

POSTUP HODNOCENÍ FLUENCÍ RYCHLÝCH NEUTRONŮ DOPADAJÍCÍCH NA TNR JE DUKOVANY

ASSESSMENT OF NEUTRON FLUENCE AFFECTING RPV IN DUKOVANY NPP

Jakub Ertl

Řízení techniky JE, ČEZ a.s.

Abstrakt

Stanovení fluence rychlých neutronů dopadajících na TNR (tlakovou nádobu reaktoru) JE Dukovany je součástí PŘS (programu řízeného stárnutí) TNR, neboť životnost TNR je negativně ovlivněna absorbovanou fluencí neutronů způsobující postupné zvyšování přechodové teploty materiálů TNR a tedy i pravděpodobnost vzniku křehkého lomu. Tato fluence neutronů je určována pro každou kampaň zvlášť, protože je závislá nejen na délce kampaně, ale také na výkonu palivových souborů umístěných na okraji aktivní zóny.

Abstract

Determination of neutron fluence affecting RPV in Dukovany NPP is a part of ageing management program because the lifetime of RPV is negatively influenced by absorption of fast neutrons. Neutron fluence causes increase of RPV transition temperature and thus also the probability of brittle fracture. This neutron fluence is assessed for each campaign separately because neutron fluence depends not only on the duration of the campaign but also on the performance of fuel rods located at the edge of the core zone.

Úvod

Výpočetní stanovení hodnoty fluence rychlých neutronů dopadajících na TNR se provádí v souladu [1, 2] a [3] a spočívá v následujících dílčích postupech:

- stanovení geometrických a materiálových vstupních údajů,
- stanovení zdrojů neutronů v aktivní zóně,
- výpočty základních fluencí a aktivit monitorů fluence,
- stanovení korigovaných fluencí neutronů,
- stanovení hodnoty fluence neutronů s uvážením nejistot měření a výpočtu,
- kvalifikace výpočetního postupu.

Stanovení geometrických a materiálových vstupních údajů

Ke stanovení zeslabení hustoty toku neutronů je zapotřebí znát uspořádání jednotlivých vrstev komponent AZ (aktivní zóny) reaktoru a vrstev komponent obklopujících AZ až po biologické stínění (beton) v radiálním směru včetně jejich geometrie a materiálového složení. Toto uspořádání je znázorněno na obr. 1.

Stanovení zdrojů neutronů v aktivní zóně

Stanovení zdrojů neutronů v aktivní zóně reaktoru zahrnuje stanovení jejich rozložení z hlediska prostorového a energetického po celou dobu provozu reaktoru, pro kterou je výpočet hodnoty fluence rychlých neutronů dopadajících na TNR prováděn.

Pro stanovení rozložení zdrojů neutronů v aktivní zóně je důležitý výpočet rozložení zdrojů neutronů v okrajových kazetách aktivní zóny, které přispívají nejvíce k fluenci rychlých neutronů v TNR. Údaje o rozložení paliva v aktivní zóně odrážejí skutečný stav provozované aktivní zóny včetně axiálních profilací. Rozložení zdrojů neutronů se v průběhu palivového cyklu mění, proto jsou do výpočtů zahrnuty údaje z měření skutečného výkonu a jeho distribuce během palivového cyklu.

Výpočet rovněž odráží skutečnost, že změny isotopického složení paliva vlivem vyhořívání mají za následek změnu štěpného spektra neutronů a změnu výtěžku neutronů připadajících na jedno štěpení. Toto je velmi důležité u aktivních zón s nízkým únikem, kdy se na vnější okraj aktivní zóny umísťují palivové kazety s vysokým vyhořením.

Výpočty základních fluencí a aktivit monitorů fluence

Výpočty prostorově-energetického rozdělení hustoty toku neutronů ve výpočetním modelu reaktoru VVER 440 se provádí programem DORT v P3S8 přiblížení [4]. Program řeší Boltzmannovu transportní rovnici převedenou na soustavu diferencních rovnic iterační metodou s řadou algoritmů urychlujících výpočet.

