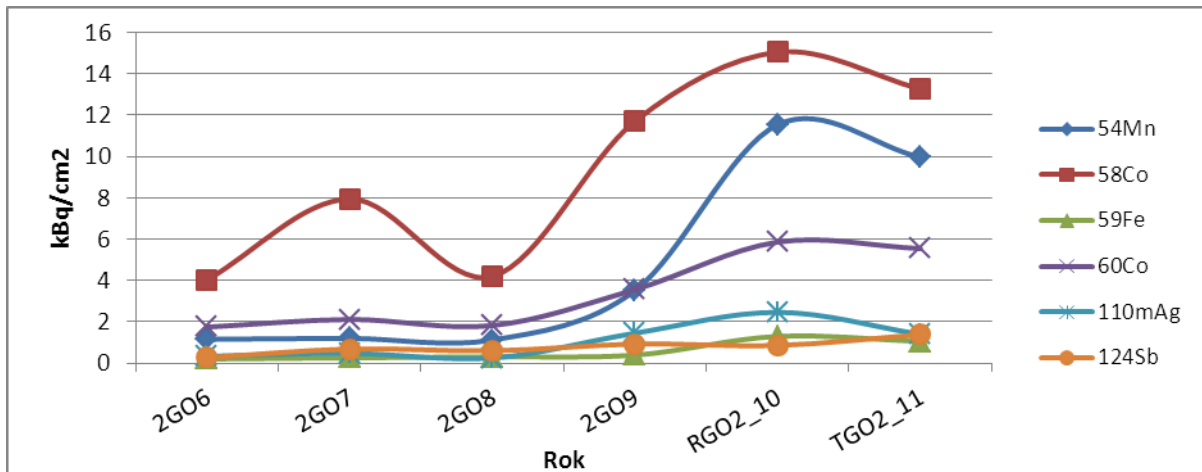
Využitie skúseností referenčnej JE EMO12 na MO34

Na MO34 sú využité všetky doterajšie skúsenosti získané počas prevádzky EMO12 v oblasti optimalizácie chemického režimu vedúceho v konečnom dôsledku aj k minimalizácii PD v okolí I.O. pri údržbárskych prácach počas plánovaných opráv, GO a RGO. Počiatočná pasivácia vnútorných povrchov a optimalizovaný chemický režim počas minimálneho výkonu ako aj pri odstávke reaktora podľa skúseností EMO12 zabezpečuje:

- udržanie minimálnej (optimálnej) úrovne korózie vnútorných povrchov I.O. a tým aj celkovej aktivity koróznych produktov v I.O. počas prevádzky a odstávok reaktora (GO, RGO)
- udržanie optimálnej vrstvičky oxidov na týchto povrchoch.
- dosiahnutie minimálnych PD v okolí I.O.



Obrázok 11.2-4 Priemerné hodnoty kontaminácie zo 4 štandardných bodov na HCP na 1. bloku počas GO



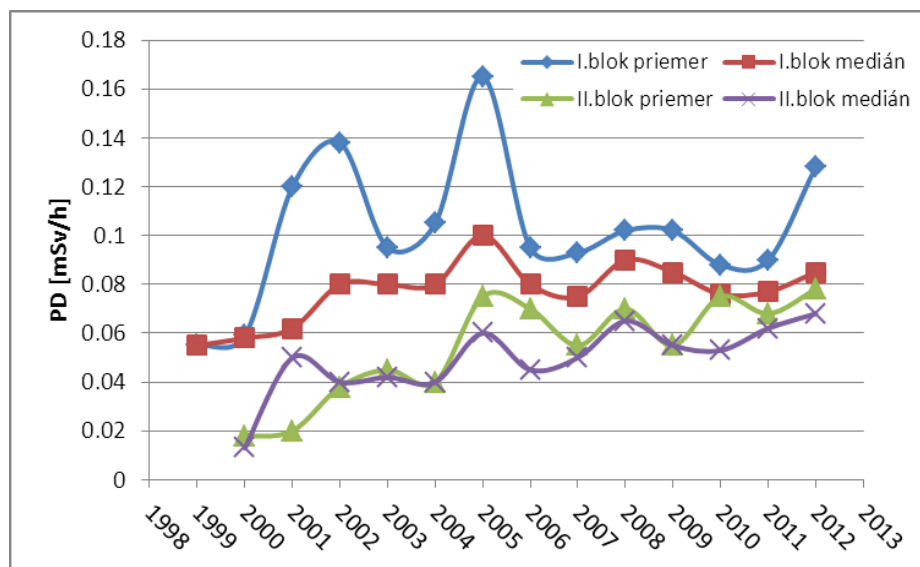
Obrázok 11.2-5 Priemerné hodnoty kontaminácie zo 4 štandardných bodov na HCP na 2. bloku počas GO

Na MO34 sa takýto režim dosahuje podobne ako na EMO12 príslušnými postupmi a prevádzkovými predpismi:

