

Oponentský posudek k dizertační práci Ing. Vratislava Šaléného

„Numerická simulace hluku generovaného v kavitách nestabilitami ve smykové vrstvě“

Se zkušeností vývojového pracovníka, který praktikuje CFD simulace při vývoji automobilů již 17 let, a to nejprve ve ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav, nyní v AUDI AG, Ingolstadt, mohu zodpovědně prohlásit, že toto téma dizertační práce je aktuální a přínosné. Výzkumné práce zaměřené na rozvoj metod pro výpočtové CFD simulace, umožňující efektivně a spolehlivě predikovat a eliminovat aerodynamicky indukované hluky již v časném stádiu návrhu vozidel, jsou pro automobilové výrobce velice důležité.

Tématem této dizertační práce jsou CAA simulace, které jsou velmi náročnou podoblastí CFD simulací, a to jak s ohledem na komplexnost znalostí, tak s ohledem na výpočetní výkon počítačů. Přestože se jedná o velmi náročné téma, tak autor dizertační práce dosáhl zajímavých výsledků. Chtěl bych vyzdvihnout zejména to, že ve svých výzkumech dokázal autor správně identifikovat numerická, diskretizační a iterační schémata, zdárně je implementovat na otevřenou platformu CFD software OpenFOAM, a to tak, že výsledky všech provedených CAA simulací velmi dobře korespondují s realitou. Tímto, dle mého názoru, nejlépe prokázal splnění cílů dizertační práce.

Jako reálný aeroakustický objekt, na kterém byly realizovány CAA výpočty a validační měření, autor zvolil varhanní píšťalu se základním tónem 64 Hz, což považuji za velmi dobrou volbu s ohledem na to, že v kapitole 1 Úvod vytyčil cíl zaměřit se na výpočty tónových hluků o nízkých frekvencích, generovaných v kavitách, které představují velmi důležitou skupinu aerohluků. Mechanismy buzení aeroakustického jevu u varhanních píšťal mají v mnoha ohledech paralely s mechanismy uplatňujícími se u aeroakustického jevu buffeting u automobilů. Tato volba validačního objektu tak umožnila paralelně vyvinout a validovat nástroje vhodné rovněž pro CAA simulace jevu buffeting, což hodnotím velmi kladně. Cílem práce bylo zaměřit se na přímou simulaci hluku v bezprostřední blízkosti zdroje, což model varhanní píšťaly splňuje.

Důraz v práci měl být kladen na porovnání dvou rozdílných přístupů k modelování turbulence, a to Large Eddy Simulation (LES) a Unsteady Reynolds-averaged Navier-Stokes equations (URANS), a to s ohledem na jejich schopnost věrně popsat chování tónových zdrojů hluku a porovnat jejich přesnost, nároky na výpočetní výkon, spolehlivost konvergence. Autor provedl toto porovnání pro celkem čtyři různé přístupy modelování turbulence, a to v jednom případě pro metodu URANS, založenou na RNG k-epsilon modelu turbulence a pro tři různé modifikace metody LES. Mimo velmi frekventovaně používaný LES modelu turbulence, který používá pro modelování vírů malých měřítek tzv. subgrid-scale (SGS) model, autor prověřil také poměrně novou LES metodu tzv. ILES, která eliminuje energii vírů malých měřítek volbou vhodného numerického schématu. S touto metodou dosáhl autor výsledků, které se velmi dobře shodují s výsledky LES metody s SGS modelem turbulence. V rámci LES metod autor prověřil také variantu, ve které zcela odstranil numerické schéma eliminující energii vírů malých měřítek, kdy i takto nekorektně nastavené numerické schéma LES metody vykazovalo velmi dobré výsledky, což je velmi zajímavá informace. V rámci porovnání metod LES a URANS, bych si dovolil autorovi vytknout, že metodu URANS prověřil pouze pro jeden turbulentní model. Ze zobrazení rychlostních polí

na str. 64 sice jasně vyplývá, že rychlostní pole URANS varianty je ochuzené o flukтуаční složky rychlostí, kdy podobně neúplný bude výsledek jakéhokoli přístupu URANS, což vyplývá ze samotného principu metody. Logicky tedy každá URANS varianta bude poskytovat zatlučené amplitudy tlaků oproti LES metodám. Toto autor na str. 69 také uvádí a s tímto logickým závěrem lze jistě souhlasit. Nicméně prokázat tuto skutečnost na více variantách URANS by bylo vhodné. Bylo by jistě zajímavé navázat na toto téma v dalších pracích.