S cílem získat třírozměrné výsledky výpočtů hustot toku neutronů je axiální únik neutronů zahrnut následující aproximací, ve které jsou užity jednorozměrný výpočet hustoty toku neutronů ve směru R a dvourozměrné výpočty v R- θ a R-Z geometrii:

$$\Phi(r, \theta, z, E) = \Phi(r, \theta, E) \frac{\Phi(r, z, E)}{\Phi(r, E)}, \quad (1)$$

kde r, θ, z jsou souřadnice polohového vektoru.

Tato aproximace je jednou z metod, jak určit třírozměrný tok z dvourozměrných výpočtů.

Stanovení korigovaných fluencí neutronů

Jedná se o korekce základních fluencí neutronů a aktivit detektorů na základě měření. Pro zpřesnění výsledků transportních výpočtů je použit program LEPRICON. Adjustace (korekce) fluencí neutronů se provádějí nejen na soulad vypočtených a naměřených hodnot fluencí za TNR, ale uvažuje se i konstantní zeslabení fluence neutronů mezi SV a za TNR. Celý postup korekce je zachycen na obr. 2.

Vyhodnocení rozdílu nekorigovaného výpočtu s výsledky měření probíhá v souladu s [3] při každém stanovení výsledné fluence rychlých neutronů na TNR EDU. Pokud rozdíly mezi hodnotami APN (activity per nucleus) z nekorigovaného výpočtu a z měření za TNR jsou větší než 20 %, je nutná adjustace na experimentální hodnoty. Pokud rozdíly mezi hodnotami APN z nekorigovaného výpočtu a z měření za TNR jsou větší než 30 %, je zapotřebí hledat příčiny nesouladu.

Stanovení hodnoty fluence neutronů s uvážením nejistot měření a výpočtu.

Celková nejistota fluence neutronů stanovená na základě zde uvedeného postupu činí 15 % a je vypočtena na základě kombinované nejistoty u_c , kterou lze vyjádřit vztahem:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (2)$$

kde u_A je nejistota typu A daná statistickým zpracováním souboru dat a u_B je nejistota typu B způsobená známými nebo odhadnutelnými příčinami.

Nejistota typu A je stanovena na základě statistického zpracování a je ovlivněna variabilitou experimentálních dat. Do této nejistoty jsou zahrnuty nejistoty aktivit monitorů z měření za TNR a nejistoty stanovení aktivit v pozicích SV (svědečných vzorků) zahrnující nejistotu koeficientu zeslabení z pozice SV do pozice za TNR. Nejistota měření aktivit monitorů fluence zahrnuje nejistotu měření četností impulzů, účinnosti detekce na HPGe detektoru, stanovení hmotnosti monitorů fluence, korekce na samoabsorpci gama záření, průběh ozařování, pozice monitorů fluence. Při statistickém zpracování dat byly analyzovány všechny tyto vlivy a výsledná hodnota nejistoty typu A je 13 %.

Nejistota typu B vychází z expertních odhadů dalších zdrojů nejistot v celkovém procesu stanovení fluence neutronů, jako jsou nejistota v účinných průřezích použité knihovny a nejis-

