

Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1

K. Svacinová, Gymnázium Voděradská, kacenka.svacinova@gmail.com
D. Něnička, Gymnázium Rožnov pod Radhoštěm, david.nenicka@email.cz
J. Štaffa, Křesťanské gymnázium, jstaffa@janstaffa.cz

20. 6. 2023

Abstrakt

Jaderný reaktor je zařízení, které je dnes nejčastěji spojováno s výrobou elektrické energie. Provoz jaderných zařízení je nerozdělitelně spojen s prokázáním bezpečnosti těchto zařízení. Abychom mohli bezpečně používat reaktor, musíme znát jeho výkon a zejména rozložení výkonu v aktivní zóně. V tomto experimentu jsme pomocí plynových detektorů stanovili rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1. Naše měření stanovilo axiální rozložení hustoty toku neutronů v palivu i mimo palivo. Axiální rozložení výkonu v palivu bylo stanoveno jak pro tepelné, tak také epitermální neutrony. Rozložení hustoty toku neutronů přímo odpovídá výkonu reaktoru.

1 Úvod

Větší hustota neutronů znamená více štepných reakcí v palivu, tedy větší výkon.

Neutronové záření je proud neutronů, nás zajímají pro měření tzv. tepelné (pomalé) a epitermální (rychlé). Pro jaderné štěpení je zásadní přiměřené množství tepelných neutronů, které mají mnohem větší pravděpodobnost rozštěpit atom uranu.

Naším cílem bylo změřit závislost počtu neutronů na pozici a výšce v reaktoru. Naměřená data nám vytváří obrázek toho, jak bude v reaktoru rozloženo teplo, tedy kde hrozí riziko přehřátí.

2 Teorie

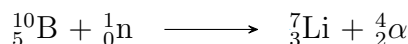
Rozložení hustoty neutronů v reaktoru závisí na několika hlavních faktorech:

V prázdných kanálech, naplněných moderátorem, bude obecně vyšší naměřená hustota neutronů, protože detektor je citlivější na tepelné elektrony, kterých je zde díky vyššímu množství moderátoru více.

Z opačného důvodu - nedostatku moderátoru - bude naměřená hustota neutronů uvnitř paliva obecně nižší.

Dále bude obecně nejvyšší hustota ve středu aktivní zóny, kde neutrony nemohou opustit reaktor, jako se děje na krajích.

Neutrony jsou částice bez elektrického náboje, což komplikuje jejich detekci. Proto využíváme vlastností různých prvků (U, He, B...), ve kterých po nárazu neutronu dochází k jaderné reakci, při které může vzniknout elektricky detekovatelná částice. Pro měření jsme použili borový detektor, kde při zachytu neutronu vzniká lithium a α záření, které má pozitivní náboj, tedy již detekovat lze.



Detektor neutronů se skládá z elektrod nabitých vysokým napětím, mezi nimiž je inertní plyn. Pro naše měření jsme použili detektor SNM13, ten používá vrstvu boru, na níž díky neutronům vznikají nabitě částice, které jsou přitaženy k elektrodám, kde následně dochází k detekovatelné změně napětí, ta je následně zpracována počítačem.

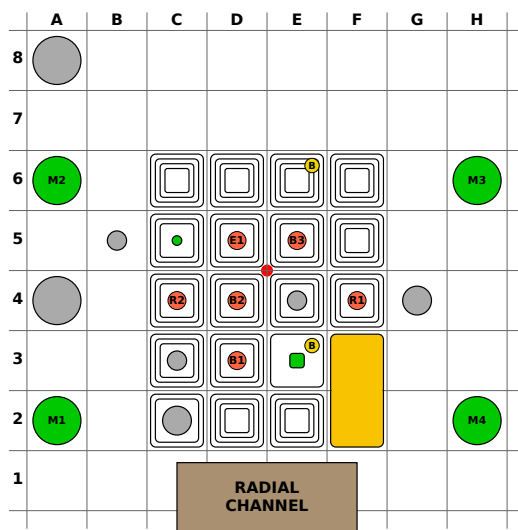
Některé materiály lépe absorbují pomalé neutrony, jiné zase rychlé. Tohoto jevu můžeme využít, když je potřeba zachytávat pouze jeden druh. Jedním z takových materiálů je kadmium, které efektivně odfiltruje pomalé neutrony. Detektor obalený v kadmiu tedy zachytí pouze neutrony rychlé.

3 Měření

K měření toku neutronů byl použit borový detektor SNM13.

Byla provedena celkem tři měření v různých místech reaktoru (viz Obrázek 1):

- Vně aktivní zóny mimo palivo (pozice G4)
- Uvnitř aktivní zóny v palivu (pozice C3)
- Uvnitř aktivní zóny v palivu, s kadmiovým obalem detektoru (pozice C3)