V rámci práce mělo být také dosaženo cíle vyvinout specifické nástroje pro analýzu výsledků CAA modelů a experimentálních měření. Tyto nástroje mají především zohledňovat specifické vlastnosti výsledků CAA, zejména dostupnost pouze velmi krátkého časového záznamu v řádu desetin sekundy až jednotek sekund. Autor navrhl velmi zajímavý nástroj na základě využití charakteristických vlastností Diskrétní Fourierovy transformace, který dle popisu navržené metody a demonstrování jejího použití při zpracování signálu na str. 41, skutečně umožňuje zpřesnit hodnoty amplitud a frekvencí složek tónového signálu. Autor tento nástroj naprogramoval v programovacím jazyku software Mathematica od firmy Wolfram Research a připravil ve formě software k opakovanému použití, takže i tento cíl práce byl splněn.

V rámci definice cílů dizertační práce na str. 35 autor definoval také vědeckou otázku a dvě pracovní hypotézy, na které se zavázal nalézt v rámci dizertační práce odpověď, což také na straně 86 učinil.

Co se týče hodnocení formální úpravy a hodnocení jazykové úrovně, je tato dizertační práce napsaná v českém jazyce na 104 stranách a doplněná přílohami. Má promyšlenou logickou strukturu, jasnou linii a je přehledně členěná. Jak po formální, tak i jazykové stránce je na velmi dobré úrovni. Problematika byla řešena ve zcela logickém sledu, výsledky jsou přehledně popsány, mají velmi dobrou úroveň a vypovídací hodnotu. Výběr prostudované odborné literatury byl vzhledem k popisovanému tématu proveden velmi pečlivě. Grafická vyobrazení mají vysokou úroveň, tabulky jsou přehledné, fotografická dokumentace má výbornou kvalitu.

Závěr

Závěrem mohu konstatovat, že cíl dizertační práce byl splněn a přispívá k rozvoji vědního oboru. Zejména vyzdvihují přínos pro praxi v provedeném porovnání jednotlivých LES metod, kde autor přináší zcela nové poznatky o schopnosti LES metod věrně popsat chování tónových zdrojů hluku v CAA simulacích. Dizertační práce dále přináší zcela nový nástroj pro vyhodnocení CAA výpočtů na základě využití charakteristických vlastností Diskrétní Fourierovy transformace, který umožňuje významně zpřesnit hodnoty amplitud a frekvencí složek tónového signálu i na velmi krátkém časovém záznamu akustického signálu o délce desetin sekundy až jednotek sekund. Jako velmi konkrétní přínos pro praxi zde vidím možnost významného zkrácení času CAA výpočtů ve vývoji automobilů i v ostatních oborech.

Z výše uvedených důvodů předloženou dizertační práci

doporučuji

k obhajobě a v případě její úspěšné obhajoby

doporučuji

udělit akademický titul „philosophiae doctor“ (Ph.D.).

Ingolstadt dne 29.5.2018



Ing. František Paur, Ph.D.

Vyjádření k tezí Ing. Vratislava Šaléného

„Numerická simulace hluku generovaného v kavitách nestabilitami ve smykové vrstvě“

Předložené teze mají, dle mého názoru, požadované členění. Obsah práce je v tezích dostatečně a přehledně zpracován. Současný stav poznání není v tezích uveden. Teze však již mají 35 stran a všechny uvedené informace mají stručnou, strukturovanou formu a považuji je za důležité, proto doporučuji i nadále současný stav poznání v tezích neuvádět. Cíle práce doporučuji zvýraznit. Zvolené metody, geometrie a modely jsou v tezích zpracovány dostatečně. Hlavní výsledek práce dostatečně vyplývá z obsahu, ale bylo by jej vhodné zvýraznit.

Závěr je zpracován v dostatečném rozsahu.

Seznam literatury má přiměřený rozsah. Teze již obsahují životopis autora.

Ingolstadt dne 29.5.2018



Ing. František Paur, Ph.D