VYHODNOCENÍ ODBĚRU NÁVARU TLAKOVÉ NÁDOBY REAKTORU NA TŘETÍM BLOKU JE DUKOVANY

ASSESSMENT OF REACTOR PRESSURE VESSEL CLADDING SAMPLING PERFORMED IN DUKOVANY NPP

Jakub Ertl

ČEZ, a. s., Řízení techniky JE

Abstrakt

Stanovení fluence rychlých neutronů dopadajících na TNR (tlakové nádoby reaktoru) JE Dukovany je prováděno prostřednictvím výpočtů korigovaných na výsledky měření aktivity monitorů umístěných v kontejnerech svědečných řetězců a na nosiči za TNR. Pro kvalifikaci metodiky stanovení fluence rychlých neutronů na vnitřní stěnu TNR byl v roce 2017 proveden odběr návaru TNR třetího bloku JE Dukovany a následné měření aktivity odebraných vzorků včetně jejich vyhodnocení. V tomto příspěvku jsou prezentovány dosažené výstupy a závěry.

Abstract

Assessment of fast neutron fluence on Dukovany RPVs is performed by calculations adjusted by activity measurements results of monitors located in containers of surveillance chains and monitors located behind RPVs. RPV cladding sampling of third unit Dukovany NPP was performed in 2017 in order to qualify the methodology for determining the neutron fluence on the inner wall of all Dukovany RPVs. Activity measurement of the cladding samples was compared with the results obtained according to the current methodology of fast neutron fluence assessment. The achieved conclusions are presented in this paper.

Úvod

Znalost hustoty toku, spektra a fluence rychlých neutronů dopadajících na vnitřní stěnu TNR je důležitým vstupem pro hodnocení jejich zbytkové životnosti z pohledu radiačního křehnutí. V normativech NTD A.S.I. [1] a VERLIFE [2] je požadováno získávat tyto veličiny kombinací výpočtových a experimentálních metod. Postup hodnocení fluence rychlých neutronů je nezbytné kvalifikovat srovnáním s veličinami získanými, pokud možno, čistě experimentálními postupy.

Odběr vzorků z návaru na vnitřní stěně TNR je jedinou možností, jak získat přímé experimentální výsledky pro kvalifikaci postupu hodnocení fluence rychlých neutronů na TNR. Vzorky z návaru obsahují mimo jiné železo, nikl a niob, což jsou prvky, které se celosvětově používají pro stanovení radiační zátěže v materiálech jaderných zařízení. Tyto prvky se využívají rovněž pro stanovení fluence rychlých neutronů na vnější stěně TNR a v řetězcích svědečného programu JE Dukovany. První odběr návaru TNR byl proveden na třetím bloku JE Dukovany v po 18. kampani v roce 2005 a v pořadí druhý odběr návaru stejné TNR byl proveden v roce 2017.

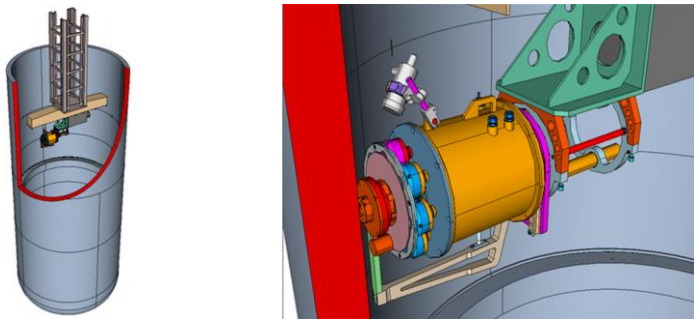
Izotop 93mNb obsažený v materiálu návaru TNR, vzniklý reakcí 93Nb(n, n')93mNb s poločasem rozpadu 16,13 roku, lze použít jako „integrátor“, tj. jako detektor měřící fluenci nezávisle na časovém průběhu ozařování po dobu srovnatelnou s poločasem rozpadu. Z tohoto pohledu se jevilo jako účelné odebrat v roce 2017 vzorky z návaru stejné TNR jako v roce 2005.

