

Oponentský posudek disertační práce Ing. Vojtěcha Cahy na téma „Modely příčného proudění pro subkanálovou analýzu“.

Zpracovatel:

Ing. Jiří Macek CSc.

Ústav jaderného výzkumu Řež.

250 68 Řež

Tel: 2 6617 2329

Fax: 2 6617 2334

e-mail: jiri.macek@ujv.cz

Předložená práce byla posuzována z hlediska aktuálnosti tématu, metody zpracování, splnění zadaných cílů a vědeckého přínosu práce.

Disertační práce p. Ing. Cahy se zabývá využitím výsledků CFD výpočtů pro modelování příčného proudění, které bude využito pro model subkanálové analýzy v programu CALPER. Výsledky jsou aplikované na reaktory VVER za podmínky konstantní teploty. V práci je popsána a použita CFD metoda, s modelem turbulence RSM BSL, nahrazující chybějící experimentální data, pro ověření a nastavení modelování příčného proudění v subkanálovém programu.

Aktuálnost tématu

Zpřesnění modelování příčného proudění v analýze svazků palivových proutků vede ke správné predikci parametrů chladiva (hmotnostní tok, suchost, teplota atd.) a následně k přesnějšímu určení bezpečnostních limitů paliva, zejména pak DNBR v bezpečnostních analýzách a stacionárních a provozních režimech jaderných reaktorů. Příčné proudění je silně ovlivněno geometrickými charakteristikami svazku proutků, což znesnadňuje vytvoření univerzálních zjednodušených modelů pro jeho výpočty. Příčné proudění není, při subkanálové analýze, možné řešit přímo z rovnic zachování, ale je nutné použití konkrétních modelů. Řešení a výsledky takovýchto prací jsou ze shora uvedených důvodů velmi aktuální z hlediska hodnocení bezpečnosti provozu jaderných tlakovodních reaktorů.

Metoda zpracování

V úvodní části práce byla popsána metoda subkanálové analýzy s uvedením základních rovnic zachování hmoty, energie a hybnosti v axiálním i příčném směru. Uvedené informace se zaměřily na popis konkrétního subkanálového programu SUBCAL. Pro výpočty metodou CFD byl využit komerční program ANSYS Fluent. Vzhledem k anizotropnímu charakteru turbulentního proudění v řešené geometrii trojúhelníkové mříže byl použit model turbulence RSM BSL.

V rámci práce byla provedena rešerše dostupných experimentů provedených na svazku palivových proutků, které svým charakterem a množstvím detailních informací umožňují srovnání subkanálového programu s CFD programem a zároveň posloužila k jeho validaci. Validační výpočty programu ANSYS FLUENT byly provedeny s použitím RSM BLS modelu turbulence.

V rámci validace pak byly provedeny citlivostní analýzy vlivu velikosti výpočetní sítě s různým počtem buněk na výsledky analýzy. Na základě validačních výpočtů byly vytvořeny podobné modely pro CFD i subkanálovou analýzu, které jsou schopné postihnout příčné proudění mezi jednotlivými subkanály palivových svazků.

Byl vytvořen model dvou 1/6 typických subkanálů v „nekonečné“ trojúhelníkové mříži. Výpočetní oblast byla zvolena tak, aby pokrývala rozhraní mezi dvěma subkanály s využitím symetrie mříže. Na vstupu bylo možno zadávat pro oba subkanály různé předem napočtené profily proudění. Ve všech případech byla jako proudící tekutina použita voda při konstantní teplotě 300 °C a výstupním tlaku 15 MPa. Vytvořený model sloužil pro analýzu pomocí programu ANSYS Fluent.

Následně byly se stejnými vstupními režimovými parametry a na stejném geometrickém modelu provedeny výpočty subkanálovým kódem SUBCAL. V rámci analýz byla do modelu subkanálové analýzy zahrnuta i drsnost povrchu paliva. Tyto výpočty zahrnovaly iterační hledání takové drsnosti, aby celková tlaková ztráta spočtená CFD kódem ANSYS Fluent odpovídala tlakové ztrátě spočtené subkanálovým přístupem.

