

Použití metody Monte Carlo pro určení kritického stavu jaderného reaktoru

Dan Humpál¹; Jan Batysta²

¹Gymnázium Christiana Dopplera; Praha

²Gymnázium J. V. Jirsíka; České Budějovice

dan.humpal@gmail.com

Abstrakt:

Naše práce se zabývala kritickým stavem lehkovodního jaderného reaktoru. Kritický stav reaktoru je moment, kdy v prostředí zůstává konstantní množství tepelných neutronů, tudíž se štěpná reakce udrží při stálém výkonu. Naše práce se zabývala analýzou vlivu vybraných parametrů na jeden z koeficientů zpětných vazeb. Analýza se zakládala na výpočtech v kódu SERPENT.

1 Teorie

Klíčové pro naši práci bylo, jakým způsobem fungují jaderné reaktory. Základním faktorem při štěpné reakci je tak zvaný „efektivní koeficient násobení“. Jde o veličinu, která určuje poměr počtu neutronů ve dvou po sobě jdoucích generacích.

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}}$$

V případě, že koeficient je roven jedné, je reaktor v kritickém stavu. U hodnoty menší než jedna, jde o stav podkritický, naopak v případě hodnoty větší než jedna jde o stav nadkritický.

Moderátor je látka, která dokáže zpomalit neutron na energii, při které je schopen s velkou pravděpodobností štěpit jádra U-235. V našem případě funguje jako moderátor lehká voda. Moderátor má schopnost jak neutrony zpomalit (žádaný jev), tak absorbovat (nežádaný jev). Při malém objemu moderátoru není dost neutronů zpomaleno na udržení štěpné reakce, tento systém se nazývá podmoderovaný. Při příliš velkém objemu bude naopak větší pravděpodobnost pro absorbování tepelných neutronů v moderátoru, tento systém se nazývá přemoderovaný.

Množství moderátoru je ovlivněno především změnou jeho hustoty. Pokud teplota vody stoupne v přemoderovaném reaktoru, její hustota se zmenší a bude pohlcovat méně neutronů. Tím vzroste efektivní koeficient, což povede k dalšímu zvýšení výkonu a tím i teploty. Pokud reaktor bude podmoderovaný a stoupne teplota, nebude se zpomalovat dost neutronů, sníží se výkon a teplota se dostane do normálu. Tomuto jevu se říká dutinový koeficient zpětné vazby. Návrh reaktoru je třeba připravit s ohledem na bezpečnost celého systému. Proto se používá podmoderovaný systém, který sám reguluje přehřátí.

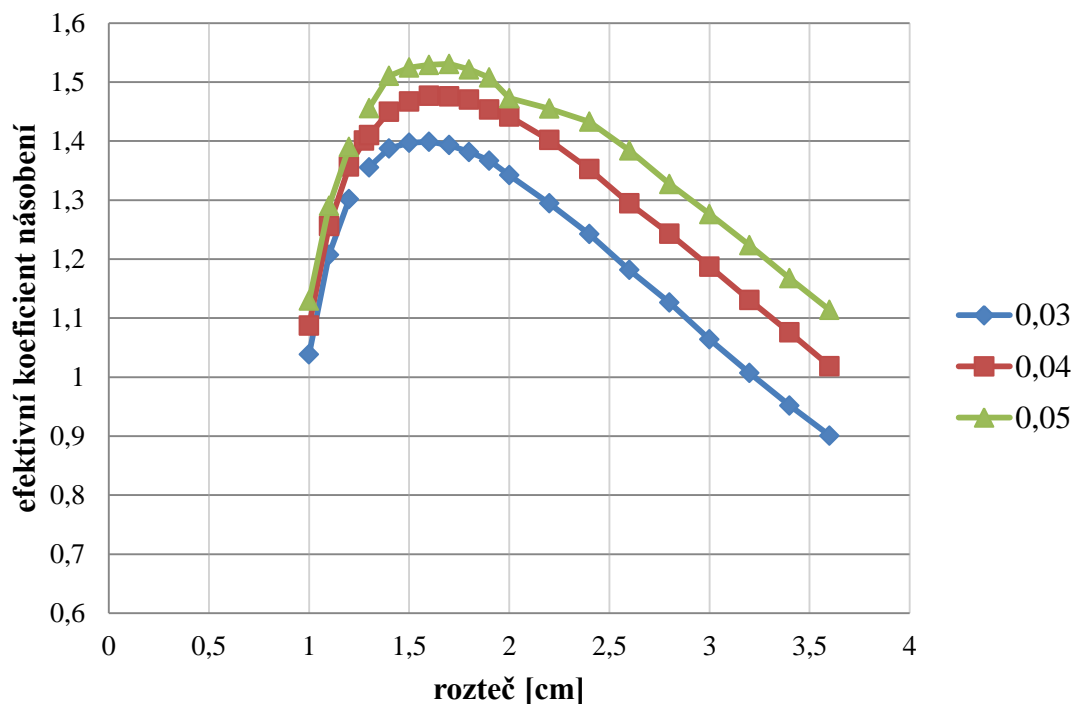
2 Simulace

Výpočty byly prováděny kódem Serpent (verze 1.1.19), jenž je založený na metodě Monte Carlo.

Simulaci jsme prováděli v jednoduchém geometrickém prostředí. Pro zjednodušení jsme uvažovali palivový proutek nekonečný v axiálním směru. Tento proutek byl obklopen příslušným množstvím vody, která zde působila jako moderátor. Buňka, jež určuje objem moderátoru, měla šestiúhelníkový tvar. Tato konfigurace simuluje reálné trojúhelníkové rozprostření proutků. Hranice šestiúhelníkové buňky jsou definovány jako periodické, tedy neutrony se místo opuštění oblasti vrací z opačné strany. Tímto postupem simulujeme nekonečnou mřížku.

Pomocí Serpentu jsme počítali efektivní koeficient násobení při změně významných parametrů: objem moderátoru, obohacení paliva, koncentrace absorbátoru a teplota moderátoru a paliva.

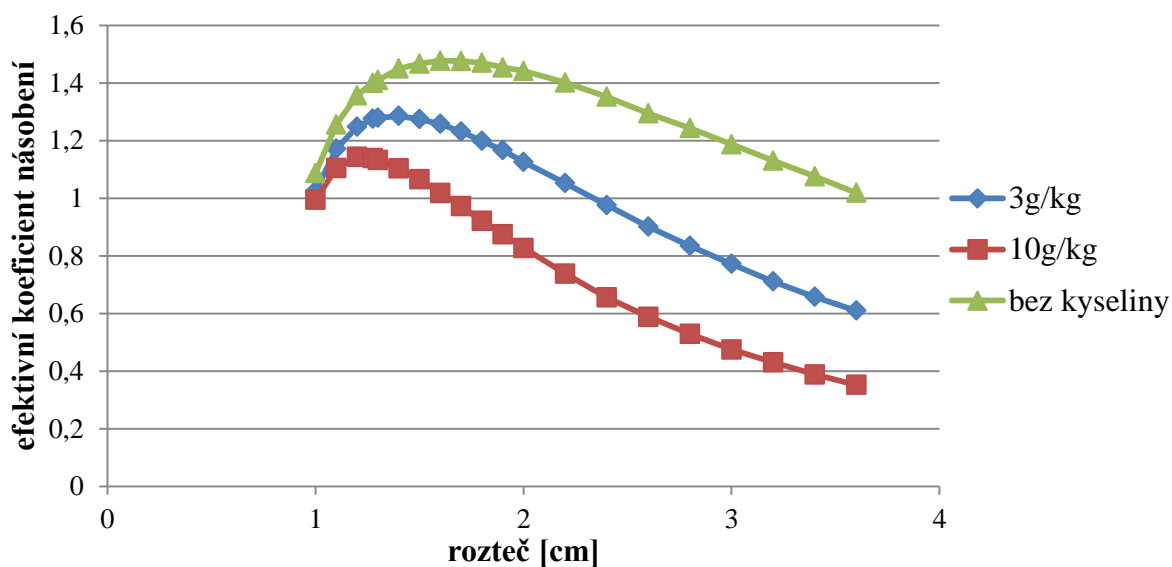
V první simulaci jsme hledali dutinový koeficient zpětné vazby pro různě obohacené palivo. Výsledky první simulace jsou zobrazené na Grafu 1.



Graf 1 – Graf závislosti efektivního koeficientu násobení na velikosti rozteče pro různě obohacené druhy paliva; výsledky simulace byly vypočteny kódem Serpent verze 1.1.19

Z grafu je patrné, že čím více palivo bohatší na U-235, tím vyšší je hodnota efektivního koeficientu násobení za dané rozteče.

