

Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1

Hana Šumšalová, Karel Týr, Ondřej Brhlík
Masarykovo gymnázium, Jičínská 528, Příbor
Gymnázium Plzeň, Mikulášské náměstí 23, Plzeň
Střední průmyslová škola strojnická Olomouc, 17. listopadu 995/49, Olomouc
hana.sum@seznam.cz, chuck44@seznam.cz, brhlik2001@seznam.cz

Abstrakt:

V roce 1990 byl uveden do provozu reaktor VR-1, na něm probíhalo naše měření rozložení hustoty toku neutronů v aktivní zóně. Za pomoci detektorů SNM 10 /13(B) a detektoru 05NH1 (He) jsme zjišťovali rozložení četnosti štěpných reakcí v různých částech aktivní zóny v periodě 80s.

1 Úvod

Cílem našeho experimentu bylo zjištění rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1 a zároveň tak experimentálně dokázat platnost difúzní rovnice v deskovém reaktoru. Z logické úvahy vyplývá, že nejvyšší tok neutronů by měl uprostřed aktivní zóny reaktoru, neboť tam probíhá nejvíce štěpných reakcí. Pro zjednodušení experimentu nebyla uplatněna korekce naměřených hodnot na mrtvou dobu detektoru. Informace o rozložení výkonu v aktivní zóně je velice důležitým údajem pro jeho provoz. Díky tomu je například možné zjistit očekávanou teplotu v aktivní zóně a s její pomocí rozhodnout, zda bude reaktor potřebovat externí chlazení či nikoliv.

2 Experimentální část

Princip štěpení

Neutrony se uvolňují při štěpení těžkých jader (^{235}U), jejich energie se pohybuje kolem 2MeV. Při srážce s moderátorem (H_2O) dochází k jejich zpomalování. Neutrony s energií 0,0253 eV (293,6K) se nazývají tepelné. Jejich kinetická energie je velmi podobná energii pohybu částic v prostředí. V reaktoru se nachází spektrum neutronů zasahující do přibližně osmi řádů. Maximální energie neutronů, produkovaných při štěpení uranu ^{235}U v jaderném reaktoru je přibližně 10 MeV. Spektrum se dále dělí na oblasti tepelných, epitermálních a rychlých neutronů.[1]

Reaktor VR-1

Reakce probíhá v tlakovodním jaderném reaktoru bazénového typu s nulovým výkonem. Jeho nominální tepelný výkon je 100W ($N=1\text{E}8 \text{ s}^{-1}$) a maximální 500W ($N=5\text{E}8 \text{ s}^{-1}$), což je zjevně nedostačující k ohřevu moderátoru a tím pádem není možné sledovat zpětné vazby od teplot paliva a moderátoru.. Palivem je ^{235}U (IRT-4M) s obohacením 19,7%. Moderátorem v reaktoru VR-1 je demineralizovaná voda. Dalšími komponentami reaktoru jsou například regulační tyče, které slouží k řízení reaktoru. Absorbátorem v regulačních tyčích je Cd. [2], [3]

