

Vliv parametrů moderátoru na reaktor VVER-1000

T. H. Do¹, A. Janíková²

¹ SPŠS Plzeň; dot@spsstav.cz

² G. Křenová, Brno; annajanikova37@gmail.com

O. Lachout, školitel; KJR FJFI ČVUT

Abstrakt:

V této práci jsme s využitím modelu reaktoru VVER-1000 vytvořeného pomocí deterministického kódu PARCS simulovali funkci reaktoru a zjišťovali, jaký vliv mají měnící se parametry moderátoru na reaktivitu. Tyto vlivy jsme se zároveň snažili interpretovat a porovnat s našimi předpoklady.

1 Úvod

Moderátor hraje v reaktorové fyzice klíčovou roli. Proto je nutné mít prostředky, jak očekávat chování reaktoru při změnách v parametrech moderátoru. Takto zajistíme bezpečné řízení reaktoru za běžných i havarijních podmínkách.

1.1 Základní pojmy

1.1.1 Moderátor

V reaktoru funguje moderátor jako látka, která pružnými srážkami zpomaluje neutrony, aby dosáhly požadované nižší energie nutné ke štěpení uranu. V reaktorech typu VVER- 1000 je k tomuto účelu využita lehká voda H₂O. [1]

1.1.2 Reaktivita

Pro popis bilance neutronů v aktivní zóně reaktoru používáme pojmy efektivní koeficient násobení (k_{ef}) a reaktivita (ρ). Efektivní koeficient násobení je definován jako poměr neutronů v určité generaci a generaci předchozí, viz rovnice (1). Udává tak zdali více neutronů vzniká při štěpení nebo zaniká absorbcí a unikem, teda jestli počet nových neutronů klesá či stoupá. [2] Pro $k_{ef} = 1$ je reaktor v kritickém stavu, pro $k_{ef} < 1$ je reaktor podkritický a pro $k_{ef} > 1$ je reaktor nadkritický.

$$k_{ef} = \frac{N_i}{N_{i-1}}, (1) [3]$$

kde N_i je počet neutronů v současné generaci a N_{i-1} je počet neutronů v předchozí generaci.

Reaktivita je relativní odchylka daného stavu od kritického stavu, viz rovnice (2). Uvádíme ji nejčastěji v procentech či v pcm (per cent mille). Pro účely naší práce je reaktivita prezentována v pcm.

$$\rho = \frac{k_{ef}-1}{k_{ef}}, \quad [4] \quad \rho(pcm) = \frac{k_{ef}-1}{k_{ef}} * 10^5 \quad (2)$$

2 Výsledky výpočtů

2.1 Základní nastavení parametrů

Při všech simulacích byly nastaveny parametry na hodnoty uvedené v Tabulce 1., s výjimkou dané zkoumaného parametru. Hodnoty zkoumaných parametrů byly vybrány tak, aby do určité míry odpovídaly reálnému fungování reaktoru a abychom předešli situacím, které by při reálném provozu byly nebezpečné (např. var chladiva).

Tabulka 1. - Základní nastavení parametrů

Parametr	Hodnota	Jednotka	Vysvětlení
POWER_LEV	1.0 / 100.0	%	Výkon reaktoru
SOLU_PSN	1214.3	pcm	Koncentrace bóru v moderátoru
INLET_ENT	554.15	K	Vstupní teplota vody
FLOW_RATE	111.3	kg/s	Průtok vody
EXIT_PRES	15.75	MPa	Výstupní tlak