1. Pasivácia vnútorných povrchov I.O. je vykonávaná horúcimi oplachmi podľa toho istého postupu, ktorý sa otestoval a osvedčil na 2. bloku EMO12. Pri tejto operácii je dôležité dodržanie doby oplachov (na 1. bloku bol predpísaný rovnaký postup, len sa vykonával kratšiu dobu v časovej tiesni). Na MO34 sa vykonáva podľa programu [I.26].
2. Chemický režim je daný normami parametrov chemického režimu. Hodnoty týchto parametrov sú také isté ako sú v norme 0CH/4501 aplikovanej na EMO12, ktorá má celoelektrárenskú platnosť. Hodnoty parametrov podľa tejto normy sú dosiahnuté už pri spúšťaní. Dodržovanie hodnôt parametrov podľa 0CH/4501 a 0CH/4502 sa kontroluje a preukazuje v rámci Programu [I.27].
3. Drenáž reaktora pred jeho otvorením je štandardnou operáciou podľa [I.1] a [I.20], podobne ako na EMO12,.

Priemerné hodnoty kontaminácie slučky I.O. určené na základe mapovania vo vybraných monitorovacích bodoch HCP počas GO na EMO12 sú uvedené na Obrázok 11.2-4 (pre 1. blok) a Obrázok 11.2-5 (pre 2. blok). Výsledkom sú minimalizované plošné aktivity na vnútorných povrchoch I.O. a s tým súvisiace minimalizované príkony dávok externého gama žiarenia počas prevádzky ako aj odstávok a opráv a tým aj nižšie individuálne a kolektívne dávky pracovníkov celkovo ako aj počas opráv na I.O. [I.1].

Priemerné hodnoty PD namerané v 54 vybraných bodoch na HCP EMO12 v rokoch 1999 až 2012 sú na Obrázok 11.2-6. Tieto merania sú súčasťou pravidelného monitorovania radiačnej situácie zabezpečovaného útvarom radiačnej ochrany EMO12. Na základe odchýlok v príkonoch dávky v KP SE EMO sú identifikované miesta povrchovej kontaminácie a miesta so zvýšeným príkonom dávky a po označení sú následne prijímané príslušné technické a administratívne opatrenia.



Obrázok 11.2-6 Mediány a Priemerné hodnoty nameraných PD v 54 vybraných bodoch na HCP na EMO12 v období 1999 až 2012

11.2.2 Súvisiace technologické systémy

Nadväzujúce technologické systémy pracujú s médiom, ktorého aktivita pochádza z chladiva primárneho okruhu. Úlohou týchto systémov je vytvoriť, pokiaľ je to možné, uzavretý okruh, v ktorom sa rádioaktívne kvapaliny čistia a vracajú späť na ďalšie využitie v primárnej časti. Organizované a neorganizované úniky sa zhromažďujú v nádržiach, z ktorých sa prečerpávajú na čistiace stanice. Pri čistení sa používa technológia destilácie na odparkách v kombinácii s čistením na ionomeničových filtroch. Spôsob čistenia a voľba ionexových náplní závisí od pôvodu spracovávaných vôd a chemického zloženia. Rádioaktívny koncentrát z odpariek a náplní ionexových filtrov, ktorý už nie je vhodný na regeneráciu, sa upravuje do formy bezpečnej pre konečné uloženie.

V nasledujúcich podkapitolách je uvedené hodnotenie aktivity potenciálne akumulovanej v týchto technologických systémoch. Použité údaje sú prevzaté z prevádzkových meraní referenčnej JE EMO12.

11.2.2.1 Kompenzátor objemu (KO)

11.2.2.2 Odplyňovač systému dopĺňovania

11.2.2.3 Stanice špeciálneho čistenia vody (ŠOV)

Systémy špeciálneho čistenia vody zaisťujú spracovanie a čistenie vody z primárneho okruhu a ďalších technologických systémov tak, aby bola zabezpečená požadovaná kvalita.

Hodnotenie aktivity nahromadenej na ionexových filtroch je komplikované, pretože v modeloch treba vziať do úvahy veľa faktorov. Musí sa napr. uvažovať, že v priebehu prevádzky sú filtre regenerované a prané, pričom je odstránená majoritná časť aktivity nahromadenej na filtroch.

Údaje možno považovať za reprezentatívne aj v súčasných podmienkach MO34, pretože chemický režim sa z pohľadu zachytávania rádionuklidov na ŠOV prakticky nezmenil. Nutnosť zvyšovania obsahu H_3BO_3 v primárnom okruhu kvôli používaniu nového paliva Gd-II ako aj trvalému zvyšovaniu kvality sorbentov významne neovplyvňuje účinnosť zachytávania rádionuklidov na filtroch. Na referenčnej JE EMO12 sú dlhodobo využívané ionexové hmoty najvyššej podľa dostupnosti na trhu (vylepšenie kvality sa týka napr. uniformnej zrnitosti, tepelnej odolnosti).

Ďalším indikátorom aktivity nahromadenej na filtroch ŠOV sú výsledky z prevádzkového merania referenčnej JE EMO12. Ide o údaje získané porovnaním meraní na vstupoch a výstupoch filtroch.

