

# Stanovení rozložení výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1

Lukáš Létal a Jan Adamec

20.6.2022

## Abstrakt

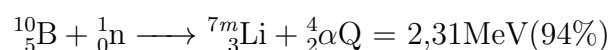
Provoz jaderných zařízení je neoddělitelně spojen s měřením rozložení výkonu. Rozložení výkonu v aktivní zóně zařízení závisí na mnoha faktorech, mezi něž spadá například materiálové složení či geometrie aktivní zóny. Pro bezpečný a efektivní provoz jaderných zařízení je experimentální stanovení rozložení výkonu pochopitelně důležité. Cílem experimentu je tedy určení rozložení axiálního výkonu v aktivní zóně reaktoru VR-1 za účelem zdokonalení operování reaktoru a všeobecné zlepšení bezpečnosti a zabránění přelévání výkonu.

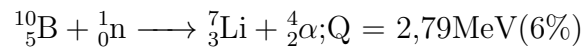
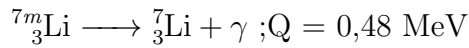
## 1 Úvod

Jaderné reaktory jsou spolu s obnovitelnými zdroji považovány za v současnosti nejčistší zdroje elektřiny. Pro jejich správné fungování je třeba mnoho zařízení a monitorování mnoha metrik, abychom zabránili různým katastrofám a mohli reaktor ovládat ku všeobecnému prospěchu. Jednou z těchto metrik je axiální rozložení výkonu, jehož měřením jsme se v miniprojektu zabývali. Bez jeho znalosti bychom nebyli schopni provozovat žádný reaktor na světě, neboť by například docházelo k přehřívání či dokonce tavení palivových tyčí nebo nežádoucímu varu vody. Problémem je že výkon reaktoru závisí na množství neutronů v něm. Ty však, jelikož nemají náboj, nejsme schopni změřit. Pro měření výkonu je tak stěžejní převod odlétajících neutronů na určitý měřitelný signál, čehož lze dosáhnout hned několika způsoby.

## 2 Teorie

Při měření výkonu, jak bylo již v úvodu zmíněno, je zásadní převod neutronu měření projevů či převod neutronů na částice schopné elektromagnetické interakce. V nejobecnějším slova smyslu rozdělujeme způsoby detekce neutronů na off-line a on-line detekci, kdy off-line detekce funguje na bázi zpětného vyhodnocování výsledků ozařování (Filmový dozimetr, TLD dozimetr) a on-line detekce naopak na analýze okamžité odezvy detektoru. V našem miniprojektu byly využity plynové detektory, které využívají konverzních materiálů k převodu neutronů na nabitě částice. Samotné přeměny můžeme docílit mnoha různými způsoby, nicméně v našem případě jsme využili jeden borový a dva heliové detektory. Konverzi neutronu je potom možné vyjádřit pomocí následujících rovnic:





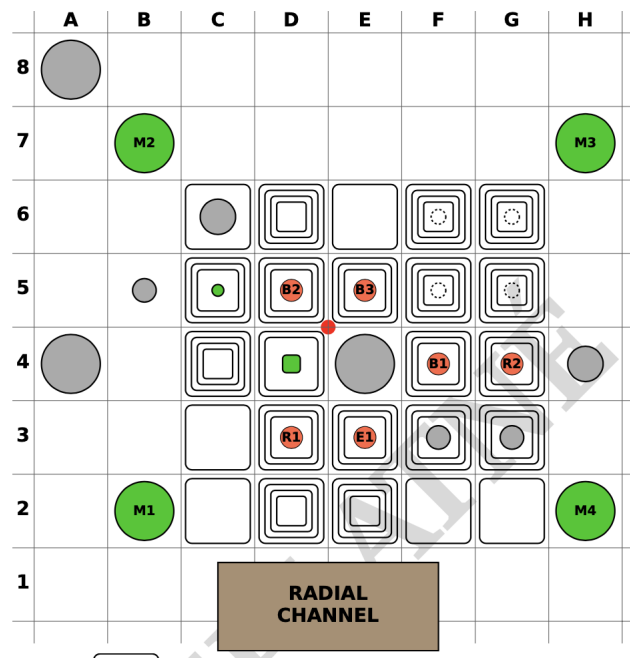
Druhou možností jak stanovit axiální rozložení výkonu v reaktoru je využití výpočetních nástrojů. Míru zastoupení neutronů lze pak vyjádřit následující rovnicí, jež ale počítá s řadou zjednodušení, týkajících se uspořádání reaktoru nebo například energie neutronů. Výchozím vztahem pro tento výpočet je potom:

