

Autor práce: Lukáš Vojta

Název práce: Měření a výpočet supersonických ejektorů

Typ práce: Diplomová

Vedoucí: Václav Dvořák

Pracoviště vedoucího: Technická univerzita v Liberci, Katedra energetických zařízení

A. Formální náležitosti práce:

Velmi dobře

(Vyjádřete se k jazykové a typografické úrovni práce, struktuře textu, řazení kapitol, přehlednosti ilustrací a ke skladbě, správnosti a úplnosti citací literárních zdrojů)

Předkládaná diplomová práce má celkem 53 stran textu včetně úvodní strany, zadání práce, prohlášení, poděkování, anotace v češtině a angličtině, obsahu, seznamu použitého značení a významu použitých indexů, a seznamu doporučené literatury. Tématem práce je experimentální, numerický a teoretický výzkum supersonického vzduchového ejektoru.

Kapitola první je úvod, kde autor ve stručnosti seznamuje čtenáře s principem ejektoru a jeho využití. Druhá kapitola se zabývá použitou analytickou metodou. Ve třetí kapitole je uveden popis experimentálního zařízení a metody související s vlastním měřením a jeho vyhodnocením. Kapitola čtvrtá se zabývá numerickou simulací ejektoru. Porovnání získaných výsledků je uvedeno v kapitole páté. Diskuse dosažených výsledků je v kapitole šesté a sedmou kapitolou je závěr.

Práce splňuje téměř všechny formální náležitosti, které jsou pro uvedený typ práce charakteristické. Kapitoly jsou seřazeny logicky a umožňují čtenáři velmi dobrou orientaci. Co se týče pravopisu, tak je počet chyb minimální. Některé formulace by si zasloužily být lépe formulovány. Některé uvedené věty, dle mého názoru, nedávají smysl. Uvedme jako příklad větu na straně 42: „Při zvýšení tlaku hnacího proudu na hodnotu $p_{01} = 397$ kPa dojde opět ke snížení ejekčního součinitele a lepší výkon při vyšších protitlacích.“ V práci je také několik nepřesných tvrzení. Jako příklad bych uvedl slovní spojení „vzdálenost divergentní části trysky od směšovací komory“ (např. str. 28), kde by bylo výstižnější použít označení „vzdálenost výstupního průřezu“ či „výstupní části trysky“ od směšovací komory. Dále snímače tlaku nejsou od firmy DEWESoft, ale od výrobce značky Kulite. Použité označení DEWESoft je název měřicích systémů, které nabízí firma Dewetron. Lavalova tryska použitá při experimentu nebyla navržena v uvedené diplomové práci M. Pavlase, ale autorkou jiné diplomové práce A. Guanlao. Na stránce č. 8, uvádějící význam jednotlivých indexů, jsou poněkud matoucí popisky statické, klidové a absolutní veličiny. Ejektor na obrázku č. 1 (str. 11) je v hlavním textu popsán jako podzvukový, přičemž z kontur Machova čísla na obrázku je zřejmé, že se jedná o ejektor s nadzvukovým hnacím proudem. Diplomant se v úvodu zmiňuje o principu funkce ejektoru a různých konstrukčních řešeních, bohužel však bez doplňujících obrázků či schémat, které by umožňovaly snadnější pochopení. V experimentální části práce dále postrádám schéma celého měřicího zařízení. Fotografie ejektoru by měla být doplněna popisky jeho jednotlivých



části. Velmi nešťastné je odkazování na uvedené obrázky a tabulky v textu, protože značení neodpovídá uvedenému odkazu v hlavním textu práce. V některých částí práce (podkapitola 5.4) nejsou odkazy na obrázky v textu uvedeny vůbec, a pro čtenáře může být poněkud složité se v uvedených výsledcích orientovat. Co se týče popisků tabulek, tak by bylo vhodnější umístit popisky vždy nad tabulkou. Hodnoty veličin by měly dle mého názoru být odděleny od jejich jednotek mezerou. Tabulky č. 6 až 8 obsahují výsledné hodnoty hmotnostních toků, avšak bez uvedených jednotek. Ke každému uvedenému obrázku či tabulce by měl být uveden alespoň stručný popis v hlavním textu čeho se daný obrázek či tabulka týká. Toto nebylo v několika případech dodrženo. Navíc podkapitola „5.2 CFD“ pak neobsahuje žádný komentář. Vzhledem k celkem dobře zpracovaným obrázkům proudového pole v ejektoru, je poněkud škoda, že se autor ani nepokusil proudění v ejektoru nijak popsat. Po grafické stránce nemám k práci žádné připomínky, práce je v tomto směru velice povedená.

