

Stanovení kalibrační křivky regulační tyče na Reaktoru VR-1

T. H. N. Nguyen¹ - nguyentathanoi@gmail.com

L. Vojtek² - lukas.vojtek@centrum.cz

M. Tlamka³ - matous.tlamka@icloud.com

¹ Gymnázium Václava Hlavatého, Louny / ² Gymnázium třída Kapitána Jaroše, Brno / ³ Gymnázium Arabská, Praha

Pracoviště Troja, V Holešovičkách 2/747, 180 00 Praha 8

Abstrakt

Tento příspěvek se zabývá stanovením kalibrační křivky regulační tyče R2 na reaktoru VR-1. Kalibrační křivka je klíčovým nástrojem pro správné nastavení a provoz regulační tyče, což je nezbytné pro bezpečný a efektivní chod reaktoru. V příspěvku je popsáno měření, výsledky a jejich výklad. Kalibrační křivka byla zkoumána třemi různými způsoby. (Analytický přístup, numerický výpočet a experimentální měření)

1 Úvod

Kalibrační křivka regulační tyče je důležitým prvkem pro bezpečné řízení jaderného reaktoru. Představuje závislost mezi polohou regulační tyče a jejím účinkem na reaktivitu reaktoru. Stanovení této křivky je nezbytné pro zajištění přesného řízení reaktoru a prevence nehod. Cílem této studie je určit kalibrační křivku pro regulační tyč R2 na školním výzkumném reaktoru VR-1.

2 Teoretický úvod

Regulační tyč se používá k řízení reaktivity reaktoru. Absorpční část se skládá z kadmia (prvek s velkou absorpcí tepelných neutronů). Při zasouvání tyče do aktivní zóny reaktoru dochází k absorpci neutronů, což snižuje reaktivitu systému. Kalibrační křivka je graf, který udává vztah mezi polohou tyče (vyjádřenou v milimetrech) a změnou reaktivity (vyjádřenou v jednotkách β_{ef}).

3 Metodika měření

3.1 Přístroje a zařízení

Pro měření byly použity následující přístroje:

- Neutronový detektor SNM10
- Poziční senzor regulační tyče
- Počítačový systém pro sběr dat

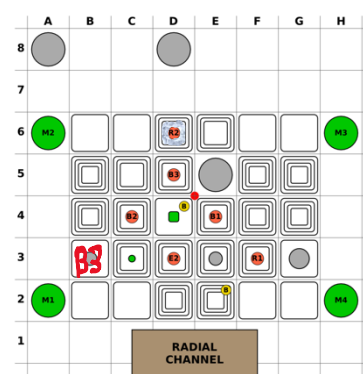
3.2 Postup měření

1. *Příprava systému:* Reaktor je operátorem uveden do podkritického stavu s regulační tyčí R2 v dolní koncové pozici ($z = 680$ mm). Neutronový detektor SNM10 je vložen do vertikálního kanálu na pozici B3.

2. *Sběr dat:* Regulační tyč byla postupně vysouvána (po krocích 120 mm) z aktivní zóny reaktoru. V každé pozici byly měřeny odezvy neuronů na detektoru.

3. *Analýza dat:* Průměrné hodnoty "četnosti detekce" $CR(z)$ pro každou axiální pozici z byly analyzovány a využítí vzorce (1) a následně byly vytvořeny křivky integrální a diferenciální.

$$\rho_{\text{int}}(z) = \rho_0 \cdot \frac{\frac{1}{CR(z)} - \frac{1}{CR_{\uparrow}}}{\frac{1}{CR_{\downarrow}} - \frac{1}{CR_{\uparrow}}} \quad (1)$$



Obrázek 2: Schéma aktivní zóny reaktoru VR-1

3.3 Experimentální měření

1. Ze vzorce (1) dopočítáme hodnoty ρ_{int} (při znalosti váhy tyče $\rho_0 = 1,078528 \beta_{\text{ef}}$) tímto získáme požadované hodnoty (body na grafu).

2. Body proložíme polynomem 5. stupně (např. v Excelu) a následně dostáváme integrální křivku.

3. Abychom získali diferenciální křivku derivujeme křivku integrální.

3.4 Analytický přístup

1. Je založen na poruchové teorii, pro kterou platí určité zjednodušující předpoklady.

2. Absorbční tyč, "porucha" je umístěna do středu válce představujícího homogenní reaktor. Při uvažování této teorie lze dojít k teoretickým vztahům prezentovaným níže, viz (2), (3).