11.2.2.3.1 Systém kontinuálneho čistenia vody I.O.

Systém pracuje v podmienkach normálnej prevádzky. Slúži na kontinuálne čistenie chladiwa I.O. ako aj pre udržiavanie kvality v rozsahu predpísanom. Systém je podrobnejšie popísaný v [I.4].

11.2.2.3.2 Systém čistenia vody z vypúšťania I.O.

Systém pracuje v podmienkach normálnej prevádzky. Zhromažďuje drenážne vody a kontrolované úniky z I.O., čistí ich a v závislosti od priebehu kampane ich privádza do nádrže nečistého kondenzátu alebo naspäť cez odplyňovač do I.O. Systém je podrobnejšie popísaný v [I.5].

11.2.2.3.3 Systém čistenia odpadových vôd

Systém pracuje v podmienkach normálnej prevádzky. Slúži pre prepracovanie vôd s obsahom bóru a iných solí z nádrží nečistého kondenzátu a pre čistenie odpadových vôd mechanických, chemických a rádioaktívnych nečistôt. Systém je podrobnejšie popísaná v [I.6].

Pri nadmernom penení môže dôjsť v odparke k zníženiu súčiniteľa čistenia a k zvýšeniu aktivity kondenzátu odparky a k hromadeniu aktivity na filtroch.

11.2.2.3.4 Systém kontinuálneho čistenia vody bazénu skladovania vyhoreného paliva

Systém pracuje v podmienkach normálnej prevádzky. Slúži na čistenie vôd z barbotážnych kondenzátorov, bazénu vyhoreného paliva a nádrží HSCHAZ, ktoré sú ďalej privádzané naspäť do príslušných systémov. Systém je podrobnejšie popísaný v [I.7].

11.2.2.3.5 Systém kontinuálneho čistenia odluhov parogenerátorov

Systém čistenia odluhov PG pracuje v podmienkach normálnej prevádzky. Slúži na kontinuálne čistenie odluhov PG, ktoré sú vedené do zbernej nádrže kondenzátu. Podrobnejšie je systém popísaný v [I.8].

11.2.2.3.6 Systém regenerácie kyseliny boritej

Systém regenerácie kyseliny boritej pracuje v podmienkach normálnej prevádzky. Slúži na čistenie koncentráту kyseliny boritej z odpariek, zo zásobných nádrží koncentráту 3. a 4. bloku a čerstvo pripraveného koncentrátu. Systém je podrobnejšie popísaný v [I.9].

11.2.2.3.7 Ďalšie údaje o hromadení aktivity v systémoch ŠOV**11.2.2.4 Nádrže sorbentov a koncentrátu****11.2.2.5 Priestory pomocných okruhov**

11.2.3 Sekundárny okruh

V dôsledku rôznych defektov - netesností medzi primárnou a sekundárnou časťou parogenerátorov, môže dôjsť k úniku rádionuklidov nachádzajúcich sa v chladiwe primárneho okruhu do vody a pary sekundárneho okruhu.

Toto môže viesť k úniku rádionuklidov do okolia JE, napr. cez odvetranie plynov z jamy vývev turbogenerátorov. Z tohto dôvodu je vhodné limitovať obsah týchto RN v sekundárnom okruhu podmienkou, že celková rýchlosť úniku cez tieto neautorizované cesty do ŽP nesmie prekročiť 1% [III.15] hodnoty predpísanej v LAP pre plynné výpuste cez ventilačný komín.

Ohraničenie týchto výpustí na 1% dennej hodnoty autorizovaných limitov výpuste cez komín nie je pravým rádiologickým limitom, hoci sa jedná o špecifické podmienky únikov, napr. nižšia výška výpustí (vypúšťanie s ejektorovými plynmi turbogenerátorov) a z toho vyplývajúce mierne zvýšenie rádiologického dopadu oproti výpustiam cez 120 m komín.

Jedná sa tu skôr o podmienku zabezpečujúcu požiadavku, aby systematická neistota monitorovania bilančných výpustí z komína neprevýšila úroveň 1% (ktorú možno považovať za zanedbateľnú). T.j. aby ani pri možných abnormálnych stavoch neboli v dôsledku únikov zo II.O. prekročené limity denných výpustí vo VK o viac ako +1%.

V nasledujúcej podkapitole sú hodnotené aktivity uvoľňované cez neautorizované cesty a ich hodnoty sú porovnané s definovanými limitmi.