Citované zdroje jsou opodstatněné a citace jsou úplné. I když příslušná norma zabývající se citacemi přesně neurčuje, jak by měly citované zdroje být zpracovány, tak by mělo být jejich zpracování jednotné.

B. Řešení práce po teoretické stránce:

Výborně

(Vyjádřete se k rozsahu a způsobu zpracování řešerše, způsobu popsání řešeného problému, případně k vhodnosti a náročnosti použité teoretické metody)

Řešerše daného problému je na dobré úrovni, i když je zpracována poměrně stručně a v textu se vyskytují drobné nepřesnosti. V teoretické části práce autor nejdříve vysvětluje princip a funkci ejektoru a také jeho využití v praxi. Dále se zmiňuje o současných trendech v této oblasti. Samostatná kapitola je věnována analytické metodě řešení, kde není úplně zřejmé, z jakého zdroje byla metoda převzata. Rozbor ztrát není v práci proveden. Je důležité vyzdvihnout autorovu snahu porovnat analytické řešení s dvěma dalšími přístupy, a to s experimentem a numerickou simulací. Použití tří nezávislých přístupů řešení lze hodnotit velmi pozitivně.

C. Praktická část práce:

Výborně

(Vyjádřete se k přiměřenosti a náročnosti použitých metod, k úrovni a množství získaných dat.)

Postupy diplomanta během vypracování diplomové práce byly věcné a správné. Osvojení si použitých metod není nikterak jednoduché vzhledem k jejich náročnosti. Diplomant v průběhu vypracování práce pracoval prakticky samostatně a jevil zájem o danou problematiku. Nasazení diplomanta bylo nadprůměrné. V případě výskytu problému, se snažil na danou věc přijít, což si v některých případech žádalo mnoho strávených hodin v laboratoři nebo před počítačem. Za velice přínosné považuji provedené měření kvality vnitřního povrchu přes nalezený vryp a následné porovnání s opravenou směšovací komorou. Objem naměřených dat je dle mého názoru pro diplomovou práci dostačující.

D. Rozbor získaných výsledků:

Velmi dobře

(Vyjádřete se k úrovni zpracování získaných dat, včetně určení nejistot měření, k diskusi výsledků a formulování závěrů.)

V této části se student pokusil o vzájemné porovnání vždy dvou různých přístupů řešení, konkrétněji tedy CFD vs. experiment, CFD vs. analytické řešení a experiment vs. analytické řešení. Podkapitola 5.2 zabývající se výsledky z numerické simulace postrádá bohužel jakýkoliv rozbor, což je poměrně škoda. V podkapitole 5.4 zabývající se vlastním porovnáním výsledků se autor porovnání zhostil celkem dobře a získané výsledky vynesl do grafů závislosti poměrného protitlaku na ejekčním součiniteli ejektoru. Tímto způsobem tak autor získal tzv. charakteristiky neboli výkonové křivky zkoumaného ejektoru pro konkrétní okrajové podmínky a geometrii ejektoru. Při popisu dosažených výsledků je zřejmé, že diplomant naráží na hranice svých současných znalostí a některé jevy související s danou problematikou mu nejsou ještě zcela jasné. V kapitole sedmé se autor zmiňuje o nedostatečné citlivosti diferenčních snímačů tlaku. Nemožnost použít tyto konkrétní snímače pro měření hmotnostních průtoků je dána příliš velkým rozsahem těchto snímačů a tedy menší přesností pro měření velmi malých průtoků. Je také celkem škoda, že diplomant v práci neuvádí průběhy statického tlaku na stěně ejektoru. Získaná data pro vypracování průběhů byly přitom k dispozici jak z experimentu, tak i z numerické simulace. Co se týče použité analytické metody pro výpočet proudění v ejektoru, tak mírné zvlnění průběhu charakteristiky ejektoru v oblasti kritického protitlaku je pravděpodobně způsobeno blíže nespecifikovatelnou chybou při zadávání rovnic do výpočtového programu.