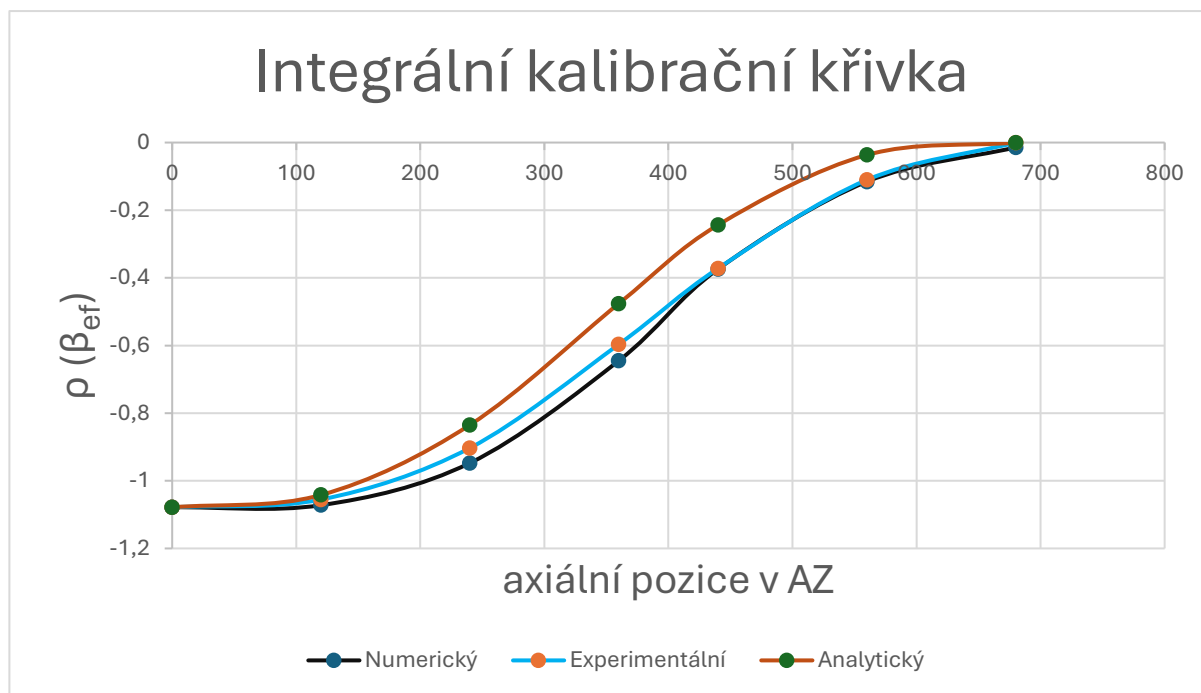
Tyto vztahy udávají teoretický tvar integrální a diferenciální kalibrační křivky.

$$\rho_{\text{int}}(z) = \rho_0 \cdot \left(\frac{H-z}{H} - \frac{1}{2\pi} \cdot \sin \frac{2\pi(H-z)}{H} \right) \quad (2)$$