V poslední fázi byl na základě nalezených optimálních hodnot koeficientu odporu K_{ij} vytvořen pomocí nelineární metody nejmenších čtverců nový vztah odporu příčného proudění v trojúhelníkové mříži platný pro $1,1 \leq P/D \leq 1,5$ a v rozsahu příčných Reynoldsových čísel $Re_{lat.} < 1,2 \cdot 10^4$. Tento vztah je nyní, dle autora, možné používat při výpočtech subkanálovým kódem SUBCAL.

Splnění zadaných cílů a vědeckého přínosu práce

Dle posledního odstavce uvedeného v metodice zpracování, disertant prokázal splnění daného cíle práce a nastínil další možné pokračování v tomto tématu. Příkladem je zahrnutí přestupu tepla z proutků do chladiwa a uvažování různých ohřevů v sousedících subkanálech pro odvození koeficientu turbulentního míšení a detailní modelování různých typů distančních mřížek v CFD modelu.

Rozsahem, zpracováním a návrhem možného postupu řešení použití výsledků analýz CFD programů pro potřeby subkanálových analýz prokázal disertant hodnotný odborný přínos výsledků práce a možné další rozšíření zpracování problematiky v budoucnu.

K posuzované práci mám následné připomínky a otázky:

- Práce obsahuje poměrně velkou část informací rešeršního charakteru, která zvyšuje rozsah dizertace, předpokládal bych, že rešerše by měla být obsahem zprávy k předchozím zkouškám a v dizertaci by byl uveden odkaz.
- byla provedena rešerše dostupných experimentů provedených na svazku proutků, které svým charakterem a množstvím detailních informací umožňují srovnání se CFD programem a posloužila k jeho validaci. Dle mého názoru byly experimenty zaměřeny

na rychlé reaktory – hexagonální geometrie a.z. a byly provedeny na vzduchu, jako pracovní médium. **Bylo provedeno posouzení s možnou aplikací na VVER-tlakovodní reaktor (VVER 1000 a VVER440)? Včetně posouzení vhodnosti přenosu výsledků?** Ve všech konkrétních případech analýz pak byla jako proudící tekutina použita voda při konstantní teplotě 300 °C a výstupním tlaku 15 MPa.

- Na základě validačních výpočtů CFD modelu byly vytvořeny podobné modely pro CFD i subkanálovou analýzu, které jsou schopné postihnout příčné proudění mezi jednotlivými subkanály. **Na vstupu bylo možno zadávat pro oba subkanály různé předem napočtené profily proudění, viz. Obr 35 práce?** Jak byly tyto profily vybrány?
- Reálné použití výsledků, reálné výsledky:
Pro porovnání výpočty prováděné CFD kódem ANSYS Fluent, tak subkanálovým kódem SUBCAL byl vytvořen model dvou 1/6 typických subkanálů v „nekonečné“ trojúhelníkové mříži. Výpočetní oblast byla zvolena tak, aby pokrývala rozhraní mezi dvěma subkanály s využitím symetrie mříže. Model je uveden na obr.č.35, viz následné.



Obr. 35: Řešená oblast dvou 1/6 subkanálů (subkanál č. 1 – červeně, subkanál č. 2 – modře) str.70

Pokud se výměna pomocí turbulentního míšení zkoumá na styčné ploše uvedených subkanálů, prosím o vysvětlení okrajových podmínek na zbylých dvou plochách každého subkanálu. Jakým způsobem se prezentuje v okrajových podmínkách symetrie mříže?

- Při řešení úlohy je uvedeno zahrnutí drsnosti palivových proutků do používaných korelací pro subkanálovou analýzu. Jakým způsobem je modelována drsnost v modelech CFD?

Závěr.

Bez ohledu na uvedené připomínky lze předloženou práci hodnotit velmi kladně. Je nutno vyzvednout snahu disertanta v co nevyšší míře postihnout celou problematiku řešení a návrh využití výsledků analýz CFD programy pro určení turbulentního příčného mísení v subkanálovém programu. Předloženou práci doporučuji k obhajobě a **doporučuji, v případě úspěšného průběhu obhajoby disertační práce, aby panu Ing. Vojtěchu Cahovi byl udělen titul PhD v příslušném oboru**

V Praze 2.2.2022