E. Celková úroveň a náročnost práce:

Výborně mínus

(Vyjádřete se k celkové náročnosti a rozsahu práce a k původní práci studenta.)

V rámci diplomové práce byl proveden experimentální, numerický i teoretický výzkum nadzvukového proudění v supersonickém ejektoru, jehož hnací i hnanou látkou je vzduch. Řešerše dané problematiky by mohla být o něco obsáhlejší. Získané naměřené výsledky z experimentu byly porovnány s výsledky získanými pomocí CFD metod. Tyto výsledky byly dále porovnány se zvolenou analytickou metodou výpočtu ejektoru. Porovnání jednotlivých přístupů provedl diplomant pomocí pracovních charakteristik ejektoru, tedy závislosti ejekčního součinitele na poměrném protitlaku ejektoru. Dále byl proveden rozbor jednotlivých nastavení ejektoru, konkrétně se jednalo o tři různé pozice hnací trysky (1 mm, 2 mm a 3 mm) vůči směšovací komoře a dvě odlišné hodnoty klidového tlaku (200 kPa a 300 kPa) hnacího proudu vzduchu. Práce je z hlediska použitých metod velmi komplexní.

Původní práce studenta spočívala v naměření celkem 42 různých konfigurací ejektoru. Pro tyto konfigurace byly provedeny i numerické výpočty za pomoci komerčního řešiče Ansys Fluent. Pro všechny konfigurace bylo provedeno ještě porovnání se zvolenou analytickou metodou výpočtu ejektoru. Drobné nedostatky shledávám v několika nepřesných formulacích a především v neprovedeném rozboru výsledků numerických simulací ve formě kontur Machova čísla.

Celkové zhodnocení:

Dle mého názoru předložená diplomová práce splňuje všechny nezbytné náležitosti, a to jak po formální, tak i obsahové stránce. Student prokázal schopnost využít v praxi znalosti získané během studia. Při řešení dané problematiky vycházel z doporučených



literárních zdrojů a využil při tom přístupy experimentální, teoretické i výpočetní mechaniky tekutin, což se velmi cení a zvyšuje celkovou úroveň práce. Co se týče grafického zpracování, je práce na velmi dobré úrovni, avšak obsahuje několik nepřesných formulací a odkazů na obrázky či tabulky. Největším nedostatkem je dle mého názoru neprovedení důkladnějšího rozboru výsledků numerických simulací (podkapitola 5.2 CFD). I přes uvedené nedostatky byly splněny všechny cíle diplomové práce.

Otázky k obhajobě:

1. V části zabývající se porovnáním výsledků z jednotlivých přístupů řešení se často opakuje slovní spojení „výsledky jsou méně či více příznivé“, co tím měl autor na mysli, popřípadě na základě čeho došel diplomant k takovým závěrům?
2. Na straně 14 autor uvádí vztah (7) pro aerodynamickou funkci hustoty hmotnostního toku $q(\lambda)$. Jaká je hodnota této funkce v případě kritického proudění?
3. Čím si autor vysvětluje vznik rázové vlny v Lavalově trysce při nastavení klidového tlaku hnacího proudu $p_{01} = 197$ kPa, o které se zmiňuje v kapitole šesté? (str. 49)
4. Diplomant se zmiňuje o zjednodušení analytické metody nezahrnutím ztrát do výpočtu. Dále píše o úpravě základních rovnic pomocí „jistých“ koeficientů. Jaké koeficienty měl konkrétně student na mysli? Jaké druhy ztrát jsou zahrnuty v použité numerické metodě, o kterých se autor v práci zmiňuje, ale nijak je blíže nevysvětluje? (str. 43)
5. V práci je zmíněná analytická metoda označována jako jednodimenzionální. Umožňuje tato metoda získání průběhu statického tlaku po délce ejektoru?

Celková kvalifikace:

Diplomant prokázal, že je schopen využívat získaných znalostí během studia a samostatně řešit problémy ve svém oboru či zaměření. Celkově je práce na nadprůměrné úrovni a v každém případě splňuje požadavky na udělení akademického titulu. Předloženou diplomovou práci tedy doporučuji k obhajobě.

Navrhuji tuto práci klasifikovat stupněm **Výborně mínus**

V Liberci

dne 29. 5. 2018

Podpisem současně potvrzuji, že nejsem v žádném osobním vztahu k autorovi práce



Podpis vedoucího práce