

Oponentský posudek dizertační práce

CFD MODEL OF VEHICLE AC CONDENSER

CFD model automobilového AC kondenzátoru

Doktorand: Ing. Michal Schmid

Department of Mechanics, Materials and Machine Parts

Faculty of Transport Engineering

University of Pardubice

Disertační práce Ing. Michala Schmidy se týká komplexní studie modelování přestupu tepla AC kondenzátorem. K řešení bylo realizováno experimentální zařízení a byly využity experimentální i matematické přístupy, které se vzájemně doplňují. Výsledkem je zlepšení modelu rozptylu tepla AC kondenzátoru na základě dokonalejšího popisu jednotlivých termodynamických úseků kondenzátoru (fázová změna vs. jedna fáze), dále vyhodnocení jeho funkčnosti a následně verifikace. Navíc metodika řešení je kvalitním návodem pro vytváření matematických modelů termodynamických problémů.

Aktuálnost tématu disertační práce:

Téma práce je aktuální téma, protože AC kondenzátory nacházejí uplatnění v klimatizačních jednotkách řady průmyslových aplikací včetně automobilového průmyslu. Celou práci je možno chápat jako kvalitní metodiku pro tvorbu matematických modelů proudění s přenosem tepla v tepelných výměnících.

Splnění stanovených cílů práce:

Ve třetí kapitole práce jsou jasně specifikovány cíle, které zahrnují řešenou problematiku. Hlavní cíle spočívaly v návrhu modelu AC kondenzátoru s ohledem na kvalitu chladiva a podrobný popis vícefázového přenosu tepla. Další cíle byly zaměřeny na vytvoření matematického algoritmu tepelného výměníku s ohledem na jednofázové proudění a proudění se změnou fáze. Obě varianty byly verifikovány vytvořením zkušebního zařízení, kde bylo nutné připravit podmínky pro snímání potřebných fyzikálních veličin. Závěr práce spočíval ve vyhodnocení matematických a experimentálních veličin a jejich verifikaci.

Předložena práce splnila všechny stanované cíle, i když některé kapitoly by mohly být více rozpracovány. Jedná se zejména o kapitolu zaměřenou na CFD model čerpadla, kde mohlo být více komentováno nastavení jednotlivých simulací a okomentovány výsledky.

Metody a způsob zpracování práce:

Téma práce je komplexní a obsahuje jak teoretickou, tak i experimentální část. Na výsledky dosažené v experimentální části navazuje výpočtová část, která využívá experiment pro vstupní data matematického modelu a následně k jeho verifikaci.

V teoretických kapitolách práce byl proveden rozbor řešeného problému na základě detailně analyzovaného současného stavu vědění. Tato část práce sumarizovala tradiční a novější poznatky, publikované zejména v časopisech a odborných studiích. Literární zdroje byly průběžně citovány, přičemž významná část souvisela právě s úvodní rešeršní částí. Metodika řešení 1D problému zaměřená především na přístupu $\epsilon - NTU$ používaného v Ansys Fluent byla rozpracována s ohledem na vstupní data, tj. vytvoření Q-table. Významnou částí práce bylo, že doktorand se zaměřil na upřesnění fyzikálních vlastností proudícího média, tj. zohlednění různých fází chladiva s ohledem na měnící se teplotu. S tím souviselo i použití speciálních variant vztahu $\epsilon - NTU$ v prostoru v závislosti na teorii vícefázového proudění a teorii změny fáze. Navržený model využil iterační Newton Raphsonovu matematickou metodu, představenou programovým schématem realizovaným v příloze D zdrojovým kódem implementovaným v GNU Octave 5.2.0. Výsledky byly výrazně upřesněny přímo měřeným součinitelem přestupu tepla na rozdíl od dosud používaných vztahů pro určení tohoto součinitele pro vybrané geometrie (literatura). Tím se upravila Q – table.

Další část práce byla zaměřena na přípravu a realizaci experimentu pro verifikaci matematického modelu. Schéma obvodu odpovídalo reálně používanému chladicímu systému v automobilech. Výběr zařízení používaných pro měření by měl odpovídat požadavkům na sběr vstupních dat pro Q – T tabulku i pro ověřovací měření, čemuž byla věnována patřičná péče. Pro testování modelu byly využity dvě varianty vstupního signálu, tj. signál konstantní a signál časově závislý. Všechna měření byla kvalitně zpracována tabulkami a grafy, přitom hodnoty byly doplněny informacemi o chybách měření. Model AC kondenzátoru vyhovoval verifikaci s experimentem jak v oblasti vstupních a výstupních teplot, tak také tlakové ztráty a přístupu k měření pro průmyslové aplikace při zachování výše zmíněné výhody.