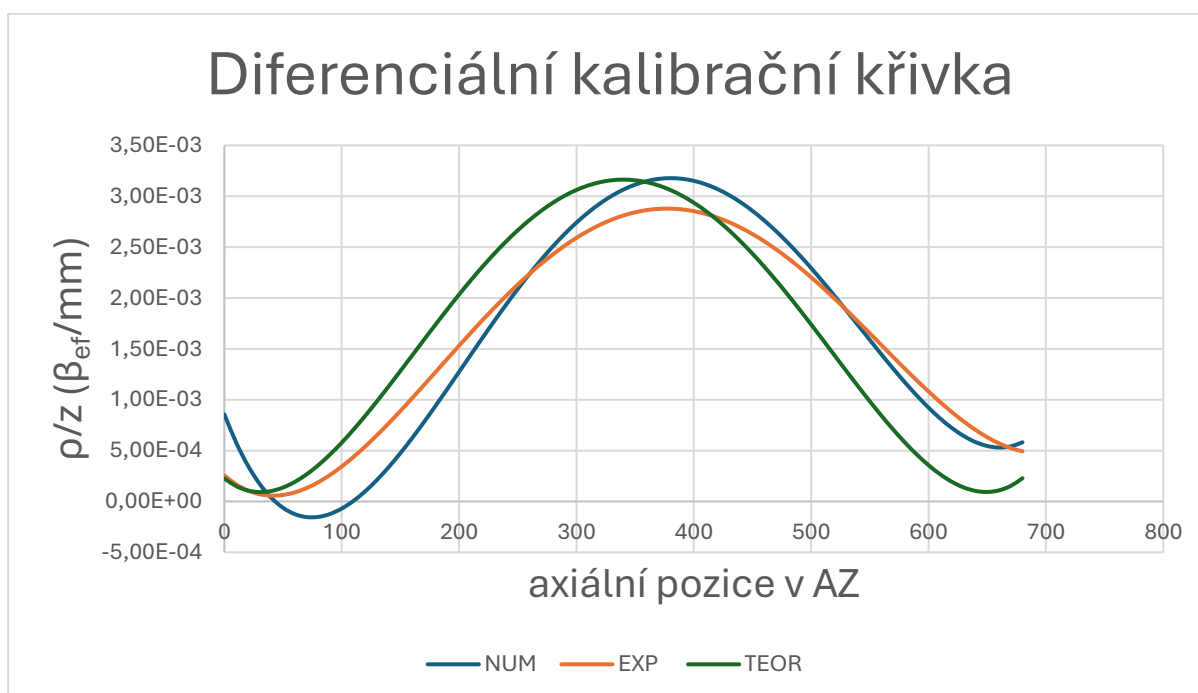
$$\rho_{\text{dif}}(z) = \frac{\rho_0}{H} \cdot \left(\cos \frac{2\pi(H-z)}{H} - 1 \right) \quad (3)$$

4 Výsledky

Výsledky měření ukázaly jasnou závislost mezi polohou regulační tyče a reaktivitou. Integrální křivka (*Graf 1*) nám ukazuje, jaký je vliv regulační tyče v dané axiální pozici (jednotka β_{ef}), zatímco křivka diferenciální (*Graf 2*) nám udává míru vlivu regulační tyče v dané axiální pozici (jednotka β_{ef}/mm)



Graf 1: Integrální kalibrační křivky



Graf 2: Diferenciální kalibrační křivky

5 Diskuze

5.1 Interpretace výsledků

Výsledky měření kalibrační křivky ukázaly jasnou a konzistentní závislost mezi polohou regulační tyče R2 a reaktivitou reaktoru. Tato závislost je klíčová pro správné řízení reaktoru a umožňuje operátorům přesně předvídat změny reaktivity při posunu regulační tyče. Získaná kalibrační křivka vykazuje typický tvar “S” křivky, což je výhodné pro praktické použití, protože umožňuje jednoduché a přesné řízení reaktoru.

5.2 Dopady na bezpečnost a provoz reaktoru

Přesné stanovení kalibrační křivky má přímý dopad na bezpečnost a efektivitu provozu reaktoru. Přesná kalibrace umožňuje operátorům ovlivňovat neutronový tok a reaktivitu, což je klíčové pro udržení reaktoru v bezpečném stavu. Nepřesné řízení reaktivity může vést k nebezpečným situacím, jako je nekontrolované zvýšení výkonu nebo naopak ztráta štěpné řetězové reakce.

6 Závěr

Stanovení kalibrační křivky regulační tyče je klíčové pro bezpečný a efektivní provoz reaktoru. Výsledky této studie poskytují důležité informace pro optimalizaci řízení reaktoru. Dále by bylo užitečné provést podobná měření s různými typy regulačních tyčí a za různých provozních podmínek. Ze všech prezentovaných křivek plyne, že míra vlivu (*viz Graf 2*) je největší v oblasti středu aktivní zóny (okolo axiální pozice $z = 360$ mm), což je ve shodě s axiálním rozložením výkonu v reaktoru.

Poděkování

Tímto bychom chtěli poděkovat Bc. Ondřeji Lachoutovi, vedoucímu našeho miniprojektu, za zápal a radost z fyziky, se kterou nám vše vysvětlil a se vším nám pomohl. Také bychom chtěli poděkovat organizátorům akce Týden vědy na Jaderce 2024, za možnost vyzkoušet si alespoň částečně práci vědce.

Literatura

- [1] Prezentace – Bc. Ondřej Lachout (2024) **Stanovení kalibrační křivky regulační tyče na reaktoru VR – 1 (Týden vědy na Jaderce 2024)
- [2] Webové informační stránky ČVUT - <http://www.reaktor-vr1.cz/cz/reaktor/popis>
- [3] Prezentace – Lenka Heraltová ** Jaderné reaktory a jak to vlastně vše funguje