Hromadenie daných rádionuklidov vo vode sekundárneho okruhu možno podľa [III.4], [III.13] popísať diferenciálnou rovnicou v tvare:

$$\frac{dN_s}{dt} = g \cdot N_{chl} - (\lambda + \lambda_p + n_1 + n_2) \cdot N_s \quad (3)$$

kde:

- N_s - aktivita rádionuklidu v sekundárnom okruhu [Bq]
- N_{chl} - merná aktivita rádionuklidu v chladiwe primárneho okruhu [Bq/m³]
- g - rýchlosť úniku chladiwa z primárneho do sekundárneho okruhu [m³/s]
- λ - konštanta premeny [s⁻¹]
- λ_p - koeficient únosu rádionuklidu s parou [s⁻¹]
- n_1 - koeficient úniku rádionuklidu zo sekundárneho okruhu [s⁻¹]
- n_2 - koeficient odstraňovania rádionuklidu na filtroch čistiacej stanice odluhov parogenerátora [s⁻¹]

Riešenie rovnice (3) možno zapísať v tvare:

$$N_s = \frac{g \cdot N_{chl}}{\lambda + \lambda_p + n_1 + n_2} \cdot (1 - e^{-(\lambda + \lambda_p + n_1 + n_2) \cdot t}) \quad (4)$$

V rovnovážnom stave, exponenciálny člen v rovnici (4) sa rovná nule, a potom platí vzťah:

$$N_s \cdot (\lambda + \lambda_p + n_1 + n_2) = g \cdot N_{chl} \quad (5)$$

Na základe tejto rovnice je možné oceniť celkovú aktivitu, ktorá v najhoršom prípade prejde z I.O. do II.O., t.j. keď sú dosiahnuté nasledovné hodnoty limitov podľa LaP:

- Hodnota prieniku chladiva z primárneho do sekundárneho okruhu v jednom parogenerátore nesmie prekročiť hodnotu $5 \text{ dm}^3/\text{hod}$.
- Sumárny prienik chladiva z primárneho do sekundárneho okruhu všetkých parogenerátorov musí byť menší ako $20 \text{ dm}^3/\text{hod}$.

Potom je možné použitím jednoduchého modelu oceniť aktivitu týchto RN uvoľňovaných cez neautorizované cesty

$$NS \cdot \lambda_p \quad (6)$$

a porovnať ju s limitnými hodnotami pre RVP, jódy a dlho žijúce aerosóly predpísanými v LaP pre výpuste cez VK.

Vstupné údaje:

Vzácne plyny sa v procese generácie pary uvoľňujú z vody parogenerátora do pary (rozdeľovací koeficient vzácných plynov medzi parou a vodou je rovný jednej) a potom sa uvoľňujú z pary pri jej kondenzácii. Tá časť vzácných plynov, ktorá zostala v kondenzáte, sa uvoľňuje z kondenzátu v odplyňovačoch. Vzácne plyny z kondenzátorov a odplyňovačov sa spolu s ejektorovými plynmi dostávajú priamo do atmosféry mimo komín vo výške strechy budovy. Množstvo rádioaktívnych vzácných plynov, ktoré je unášané z vody parogenerátora do pary a ďalej do atmosféry je definované koeficientom únosu λ_p , ktorý je pre tieto rádionuklidy rovný pomeru parného výkonu parogenerátora (450 t/hod) k objemu vody v sekundárnej časti parogenerátora (42 m^3 , t.j. 33 ton pri hustote sekundárnej vody $\sim 784 \text{ kg/m}^3$ a teplote 260°C), t.j. 13.6 hod^{-1} .

Aerosól sa v procese generácie pary uvoľňuje z vody parogenerátora do pary iba v obmedzenej miere. Rozdeľovací koeficient medzi parou a vodou pre RN typické pre dlhožijúce aerosóly (napr. ^{137}Cs) je podľa [III.18] 10 - násobne menší ako pre ^{131}I , $k_{r1} = 0,001$. Aj koncentrácie týchto RN vo vode I.O. sú oproti ^{131}I asi o 1 rád nižšie, preto ich príspevok k limitu výpustí DŽA pre komín je zanedbateľne malý.

Výsledky pre ^{131}I

Vzťah (5) umožňuje vypočítať rovnovážnu celkovú a objemovú aktivitu ^{131}I vo vode II.O. za predpokladu limitného prieniku RL z I.O. do II.O.

Výsledky pre RVP

Pri výpočte sa predpokladala rýchlosť prieniku z I.O. do II.O. do 1 PG.

11.2.4 Systémy ventilácie a špeciálna čistiaca stanica plynov

11.2.4.1 Systémy ventilácie

Vzduchotechnické systémy (VZT) patria medzi podporné technologické systémy a sú určené pre vytvorenie a udržiavanie vhodných podmienok prostredia (teplota, tlak, vlhkosť, obsah rádioaktívnych látok) pre technologické zariadenia a prevádzkový personál v priebehu normálnej a abnormálnej prevádzky a pri pohavarijných podmienkach.

Tie, ktoré prichádzajú do styku s potenciálne aktívnymi médiami sú prevádzkové v tých častiach JE, kde sa očakávajú zdroje žiarenia v rozličných formách (rádioaktívne plyny/aerosóly) a to tak podmienkach normálnej prevádzky ako aj v havarijných podmienkach. Sú určené pre:

- Vytvorenie vhodného pracovného prostredia pre personál,
- Vytvorenie vhodného prostredia pre bezpečnú a spoľahlivú prevádzku technologických zariadení,
- Zabránenie/redukovanie uvoľňovania rádioaktívnych látok do atmosféry.

