

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	High Heat Flux Cooling Technology
Jméno autora:	Vojtěch Smolík
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní (FS)
Katedra/ústav:	Ústav energetiky
Oponent práce:	Ing. Ladislav Vyskočil, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	ÚJV Řež, a.s., Hlavní 130, 250 68 Husinec-Řež

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání práce je náročnější, student se musí podrobně seznámit s CFD programem Ansys Fluent, vytvořit pro něj vstupní model a provést simulaci proudění s varem.	

Splnění zadání	splněno s většími výhradami
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Teoretická část práce obsahuje velké množství chyb a v tomto stavu by se neměla publikovat. Výpočty provedené v praktické části práce splňují zadání.	

Zvolený postup řešení	správný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Při řešení úloh v praktické části práce student postupoval správně. Výpočetní oblast i okrajové podmínky úloh jsou zvoleny správně. Výhrady lze mít k některým použitým nastavením řešiče programu Fluent. Student se pokusil ověřit nezávislost řešení na síti. Vyhodnocení výsledků je provedeno správně.	

Odborná úroveň	C - dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
K teoretické části práce má oponent má celou řadu výhrad.	
V práci se opakovaně vyskytují nesprávná označení jednotek SI. Například „Kg.m ⁻³ “ místo kg.m ⁻³ pro hustotu na str.11 (je tam více podobných chyb), „Kg/s“ místo kg/s na str. 36, „J/kg.K“ místo J/kg/K pro měrnou tepelnou kapacitu na str. 57, „W/m.K“ místo W/m/K pro tepelnou vodivost na str. 57, „J/Kmol“ místo J/kmol pro molární entalpii na str. 58.	
Ve Feynmanově diagramu pro rozpad Beta+ (str.14) jsou obráceně šipky u positronu a elektronového neutrina. Šipka u částice má jít ve směru času, šipka u antičástice proti směru času. Případně je nutné vysvětlit význam šipek. V diagramu chybí popis vodorovné osy.	
Popis Lawsonova kritéria na str. 15-16 je zmatený. Jsou zde rovnice bez vysvětlení významu jejich veličin. Veličiny v rovnicích nejsou ani uvedeny v seznamu symbolů na str.11. Takový text pak nemá žádnou informační hodnotu. V rovnici (7) je symbol „k“, přičemž tento symbol neznamená ani tepelnou vodivost ani turbulentní kinetickou energii, které jsou uvedeny pro symbol „k“ v seznamu veličin na str. 11. Chybí vysvětlení významu závorek < > v rovnici (10). Na str.16 se píše, že n ² je “square of density”, tj. čtverec hustoty, ale už se nedozvíme, hustoty čeho. U obr.4 by bylo vhodné napsat, co znamená jednotka barn.	
Na str. 23 je napsáno, že „Joint European Torus (JET)“ byl postavený v centru Culham ve Spojených státech. Není to pravda, výzkumné centrum Culham je poblíž města Abingdon v Anglii, tokamak JET je tamtéž.	

Na str. 23 autor uvádí, že cílem tokamaku ITER je získat z fúze 500 W tepelného výkonu. To je chybný údaj, plánovaný výkon tokamaku ITER by měl být 500 MW, tj. o 6 řádů vyšší.

Na str. 27 na obr.15 je křivka varu z experimentu Dr. Shiro Nukiyamy pro var ve velkém objemu s řízenou teplotou stěny. Tématem diplomové práce je hypervapotron pro chlazení částí fúzního reaktoru, což je ale systém s řízeným tepelným tokem a křivka varu pro něj vypadá trochu jinak.

Na str. 29 je popis podchlazeného varu, kde se píše, že parní bubliny nedosáhnou hladiny. To se týká jen varu ve velkém objemu, ale ne hypervapotronu, v němž hladina není. Dále je zde zavádějící text začínající „In the case of flowing liquid...“, kde má autor zřejmě na mysli var při nucené konvekci. Problém je, že kapalina proudí i při varu ve velkém objemu.

Na str. 30 je špatně napsaná Fourierova - Kirchhoffova rovnice pro trojrozměrné nestacionární vedení tepla v tuhém tělese. Viz rovnici (26), uvnitř závorky má být součet místo násobení.

V rovnici (27) je součinitel přestupu tepla označený „h“, ale v seznamu veličin (str. 11) symbol „h“ značí entalpii.

Na str. 31 je odstavec „Standard Wall Boiling Model“ s rovnicemi modelu dělení tepelného toku na stěně. Není zde uveden žádný odkaz ani zmínka o tvůrcích tohoto modelu a chybějí i odkazy na autory jednotlivých korelací. Model dělení tepelného toku vytvořili pánové Kurul a Podowski z Rensselaer Polytechnic Institute (RPI), tento model se proto běžně označuje jako „RPI wall heat flux splitting model“. Model Kurul-Podowski je přitom zcela zásadní pro výpočty provedené v praktické části práce a je tedy podivné, proč zde není uveden odkaz na tento model ani nejsou zmíněna jména jeho autorů.