Princip měření

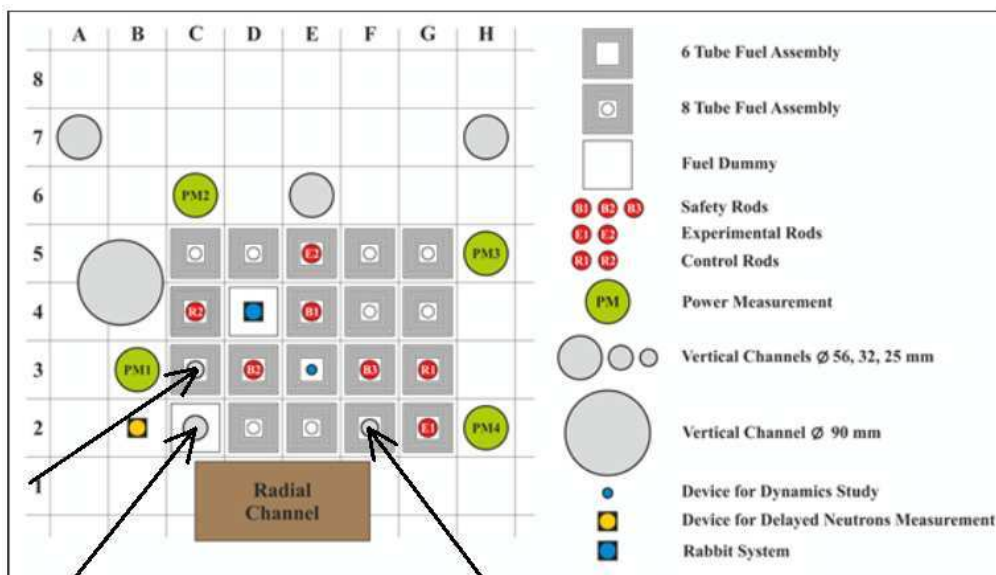
K měření rozložení hustoty toku neutronů se používají detektory SNM 10/13 (speciálního jaderného materiálu) a detektor 05NH1 (^3He). Uhlík s amorfni strukturou pokrytý vrstvou izotopu boru ^{10}B slouží jako dobrý detektor neutronů. Konverzní materiál (B, He) je schopen pohlcovat neutrony. Posléze vyzáří 2 druhy záření (α , γ). α částice je obecně nabitá částice, která je schopna vést elektrický proud. Ten je následně detekován elektronikou detektoru. Data měření odpovídající záření γ jsou poté z výsledku měření odstraněny. Přítomnost detektoru v aktivní zóně reaktoru způsobuje zvýšenou absorpci neutronů v aktivní zóně. Bez automatického řídicího systému by pak výkon reaktoru exponenciálně klesal. Zvýšenou absorpci neutronů automatický řídicí systém vykompenzoval povytažením jedné z regulačních tyčí.

Hustota toku neutronů je závislá na poloze. Maxima je přitom dosaženo ve středu aktivní zóny. Na základě řešení difúzní rovnice v deskovém reaktoru (palivo lze připodobnit k axiálnímu deskovému reaktoru) vyjde průběh výkonu (a tím i hustoty toku neutronů) velmi podobný funkci $\sinh x$. Ze středu aktivní zóny se uvolňuje nejvíce neutronů. Tyto neutrony ale ve větším množství neunikají do okrajů. Rychlé neutrony, které uniknou z palivového souboru do reflektoru, se mohou zpomalit a vrátit se zpět do paliva. Zde mohou způsobit další štěpení a zvýšit tak hustotu toku neutronů. To lze pozorovat v grafu jako tzv. reflektorový peak.