2.2 Analyzované parametry

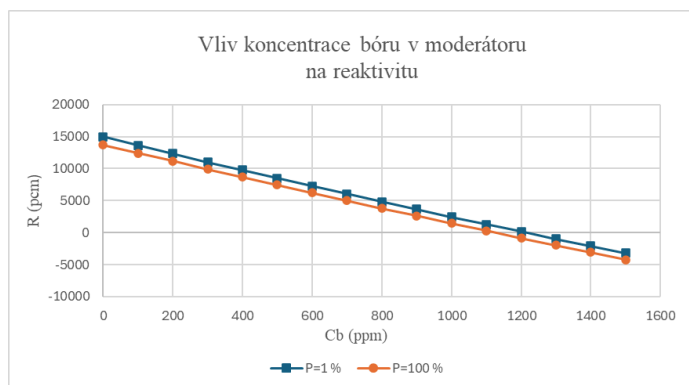
2.2.1 Výkon reaktoru

Pro všechny simulované parametry byl analyzován výkon reaktoru ve dvou výkonových hladinách:

- 1 % - pro zjištění chování parametrů při nízkém výkonu (minimální ohřev chladiva)
- 100 % - pro zjištění chování parametrů v plném výkonu

2.2.2 Koncentrace kyseliny borité

Kyselina boritá se do chladiva přidává za účelem pohlcení neutronů [5]. Je proto předpokládáno, že se zvyšující se koncentrací kyseliny borité se bude reaktivita snižovat. Při změně výkonu není očekávána změna v trendu závislosti reaktivity.

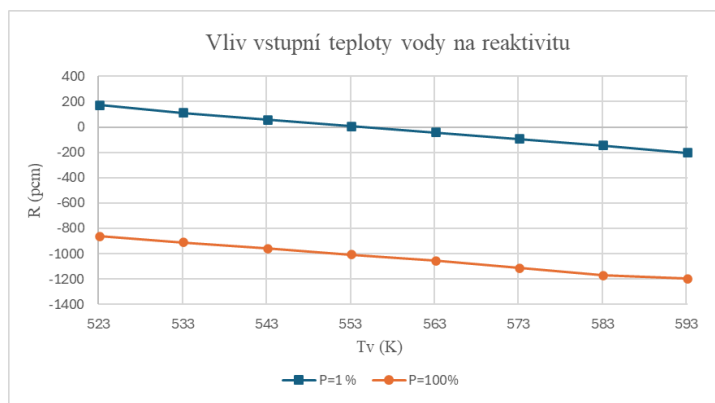


Obrázek 1. Vliv koncentrace bóru v moderátoru na reaktivitu

V nasimulovaných datech se ukazuje (viz Obrázek 1), že naše predikce chování byly správné. Reaktivita totiž lineárně klesá pro obě hladiny výkonu.

2.2.3 Vstupní teplota chladiva

S vyšší teplotou se snižuje hustota vody, čímž se zhoršují moderační schopnosti. Z tohoto důvodu bude klesat reaktivita a to především při vyšším výkonu. Teplejší voda totiž hůře odebírá teplo z paliva, tento efekt se projeví snížením reaktivity.

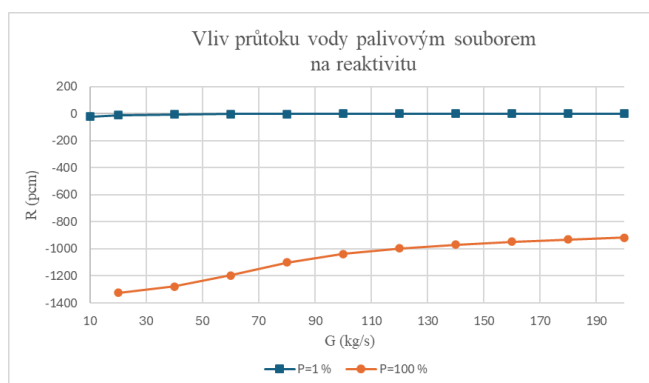


Obrázek 2. Vliv vstupní teploty vody na reaktivitu

Nasimulovaná data (viz Obrázek 2.) potvrzují naše předpoklady. V obou výkonových hladinách reaktivita v závislosti na zvyšující se teplotě klesá, přičemž při vyšším výkonu je reaktivita značně nižší. Vyšší výkon totiž způsobuje další ohřátí prostředí a tím i další snížení reaktivity.

