

Využití kódu MCNP v reaktorové fyzice

M. Tuláček, Gymnázium Jeronýmova, Liberec
V. Šopík, Gymnázium Jeseník
T. Cícha, Gymnázium Vídeňská, Brno
J. Mottl, Gymnázium Z. Wintra, Rakovník
cicha.hrb@seznam.cz

Abstrakt:

Cílem projektu je vypočítat koeficient násobení (k_{ef}) pro různé tvary a velikosti jaderných reaktorů pomocí výpočtového kódu MCNP.

1 Výpočtový kód MCNP

MCNP (Monte Carlo N-particle Code System) je univerzální kód pro výpočty pohybu a vzájemných interakcí částic v jaderných reaktorech. Pracuje na principu statistické metody Monte Carlo, která neprovádí deterministické výpočty, ale sleduje stav každé částice v systému a její možné interakce. Narozdíl od klasických metod, metoda MC udává výsledek se statistickou odchylkou, což je ovšem dostatečně vykompenzováno její univerzálností.

Aplikace této metody v kódu MCNP umožňuje výpočty kritičnosti složitých soustav, hustot neutronových toků, mikrokonstant a různých dozimetrických problémů. Samotný program pak umožňuje grafické vyobrazení řezů navrženým systémem a vlastní výpočet zvolených parametrů reaktoru.

2 Koeficient násobení

V našem projektu jsme použili MCNP k výpočtům tzv. koeficientu násobení, který udává aktuální stav řetězové reakce. Počítá se jako poměr počtu aktivních neutronů v současné generaci k počtu v generaci předešlé, tj.

$$k_{ef} = \frac{n_i}{n_{i-1}}$$

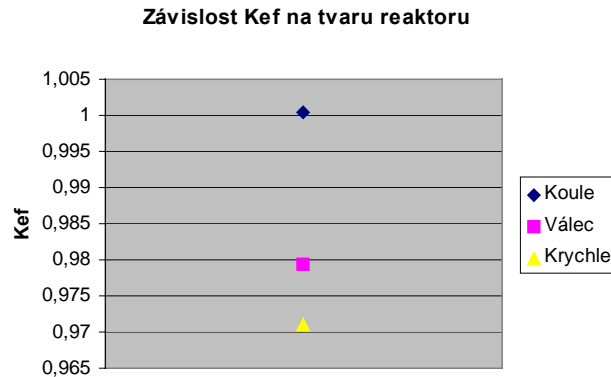
Mohou nastat de facto tři reálné situace:

1. **podkritický reaktor** ($k_{ef} < 1$) – aktivních neutronů s časem ubývá, jsou absorbovány v moderátorech nebo vylétávají ven skrz obal reaktoru, výkon klesá.
2. **kritický reaktor** ($k_{ef} = 1$) – výkon je konstantní, z každého rozštěpeného jádra se pouze jeden neutron účastní další reakce.

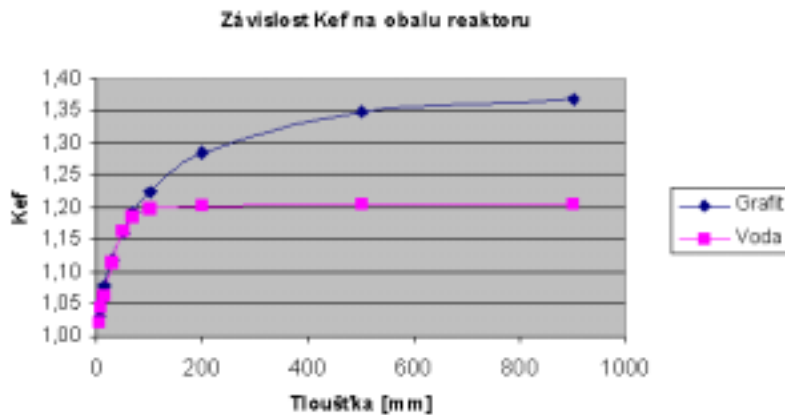
3. **nadkritický reaktor** ($k_{ef} > 1$) – počet neutronů roste geometrickou řadou a reakce se může snadno stát neříditelnou.

3 Výpočet k_{ef} pro různé reaktory

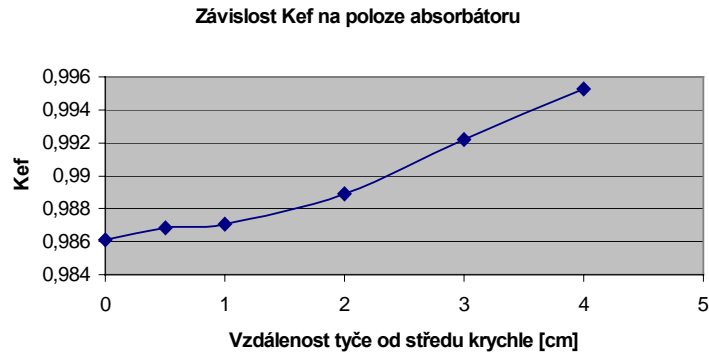
Koeficient kritičnosti závisí mimo jiné na tvaru reaktoru, respektive na jeho povrchu. Pro výpočet použijeme kouli, váleček a krychle z $^{239}_{94}\text{Pu}$ o stejném objemu $V = 1002,533 \text{ cm}^3$.



Z grafu je patrné, že kritičnost klesá se zvyšujícím se povrchem reaktoru, protože větší povrch způsobuje častější úniky neutronů. V praxi je palivo obklopeno tzv. obalem, který zpomaluje vylétávající neutrony a vrací je zpět do reaktoru. V našem případě jsme použili kulový reaktor s různě silnými obaly z vody a grafitu.



Další metodou řízení štěpné reakce je používání tzv. absorbátorů. Absorbátory jsou tyče z materiálů, které pohlcují letící neutrony a tím snižují kritičnost. Vliv absorbátoru jsme vyzkoušeli na krychlovém reaktoru obklopeném vodou ($k_{ef} = 1.00103$), do kterého jsme experimentálně umístili váleček z $^{10}_5\text{B}$ o průměru 5 mm.



Štěpná reakce v našem hypotetickém reaktoru je aktivována zdrojem neutronů umístěným vprostřed plutoniové krychle, proto se směrem od středu snižuje hustota neutronů a tím i počet částic pohlcených v absorbátoru.

4 Shrnutí

Naučili jsme se základy práce s výpočtovým kódem MCNP a pochopili principy řízení štěpných reakcí v jaderných reaktorech.

Poděkování

- Katedře jaderných reaktorů FJFI ČVUT v Praze
- Ing. J. Ratajovi a Ing. I. Školovi – našim ochotným supervisorům
- Automatu na kávu dole v přízemí

Reference:

- [1] doc. ing. HEŘMANSKÝ, B. CSc: *Dynamika jaderných reaktorů* MŠ ČSR, 1987
- [2] *MCNP Overview and Theory* (<http://laws.lanl.gov/x5/MCNP>)
- [3] Oak Ridge National Laboratory: *Manuál k výpočtovému kódu MCNP-4A*