VZT systémy sa delia na VZT systémy pre HZ, VZT systémy pre potenciálne aktívne a aktívne miestnosti v okolí HZ pre udržiavanie mierneho podtlaku vzhľadom na okolité prostredie (hermetická zóna), VZT systémy pre ostatné aktívne priestory.

VZT systémy určené pre HZ udržiavajú vhodné podmienky prostredia počas normálnej prevádzky, ale sú určené aj pre riadenie havarijných scenárov.

VZT systémy sú podrobnejšie popísané v [I.10].

Obsiahnutý je aj VZT systém pre budovu pomocných aktívnych prevádzok.

11.2.4.1.1 Cirkulačný systém pre filtráciu vzduchu v HZ

Systém zaisťuje filtráciu vzduchu v kontajmente v prípade, že aktivita aerosólov a jódu v ovzduší kontajmentu prekročí určené limity.

Hromadenie aktivity na filtroch systému je určené aktivitou, postupujúcou do hermetického priestoru neorganizovanými únikmi chladiva I.O.

11.2.4.1.2 Odsávací systém pre udržanie podtlaku v hermetickej zóne v priebehu normálnej prevádzky

Na udržiavanie podtlaku v HZ počas normálnej prevádzky slúži kombinácia dvoch systémov.

Podrobnosti o účinnosti filtrov a ostatných technických parametroch filtračnej zostavy systému sú uvedené v [I.3].

11.2.4.1.3 Odsávací systém pre ventiláciu počas odstávok reaktora

Odsávací VZT systém je primárne určený na prevetrávanie a filtráciu vzduchu HZ v priebehu odstávky reaktorového bloku spolu s prírodným VZT systémom.

V prípade nutnosti vstupu personálu do HZ v pohavarijných stavoch reaktorového bloku môže byť odsávací systém nastavený do cirkulačného režimu (t.j. vzduch z výstupu filtračnej zostavy nie je vedený do ventilačného komína, ale späť do priestorov HZ) alebo môže byť spustený cirkulačný VZT systém.

Podrobnosti o účinnosti filtrov a ďalšie technické parametre filtračnej zostavy systému sú uvedené v [I.3].

Odhad aktivity zachytenej na filtroch VZT systému závisí od mnohých faktorov: napr. v pohavarijnom stave po roztrhnutí hlavného cirkulačného potrubia I.O. - LOCA 2x500 mm závisí od aktivity ovzdušia v HZ v čase prepnutia do cirkulačného režimu, doby súčasnej prevádzky cirkulačného systému alebo doby prevádzky pri postupnom spúšťaní, dekontaminačného faktoru v dôsledku sprchovania atmosféry HZ.

Bolo vykonané konzervatívne hodnotenie zdrojového člena pre prípad LOCA 2x500 mm pre pohavarijné podmienky, pri predpoklade výpuste z VK po dobu 24 h v dôsledku súčasnej prevádzky prírodného systému a odsávacieho systému. Rádiologické kritériá sú splnené aj za týchto konzervatívnych predpokladov.

11.2.4.1.4 Odsávací systém z reaktorovne

Odsávací systém zabezpečuje odvod vzduchu z priestorov reaktorovne - z miestností v strednej časti reaktorovne. Systém zabezpečuje odvod vzduchu z priestorov budovy reaktora, ktoré sú spoločné pre oba bloky.

Systém je vybavený aerosólovými filtermi. Môže pracovať so zaradenými filtermi, alebo bez filtrácie. Systém má jeden pracovný a jeden rezervný ventilátor (má 100% rezervu).

Zostava VZT systému, parametre jeho komponentov, vrátane účinnosti filtrácie sú uvedené v kapitole 06.04.04 tejto PpBS [I.3].

Aktivita nahromadená na filtroch ventilačného systému je určená únikmi v hermetických priestoroch pomocných okruhov I.O.

11.2.4.1.5 Odsávací systém z budovy pomocných prevádzok

Systém je hlavným odťahovým VZT systémom z budovy aktívnych pomocných prevádzok. Systém má nainštalované filtre pre filtráciu rádioaktívnych aerosólov.

Zostava VZT systému, parametre jeho komponentov, vrátane účinnosti filtrácie sú uvedené v kapitole 06.04.04 tejto PpBS [I.3].

11.2.4.2 Špeciálna čistiaca stanica plynov

Čistiaca stanica technologických odvdzušení patrí k pomocným systémom I.O.. Slúži na čistenie plyno-vzdušnej zmesi, privádzanej zo systémov spaľovania vodíka a systému odvdzušení nádrží nečistého kondenzátu.

Podrobný popis systému je v [I.11].

Všetka plynová aktivita, pochádzajúca z I.O. prostredníctvom organizovaných únikov a vody pri odpúšťaní z okruhu v režime veľkej bórovej regulácie, postupuje na túto stanicu.