2.2.4 Průtok vody palivovým článkem

Se zvyšujícím se průtokem vody se snižuje vystavení vody teplu z paliva. Snižuje se tak rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou chladiva. Studenější voda má lepší moderační schopnosti a tak reaktivita stoupá.

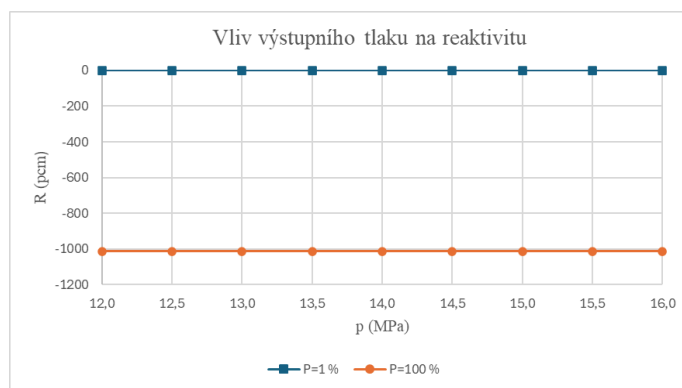


Obrázek 3. Vliv průtoku vody palivovým souborem na reaktivitu

Z dat (viz Obrázek 3.) lze vypožorovat, že předpokládaný trend se projevuje pouze na 100 % výkonu. To je způsobené tím, že při nízkém výkonu se palivo a následně voda neohřívá do takové míry, aby se vliv průtoku projevil.

2.2.5 Výstupní tlak

Zvyšování tlaku ovlivňuje pouze teplotu varu vody, ne však samotnou její teplotu. Proto neočekáváme velké změny v reaktivitě s měnícím se tlakem.



Obrázek 4. Vliv výstupního tlaku na reaktivitu

V naší simulaci však model s měnícím se tlakem nepočítá správně a výsledné hodnoty reaktivity jsou proto stejné pro všechny hodnoty tlaku na daných hladinách výkonu. Nejsou proto reprezentativní a nemohou ani vyvrátit naše předpoklady.

3 Shrnutí

Při simulaci jsme změnou daných parametrů zjišťovali jejich vliv na efektivní koeficient násobení a reaktivitu. Ty byly zaznamenány a trendy vysvětleny.

Poděkování

Závěrem bychom chtěli poděkovat všem, bez kterých by naše práce nevznikla. V první řadě panu garantovi Ing. Ondřeji Lachoutovi, Katedře jaderných reaktorů a všem organizátorům Týdne vědy.

Reference

- [1] *AKTIVNÍ ZÓNA REAKTORU VVER 1000*. Online. CEZ. Dostupné z: https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/ospol/fileexport/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/zona_vver1.html. [cit. 2025-06-24].
- [2] BORRELLI, R.A. *Principles of nuclear engineering*. Online. 2015. Dostupné z: <https://uidaho.pressbooks.pub/nuclearengineering/>. [cit. 2025-06-24].
- [3] HANZLÍK, Jaroslav. *Využití několika vyhořívajících absorbátorů v jaderném palivu*. Online, Diplomová práce. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. Dostupné z: <https://naos-be.zcu.cz/server/api/core/bitstreams/f4dfa2b5-635c-46a9-872f-55354756472e/content>. [cit. 2025-06-24].
- [4] *Dlouhodobá kinetika aktivní zóny*. Online. Dostupné z: <https://www.physics.muni.cz/~blazkova/dp/Reaktor3.htm>. [cit. 2025-06-24].
- [5] Wiedenmann, D., Nordmann, F., & French Nuclear Energy Society - SFEN, 'Materials Science and Technology, Non Destructive Testing, Chemistry' Technical Section, 5 rue des Morillons, F-75015 Paris (France). (2012). The benefits of enriched boric acid in PWRs. Nuclear Plant Chemistry Conference, International Conference on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems (NPC 2012), Paris (France).[cit. 2025-06-24]