V textu se objevují následující rovnice (korelace) bez jakéhokoliv odkazu na jejich autory: Lemmert – Chawla (hustota aktivních nukleačních pozic) na str. 31 a Ceumern-Lindenstjerna (frekvence odpoutávání bublin od stěny) na str. 32. Jméno autorů korelace Tolubinski-Konstančuk (37) na str. 32 se čtenář dozví až na str. 65.

Na str. 32 jsou uvedeni autoři korelací Ůnal a Kocamustafaogullari - Ishii, ale chybějí odkazy na jejich původní publikace. Ůnalova korelace (39) je napsána špatně, místo 2.4210^{-5} má být $2.42 \cdot 10^{-5}$. Dále se v textu píše, že výsledky korelace Ůnal jsou v milimetrech. Není to pravda, výsledný průměr bubliny je v metrech. Dále v textu chybí zmínka, v jakých jednotkách se dosazuje tlak do Ůnalovy korelace. V původní práci je v Ůnalově korelaci „b“ pod odmocninou, v rovnici (39) je „b“ vně odmocniny. Proto by bylo dobré uvést, odkud student tuto korelaci získal.

Tepelné toky v obr.19 neodpovídají číselným údajům v textu na str.33.

Na str. 34 není uvedeno, co znamená výška „h“ u kanálu s členitou stěnou. Je to výška včetně štěrbin nebo bez nich? Chybí zde rovněž vysvětlení, co znamenají plochy A_{vap} a A_{feed} .

Na obr.21(a) není uvedeno, co znamená barevná škála. Na obr.21(b) chybí veličina na vodorovné ose.

U rovnic (45) není uveden přesný význam jednotlivých symbolů.

U rovnice (50) chybí vysvětlení, co znamená ΔT_{sc} .

Na str. 37 chybějí odkazy na literaturu u korelací Shah, Thom, Aladiev, Jens - Lottes a Kandlikar.

Na str. 38 je třeba napsat, v jakých jednotkách je tlak a tepelný tok v Thomově korelaci a v korelaci Jens - Lottes. Tlak se zde dosazuje v MPa, přičemž v seznamu symbolů na str.11 je jednotka tlaku Pa. Tepelný tok se dosazuje v MW/m².

Na str. 36-38 by měl autor diplomové práce upozornit na problémy s rozsahem platnosti korelací v odkazované publikaci. Korelace Thom a korelace Jens & Lottes platí pro var vody proudící směrem nahoru ve svislém kanálu. V experimentu na obr. 22 je ale vodorovná měřící sekce. U korelace Jens-Lottes je uveden špatný rozsah platnosti, korelace byla vytvořena

z experimentů v rozmezí tlaků 0,59-17,24 MPa. Platnost korelace Jens-Lottes je dále omezena na určité rozmezí tepelných toků a hmotových toků a platí pro trubky s malými průměry, což student neuvádí. Korelace Thom je použita mimo rozsah svojí platnosti u vysokých tepelných toků, korelace platí pro tepelný tok menší než 1,58 MW/m². Platnost korelace Thom je dále omezena na určité rozmezí rychlostí a tlaků vody, což student neuvádí.

Na str. 45 se píše, že Milnes změnil defaultní nastavení modelu pro průměr bubliny odpoutávající se od stěny v programu CFX na korelaci Tolubinski – Konstančuk. Nezměnil, defaultní nastavení v programu CFX je právě tato korelace. A bylo tomu tak i v roce 2010, kdy Milnes psal svoji práci.

Na str. 46 se píše, že Milnes použil zjednodušený model Volume-of-Fluid (VOF), což je v rozporu s údaji v Tabulce 2 na str. 45. Z tabulky je vidět, že Milnes použil přístup Euler-Euler. Použití korelace pro odporovou sílu znamená, že každá fáze má svoje rychlostní pole čili není to přístup VOF, který řeší jednu rovnici hybnosti pro obě fáze. Dále je z tabulky vidět, že každá fáze má svůj model turbulence.

Na str. 47 a str. 54 je opakovaně jméno autora Domalapally zkomoleno na „Domalapallya“.

Na str. 47 je odstavec s názvem „Rohsenow Boiling Model“, ovšem rovnice v tomto odstavci jsou úplně jiné, než korelace Rohsenow použitá v programu STAR-CCM+. Korelace Rohsenow je uvedena až na str. 54, ale i tam je v ní chyba. Tabulka 3 na str. 48 uvádí parametry použité v modelu Rohsenow, jenže tyto parametry se nevyskytují v rovnicích v odstavci „Rohsenow Boiling Model“ na str. 47. Na str. 47 jsou opět rovnice bez vysvětlení významu v nich použitých veličin.

Na str. 47 je nadpis odstavce „The Transition Boiling Model“, ale následující text s tímto nadpisem zřejmě nesouvisí. V tabulce 4 na str. 48 jsou uvedeny parametry použité v modelu přechodového varu (The Transition Model), ale není jasné, do jakých rovnic tyto parametry dosadit. Vypadá to tedy, že na str. 47-48 chybí část textu.

