

OPONENTSKÝ POSUDEK

na doktorskou disertační práci (Ph.D.)

Ing. Vít Štorch : Verified Unsteady Model for Analysis of Contra-Rotating Propeller Aerodynamics

Předložená disertační práce se zabývá aktuální tematikou – stanovením aerodynamických vlastností dvou protiběžných leteckých vrtulí včetně experimentálního ověření. Má 150 stran a je psána v anglickém jazyce. Autor se v textu odkazuje na 71 publikací. Z toho u 9 prací je spoluautorem. Disertační práce je rozdělena do deseti základních částí.

V prvních dvou kapitolách se Ing. Štorch věnuje vysvětlení základních pojmů, vytyčení hlavních cílů práce a rozboru současného stavu znalostí o aerodynamice leteckých vrtulí. Autor předpokládá řešení cílů své práce pomocí aplikace dvou teoretických metod.

U první je užit klasický předpoklad o řešení obtékaného tělesa, kdy se oblast proudu rozděluje na část vazkou v mezní vrstvě přiléhající k tělesu a na nevazkou vně hranice mezní vrstvy. Výpočet nevazkého proudu byl proveden pomocí tzv. „panelové metody“ řešící třírozměrné potenciální proudění. Předpokládá se aplikace metody integrální dvourozměrné mezní vrstvy podle autora Drelly a kol. z MIT university.

U druhé metody byly vlastnosti systému dvou protiběžných vrtulí počítány podle postupu tzv. nosné čáry, jenž byl navržen původně Prandtlem pro křídlo konečného rozpětí. Postup se opírá o závislosti vztlakového a odporového součinitele na úhlu náběhu platné pro letecký profil. Dále bylo řešeno pole indukovaných rychlostí na konci vrtule.

Řešení matematického problému proběhlo většinou iteračním způsobem v prostředí jazyka Matlab. V práci byl také využit dostupný program výpočet aerodynamických vlastností profilu libovolného tvaru s názvem Xfoil. Výklad výše zmíněných teoretických metod je ve třetí až šesté kapitole.

Následující sedmá část disertační práce je věnována výpočtové integrální metodě rovinné mezní vrstvy dle autorů Drelly a kol. a jejímu zapojení do výpočtu nevazkého obtékání profilů vrtule. Autor disertace navrhl nový iterační postup pro zlepšení konvergence řešení v obou oblastech proudění kolem vrtule. Výsledkem jsou proudová pole a tlakové a třecí síly působící na lopatkové profily. S užitím těchto dat je možné vypočítat aerodynamické vlastnosti vrtule.

Aby bylo možné ověřit získané teoretické výsledky, byla navržena a vyrobena nová zkušební trať. Na ní je možné měřit systém dvou protiběžných leteckých vrtulí. Vnější průměr vrtulí je 559 mm a 457 mm. Jejich pohon je realizován pomocí dvou samostatných elektromotorů s proměnnými otáčkami. Charakteristiky vrtulí byly určeny s pomocí dat

měření osově síly a kroutícího momentu obou hřídelů. K tomu jsou použity speciální snímače. Popis nového zkušebního zařízení je uveden v 8.části disertační práce.

Hlavní výsledky srovnání naměřených a vypočtených hodnot výkonových aerodynamických veličin vrtulí jsou uvedeny v následující kapitole č.9. Obě sestavené teoretické metody dávají použitelné výsledky. Je zřejmý přijatelný souhlas ve většině porovnávaných případů jednorázové vrtule a systému dvou protiběžných vrtulí. U větších rozdílů výpočtu a měření jsou autorem disertace diskutovány možné příčiny.

V závěru práce jsou shrnuty nejdůležitější získané výsledky řešení disertační práce spolu s návrhem na pokračování ve výzkumu aerodynamiky leteckých vrtulí. Jsou specifikovány hlavní přínosy práce. Je konstatováno, že je možné pomocí sestavených dvou teoretických metod stanovit vliv poměru otáček obou protiběžných vrtulí, jejich vzdálenosti a úhlu nastavení profilů vrtule na jejich aerodynamické charakteristiky .

