

## Parametrizace ozařovacích míst v aktivní zóně školního reaktoru VR-1 VRABEC

Kolros Antonín, Katovský Karel, Huml Ondřej, Vinš Miloslav

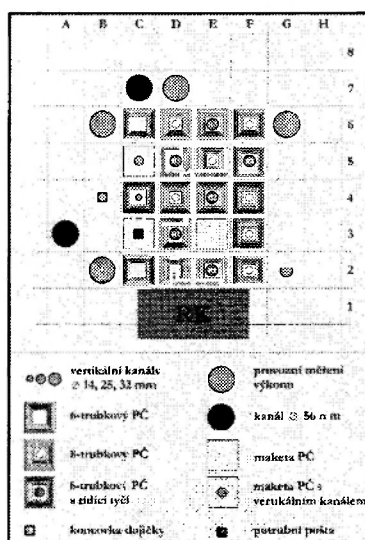
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT, Katedra jaderných reaktorů,  
V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8

Školní reaktor VR-1 VRABEC je výzkumné jaderné zařízení, určené především pro výuku posluchačů vysokých škol z ČR i zahraničí, pro přípravu odborníků pro český jaderný program. má svoji úlohu i v informačních programech o zásadách bezpečného využívání jaderné energie a při šíření „jaderné“ gramotnosti. Jedná se o lehkovodní jaderný reaktor bazénového typu, kde aktivní zóna reaktoru (AZ) je umístěna a provozována v nerezové nádobě - bazénu. Palivem je obohacený uran, jako moderátor i reflektor je používána demineralizovaná  $H_2O$ . Tepelný výkon reaktoru VR-1 je 1 kW, krátkodobě ho lze zvýšit na 5 kW. Chlazení je pouze přirozenou konvekcí. Roční „spotřeba“ uranu je méně než 0,01 g  $^{235}U$ . Reaktor VR-1 byl uveden do provozu 3.12.1990.

### Záměna paliva na reaktoru VR-1

Na přelomu září a října 2005 došlo na reaktoru VR-1 k záměně paliva. Původní palivo IRT-3M s obohacením 36 %  $^{235}U$ , kategorizované jako vysoce obohacené (HEU) bylo zaměněno palivem IRT-4M (Rusko) s obohacením pod 20 %  $^{235}U$  a kategorizovaným jako nízko obohacené (LEU). Záměna byla provedena v rámci RERTR (Reduced Enrichment for Research and Test Reactors).

Pozn: palivo IRT-3M a IRT-4M je vnějšími rozměry a roztečí mříže základové desky shodné s palivem IRT-2M používaném na reaktoru LVR-15 v ÚJV Řež, který má tepelný výkon 10 MW. S palivem IRT-2M byl reaktor VR-1 provozován od roku 1990 do roku 1997.



Obr. 1 Uspořádání aktivní zóny C1 s novým palivem IRT-4M

### Parametrizace ozařovacích míst

Cílem parametrizace ozařovacích míst na reaktoru VR-1 bylo opětovné stanovení základních parametrů pole neutronů a to v novém uspořádání AZ. Jednalo se zejména o stanovení spektra neutronů, rozložení hustoty toku neutronů a absolutní stanovení hustoty toku neutronů v koncovce pneumatické potrubní pošty (pozice C3 na Obr.1) resp. některých parametrů v koncovce zařízení pro studium zpožděných neutronů „Dojička“ (pozice B4 na Obr.1).

