

POSUDEK DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor: **Bc. Daniel Havlík**

Název: **Zjednodušené modely pro průtok vzduchu větracími štěrbinami odvozené z výsledků CFD simulací**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Barták, Ph.D.**

Oponent: **Ing. Petr Zelenský, Ph.D.**

Zadané téma

Podle zadání měl diplomant navrhnout postup, podle něhož se z výsledků CFD simulací proudění vzduchu větracími štěrbinami stanoví zjednodušené (mocninné, nebo kvadratické) závislosti mezi tlakovým rozdílem a objemovým průtokem, které se používají při multizónové simulaci větrání budov. Navržený postup měl být nejdříve ověřen na štěrbinách s jednoduchou geometrií, pro které lze najít údaje v literatuře. Ověřený postup měl být následně aplikován na štěrbinu se složitou geometrií vycházející z případové studie. Diplomant měl porovnat náhradu charakteristiky štěrbin získané CFD simulací s mocninnou a kvadratickou závislostí.

Téma považují za důležité pro rozšíření teoretických i praktických poznatků o možnostech simulací proudění vzduchu v úzkých štěrbinách. Získané poznatky umožní přesnější simulaci štěrbin při multizónových simulacích větrání budov a podpoří tak využití simulací v praxi. Zvolená metoda (CFD modelování a simulace) je vhodná pro řešení zkoumaného problému a klade na diplomanta nároky přiměřené absolventovi magisterského studia strojní fakulty.

Obsah práce

Předložená diplomová práce má celkem 60 stran. V úvodu autor čtenáře stručně uvádí do řešené problematiky a vymezuje základní cíl práce, tj. navrhnout postup, podle něhož se na základě CFD simulací proudění vzduchu větracími štěrbinami stanoví zjednodušené závislosti mezi tlakovým rozdílem a objemovým průtokem štěrbinou. V rámci provedené studie byly řešeny čtyři případy – lomená štěrba s geometrií vycházející z podkladů nalezených v odborné literatuře a tři štěrby s geometrií, která vychází z případové studie.

Následující čtyři kapitoly jsou věnovány poznatkům z literatury. Konkrétně (i) problematice dvojitých fasád a větracích otvorů pro větrání dvojitých fasád, (ii) základním principům multizónové simulace, (iii) využití mocninné a kvadratické rovnice pro popis proudění vzduchu pasivními prvky (štěrbinami) v multizónových simulacích, včetně diskuze rozdílů mezi mocninným a kvadratickým modelem štěrby, (iv) principům metody CFD, která byla využita při řešení diplomové práce, včetně rozboru modelování turbulence, modelování proudění v blízkosti stěn, okrajových podmínek a průběhu výpočtu.

V kapitole 6 je popsán řešený numerický experiment. První část kapitoly je věnována ověření metodiky na základě porovnání výsledků provedených CFD simulací s výsledky nalezenými v odborné literatuře. Dále jsou uvedeny tři numerické studie štěrby s geometrií, která vychází z případové studie (boční, spodní a horní štěrba dvojitě fasády). Ve všech řešených případech je detailně rozebrána geometrie výpočetního modelu, je uveden popis vytvořené výpočetní sítě, okrajových podmínek simulace, nastavení modelu a řešiče. Výsledky jednotlivých studií jsou diskutovány jak jednotlivě, v příslušných podkapitolách, tak souhrnně v kapitole 6.5, která uvádí porovnání použití mocninné a kvadratické rovnice pro všechny řešené štěrby.

V závěru práce je stručně shrnut celý postup, problémy se kterými se diplomant během řešení dané problematiky setkal a které musel překonat, nejdůležitější získané poznatky a doporučení autora pro navazující numerické studie. Uvedené informace jsou srozumitelné a mohou být jednoduše použity v praxi pro řešení obdobné problematiky (tj. určení p - V charakteristiky štěrby pro multizónové simulace pomocí CFD simulací).

Téma práce má teoretický charakter. Diplomant zpracoval numerickou studii proudění vzduchu čtyřmi typy štěrby. Pro tvorbu geometrie numerického modelu použil program Autodesk Autocad, výpočetní síť vytvořil v programu ANSYS Meshing a CFD simulaci řešil v programu ANSYS Fluent. Získané výsledky vyhodnotil a provedl jejich diskusi. Obsah práce je vyvážený, vlastnímu řešení autor věnuje v textu přibližně poloviční prostor z celé diplomové práce. Diplomant ukázal, že je schopen samostatně zvládnout zadanou problematiku v rozsahu, který splňuje nároky na diplomovou práci v magisterském studiu.

