

Doc. Ing. Dalibor ROZEHNAL, Ph.D.
Katedra letecké techniky
Univerzita obrany
Kounicova 65
662 10 BRNO

Oponentní posudek disertační práce

**Název práce: OPTIMALIZACE AERODYNAMICKÝCH
VLASTNOSTÍ PROFILU**

Autor práce: Ing. Jan MÜLLER

Předložená doktorská disertační práce s názvem „**OPTIMALIZACE AERODYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ PROFILU**“ se zabývá modifikací numerických metod, které umožňují řešit optimální geometrický tvar leteckého profilu tak, aby jeho aerodynamické charakteristiky dosahovaly limitních hodnot. Autorem aplikované numerické metody umožňují nalézt geometrii vnějšího obrysu profilu, který dle zvolených vstupních podmínek, generuje limitní aerodynamické vlastnosti profilu.

Cílem práce byl návrh nové, inovativní, časově méně náročné numerické metody, která umožní stanovit komplexní strukturu aerodynamických parametrů profilu. Autor ve svém návrhu vycházel ze současně používaných metod, u kterých analyzoval jejich silné i slabé stránky. Při návrhu své metody vhodně adaptoval a zkombinoval výhody dosud používaných numerických metod. Autorem navržená inovativní hybridní paralelní optimalizace umožnila vygenerovat, ve vymezeném časovém rámci, reálnou geometrii leteckého profilu, která vykazovala nejvyšší hodnotu aerodynamické jemnosti. Pro kvalitativní posouzení profilů je hodnota aerodynamické jemnosti jeden z nejdůležitějších aerodynamických ukazatelů.

A. Aktuálnost zvoleného tématu

Téma disertační práce lze považovat za velmi aktuální a přínosné. Výsledky, kterých autor ve své práci dosáhl, jsou přímo využitelné při prvotních návrzích nových geometrií leteckých profilů. Autorem navržené přístupy umožňují kvalitativně vylepšit stávající výkonové parametry pevné nosné plochy. Použitím paralelní hybridní optimalizace, při stanovení aerodynamických charakteristik profilu, lze navrhnout nové geometrie leteckých profilů, které mohou významným způsobem ovlivnit výkonové, provozní a ekonomické parametry nově navrhované letecké techniky.

B. Cíle práce (zhodnocení vytčených cílů práce a zhodnocení, jak disertant stanovené cíle splnil)

Vytčené cíle doktorské práce jsou uvedeny v druhé kapitole a jsou shrnuty do šesti bodů. Cíle práce jsou formulovány jasně, reálně a srozumitelně. Jsou zaměřeny na vytvoření

nových modifikovaných algoritmů, které budou schopny generovat a optimalizovat komplexní strukturu aerodynamických i geometrických charakteristik profilu.

Inovativním cílem práce byl návrh progresivního typu paralelní hybridní optimalizace (PHO), která je převedena na sekvenční způsob výpočtu a s vhodným časovým krokem doby střídání využívá synergického efektu evolučního algoritmu (aEA) a algoritmu optimalizace hejnem částic (aPSO). Takto navržená metoda paralelní hybridní optimalizace (PHO) vykazuje výrazně rychlejší průběh optimalizace pro dosažení vysokých hodnot aerodynamické jemnosti profilu za cca 30min. viz. tab. 97. a tím i celkového zkrácení doby řešení.

C. Zvolené metody zpracování a postup řešení *(vyjádření ke zvoleným metodám a k postupu řešení problému)*

Předložená práce je teoretické povahy a obsahuje široký přehled numerických metod vhodných na numerickou optimalizaci geometrie leteckého profilu s cílem dosáhnout v přijatelném časovém rámci limitní hodnoty aerodynamické jemnosti s geometrií profilu, která je aplikačně použitelná u soudobé letecké techniky. Autor uvádí výhody a nedostatky jednotlivých numerických postupů navzájem s cílem vytvořit novou optimalizační metodu – (PHO) paralelní hybridní optimalizaci, která v sobě shrnuje pozitivní vlastnosti v práci uvedených metod.

Použité metody řešení byly zvoleny tak, aby zahrnovaly ucelený přístup k řešení problematice a umožnily jejich srovnání resp. objasnění výhod a nedostatků při návrhu geometrie leteckého profilu. Pro řešení proudění tekutiny v okolí nově navržené geometrie leteckého profilu disertant, pro porovnání metod, využil komplexní profesionální SW nástroj Ansys Fluent. Jistým nedostatkem zůstává absence ověření navržené geometrie profilu měřením aerodynamických charakteristik profilu v aerodynamickém tunelu. Tímto měřením by se dostatečně průkazně validovaly aerodynamické charakteristiky profilu jakožto výstupy z nově navržené paralelní hybridní optimalizace (PHO).