### Stanovení spektra neutronů v koncovce potrubní pošty

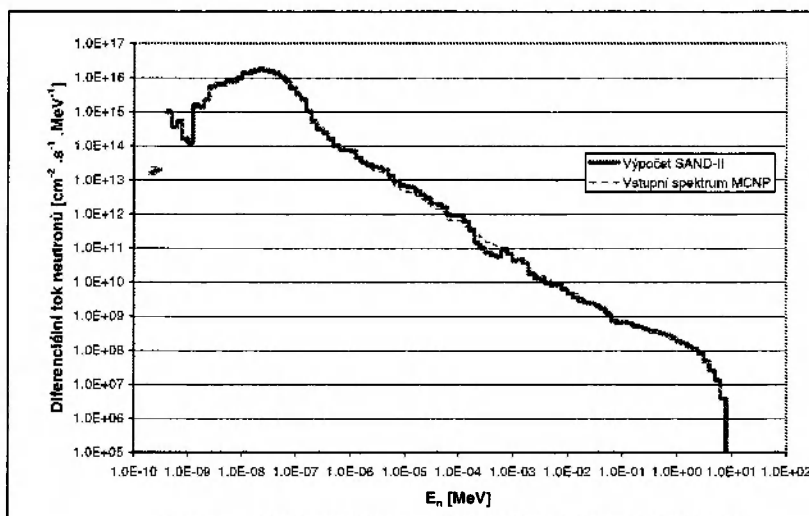
Stanovení spektra neutronů je základní úlohou parametrizace. Na reaktoru VR-1 je pro účely krátkodobé INAA provozována jednoduchá podtlaková potrubní pošta pro dopravu ozářených vzorků do laboratoře. Doba přepravy polypropylénového ozařovacího pouzdra je přibližně 3 až 5 s. Hliníková koncovka potrubní pošty byla po záměně paliva nově umístěna v tzv. obrysově maketě palivového článku v poloze C3 aktivní zóny C1 (Obr.1).

**Tab. 1**

### Použitá sada aktivačních detektorů a parametry ozařování a měření

Aktivační detektory	Reakce	Doba			Výkon reaktoru [kW <sub>t</sub> ]
		Ozařování [s]	Prodlevy [s]	Měření [s]	
Au	$^{197}\text{Au} (n,\gamma) ^{198}\text{Au}$	1286	593	2104	1
Au s Cd	$^{197}\text{Au} (n,\gamma) ^{198}\text{Au}$	1238	609	6239	1
Ni	$^{58}\text{Ni} (n,p) ^{58}\text{Co}$	3630	2175	3615	1
Mn	$^{55}\text{Mn} (n,\gamma) ^{56}\text{Mn}$	627	3199	1232	0,5
Cu	$^{63}\text{Cu} (n,\gamma) ^{64}\text{Cu}$	1338	6753	55967	1
Sc	$^{45}\text{Sc} (n,\gamma) ^{46}\text{Sc}$	1707	12635	54664	1
W	$^{186}\text{W} (n,\gamma) ^{187}\text{W}$	1707	8345	4037	1

Výsledné energetické spektrum neutronů bylo stanoveno pomocí výpočetního kódu SAND-II (Spectrum Analysis by Neutron Detector-II, ORNL USA). Tento program postupnou iterační metodou „dopočítává“ křivku neutronového spektra tak, aby s požadovanou přesností odpovídala získaným odezvám – reakčním rychlostem použitých aktivačních detektorů. Byla použita vybraná sada aktivačních detektorů ve tvaru tenkých folií o průměru 12,7 mm. Parametry aktivace a měření jsou v Tabl. Reakční rychlosti aktivačních detektorů byly určeny na základě stanovení aktivity na polovodičovém HPGe detektoru Canberra s relativní účinností 25 % a FWHM 1,8 keV. Pro vyhodnocení byl použit sw Canberra Genie v3.0.

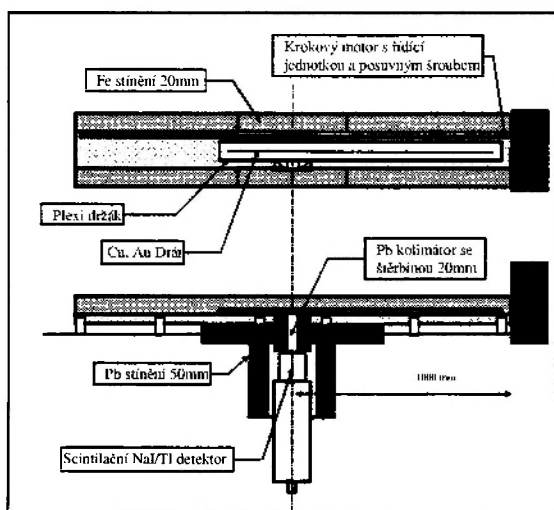


**Obr. 2** Spektrum neutronů v koncovce potrubní pošty – porovnání výsledků vypočítaných kódem MCNP-4C a iteračním kódem SAND-II