Předložená práce má 56 stran, 8 kapitol, seznamu literatury, vlastních publikací a 5 příloh týkajících se popisu experimentu, programu a vyhodnocení variant výpočtu. Zdroje použité literatury jsou řádně citovány a jsou relevantní k dané problematice. Především je třeba poznamenat, že práce obsahuje velké množství experimentálních a matematických výsledků precizně popsanych a zpracovaných tabulkami a graficky. Práce je na výborné formální úrovni a splňuje požadavky na kvalitu a zpracování

disertační práce. V práci se občas vyskytují drobné chyby a formální nedostatky, jejich počet je však minimální a akceptovatelný vzhledem k rozsahu práce.

Výsledky disertační práce, nové poznatky:

Výměníky jsou popisovány zjednodušeně jako „černé skříňky“ v závislosti na proměřených charakteristikách a geometrii. Nově navrhovaný model AC kondenzátoru je založen na dobře známém $\epsilon - NTU$ přístupu. Významné přepracování modelu je realizováno na základě správného zachycení každého termodynamického úseku AC kondenzátoru (fázová změna vs. jedna fáze), tj. model AC kondenzátoru iterativně předpovídá lokálně fáze chladiva a vhodně volí modely přenosu tepla a měřené charakteristiky, což vede k přesnému prostorovému rozložení rozptylu tepla. Vylepšené předpovědi teploty chladiva a vzduchu obecně vedou k lepším tepelným poměrům dalších komponent. Z těchto požadavků plyne náročnost při realizaci experimentálního zařízení a měření charakteristik základní tekutiny i chladiva. Výsledky pak byly vstupy do matematického modelu.

Výsledky disertační práce jsou přehledně sumarizovány v závěrečné kapitole práce.

Přínos pro další rozvoj techniky:

Přínosem práce je zvýšení přesnosti při návrhu AC kondenzátoru v komplexním celku 3D CFD simulace vozidla, kde detailní model tepelného výměníku (HTX) nemůže být z hlediska časové náročnosti efektivně použitý. Nový model vyřeší prostorové rozložení teploty primární tekutiny (vzduchu) při akceptování změny fáze chladiva AC kondenzátoru. Model dává přesnější predikci průtoku tekutin, protože akceptuje hustotu měnící se s teplotou.

Dotazy na doktoranda:

- Obr. 19, str. 32 – časová změna rychlosti proudícího vzduchu je poměrně pomalá. Bude se měnit chyba při verifikaci modelu experimentem při časově významnější změně vstupní rychlosti (frekvenci), která bude ale ještě použitelná při realizaci zařízení? Do jaké frekvence změn budou správně reagovat měřidla teploty z důvodu verifikace modelu?
- Obr. 21, str. 34 – při určení rozdílu mezi dvěma iteračními kroky je obvyklé používat relativní chybu. Jak je definovaná a jaký je důvod pro použití absolutní chyby v iteračním cyklu ve schématu.
- Jaké jsou možnosti implementace odladěného modelu do některé varianty 3D CFD programu?
- Byly výsledky práce prezentovány také na konferencích? Seznámení vědecké veřejnosti touto formou s výsledky práce považuji za důležitou část práce doktoranda.

Předložená disertační práce Ing. Michala Schmida souvisí s aktuální problematikou tepelných výměníků, resp. automobilových AC kondenzátorů. Doktorand zvolil pro řešení práce kombinaci matematického modelování a fyzikálního experimentu a vhodně je kombinoval. Prokázal své znalosti a schopnosti v této oblasti vědy a výzkumu. Práce má potenciál uplatnit výsledky v technické praxi, má význam pro rozvoj vědního oboru a může sloužit jako studijní literatura pro vysokoškolské studenty a doktorandy.

Stanovené cíle byly v disertační práci dosaženy a práce splňuje požadavky na dizertační práci v souladu s § 47 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách. Práci tedy doporučuji k obhajobě před jmenovanou komisí a po úspěšném obhájení práce doporučuji udělení titulu PhD.

Ostrava, 23/10/2023

Prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Fakulta strojní

VŠB-TU Ostrava