Na str. 54 se píše, že model varu podle Rohsenowa je založen na rovnici (61). Rovnice (61) sice připomíná model podle Rohsenowa, ale chybí v ní exponent 3,03 umocňující člen v druhé závorce.

Praktická část práce je na podstatně lepší úrovni než část teoretická.

Výpočetní oblast i okrajové podmínky úloh jsou zvoleny správně.

V obr.50 na str. 61 je zarážející, proč se mění tloušťka buněk v mezní vrstvě po obvodu štěrbin. Toto může vést k problémům s modelem varu na stěně. Šestistěnná síť na str. 93, obr.84, tento problém nemá.

Na str. 64 by bylo dobré uvést, jak se z Nusseltova čísla (77) spočte přenos tepla na bublinách modelovaných přístupem Euler-Euler.

Na str. 68 v Tabulce 16 jsou sepsána použitá diskretizační schémata pro konvektivní členy v rovnicích řešených CFD kódem Fluent. Ve výpočtech s varem je vhodné použít diskretizaci druhého řádu přesnosti pro energii a objemový podíl páry. Student použil schémata s prvním řádem přesnosti zřejmě kvůli problémům s konvergencí. Při použití schémat prvního řádu přesnosti je nutné důkladně prověřit, zda získané řešení není závislé na výpočetní síti. Pokus ověřit nezávislost řešení na síti student udělal na str. 82.

Výsledky výpočtů jsou logické. Z obr.76 je vidět, že řešení nezávislé na výpočetní síti se podařilo získat pro tepelný tok v rozmezí 0 – 10 MW/m². Při vyšším tepelném toku se výsledky získané na dvou různých sítích rozcházejí. Příčiny mohou být dvě:

1. Příliš hrubé buňky v mezních vrstvách ve štěrbinách (obr.50) v první variantě výpočetní sítě s tetrahedrálními buňkami.
2. Model varu RPI není zamýšlen pro podmínky s objemovým podílem páry u stěny blízko 1.

Základní model RPI obsahuje 3 tepelné toky (jednofázová konvekce v kapalině, nestacionární tepelný tok při odpoutávání bubliny od stěny a tepelný tok na vypařování), viz str.31, rovnice (32). Model nedokáže zohlednit přehřívání páry při

objemovém podílu páry u stěny blízko 1. K tomu by bylo potřeba použít zobecněný model dělení tepelného toku na stěně (generalized wall heat flux splitting model), který obsahuje 4. tepelný tok pro přehřívání páry nad teplotu sytosti.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

V práci se opakovaně objevuje problém s označením veličin. Stejně písmeno je použito pro různé veličiny, např. „k“ pro turbulentní kinetickou energii a tepelnou vodivost, „h“ pro entalpii a pro součinitel přestupu tepla. Na druhé straně jsou pro jednu veličinu použity dva různé symboly: viz tepelnou vodivost na str. 11. U některých rovnic není vysvětlen význam použitých symbolů. U korelací často chybějí jednotky veličin, které jsou nutné pro použití korelace.

Seznam symbolů na str. 11 je neúplný.

V textu se objevují překlepy a pochybné termíny:

Str. 3 „*subcooled cooling*“ místo *subcooled boiling*

Str. 12 „*energetics*“ místo *power industry*. „*Energetics*“ je nauka o energii.

Str. 24 „*Griefswalds*“ místo *Greifswald*

Str. 25 „*Rankin-Clausius*“ místo *Rankine-Clausius*

Str. 31 „*active nucleate site density*“ místo „*active nucleation site density*“

Str. 44 „*publicated*“ místo *published*

Str. 45 „*Milnes Thesis Settings*“, přičemž autor má na mysli nastavení kódu CFX

Str. 47 a str. 54: „*Domalapallya*“ místo *Domalapally* (opakovaně)

Str. 50 „*used mesh consist of 170 000 hexahedral cells*“

Str. 54 „*thesis [40] consist of*“

Str. 72 „*shown in 61*“ místo *shown in Fig.61*.

Str. 81 „*transition solution*“ místo *transient solution* nebo *unsteady solution*

Rozsah práce odpovídá požadavkům na diplomovou práci v technickém oboru.

Výběr zdrojů, korektnost citací

C - dobře

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

V práci chybějí některé odkazy na literaturu, případně nejsou ani uvedeni autoři korelací (podrobnosti jsou v předchozím textu). Např. model varu Kurul-Podowski je zcela zásadní pro výpočty provedené v praktické části práce a je tedy podivné, proč v práci není odkaz na tento model ani nejsou zmíněna jména jeho autorů.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Vložte komentář (nepovinné hodnocení).

Všechny komentáře byly uvedeny výše.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Teoretická část práce obsahuje velké množství chyb a v tomto stavu by se neměla publikovat. Praktická část práce je na podstatně lepší úrovni než část teoretická. Výpočty provedené v praktické části práce splňují zadání. Výsledky výpočtů jsou z pohledu oponenta zajímavé.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Otázka pro obhajobu:

Napište rovnici pro trojrozměrné nestacionární vedení tepla v tuhém tělese a vysvětlete význam všech členů v této rovnici.

Datum: 9.6.2022

Podpis: