

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Technická 3058/10, 61600 Brno 16

Oponentní posudek diplomové práce

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Akademický rok: **2015/16**

Student(ka): **Bc. Radek Janošek**

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika (N2643)

Studijní obor: Elektroenergetika (3907T001)

Vedoucí diplomové práce: Ing. Filip Novotný

Oponent diplomové práce: Ing. Karel Katovský, Ph.D.

Název diplomové práce:

Výpočet vyhořívání jaderného paliva reaktoru VVER 1000 pomocí programu KENO

Celkové hodnocení diplomové práce:

Předloženou diplomovou práci **doporučuji** k obhajobě.

Celkový počet bodů: **80**.

Slovní hodnocení:

Student Radek Janošek vypracoval diplomovou práci zaměřenou na výpočetní analýzu jaderného reaktoru VVER-1000 pod vedením Ing. Filipa Novotného. Téma i zaměření diplomová práce jsou sice obecné, nicméně i tak velmi aktuální a přínosné. Výpočty časových závislostí parametrů aktivní zóny jaderného reaktoru během palivové kampaně jsou zásadně důležité pro plánování, provoz, bezpečnost i výzkum a vývoj v oblasti jaderné energetiky. Díky diplomové práci pana Janoška se skupině Filipa Novotného podařilo vytvořit základní modely reálného jaderného reaktoru, které budou základem dalších přínosných analýz. Zadání práce (včetně definice cílů) je provedeno široce a obecně, vše směřuje k jednomu základnímu cíli, a to vytvoření a odladění modelu reaktoru VVER-1000 v programu KENO. Volba výpočetního nástroje je vhodně provedena, program KENO je moderní alternativou k častěji používaným kódům (MCNP, SERPENT) a může tak být použit pro nezávislé analýzy.

Práce má včetně počátečních formalit 104 stran, je zpracována komplexně, přehledně. Student se pokouší definovat a popsat veškeré fyzikální zákonitosti a související technické, provozní i bezpečnostní skutečnosti, které se nějak týkají toho, čím se poté zabývá ve výpočetní části práce. Postupuje logicky a deduktivně, velmi pečlivě, z textu je cítit, že každou větu student dobře zvažoval a snažil se čerpat vždy z několika zdrojů. Výsledkem je tedy spíše téměř skriptum než standardní studentská práce. Považuji to zároveň za velmi přínosné a pozitivní, zároveň je to však i jedna ze dvou velkých slabin práce – provázanost jednotlivých částí není ideální a uvedení jednotlivých popisných a teoretických částí do souvislosti s výsledky výpočetních analýz je často vágní (jak s prováděnými výpočty souvisí stupnice INES? jak stromy poruch a událostí? atp.). Jazykově je práce vyvážená, sloh je čtivý, důležité skutečnosti jsou popisovány, obrázky i tabulky komentovány. Práci by však přeci jenom pomohla ještě jedna dodatečná jazyková korektura – jednopísmenné předložky často zůstávají osamoceny na koncích řádků, práce obsahuje mnoho chyb v interpunkci, objevuje se, bohužel, i neshoda podmětu s přísudkem. Student čerpal z velkého množství literárních pramenů, evidentně přečetl mnoho různých knih, článků i studentských prací a manuálů. Ocenil bych v literatuře větší množství časopiseckých publikací a zvážení některých měkkých zdrojů (čerpání dat o stupnici INES z wikipedie nebo o jaderné bezpečnosti z blogů považuji za zbytečné, nicméně nejsou to jediné zdroje k problematice, takže mohou být považovány za doplnění mozaiky zdrojů a akceptovány). Používání citací je časté, bohužel, však poněkud nesprávné – student zásadně cituje zdroje na koncích odstavců, i když by mnohdy bylo velmi vhodné citovat uvedený údaj nebo skutečnost přímo v textu.

Práce je celkově velmi zdařilá, přínosná svou komplexností, vytvořený model je velmi cenný a bude moci být dále rozvíjen a využit ve výuce i při výzkumné práci skupiny kolegy Novotného. Práce při prvním přečtení aspirovala v mých očích na výborné hodnocení a zdála se být adeptem na některé z ocenění (zejména s ohledem na komplexnost a na množství provedené práce, zpracovaného textu a provedených analýz – které byly pro studenta kompletně nové, nesetkal se s nimi při výuce ani při své předchozí práci!).

Bohužel, dobrou práci od práce výborné odlišují většinou detaily a tato práce v mnohých detailech poněkud pokulhává.