Technologie a konstrukce zařízení pro odběr vzorků

Technologie zvolená pro provedení odběru vzorků je frézování svislé mělké drážky, jejíž max. projektová hloubka je omezena na 1 mm. Svislé drážky byly zvoleny vzhledem ke gradientu neutronového pole. Z požadovaného množství vzorků z každého místa odběru byl navržen

tvar nástroje ve formě čelní dvoubřité frézy. Vyfrézované piliny byly odsávány proudem vody a zachycovány ve filtrech umístěných v hnízdech pro sběr vzorků.

Modul OVZ má 8 hnízd, což udává i počet možných odběrů provedených na jedno ponoření do TNR. Modul je ke své činnosti upevněn na manipulátor SKIN. Manipulátor umožňuje přesné polohování řezného nástroje, jeho pohyb a vizuální kontrolu procesu. S jeho pomocí se provede i defektoskopická kontrola vybraných míst před a po odběru. Konstrukční řešení modulu je na obr. 1.

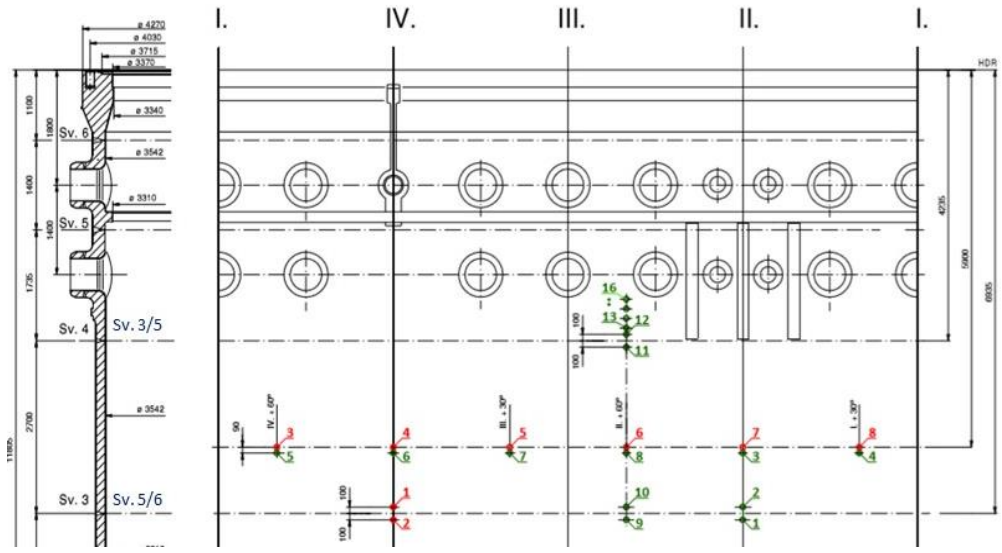


Obr. 1: Konstrukční řešení odběrového zařízení (Modulu OVZ)

Pro přesné stanovení aktivity niobu vyžadují jednotlivé laboratoře zpravidla vzorky o hmotnosti 100 mg. Spolehnout se na jediné měření by představovalo neúměrné riziko. Taktéž je potřebné minimálně jeden vzorek archivovat pro eventuální opakovanou analýzu, proto bylo zvolené minimální požadované množství odebraného materiálu z návaru (třísek) stanoveno na 300–500 mg z jednoho místa odběru.

Místa odběru vzorků

Místa odběru vzorků z roku 2017 jsou schematicky znázorněna na obr. 2 zeleně a místa odběru z roku 2005 červeně.



Obr. 2: Místa odběrů vzorků v roce 2005 (červeně) a 2017 (zeleně)

Výsledky odběru

Návar na vnitřní stěně TNR obsahuje několik prvků, které jsou používány pro aktivační metodu měření hustoty toku spekter a fluence neutronů. Pro pravidelné monitorování fluence rychlých neutronů na vnější stěně TNR jsou to především železo, nikl a niob, které byly na základě této skutečnosti využity rovněž pro vyhodnocení provedeného odběru z návaru TNR. V materiálu z odběrů byly změřeny aktivity nuklidů z následujících reakcí:

- 58Ni(n, p)58Co,
- 54Fe(n, p)54Mn,
- 93Nb(n, n')93mNb.