11.2.5 Priestrely gama a neutrónového žiarenia

V priebehu energetického spúšťania 1. a 2. bloku referenčnej JE A1 bolo identifikovaných niekoľko priestorov so zvýšenou úrovňou príkonu dávky v dôsledku priestrelov gama a neutrónového žiarenia [I.1], [I.39]. Zvýšené hodnoty prekračovali povolené úrovne z hľadiska klasifikácie týchto priestorov. Ide hlavne o polo-obsluhované priestory.

Vzhľadom na to, že stavebná časť všetkých štyroch blokov JE EMO prebiehala prakticky súčasne pred spustením 1. bloku, nebolo možné skúsenosti z EMO12 implementovať do úvodného projektu a realizácie stavebnej časti MO34. Príslušné technické a administratívne opatrenia pre redukciu dávkovej záťaže pracovníkov kvôli týmto priestrelom, prijaté na EMO12, sú detailne popísané v Kap.11.03 tejto PpBS [I.14]. Tieto opatrenia boli implementované aj do projektového riešenia MO34.

LITERATÚRA

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

- [I.1] PNM34361028 – PpBS Kapitola 06.01.02 – Projekt vnútorných častí reaktora
- [I.2] PNM34361029 – PpBS Kapitola 06.01.03 – Jadrový projekt
- [I.3] PNM34361043 – PpBS Kapitola 06.04.04 – Systémy na odvod odstraňovanie a riadenie koncentrácie rádioaktívnych látok
- [I.4] PNM34361082 – PpBS Kapitola 06.07.02.06 – Systém čistenia chladiva primárneho okruhu ŠOV 1
- [I.5] PNM34361083 – PpBS Kapitola 06.07.02.07 – Systém čistenia drenážnych vôd a organizovaných únikov ŠOV 2
- [I.6] PNM34361084 – PpBS Kapitola 06.07.02.08 – Systém čistenia odpadových vôd a vôd z nádrží nečistého kondenzátu ŠOV 3
- [I.7] PNM34361085 – PpBS Kapitola 06.07.02.09 – Systém čistenia vôd bazénov skladovania VP a nádrží havarijných systémov ŠOV 4
- [I.8] PNM34361086 – PpBS Kapitola 06.07.02.10 – Systém čistenia odluhov PG ŠOV 5
- [I.9] PNM34361087 – PpBS Kapitola 06.07.02.11 – Systém čistenia bórneho koncentrátu ŠOV 6
- [I.10] PNM34361088 – PpBS Kapitola 06.07.03 – Vzduchotechnické systémy
- [I.11] PNM34361092 – PpBS Kapitola 06.07.04.03 – Systémy spracovania plyných výpustí
- [I.12] PNM34361100 – PpBS Kapitola 07.01 – Bezpečnosť normálnej prevádzky
- [I.13] PNM34361753 – PpBS Kapitola 10 – Limity a podmienky bezpečnej prevádzky
- [I.14] PNM34373966 – PpBS Kapitola 11.03 – Projektové charakteristiky radiačnej ochrany
- [I.15] PNM34361096 – PpBS Kapitola 06.10 – Nakladanie s jadrovým palivom a jeho skladovanie
- [I.16] PNM34361114 – PpBS Kapitola 07.02.01.11 – Termohydraulická odozva kontajneru na projektové havárie
- [I.17] PNM34361115 – PpBS Kapitola 07.02.01.12 – Analýza radiačných následkov obáľkových projektových havárií
- [I.18] PNM34361116 – PpBS Kapitola 07.02.01.13 - Úniky rádioaktivity zo systémov alebo komponentov
- [I.19] PNM34701018 – 3TP/1018 Systém organizovaných únikov, odvzdušnení a drenáží I.O. – prevádzkový predpis
- [I.20] PNM34361466 – 4TP/1018 Systém organizovaných únikov, odvzdušnení a drenáží I.O. – prevádzkový predpis
- [I.21] PNM34701025 – 3TP/1025 Systém čistenia chladiva I.O. ŠOV-1 – prevádzkový predpis
- [I.22] PNM34361469 – 4TP/1025 Systém čistenia chladiva I.O. ŠOV-1 – prevádzkový predpis