$$D_c \cdot \nabla^2 \Phi_c - \Sigma_{ac} \cdot \Phi_c + k \Sigma_{ac} \cdot \Phi_c = 0 \quad (1)$$

Kde  $D_c$  představuje koeficient difuze v aktivní zóně,  $\Phi_c$  je hustota toku neutronů v aktivní zóně,  $\Sigma_{ac}$  je makroskopický účinný průřez pro absorpci v aktivní zóně a  $k$  je koeficient násobení.

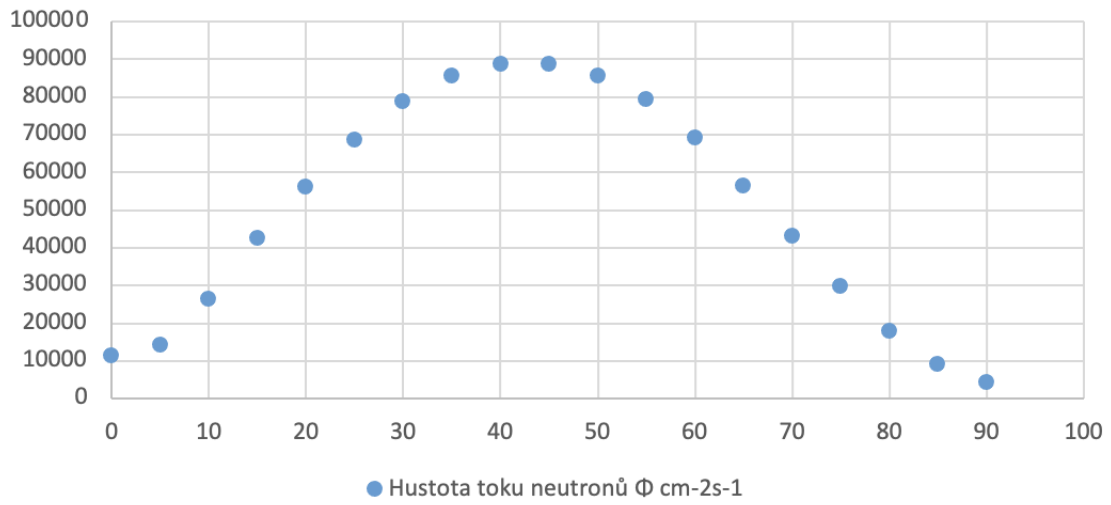
### 3 Výsledky a experiment

Celkem jsme prováděli sérii 18 měření, přičemž jsme detektory nejprve umístili na dno vertikálních kanálů a postupně jsme je posouvali po 5 centimetrech od dna přes střed aktivní zóny, po každém posunu jsme provedly 2 sběry dat po 30 sekundách a udělali jsme z nich průměr. Takto jsme pokračovali až do výšky 90 cm. Na následujícím obrázku můžeme vidět schéma reaktoru. Heliové detektory jsou umístěny na polích C6 a G3 a bórový je umístěn na políčku H4.