Spektrum neutronů bylo spočítáno v 620 energetických grupách. Protože kód SAND-II vyžaduje alespoň přibližnou znalost vstupního spektra neutronů bylo vstupní spektrum získáno výpočtem pomocí kódu MCNP-4C a to ze znalosti geometrie a dalších parametrů aktivní zóny C1 reaktoru VR-1. Výsledné diferenciální spektrum neutronů získané pak kódem SAND-2 ve 106 energetických grupách pro 4 iterace je prezentováno na Obr. 2.

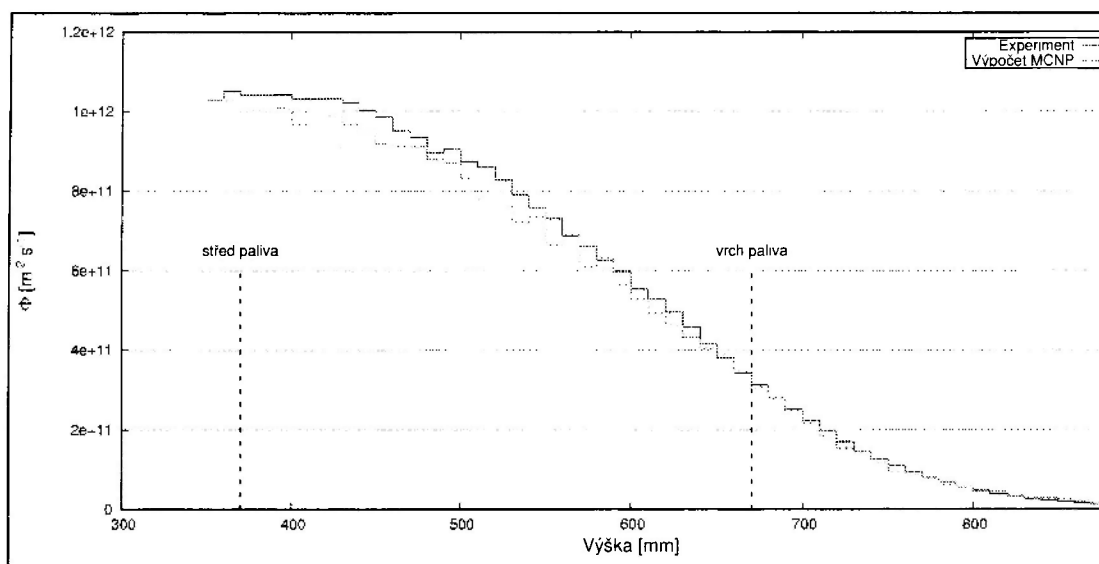
#### Stanovení rozložení hustoty toku neutronů v koncovce potrubní pošty

Stanovení rozložení hustoty toku neutronů bylo provedeno experimentálně na základě měření odezvy v koncovce ozářeného aktivačního detektoru ve tvaru zlatého drátu o průměru 1 mm. Bylo využito reakce  $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$  a následně detekováno záření gama  $E_\gamma = 411,8 \text{ keV}$ .



**Obr. 3** Experimentální zařízení Drát pro automatizované měření odezvy aktivačních detektorů

Odezva byla změřena v automatizovaném režimu pomocí experimentálního zařízení „DRÁT“ (Obr.3). Jako detektor byl použit scintilační TESCINT NaI/Tl 1,5“x1,5“. Za účelem absolutního stanovení hustoty toku neutronů byly použity Au monitory ve tvaru krátkého drátku o délce 13 mm a Au fólie o průměru 12.7 mm. Metodou vzdálené geometrie na polovodičovém HPGe systému Canberra byla stanovena aktivita, resp. reakční rychlost. Odezva krátkého Au drátku byla současně změřena na zařízení „DRÁT“. Hustota toku neutronů byla pak stanovena i výpočtem pomocí kódu MCNP-4C a to přímo na typ a rozměr aktivačního detektoru.