- [I.23] PNM34701026 – 3TP/1026 Systém čistenia organizovaných únikov a drenáží ŠOV-2 – prevádzkový predpis
- [I.24] PNM34361470 – 4TP/1026 Systém čistenia organizovaných únikov a drenáží ŠOV-2 – prevádzkový predpis
- [I.25] PNM34701034 – 3TP/1034 Chladienie vody transportného a skladovacieho bazénu – prevádzkový predpis
- [I.26] PNM34083422 – 3P207 Chemické režimy počas neaktívnych skúšok
- [I.27] PNM34362206 – 3E037 Program sledovania chemických režimov počas aktívnych etáp spúšťacích prác
- [I.28] P. D. Slavjagin, V.N. Proselkov, A.S. Ščeglov: Rasčet nakoplenija produktov delenija pod germetičnoj oboločkoj tvela i tvega topliva etalonnoj konstrukcii, FGU Rossijskij Naučnyj Centr "Kurčatovskij Institut", Moskva, 2005
- [I.29] Prevádzkový predpis PP T-2 EBO (Reaktor V 213) str.102
- [I.30] Kapitola 11.1 Zdrojové členy, PpBS pre AE EMO, rev.1, VÚJE Trnava a.s., 194/97
- [I.31] Kapitola 11.1 Zdrojové členy, PpBS pre AE EMO, rev.1, VÚJE Trnava a.s., zmena A - 4/1998
- [I.32] Kapitola 11.1 Zdrojové členy, PpBS pre AE EMO12, V01-29259/2010, revízia 1 - zmena č.72b/2011
- [I.33] Správa o stave radiačnej ochrany za rok 2012, SE EMO
- [I.34] Proselkov V.N., Lazarenko A.P., Cvetkov V.M., Timoshinov N.A., Parfenova N.A.: Rasčet nakoplenija produktov delenia v toplive i pod germetičnoj oboločkoj tvela i tvega so srednimi maximalnym vygoraniem kak v načale, tak i v konce toplivnovo cykla dla pervoj i vseh posledujuščich toplivnych zagruzok do vychoda v ustanovivšijsja režim peregruzky topliva pri uslovii raboty na nominalnoj moščnosti 1375 MWt. Rosijskij Naučnyj Centr "Kurčatovskoj institut", Otdelenie VVER, Inv. No. 32/1 - 129 - 410, 08.12.2010
- [I.35] RSC KI Technická správa č. 2/1-23-398 – „Manuál skúšok tesnosti pokrytia palivových článkov reaktorov VVER-440 počas prevádzky a po odstavení“
- [I.36] Technické podmienky zmluvy medzi TVEL and SE 432.03.000
- [I.37] Charakteristika prostredí, Technická správa, S041200015T, PNM34067290
- [I.38] Vyhodnotenie testov energetického spúšťania 1. bloku JE Mochovce, Záverečné vyhodnotenie testov ES, časť 4, kapitola 7.7 (Sledovanie radiačnej situácie počas ES, program E3), Technická správa, VUJE, a.s., ev.č. 351/98, november 1998.
- [I.39] Vyhodnotenie testov energetického spúšťania 2. bloku JE Mochovce, Záverečné vyhodnotenie testov ES, časť 4, kapitola 7.7 (Sledovanie radiačnej situácie počas FS A ES, program 2F13, 2E3)
- [I.40] EMO OSP/4705 - Návod na výmenu ionexov

II Všeobecne dosiahnuteľné dokumenty (normy, zákony, vyhlášky, ..)

- [II.1] Zákon NR SR č.541/2004 Z.z o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon)

- [II.2] Zákon NR SR č.350/2011 Z.z. ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
- [II.3] Vyhláška ÚJD SR č. 31/2012 Z.z., ktorou sa mení a dopĺňa vyhláška ÚJD SR č. 58/2006 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovenia dokumentácie jadrových zariadení potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam
- [II.4] Vyhláška ÚJD SR č. 430/2011 Z.z. o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť
- [II.5] Zákon NR SR č. 87/2018 Z.z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov
- [II.6] Vyhláška ÚJD SR č. 58/2006 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o rozsahu, obsahu a spôsobe vyhotovenia dokumentácie jadrových zariadení potrebnej k jednotlivým rozhodnutiam
- [II.7] Rozhodnutie ÚJD SR č.327/2007 zo dňa 26.9.2007
- [II.8] Rozhodnutie ÚJD SR č. 267/2008
- [II.9] Rozhodnutie ÚVZ SR č. OOPŽ/6773/2011 o povolení na uvoľňovanie rádioaktívnych látok z EMO12 do atmosféry a hydrosféry, 20.10.2011
- [II.10] BNS I.1.2/2008, Rozsah a obsah bezpečnostnej správy, ÚJD SR, Bratislava, 2008. ISBN 978-80-88806-73-8
- [II.11] IAEA-TECDOC-1345, Regulation of the fission product activity in the primary coolant and assesment of defective fuel rod characteristics in steady state WWER type reactor operation, Fuel failure in water reactors: causes and mitigations, IAEA, Viedeň, 2003
- [II.12] IAEA-TECDOC-1381, Analysis of differences in fuel safety criteria for WWER and western PWR nuclear power plants, IAEA, Viedeň, 2003, ISBN 92-0-112903-3
- [II.13] IAEA Safety Guide No. GS-G-4.1 Format and Content of the Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants, 2004
- [II.14] PBJa-04-74 Pravila jadernoj bezopasnosti
- [II.15] PBYa-RYu-AS-89 Pravila jadernoj bezopasnosti
- [II.16] ISOE Information sheet, European dosimetric results for 2009, ISOE European TC - Infosheet No53 (2011)
- [II.17] EUR for LWR Nuclear Power Plans, Volume 2 GENERIC NUCLEAR ISLAND REQUIREMENTS, Chapter 1 SAFETY REQUIREMENTS, Revision D, October 2012
- [II.18] BNS I.1.2/2014, Rozsah a obsah bezpečnostnej správy, ÚJD SR, Bratislava, 2014. ISBN 978-80-88806-99-8