Připomínky k práci

Text práce je srozumitelný a jednotlivé kapitoly na sebe logicky navazují. Po formální stránce práce vykazuje drobné nedostatky. Popisky na obr. 4 a obr. 5 by bylo vhodné přeložit do českého jazyka. Legendy obr. 15, obr. 22 a obr. 29 jsou špatně čitelné a bylo by vhodné použít větší písmo. Obr. 10 je nevhodně rozdělen na dva listy.

Jedním ze závažnějších nedostatků diplomové práce je rešeršní část, ve které by měly být rozšířeny kapitoly úzce související s řešenou problematikou. Jedná se hlavně o kapitolu 4, která uvádí použití mocninné a kvadratické rovnice pro předepsání p - V charakteristiky štěrby v multizónových modelech. Kapitola je matoucí a měla by být lépe

zpracována. Čitatele rovnic (8) a (9) v dané kapitole by měly být v absolutních hodnotách. Rovnice (10) je chybně, relativní odchylka je získána odečtením odchylky kvadratické rovnice od odchylky rovnice mocninné.

V praktické části diplomové práce neshledávám žádné vážnější nedostatky a mám pouze drobné připomínky. Na straně 21. autor zmiňuje porovnání výsledků simulace s třemi hustotami numerické sítě (40 200, 160 801 a 643 205 buněk) s výsledky nalezenými v odborné literatuře. Uvádí, že pro simulace využil nejjemnější síť, jež vedla k výsledkům, které se nejvíce blížily hodnotám z literatury. Nicméně by bylo vhodnější nejdříve provést studii vlivu hustoty numerické sítě na výsledky CFD simulace (tj. dalším navýšením počtu buněk ověřit, že se výsledky simulace nezmění). Pouze výsledky z CFD simulací s využitím takto ověřené výpočetní sítě by měly být dále porovnávány s požadovanými hodnotami. Další drobný nedostatek je na straně 43, kde autor uvádí použití laminární zóny. Popis použití by mohl být detailnější a oblast laminární zóny by, pro větší názornost, mohla být graficky vyznačena.

Doporučení pro rozpravu

1. Diplomant na straně 23 diplomové práce uvádí oscilaci proudění na výstupu ze simulované štěrbin. Tuto oscilaci proudu demonstruje grafickými výstupy ze simulací po 100 a 150 iteracích. Tento počet iterací však nemusí být dostatečný pro ustálení úlohy. Např. na obr. 15 a obr. 22 je patrné, že se simulace dalších štěrbin ustálily až po cca. 2000 iteracích. Rád bych se zeptal, po kolika iteracích byl výpočet dané úlohy považován za ukončený a zda byla zmiňovaná nestabilita (oscilace proudu) pozorována během celého výpočtu, tj. i při vyšším počtu iterací, než 150.
2. V závěru práce autor uvádí, že by bylo možné použít nestacionární simulace, které by mohly lépe vystihnout chování štěrbin při odtrhávání a oscilaci proudění, tj. vést k lepší konvergenci simulace a potenciálně přesnějším výsledkům. Tuto metodu nicméně nepoužil. Rád bych požádal autora, aby shrnul nevýhody použití nestacionárních simulací a nastínil, jak by případně mohl vyhodnotit data z nestacionární simulace.
3. V kapitole 5.4.1 autor popisuje modelování proudění u stěny. Žádám diplomanta, aby doplnil rozmezí bezrozměrné vzdálenosti od stěny y^+ pro které je vhodné využít dvouvrstvý model a pro které je vhodnější přistoupit k použití stěnových funkcí.

Celkové hodnocení

Obsah práce je vyvážený, text je přiměřeně doplněn grafickými výstupy. Rozbor výsledků je logický, s vyvozenými závěry souhlasím. Zadání práce bylo splněno, diplomant se dopustil pouze drobných chyb, které by však neměly závažně ovlivnit dosažené výsledky, ani ztížit využití výsledků diplomové práce pro další výzkum a také v praxi. Navrhuji celkové hodnocení

B (velmi dobře).

V Praze 29. července 2019

Ing. Petr Zelenský, Ph.D.