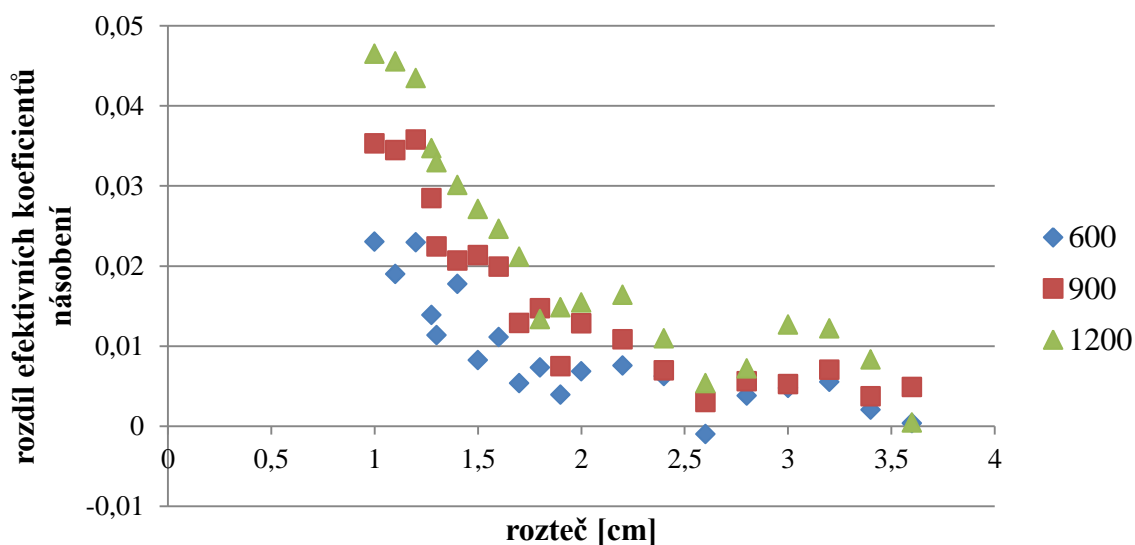
Při druhé simulaci jsme zohledňovali vyšší koncentrace kyseliny borité H_3BO_3 jako absorbátoru na efektivní koeficient násobení. Zde jsme však nebrali v potaz různé obohacení paliva.



Graf 2 – Graf závislosti efektivního koeficientu násobení na velikosti rozteče pro různé hodnoty koncentrace kyseliny borité; výsledky simulace byly vypočteny kódem Serpent verze 1.1.19

Z výsledků simulace je zřejmé, že absorbátor v podobě kyseliny borité H_3BO_3 významně snižuje efektivní koeficient násobení simulované štěpné řetězové reakce. Dalším významným výsledkem simulace je fakt, že s rostoucí koncentrací absorbátoru je maximální hodnota dosažená při nižších roztečích. Porovnání výsledků simulace s parametry reálného provozu (rozteč 1,275 cm) ukazuje, že zvyšování koncentrace kyseliny borité může způsobit přemoderování systému.

Naše třetí simulace ukazuje vliv teploty systému a zvýšení teploty paliva oproti naší první simulaci při daných hodnotách rozteče



Graf 3 – Graf rozdílů efektivních koeficientů násobení v závislosti na velikostech rozteče pro různé teploty paliva; výsledky simulace byly vypočteny kódem Serpent verze 1.1.19

Simulace ukazuje, že při simulaci štěpné řetězové reakce nelze zanedbávat vliv teploty prostředí. Dále ze simulace vyplývá, že se stoupající roztečí palivových proutků se snižuje vliv teploty prostředí na štěpnou reakci. Graf také ukazuje, že s rostoucí teplotou vliv na efektivní koeficient násobení roste.

3 Závěr

Provedené jednoduché simulace ukazují, že námi zkoumané faktory mají významný vliv na určování parametrů dutinového koeficientu zpětné vazby. V reálném je nelze zanedbat. Výsledky jednotlivých výpočtů mají předpokládaný charakter. Z hlediska bezpečnosti je nutné provozovat reaktory v podmoderovaném stav. Ze získaných výsledků vyplývá, že při roztečí proutků, která je používána v JE Temelín, je přemoderování systému dosaženo pouze v případě vysoké koncentrace kyseliny borité. Takto vysoká koncentrace kyseliny borité není při provozu reaktoru dosahována. Skutečná hodnota efektivního koeficientu násobení je ovlivněna i dalšími parametry.

Poděkování

Rádi bychom tímto poděkovali Ing. Lence Heraltové za její neúnavnou podporu a pomoc při rozšiřování vědomostí a pomoc při simulacích a výpočtech.