III Zdrojové dokumenty, ktoré sú spravidla vytvorené VUJE, a.s. (a nie sú v I. a II. skupine)

- [III.1] Chrapčiak, V.: Inventár paliva Gd-2 s obohatením 4,87% pre stacionárnu kampaň reaktora VVER-440 s nominálnym výkonom 1375 MW (EMO34). Technická správa VUJE, a.s., Ev. č. V01- TS-0250/2011.12, 23.6.2011
- [III.2] Bujan, A. a kol.: Metodika výpočtu aktivity trícia v chladiwe primárneho okruhu bloku JE s VVER-440/V213. Technická správa VUJE, a.s., Ev. č. V01-28914/2010/rev01, marec 2011

- [III.3] Chrapčiak V : Výpočet aktivity vybraných rádionuklidov v palive Gd II pre stacionárnu kampaň Mo34. Interný materiál VUJE, Trnava, december 2006.
- [III.4] Jegorov J. A. : Radiacionnaja bezopasnosť i zaščita AES, Vypusk 8, Moskva 1984
- [III.5] L.L.Lucas and M.P.Unterweger: Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium, Journal of research of the national institute of standards and technology, 2000, Vol.105 (4): p. 541.
- [III.6] EUR 19841 Determination of the in-containment source term for a Large-Break Loss of Coolant Accident, Nuclear safety nad the environment, European Commission, 2001
- [III.7] Bujan, A., Kusovská, Z.: Metodika a kritériá bezpečnostných analýz pre radiačné havárie a radiačné ohrozenie obyvateľstva, Technická správa, Ev.č. V01-28162/2010.3, VUJE, 2012
- [III.8] Brož. J., Morávek J. a kol.: Určenie radiačných charakteristík prevádzkových priestorov a plynových výpustí počas energetického spúšťania 1. bloku JE V1
- [III.9] Štubňa M., Burclová J.: Určenie radiačných charakteristík chladiva primárneho okruhu počas energetického spúšťania 1. bloku elektrárne V1
- [III.10] Štubňa M., Burclová J.: Vyhodnotenie experimentu a návrh programu pre určenie radiačných charakteristík chladiva primárneho okruhu počas energetického spúšťania JE VVER – 440
- [III.11] Design Control Document for the US-APWR, Chapter 15 „Transient and Accident Analyses“, MUAP-DC015, Revision 1, August 2008 (Mitsubishi Heavy Industries, LTD) - dokument schválený US NRC
- [III.12] Výpočtový program SCALE 6 s modulom ORIGEN-S, Oak Ridge National Laboratory, USA, Január 2009
- [III.13] Mochovce SM AA07 One steam generator tube rupture (radiological consequences), EUCOM, NVPS.DC.98.0143E, 28.2.1998
- [III.14] V-2 JE Dukovany v Československu, Technická projekt cast VI - technická uskutočniteľnosť a bezpečnosť prevádzky JE Atomenergoeksport, Teploelectroproject, Leningrad, 1974.
- [III.15] Jegorov J. A. : Radiacionnaja bezopasnosť i zaščita AES, Vypusk 8, Moskva 1984.
- [III.16] Programma RELWWER-2. Federal'nyj nadzor Rossii po jadernoj i radiacionnoj bezopasnosti. Attestacionnyj pasport programmovo sredstva. GAI RF. Registracionnyj nomer 119 ot 02.03.2000, (v ruštine)
- [III.17] ČEZ-EDU Gd-2M, PpBZ EDU, revize 2, V 09, Díl 11 Nakládání s radioaktivními odpady, 2012.
- [III.18] Prevádzkový predpis 5-BSP-001, Bezpečnostná správa JE V-1 po postupnej rekonštrukcii, Kapitola 11 Zaobchádzanie s rádioaktívnymi odpadmi.

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 11.2-1 Výsledky výpočtu časového priebehu aktivity trícia v chladiči I.O od jednotlivých príspevkov	13
Obrázok 11.2-2 Výsledky výpočtu kumulatívnej produkcie aktivity trícia v chladiči I.O. od jednotlivých príspevkov	13
Obrázok 11.2-3 Typické hodnoty objemovej aktivity vybraných TRU, ³ H a ďalších RN v chladiči I.O. podľa prevádzkových údajov referenčnej JE EMO12	14
Obrázok 11.2-4 Priemerné hodnoty kontaminácie zo 4 štandardných bodov na HCP na 1. bloku počas GO.....	16
Obrázok 11.2-5 Priemerné hodnoty kontaminácie zo 4 štandardných bodov na HCP na	17
Obrázok 11.2-6 Mediány a Priemerné hodnoty nameraných PD v 54 vybraných bodoch na HCP na EMO12 v období 1999 až 2012	18