Ověření zeslabovacího koeficientu pomocí monitorů fluence

Monitorování fluence rychlých neutronů na EDU se kontinuálně provádí za TNR a orientační přepočet na vnitřní stěnu TNR se provádí pomocí koeficientu zeslabení získaného v modelových experimentech na reaktoru LR-0, který se nachází v ÚJV Řež. Ověřit věrohodnost tohoto koeficientu lze srovnáním aktivit 54Mn a 58Co změřených v odebraných vzorcích návaru a v monitorech ozářených na vnější stěně TNR.

Poměr hustoty toku před a za TNR, tj, koeficient zeslabení přes stěnu TNR, je dán vztahem

$$\frac{\Phi_{ef,i}}{\Phi_{ef,o}} = \frac{\sigma_{ef,o}}{\sigma_{ef,i}} \frac{A_i}{A_o} , \qquad (1)$$

kde A je aktivita detektoru přepočítaná na konec ozařování (tj. konec poslední kampaně), σ_{ef} je efektivní účinný průřez pro energii nad 0,5 MeV pro spektrum změřené diferenciálními metodami v modelových experimentech [3], index *i* značí měření odběru návaru a index *o* značí měření za TNR. Výsledné koeficienty zeslabení jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1: Koeficienty zeslabení získané z odběrů 2005 a 2017

Reakce	2017	2005
^{54}Fe(n,p)^{54}Mn	5,71	5,62
^{58}Ni(n,p)^{58}Co	5,67	5,60

V tab. 2 jsou uvedeny koeficienty zeslabení fluence spočítané pomocí odběru z návaru v roce 2005 a 2017. Koeficienty zeslabení jsou počítány jako poměr fluence z odběru návaru a fluence za TNR.

Tab. 2: Koeficienty zeslabení fluence

Odběr	Odběr/experiment zaTNR
zeslabení odběr 2005	5,73
zeslabení odběr 2017	**5,42**

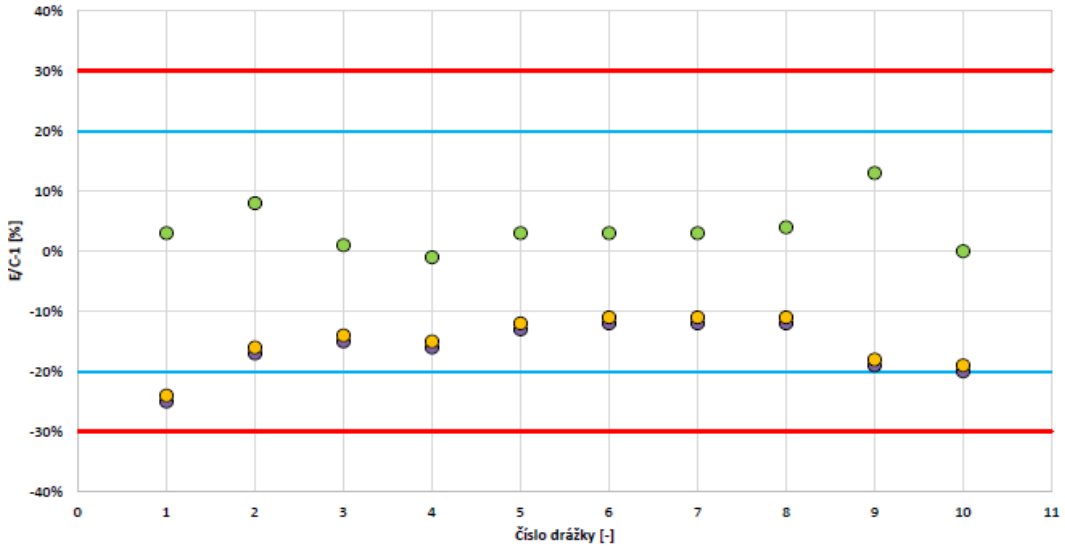
Stanovený koeficient zeslabení na základě odběru z roku 2017, který bude dále používán pro hodnocení fluence na vnitřní povrch TNR EDU, je 5,42. Dané zeslabení fluence je podílem experimentálně určené fluence na návar TNR na základě odběru z roku 2017 a experimentálních fluencí za TNR na základě monitorů umístěných na nosiči, které jsou zakládány každou kampaň. Jedná se o zeslabení stanovené experimentálně.