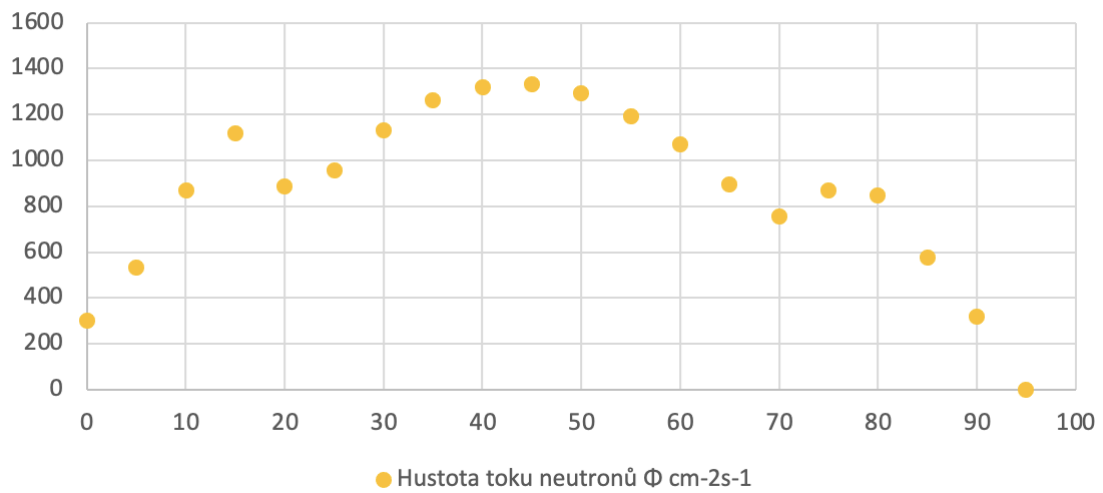


Vzhledem k umístění detektorů H4 a C6 mimo palivové soubory jsme předpokládali, že vývoj detekovaných neutronů bude záviset pouze na vzdálenosti od středu aktivní zóny. U tyče G3 naopak předpokládáme, jelikož je u palivového souboru, že budou neutrony ve větší míře a počet detekovaných neutronů nebude úplně přesně úměrný vzdálenosti od aktivní zóny.

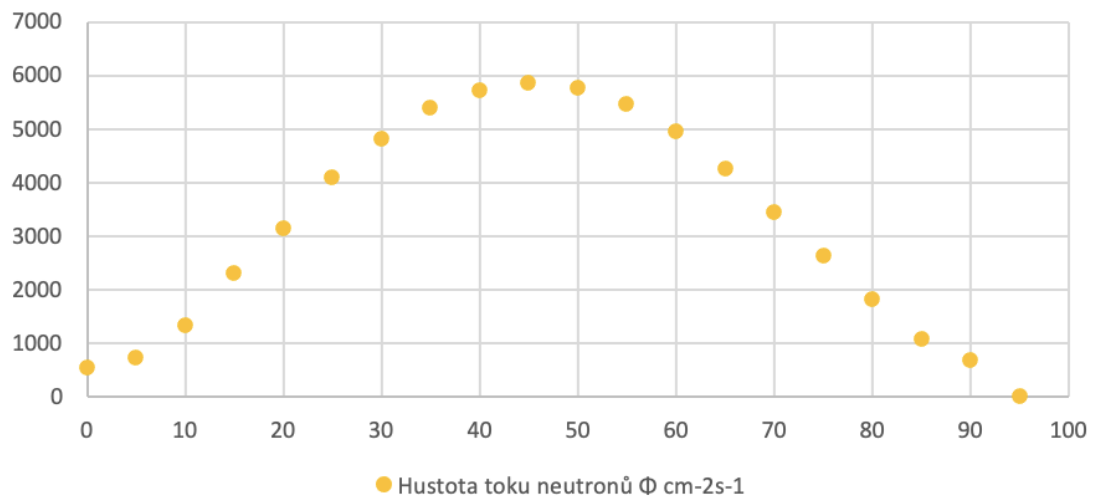
### Detektor H4 - B



### Detektor G3 - He



### Detektor C6 - He



## 4 Diskuze a závěr

Výsledky získané detektorem jsou v souladu s předpoklady. Pro skutečné validní proměření by bylo třeba mnohem více podrobných měření a provádět měření po delší dobu. Objevené reflektorové peaky na detektoru umístěném na palivovém souboru jsou důsledkem detekce zpomalených neutronů, jež odlétají od aktivní zóny a jsou okolní vodou zpomalovány a dostávají se do vertikálních kanálů s palivem, kde působí další štěpení. Je důležité zmínit, že tato vlastnost se nemusí notně objevit u všech reaktorů a není úplně očividná.