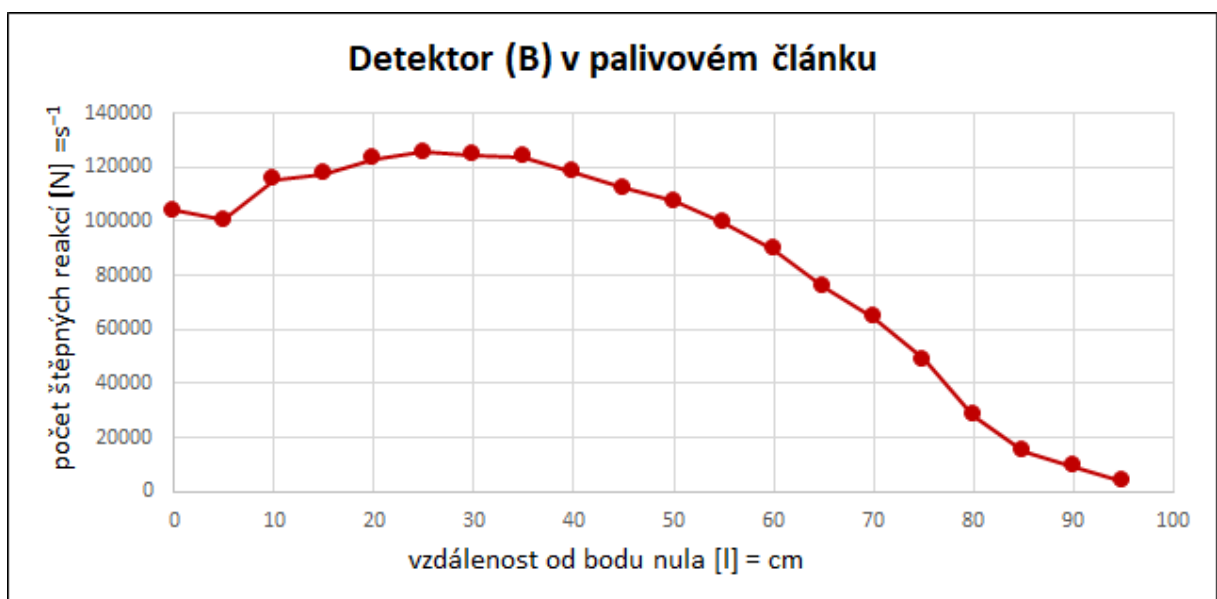
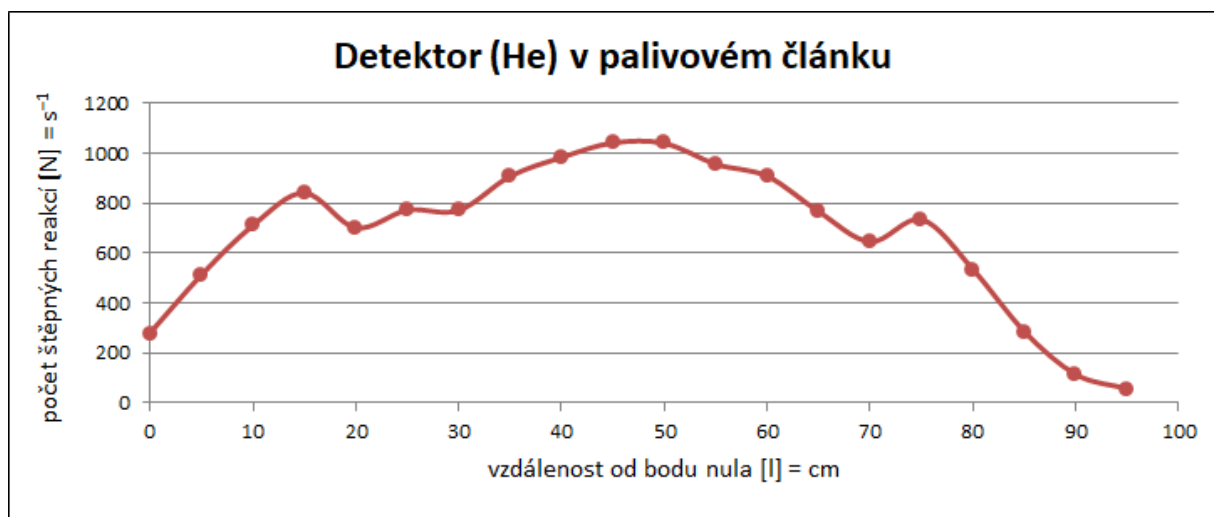
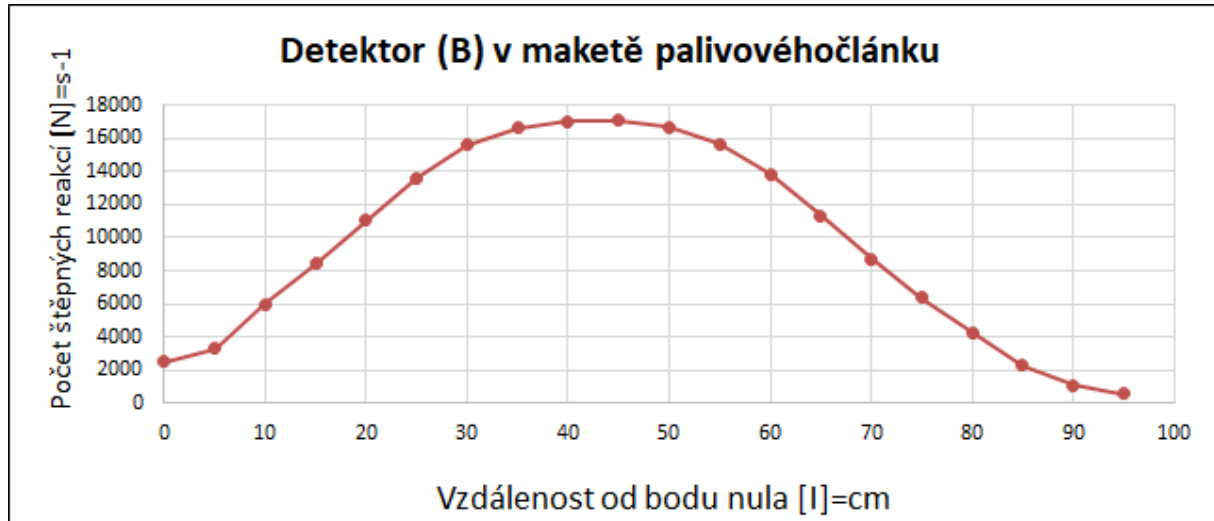
$$D\nabla^2\phi(\mathbf{r},t) - \Sigma_a\phi(\mathbf{r},t) + S(\mathbf{r},t) = \frac{\partial n(t)}{\partial t}$$