**Obr. 4** Rozložení hustoty toku neutronů v koncove potrubní pošty – porovnání experimentu s výpočtem MCNP (střed paliva odpovídá středu ozařovací ampule v koncove)

#### *Stanovení hustoty toku neutronů v potrubní poště*

Hustota toku neutronů v koncove potrubní pošty byla absolutně stanovena pomocí Au fólie o průměru 12.7 mm. Na základě výpočtu spektra neutronů kódem MCNP byla pak dopočítána hustota toku tepelných, epitermálních a rychlých neutronů. Výsledky jsou shrnuty v Tab.2

**Tab. 2**

#### **Hustota toku tepelných, epitermálních a rychlých neutronů v koncove potrubní pošty reaktoru VR-1 při tepelném výkonu 1kW**

<b>Hustota toku neutronů</b> [m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> ]			
<b>Tepelné</b> (<0.4 eV)	<b>Epitermální</b> (0.4 eV – 0.1 MeV)	<b>Rychlé</b> (>0.1 MeV)	<b>Celková</b>
4.66 10 <sup>11</sup>	2.58 10 <sup>11</sup>	3.06 10 <sup>11</sup>	1.03 10 <sup>12</sup>

#### *Závěr*

V tomto příspěvku jsou stručně shrnuty reprezentativní výsledky stanovení základních parametrů pole neutronů v aktivní zóně C1 školního reaktoru VR-1 VRABEC. Stanovené energetické spektrum v koncove potrubní pošty odpovídá svým charakterem očekávané závislosti 1/E s dominantní tepelnou složkou. Rozložení hustoty toku neutronů vykazuje v oblasti ozařovací ampule (cca 50 mm délky) plochou závislost v 5% toleranci.

Stanovená hustota toku neutronů hustotou toku neutronů je nižší než deklarovaná max. dosahovaná hodnota  $10^{13} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  - odpovídá to však umístění ozařovacího místa na okraji aktivní zóny.

1. Matějka K., Kropík M., Sklenka L., Kolros A., Rataj J., Experimentální úlohy na školním reaktoru VR-1, ČVUT, Praha (2005), 120 str.
2. Huml O., vedoucí práce Kolros, A.: Stanovení rozložení hustoty toku neutronů v aktivní zóně C1 školního reaktoru VR-1 VRABEC, Diplomová práce, Katedra jaderných reaktorů FJFI ČVUT v Praze, Praha, 2006, 86 str.
3. Paluska P., Katovský K., Kolros A., Determination of Energy Neutron Spectrum at Reactor VR-1 Sparrow. In Proceedings of Workshop 2005 - Part A,B. Prague: CTU (2005) vol. B, s. 702-703. ISBN 80-01-03201-9
4. Paluska P., vedoucí práce Kolros, A., Stanovení energetického spektra pole neutronů, Diplomová práce, Katedra jaderných reaktorů FJFI ČVUT v Praze, Praha, 2005, 100 str.
5. Kolros A., Matějka K., Souček I., Experimental Facility for Measurement of Irradiated Samples - WIRE. In: Proceedings of Workshop 2000, Prague, CTU, 2000, vol. B, p. 489, ISBN 80-01-02229-3

### **The parametrization of irradiated positions into core of VR-1 reactor**

*Kolros Antonín, Katovský Karel, Huml Ondřej, Vinš Miloslav*

Faculty of Nuclear Science and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague, Department of Nuclear Reactors, V Holešovičkách 2, 180 00 Prague 8

Objective of this work is a determination of the neutron flux density distribution and of the neutron energy spectrum at the end of rapid system tube in the core CI of the training reactor VR-1 Sparrow, maintained by the Department of Nuclear Reactors, Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering at Czech Technical University. Experiments were performed using irradiation of activation foils and wires. Neutron energy spectrum was deconvoluted by SAND-II code. Final results were compared with MCNP calculations.