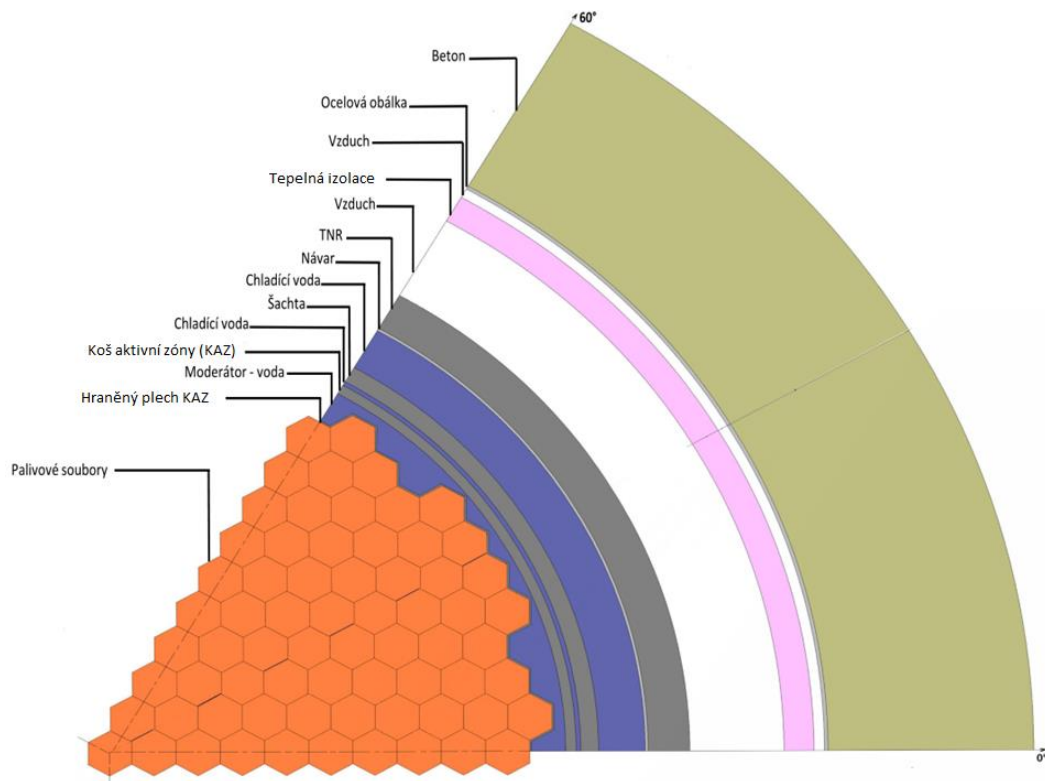
tota zjednodušení výpočtového modelu (zdrojové rozložení na periférii AZ založeno na difúzním kódu, vliv 3D syntézy, časové rozložení výkonu). Nejistota typu B má hodnotu 8 %.

Kvalifikace výpočetního postupu

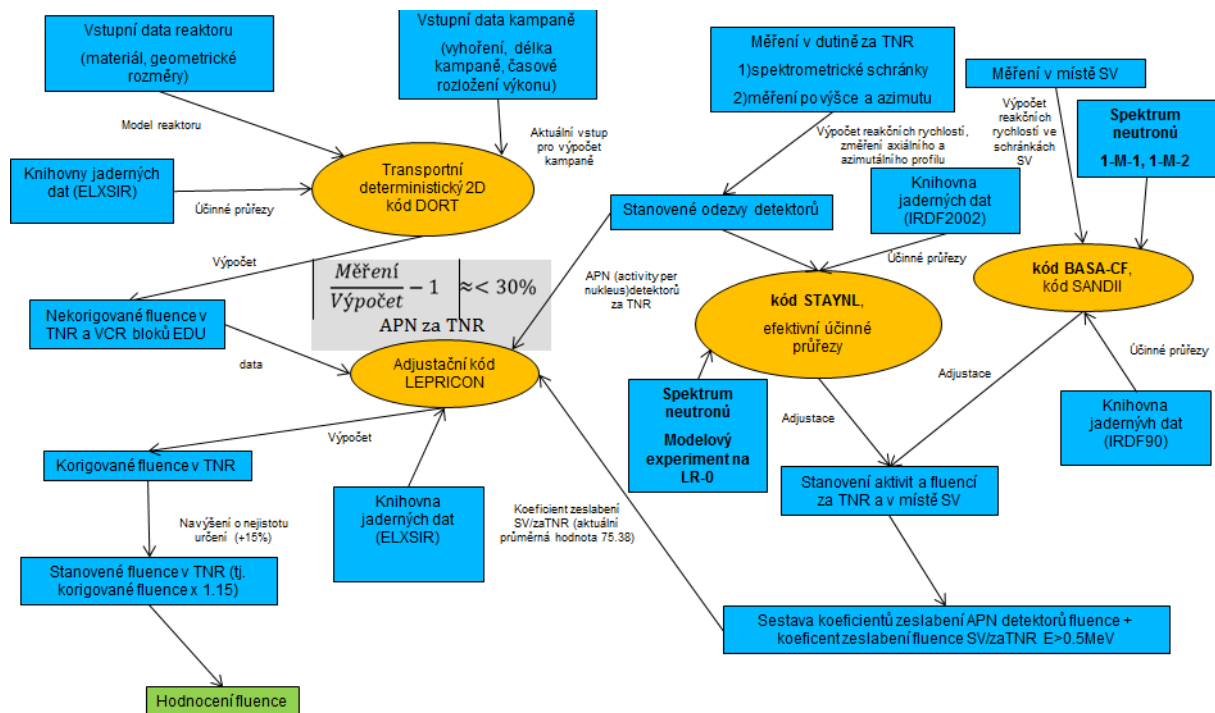
V průběhu používání transportních výpočtů pro reálné prostředí jaderného reaktoru musí být vyvinuté výpočetní metody průběžně kvalifikovány (s ohledem na technické možnosti a dostupnost dat). Tento proces kvalifikace byl proveden na třetím bloku JE Dukovany v letech 2005 a 2017 prostřednictvím porovnání s výsledky získanými při odběru vzorků z návaru TNR.