Připomínky k textu disertační práce:

1. Je zřejmé, že autor vynaložil velké úsilí na dosažení cílů disertace. Práce je velmi obsažná. Je však podle názoru oponenta dlouhá , má 150 stran. Úprava disertace je velmi dobrá. Anglicky psanému textu oponent rozuměl. Komplexní jazykové posouzení není však schopen provést, neboť nemá potřebnou kvalifikaci. Je třeba také kladně hodnotit zařazení dílčích závěrů do textu jednotlivých kapitol.
2. Oponent velmi oceňuje, že disertační práce obsahuje jak výsledky teoretické tak experimentální, které jsou v rovnováze.
3. Autor v několika odstavcích své disertační práce tvrdí, že nestacionární řešení vazkého stlačitelného 3D proudění v systému dvou protiběžných vrtulí je v současné době velmi časově náročné a pro cíle disertace nepoužitelné. Lze s tímto názorem souhlasit pouze částečně.

Je možné totiž použít výsledků stacionárního řešení rovnic vazkého proudění (CFD), které poskytuje relativně spolehlivé hodnoty účinnosti a tlakového součinitele u osových kompresorových a turbínových stupňů. Oponent sám má dobré zkušenosti s aplikací komerčního programu při výpočtu aerodynamických vlastností kompresorů a ventilátorů. Ty plynou z porovnání výsledků výpočtu a měření nových navržených osových a radiálních stupňů ventilátorů a kompresorů.

Oponent našel v odborné literatuře několik publikací z poslední doby, řešících pracovní charakteristiky systému dvou protiběžných vrtulí právě pomocí výsledků CFD stacionárního řešení.

Otázky do diskuse:

1. Autor udává ve své práci nedostatečné informace o geometrii použitých vrtulí při měření. Nejsou známy profily vrtule ani úhly nastavení aspoň na několika poloměrech . Podobně je tomu je i s tloušťkou profilu.
2. Jestliže se porovnávají změřené a vypočtené hodnoty charakteristických aerodynamických veličin vrtule , je nutné znát nejistoty jejich měření. Ty nejsou v práci obsaženy. Mohl by je autor uvést spolu s předpokládanými chybami měření síly a krouticího momentu hřídele ?
3. Z obr. 9.1 plyne velký rozptyl stanovených hodnot účinnosti jednoduché vrtule zejména při vyšších hodnotách průtoku vzduchu u proměřovaného rozsahu. Co je příčinou tohoto jevu?
4. V současné době jsou v souboru programů Matlab nebo na internetu k dispozici programy počítající aerodynamické vlastnosti lopatkových profilů respektive křídla na základě obou užitých postupů : panelová metoda, metoda nosné čáry a integrální metody dvourozměrné mezní vrstvy . V jakém rozsahu byla využita tato publikovaná řešení ?
5. Profily druhé vrtule ve směru proudu vzduchu u systému protiběžných vrtulí pracují v podmínkách pulsací proudu a vysoké intenzity turbulence. Bylo možné respektovat tyto podmínky v soustavě rovnic výpočtové metody dvourozměrné mezní vrstvy?

Závěrečné poznámky

Disertační práce je orientována na konkrétní aplikaci, na teoretické a experimentální vyšetření výkonových aerodynamických parametrů systému protiběžných leteckých vrtulí. Je třeba velmi ocenit teoretické řešení dané úlohy. Bylo zvoleno jednodušší řešení , jež se hodí při návrhu. Bylo dosaženo přijatelného rozdílu mezi vypočtenými a změřenými hodnotami výkonových parametrů jedné a dvou protiběžných vrtulí.

Záběr disertační práce je široký. Řešená problematika je velmi obtížná. Oponent oceňuje, že autor dokázal dobře zpracovat výsledky náročných měření a výsledků výpočtu , provést jejich rozbor a formulovat odpovídající závěry. Je třeba také kladně hodnotit vyváženost teoretického a experimentálního řešení.

Kapitoly disertace s názvem Anotace a Závěr jsou psány výstižně. Většina dosažených výsledků byla uveřejněna v publikacích převážně na seminářích a na domácích konferencích.

Závěr

Ing. Vít Štorch ve své disertační práci prokázal velmi dobré znalosti v oboru. Disertace má dobrou odbornou úroveň a obsahuje nové poznatky. Při řešení použil moderní metody výpočtu a měření. Původní dosažené výsledky lze aplikovat při návrhu systému protiběžných leteckých vrtulí. Stanovené cíle práce byly splněny. Publikační činnost lze hodnotit kladně.

Je možné konstatovat, že předložená disertační práce Ing. V. Štorcha splňuje požadavky tvůrčí vědecké práce dle Zákona č.111/1998 Sb. a prováděcích předpisů. Proto ji doporučuji k obhajobě.

Zpracoval: Prof. Ing. Václav Cyrus, DrSc.

AHT Energetika s.r.o., 190 11 Praha 9 – Běchovice, Podnikatelská 550

V Praze-Běchovicích , dne 17.1.2018