Porovnání fluencí

V rámci vyhodnocení odběru z návaru TNR EDU3 se porovnávaly také fluence na vnitřní povrch TNR určené experimentálně z odběru a fluence získané pomocí výpočetních kódů DORT a MCNP. Experimentální fluence byly získány pomocí adjustačního kódu STAYSL PNNL. Tento kód využívá metodu nejmenších čtverců k nalezení takového spektra, které nejpravděpodobněji odpovídá reakčním rychlostem odvozeným z naměřených aktivit 54Mn, 58Co a 93mNb.

Obr. ukazuje odchylky vypočtených hodnot fluence od experimentálně určených hodnot v místech drážek č. 1 až č. 10. Je zde vidět, že v oblasti úrovně středu AZ (drážky č. 3 až č. 8) jsou odchylky fluence výpočetně stanovené kódem MCNP (zelená barva) oproti experimentál-

ním fluencím menši než fluence výpočetně stanovené kódem DORT (fialová barva), který zde fluenci nadhodnocuje. Adjustace výsledků kódu DORT kódem LEPRICON (oranžová barva) v tomto případě fluence o něco zpřesní ale stále je nadhodnocena oproti experimentální hodnotě. V úrovni nad svarem 5/6 (drážky č. 2 a č. 10) jsou odchylky výpočtů MCNP stále nižší než 10 %. Odchylka výpočtu kódem DORT je pro drážku č. 2 nižší než 20 % a v případě drážky č. 10 odchylka činí 20 %. Pro úroveň pod svarem 5/6 (drážky č. 1 a č. 9) je odchylka výpočtu MCNP od experimentální hodnoty v místě drážky č. 9 nižší než 20 % a pro drážku č. 1 nižší než 10 %. Pro drážku č. 1 je odchylka výpočtu kódem DORT větší jak 20 %. Tato vyšší odchylka byla pravděpodobně způsobena vyšším gradientem hustoty neutronového toku a současně delší drážkou č. 1, která je cca dvakrát delší než ostatní drážky.



Obr. 3: Experimentální a vypočtené hodnoty $F_{0,5}$ v místech drážek č. 1 až č. 10

Závěr

Výsledky z odběru z návaru EDU3 provedeného v roce 2017 potvrzují správnost v současnosti používaných metodik stanovení fluencí na TNR EDU, které konzervativně nadhodnocují hodnoty fluencí. Identifikované odchylky jsou v souladu s požadavky NTD A.S.I. [1] a REGULATORY GUIDE 1.190 [4]. Všechny větší odchylky byly vysvětleny. Hodnocení odběru z návaru EDU3 bylo provedeno i referenčním kódem MCNP, který používá „best estimate“ přístup. Výpočet pomocí MCNP rovněž potvrdil správnost výsledků získaných pomocí současné metodiky.

Vzhledem k srovnatelnému způsobu provozování všech bloků EDU (obdobné: palivo, délka kampaně, vsázky a přibližně stejnému stáří všech bloků), lze výsledky získané na základě odběru z návaru na EDU3 aplikovat na ostatní bloky EDU.

Literatura

[1] NTD A.S.I. (2017): *Normativně technická dokumentace A. S. I.*

[2] VERLIFE (2013): *Unified Procedure for integrity and lifetime assessment of components and piping in VVER NPPs during operation*.

[3] Holman, M. (1991): *Experimentální výzkum prostorově energetického rozložení neutronů ve vnitřním stínění lehkovodních reaktorů*. Disertační práce, Vysoká škola strojní a elektrotechnická v Plzni, Plzeň.

[4] US NRC (2001): *Calculational and Dosimetry Methods for Determining Pressure Vessel Neutron Fluence*. REGULATORY GUIDE 1.190, US DOE.