Závěr

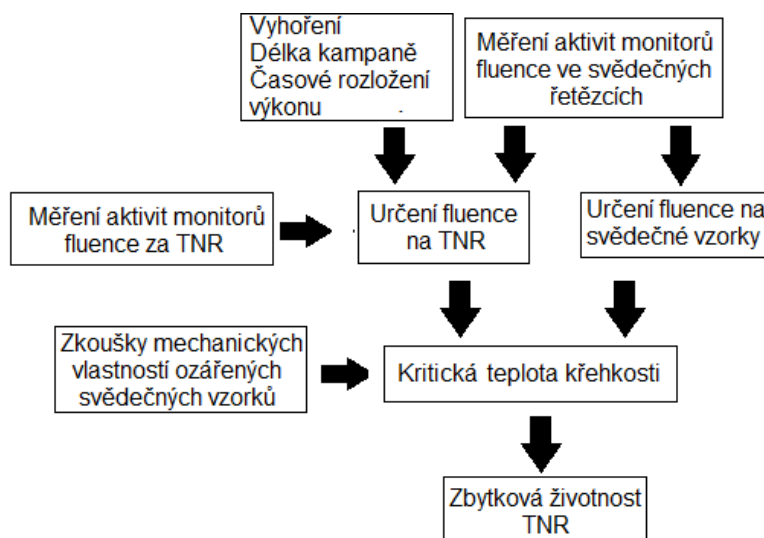
Hodnocení fluence rychlých neutronů dopadajících na TNR je nezbytným vstupem pro hodnocení míry radiačního poškození TNR, která je určena z výsledků mechanických zkoušek svědečných vzorků ozářených na požadovanou fluenci. Na základě hodnocení fluence rychlých neutronů a změn mechanických vlastností svědečných materiálů je potom stanovena aktuální kritická teplota křehkosti a zbytková životnost TNR. Pro tyto účely se využívají maximální hodnoty fluence [m^{-2}] a DPA a jejich predikce až do 80. cyklu. Hodnoty fluence [m^{-2}] se uvádějí pro neutrony s $E > 1,0$ MeV a $E > 0,5$ MeV. Uvedený proces je zachycen na obr. 3.



Obr. 1: Uspořádání jednotlivých vrstev AZ a vrstev komponent obklopujících AZ



Obr. 2: Postup korekce (adjustace) vypočtených hodnot fluence na výsledky měření



Obr. 3: Postup hodnocení zbytkové životnosti TNR

Literatura

- [1] (2016): *Normativně technická dokumentace A. S. I.*
- [2] (2013): *VERLIFE – Unified Procedure for integrity and lifetime assessment of components and piping in VVER NPPs during operation.*
- [3] (2001): *US NRC Computational and Dosimetry Methods for Determining Pressure Vessel Neutron Fluence, REGULATORY GUIDE 1.190, US DOE.*
- [4] Rhoades, W. A., Mynatt, F. R. (1988): *The DORT/PC Two-Dimensional Discrete Ordinate Transport Code System, CCC-532, RSIC.*