D. Zhodnocení výsledků dosažených disertantem *(vyjádření k výsledkům práce s uvedením konkrétního přínosu studenta)*

Pozitivně hodnotím jeho dlouholetý zájem o danou oblast, který mu umožnil navrhnout a aplikovat inovativní postup při numerické optimalizaci geometrie leteckého profilu s cílem dosáhnout u něj limitních aerodynamických parametrů. Autor v disertační práci zhodnotil svoji dlouholetou orientaci do problematiky numerických metod, které lze, dle zvolených provozních parametrů použít, při návrhu nové geometrie leteckého profilu.

E. Význam pro praxi nebo pro rozvoj vědního oboru *(vyjádření k významu pro praxi nebo pro rozvoj vědního oboru)*

Předložená disertační práce je teoretického charakteru se zaměřením na návrh nového inovativního numerického postupu - Paralelní hybridní optimalizaci (PHO). Tato metoda, použitá při návrhu nových leteckých profilů, umožňuje dosáhnout kvalitativně lepších aerodynamických výsledků. Navržená metoda zkracuje dobu řešení nezbytnou k dosažení limitního stavu. Nově vygenerovaný letecký profil disponuje, ve stanoveném provozním rozsahu úhlů náběhu, limitních – tedy nejlepších možných hodnot aerodynamické jemnosti profilu.

Disertační práce a její výsledky mají přímý dopad do praktických aplikací při vývoji nové letecké techniky s pevnou nosnou plochou. Jedním z cílů práce byl návrh dostatečně rychle konvergující numerické metody, která umožní generování nových geometrií leteckých profilů

s výrazně vylepšenými aerodynamickými parametry. Redukce aerodynamického odporu profilu umožňuje návrh letecké techniky, která bude při svém provozu vykazovat nižší provozní náklady a s tím spojenou nižší emisní zátěž.

Autor v závěru práce uvádí i další směr možného rozvoje v této oblasti s doporučeními pro další zpřesnění a verifikaci navržené metody.

F. Publikační činnost autora

Autor v práci uvádí soubor svých publikací a patentů souvisejících s disertační prací. Počet uvedených publikací je vyhovující.

G. Formální úprava disertační práce a jazyková úroveň (vyjádření ke struktuře disertační práce, k formálnímu zpracování a k jazykové úrovni)

Práce je zpracována v českém jazyce na dobré úrovni. Vlastní práce je rozdělena do nezvykle vysokého počtu dvaceti kapitol a je zpracována v rozsahu 146 stran textů A4 a devíti stran literatury. Následně jsou v práci uvedeny přílohy v rozsahu 39 stran A4 a tři stran zkratk a symbolů. Práce je zpracována přehledně, srozumitelně, obsahuje minimum nedostatků, které neovlivňují její kvalitu. Práce obsahuje značný počet grafických výstupů, celkem 144 obr., s tím, že se některé opakují např. obr. 75 a obr.78, dále obr. 88 a obr. 90 resp. obr.94 a obr. 96.

V rámci obhajoby žádám disertanta o názory a zodpovězení následujících otázek:

- 1) Vysvětlíte, co Vás vedlo k závěru, že vyšší absolutní hodnota klopivého momentu u optimalizovaného profilu NACA 2412 uvedená v tab.46 str.139 je pozitivní ?
- 2) Vysvětlíte, na základě čeho jste zvolil hodnotu rozsahu úhlu náběhu 3° až 9° pro režim letu „širší“ ustálený let a jak lze vnímat hodnotu aerodynamické jemnosti C_L/C_D uvedenou v tab. 47 str. 139.
- 3) Objasněte, proč jste při výpočtech charakteristik optimalizovaných profilů uvažoval hodnotu Reynoldsova čísla $Re=5e6$ a současně pro tento režim v tab.38, 39, 40, 41, 42 na str. 125, 127, 128, 130, 132. uvádíte hodnotu Machova čísla $M=0$?
- 4) Objasněte, na jakém HW byly prováděny výpočty s časovým omezením výpočtu optimalizace na 150 min.

Závěrečné zhodnocení (celkové zhodnocení disertační práce a jednoznačné vyjádření, zda oponent práci doporučuje nebo nedoporučuje k obhajobě)

Na základě dosažených výsledků a závěrů uvedených v práci lze konstatovat, že autor ve své disertační práci splnil všechny cíle, které si stanovil.

Závěrem konstatuji, že předložená disertační práce splňuje podmínky stanovené §47, odst. 4, zákona č. 111/1998 o vysokých školách. Zpracováním práce disertant prokázal schopnost samostatně vědecky pracovat.

K disertační práci nemám žádné vážné výhrady, je zpracována v odpovídajícím rozsahu a kvalitě a doporučuji ji k obhajobě. Po jejím úspěšném obhájení navrhuji, aby pan Ing. Jan MÜLLER obdržel akademický titul Ph.D.

V Brně dne 13. září 2024

Doc. Ing. Dalibor RŮŽEHNAL, Ph.D.