Postup měření

Na dno reaktoru jsme za nominálního výkonu spustili 2 detektory SNM zavěšené na koaxiálním kabelu a 1 heliový detektor 05NH1 na koaxiálním kabelu. V průběhu vpravování detektoru je nutné dohlížet na hodnotu D (odchylka skutečného výkonu reaktoru od očekávaného), jež nesmí překročit hodnotu 25% a hodnotu v (rychlost změny výkonu), která nesmí překročit 6 %/s. V opačném případě dojde k automatickému odstavení reaktoru. Před měřením jsme museli nastavit vysoké napětí na 1500 V. Odečítání počtu impulzů jsme prováděli 19x po 5cm z počátečního bodu nula v časovém rozsahu 80s.



Suchým kanálem o průměru 25mm byl do palivového článku vpraven borový detektor, a další do makety palivového článku (32mm), poslední heliový detektor byl také zaveden do palivového článku. V programu EMK-310 (komerční software k analyzátoru DA-310) jsme byli schopni detekovat průměrné hodnoty štěpných reakcí za daný časový úsek, které jsme znázornili v následujících grafech.



3 Shrnutí

Měření prokázalo naše předpoklady. Relativní rozložení hustoty toku neutronů do grafu přibližně tvarově odpovídá grafu funkce $\sinh x$. Naměřené hodnoty pomocí borového detektoru v maketě palivového článku téměř přesně opisovaly graf funkce $\sinh x$. Na bocích grafu u měření heliovým detektorem umístěným do palivového článku jsme pozorovali dva vychýlené peaky. Ty byly způsobeny reflektorovým peakem. Na naměřených hodnotách pomocí borového detektoru v palivovém článku lze pozorovat mrtvou dobu, kterou jsme při měření zanedbávali a která se projevila jako skok v levé části grafu.

Poděkování:

Naše díky patří Ing. Pavlu Sukovi za vedení našeho miniprojektu, také Ing. Ondřeji Novákovi za pomoc při vypracování práce do sborníku a nemalé poděkování také všem organizátorům letošního ročníku Týdne vědy na Jaderce.

Reference:

- [1] KAREL MATĚJKA A KOLEKTIV.: *Experimentální úlohy na školním reaktoru VR-1* Vydavatelství ČVUT, 2005, pp. č.79.
- [2] Školní reaktor VR-1 [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: <http://www.reaktor-vr1.cz/cz/reaktor/popis>
- [3] *Reaktor LVR-15* [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: <http://reaktory.cvrez.cz/reaktor-lvr-15>