

Oponentní posudek bakalářské práce

Tomáše Eisenhammera

zpracované na téma

Stanovení ztrátového součinitele kónických redukci různých rozměrů prostřednictvím numerických simulací

Posuzovaná bakalářská práce o rozsahu 42 stran se věnuje stanovení součinitelů místní ztráty koncentrických kónických redukci v závislosti na geometrických charakteristikách a rychlosti proudění stlačitelné tekutiny. Předložená práce navazuje na problematiku stanovení tlakových ztrát energetických zařízení, specificky zpětných odběrových klapek. Minimální tlakové ztráty zpětných odběrových klapek je dosaženo při maximálním otevření klapky, při kterém by měla klapka být ideálně provozována. Přesné stanovení místních tlakových ztrát použitých tvarovek, například koncentrické redukce na vstupu armatury, pak nabývá na významu při stanovení celkové tlakové ztráty. Téma předložené práce lze označit za dlouhodobě aktuální.

Bakalářská práce je rozdělena do šesti kapitol včetně úvodu a závěru a doplněna seznamem použité literatury. V úvodní části je kromě popisu obsahu jednotlivých kapitol uvedena rovněž motivace, v níž student uvádí, že v literatuře dostupné vztahy pro stanovení součinitele tlakové ztráty redukce platí pouze pro specifické geometrické varianty a pro nestlačitelnou tekutinu.

V další části student definuje matematický model proudění stlačitelné newtonské tekutiny, systém Navierových-Stokesových (NS) rovnic doplněných o stavovou rovnici ideálního plynu. Naznačuje možnosti diskretizace systému NS rovnic s využitím dopředné difference pro časovou změnu veličiny v kontrolním objemu a centrálních a upwind schémat pro konvektivní tok plochou. Aplikaci konkrétních numerických schémat prvního řádu (upwind schéma a Laxovo-Friedrichsovo schéma) a druhého řádu (Laxovo-Wendroffovo schéma a MacCormackovo schéma) pro aproximaci konvektivních toků představuje při řešení počátečně-okrajové úlohy Burgersovy rovnice. Pro implementaci uvedených numerických schémat student vytvořil vlastní program v Matlabu, který není v bakalářské práci uveden. V rámci diskuze získaných výsledků 1D úlohy je dále poukázáno na disperzní a disipativní typ chyby numerických schémat. Doposud laminární model proudění autor práce doplňuje o princip Reynoldsova středování a představuje středovaný systém Navierových-Stokesových rovnic popisující turbulentní model proudění s uvedením dvourovnicových modelů $k-\varepsilon$, $k-\omega$ a jejich princip pro doplnění počtu rovnic s ohledem na řešitelnost úlohy. V další části autor představuje vybraná bezrozměrová čísla: Reynoldsovo a Machovo číslo. V poslední části druhé kapitoly se autor stručně věnuje problematice tlakové ztráty v potrubí, definuje pojmy třetí ztráta a místní ztráta a na základě dostupné odborné literatury uvádí několik analytických rovnic pro jejich určení s důrazem na kónická zúžení. Na závěr autor práce zdůrazňuje omezenou použitelnost teoreticky odvozených vztahů dostupných v odborné literatuře.

Ve třetí kapitole je definován výpočtový model pro konkrétní řešené úlohy. Při konstantním průměru trubky před redukcí je v závislosti na proměnných charakteristikách průměru trubky za redukcí, vrcholového úhlu a Reynoldsova čísla definováno 105 řešených variant. Pro simulace byl použit komerční program ANSYS Fluent, tedy metoda konečných objemů, popsané nastavení úlohy z pohledu

numerických metod bylo provedeno na základě přechozích experimentálně validovaných modelů proudění ve zpětné odběrové klapce. Na základě provedené studie závislosti výsledku na charakteristické velikosti sítě byla zvolena optimální hodnota velikosti sítě, velikost mezní vrstvy a proměnná velikost sítě mezní vrstvy. Obdobně byla zvolena vhodná délka potrubního úseku pro rozvin rychlostního profilu ve vstupní trubce a ustálení rychlostního profilu ve výstupní trubce. Provedená citlivostní analýza také ukázala možnost využití symetrie se zachováním kvalitativní úrovně výsledků. Ve čtvrté kapitole byla nejprve stanovena strategie pro určení místního součinitele tlakové ztráty. Statický tlak v blízkém okolí redukce je stanoven na základě extrapolace z lineární regrese hodnot průměru statického tlaku v trubce. Dynamický tlak je stanoven na základě rychlosti stanovené z rovnice pro hmotnostní průtok a průměrované hustoty získané ze simulace. Výsledky provedených analýz byly porovnány s experimentálně určenými hodnotami dostupnými v odborné literatuře. Absolutní hodnoty ztrátových součinitelů vykazovaly nízkou shodu s experimentálními daty, nicméně trendy v závislosti na proměnných charakteristikách úlohy s experimentálními daty byly obdobné. Autor práce vysvětluje nízkou shodu s experimentálními daty zejména špatnou podmíněností výpočtu součinitele tlakové ztráty, malé chyby při stanovení statického či dynamického tlaku mohou vést k významným chybám při stanovení součinitele. Naopak upozorňuje na skutečnost, že i významná chyba při stanovení součinitele tlakové ztráty může vést k uspokojivě přesným hodnotám celkové tlakové ztráty. Dále jsou porovnány vybrané parametry na dvou zcela rozdílných geometriích výstupního potrubí, kde je poukázáno na vliv odtržení mezní vrstvy na tlakovou ztrátu. V závěru student shrnuje obsah a výstupy své bakalářské práce a možnost využití v praxi. V příloze práce je uvedeno shrnutí vypočtených hodnot součinitele místní tlakové ztráty v závislosti na Reynoldsově čísle a vrcholovém úhlu redukce pro definovaný průměr výstupní trubky a hodnot získaných na základě normy pro regulační armatury.

Posuzovaná bakalářská práce je strukturována logicky a přehledně s drobnými nedostatky, s dobrými vyjadřovacími schopnostmi s místy se vyskytujícími překlady a drobnými chybami. Pro větší přehlednost bych doporučil uvést seznam použitých veličin a symbolů, případně vlastní programový kód v prostředí Matlab a Python, na který se autor ve své práci odkazuje. Autor zřejmě vzhledem k velkému objemu vykonané práce, tvorbě vlastního programového kódu, práce s komerčním balíkem, atd. a snaze všechnu vykonanou činnost shrnout do rozsahu odpovídající bakalářské práci, některé myšlenky formuluje ne zcela jednoznačně.

K diskuzi uvádím několik otázek, některé z nich jsou částečně naznačeny již v práci:

- Jak byly stanoveny hodnoty ztrátového součinitele dle normy ČSN EN 60534-2-3?
- Bylo by zajímavé provést porovnání experimentálně získaných dat z literatury, vypočtených hodnot součinitele tlakové ztráty a hodnot získaných na základě ČSN EN 60534-2-3, porovnával jste tato data?
- Jaké jsou maximální projektové hodnoty rychlosti média (pára, voda) v potrubních systémech?
- Jaké rychlosti odpovídají volbě Reynoldsova čísla v předložené práci?

Závěrem mohu konstatovat, že všechny cíle vytčené v zadání bakalářské práce byly beze zbytku splněny. Práce rozsahově i formálně splňuje všechny požadavky zadání. Předloženou bakalářskou práci doporučuji k obhajově před komisí SZZ na Katedře mechaniky FAV ZČU v Plzni a hodnotím ji známkou „výborně“.