Zmínil jsem jako nedostatek jistou neprovázanost jednotlivých částí práce. Druhý nedostatek, který mi nedovoluje práci hodnotit jako výbornou je velké množství drobných faktických chyb, které vznikly pravděpodobně nekritickým převzetím z literatury nebo přílišným zjednodušením některých formulací či z jiných důvodů, nicméně práci poněkud diskvalifikují. Za tyto drobné nedostatky lze považovat např.: tvrzení, že jako první zdroj pro výrobu elektrické energie byl jaderný reaktor použit v roce 1954; že první elektrárny byly určeny zejména pro výrobu plutonia a elektřina byla pouze vedlejší produkt; tvrzení, že reaktory první generace již nejsou prakticky v provozu; uvedení reaktorů generace IV. do provozu v roce 2030; že většina provozovaných elektráren využívá heterogenní reaktory; že u rychlých reaktorů se moderátor běžně nepoužívá; zavádějící spojení RBMK a LWGR a stejně tak PHWR a CANDU v tabulce 2-1. Vyroženě za nešťastné považuji členění reaktorů VVER, které může čtenáře uvést v omyl – student zařazuje reaktory V-320 do generace III., V-230 a dokonce V-179 do generace II. Zde pravděpodobně smíchal vývojové generace reaktorů VVER s rozdělením reaktorů do „generací“ podle kritérií souvisejících s jadernou bezpečností a ekonomických využitím. Je to velká škoda, práce mohla být velmi dobrý studijním materiálem pro další studenty. Definice jaderné bezpečnosti není uvedena správně; pravděpodobnosti by spíše měly být vtaženy na reaktor*rok; v tabulce 4-2 nejsou uvedeny příklady pro všechny stupně (opět škoda – příkladů je mnoho); v tab.4-3 není jasné, zda se jedná o úmrtí či pouze nehody; v rovnici transportu je absorpce zaměněna za záchyt (při detailním pohledu jde ale o odlišné jevy); nodální metody nemusí nutně řešit difúzní rovnici a nemusí ji nutně řešit dvojgrupově; chyba vs. nejistota; matoucí je také vysvětlení na str.65 o tendru na ekonomičtější a efektivnější využití paliva na ETE – dodávky paliva firmou WEC byly součástí kontraktu na řídicí a monitorovací systém; nejasné je také zmínění kyseliny borité mezi výčtem vyhořívajících absorbátorů na str.67 (v tomto ohledu není také jasné tvrzení, že na počátku je nastavena koncentrace kyseliny borité, která potom vyhořívá); informace o zanedbání rozpadu Pu-241 je asi překlepem (autor pravděpodobně myslel Pu-242, jelikož rozpad Pu-241 zanedbat nelze); používání termínu atomové číslo není vhodné (jedná se za zastaralý výraz, který byl nahrazen pojmem protonové číslo); na str. 83 je definován přebytek reaktivity jako praktická nutnost, aby byl kef větší než 1, následně je v dalším odstavci připuštěno, že může být menší než 1; malé vyhoření vs. nízké vyhoření; atp. Jedná se o drobné nedostatky, které zanikají v jinak velmi čtivém a přehledném textu, nicméně je velká škoda, že v práci zůstaly.

V seznamu zkratk by bylo vhodné uvádět nejen význam zkratky v českém jazyce, ale i v původním významu, aby čtenář mohl pochopit, proč se vůbec daná zkratka používá – autorův překlad může být v tomto ohledu poněkud zavádějící (např. CANDU a PHWR). V seznamu je drobná chyba u reaktoru LWGR; u veličin by se nemělo stát, že dvě různé veličiny jsou označovány stejným písmenem.

Závěrem konstatuji, že přes uvedené připomínky, práci hodnotím jako velmi povedenou a přínosnou, student v ní jednoznačně deklaruje splnění zadání, a proto práci doporučuji k obhajobě. Práci navrhuji hodnotit 80 body, tedy stupněm B (2+, velmi dobře).

Otázky k obhajobě:

- 1) Jakým způsobem program KENO počítá změnu izotopického složení od jednoho kroku vyhoření k druhému v případě, že efektivní koeficient násobení je různý od jedné (tedy ve většině Vámi počítaných případů)? V takovém stavu totiž reaktor není v ustáleném stavu a de-facto není možné určit ustálenou hustotu toku neutronů, která vstupuje do Batemanových rovnic vyhořívání.
- 2) Jak je možné, že při výpočtu první kampaně ETE s palivem TVSA-T (tedy více-méně reálného cyklu) dochází k jevu, že koeficient násobení soustavy klesne pod jedničku ještě před 304. dnem (přibližně v 258. dnu)? Odpovídá to reálnému konci bórové kampaně nebo je to důsledek nějakého zjednodušení?
- 3) Rozdíly v integrálních parametrech aktivní zóny mezi Vaším „homogenním“ a „heterogenním“ modelem jsou značné a bude třeba je ještě analyzovat. Jak ale vypadá srovnání výkonů (či hustot toků) v jednotlivých palivových souborech? Je možné provést toto porovnání s použitím Vašich modelů či nikoliv? Pokud ano, jak se například liší průběh výkonu v periferních souborech v průběhu cyklu?

Ing. Karel Katovský, Ph.D.
Oponent diplomové práce