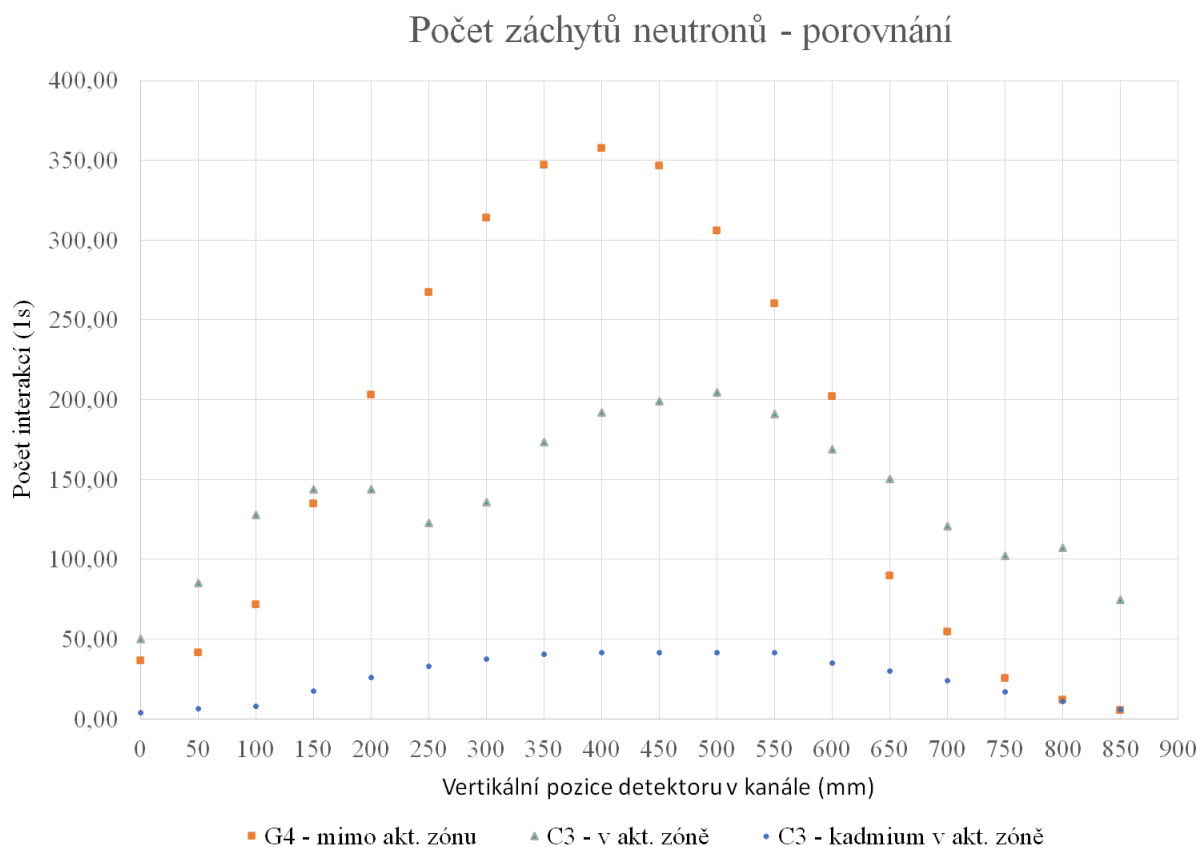
Obrázek 1: Schéma reaktoru včetně aktivní zóny v době měření

Na začátku měření jsme umístili detektor na dno kanálu reaktoru a následně ho zvedali po pětcentimetrových krocích skrz aktivní zónu do výšky 85 centimetrů. Při každém kroku jsme v intervalu 30 sekund změřili počet interakcí neutronů s detektorem v dané výšce, který odpovídá přibližnému množství tepelných neutronů.

4 Výsledky

V následujícím grafu jsou zakresleny naměřené hodnoty v závislosti na výšce detektoru nad dnem kanálu pro každé ze tří měření.

Výsledky měření dopadly přibližně podle očekávání - nejvyšší množství neutronů bylo naměřeno ve středu kanálu, kde se je nejmenší šance na únik neutronu z reaktoru. Celkem překvapivé bylo, že uvnitř palivového článku byly maximální naměřené hodnoty paradoxně nižší, než mimo aktivní zónu, což způsobuje zvýšené množství moderátoru, který zpomaluje neutrony více a detektor je tedy více zachytává, také je zde samotné palivo, které neutrony absorbuje. Další zajímavostí byla lokální maxima na měření v aktivní zóně bez kadmiového obalu, která byla způsobena odražením neutronů od konců palivového článku, kde je opět více moderátoru. V případě s kadmiovým obalem tato maxima neznikla, tedy se dá odvodit, že jsou způsobena pouze pomalými neutrony.



5 Závěr a diskuze

Stanovené rozložení hustoty toku neutronů v aktivní zóně odpovídá teoretickým poznatkům získaných během experimentu. Zjištěné výsledky potvrzují vliv zvoleného detektoru, vliv pokrytí detektoru i lokalizaci v aktivní zóně.

Obecně lze říci, že získané výsledky potvrzují, že detektor citlivý na tepelné neutrony detekuje větší hustoty toku neutronů v místech s větší koncentrací moderátoru, tedy lehké vody.

Detektor umístěný v palivovém souboru, který je provozovaný v podmoderované oblasti - oblasti, ve které nedochází k efektivnímu zpomalování neutronů na tepelné - detekuje menší hustotu toku neutronů, než detektor umístěný mimo aktivní zónu.

Detektor obalený v Cd pokrytí, který je poté schopen detekovat pouze rychlé neutrony detekuje mnohem menší absolutní hodnoty hustoty toku neutronů, než detektor holý. Tento poznatek je opět v souladu s očekávaným chováním získaným v průběhu experimentu.

Rozložení hustoty toku neutronů v palivu (detekované holým detektorem) má oproti jiným měřením odlišný průběh. Jsou zde totiž zaznamenány reflektorové píky, které jsou způsobeny termalizací rychlých neutronů v axiálních reflektorech aktivní zóny a jejich návratu do místa paliva jako tepelných. V těchto částech pak tepelný neutron může způsobit štěpení a zvýšit tak neutronovou populaci v tomto místě.

Na závěr je třeba podotknout, že i když je hustota toku neutronů spojena s generovaným výkonem, neodpovídá hustota toku neutronů přímo výkonu v části aktivní zóny.

Poděkování

Především děkujeme našemu garantovi panu Ing. Ondřeji Novákovi za teoretický podklad a panu Ing. Pavlu Sukovi za pomoc při měření. Dále děkujeme veškerému personálu reaktoru za ochotu a výborné pracovní podmínky.