

## Oponentský posudek na doktorskou disertační práci

**RNDr. Jaroslava Hájka: *Aerodynamic optimization of airfoil and wings using fast solvers* k udělení akademického titulu “PhD” na MFF UK v Praze.**

S rostoucí cenou fyzikálních experimentů se stále více prosazuje numerická simulace celých částí zařízení i v provozních podmínkách. Tyto simulace pak zpřesňují a hlavně zlevňují návrh experimentů a dovolují vedle lepšího pochopení fyzikální podstaty procesů i jejich následnou optimalizaci. Jedním z důležitých dosud otevřených problémů návrhu leteckých profilů je stabilita jejich návrhových letových parametrů, jako jsou vztlak a odpor, popř. i moment sil působících na profil vzhledem k aerodynamickému středu (tj. většinou k jedné čtvrtině chordy od náběžné hrany). Specifikou tohoto problému jsou nestacionarity vznikající v důsledku odtržení proudu. Stále otevřeným problémem je stabilita provozu, zvláště pak při velkých úhlech náběhu, popř. v oblasti transonických rychlostí. Při těchto provozních režimech vznikají silná nestacionární proudová pole, která indukují silné, často periodické tlakové pulsace na obtékaný profil. Z těchto důvodů je formulace problému disertační práce velmi aktuální.

Doktorská práce RNDr Jaroslava Hájka se zabývá nalezením vhodného optimalizačního algoritmu a jeho numerickou realizací pro výpočet potenciálního proudového pole. Cirkulace nutná ke generaci vztlakové síly je zavedena předem definovaným rozložením potenciálních vírů podél profilu. Modelování profilu konečné délky je provedeno metodou skládání, tzv. „horseshoe“ vírů. Tímto způsobem je zajištěn „odtok vířivosti“ za profil a následná generace vztlaku. Úplav je modelován soustavou zdrojů a odtokový bod je fixován v odtokové hraně. Výše uvedená metoda návrhu profilů je známá a většinou se standardně využívá. Autor práce se s touto metodou návrhu podrobně seznámil a podle toho formuloval i cíle práce:

- a) navrhovat aerodynamické profily použitím inženýrského softwaru XFOIL
- b) nalézt a optimalizovat evoluční algoritmus
- c) otestovat postup pro 2D návrh štíhlých profilů
- d) optimalizovat tvar profilu, tak aby vykazoval požadované vlastnosti při zadaném úhlu náběhu

Práce je psána anglicky.

## Hodnocení

Těžiště práce je ve vypracování a naprogramování vhodného optimalizačního algoritmu k návrhu leteckých profilů výše uvedenou metodou potenciálního proudění. Vzhledem k tomu, že jde o složitý multikriteriální problém použil k ocenění kvality profilů metodu Paretovy fronty, která je hojně využívána při analýze ekonomických problémů. Smyslem této metody je stanovení takové množiny přijatelných řešení optimalizačního problému, tzv. Paretovu frontu, která pak slouží jako východisko pro všechna další zatím neznámá řešení. Je tudíž výhodnější vzít řešení z této fronty než hledat složitým postupem řešení speciální. Tato filosofie je samozřejmě vhodná pro systémy jejichž popis je velmi složitý a jejichž chování závisí na mnoha často neznámých parametrech. Nemohu se

kvalifikovaně vyjádřit k výhodnosti použitého genetického algoritmu, protože nedokážu posoudit množinu profilů na které byl algoritmus inicializován a jestli obsahoval vhodnou třídu profilů optimálních, např. i pro přechodové (hybridní) režimy které se v reálných podmínkách letu vyskytují prakticky vždy.


Moderní mechanika tekutin využívá k návrhu profilů metod, vycházejících z řešení úplných Navierových-Stokesových rovnic včetně nejnovějších modelů turbulence. Zvlášť citlivým problémem je přechod mezní vrstvy laminární do turbulentní. Ukazuje se, že tento postup návrhu je v nějakém omezeném rozsahu parametrů ( rychlosti, úhlu náběhu apod.) již dostatečně kvalifikovaný a poskytuje věrohodné výsledky. Jeho nevýhodou je, že vyžaduje poměrně hluboké znalosti mechaniky tekutin a numerické matematiky a je také časově náročný. Těmto nevýhodám se autor práce zřejmě pokoušel vyhnout a šel cestou výběru z třídy profilů řešených výše uvedenou metodou potenciálního přiblížení. V tomto smyslu práce splnila deklarované cíle.

1. *otázka.* V práci je provedeno porovnání poláry dvou konkrétních profilů a porovnání lineárního a nelineárního algoritmu. To sice poskytuje jistou informaci o metodě ale je obtížné rozhodnout, která z těchto metod je blíže ke skutečnosti a je tedy vhodnější k vyžití pro návrh konkrétního profilu. Jakou metodou byla nalezena polára pro viskózní případ? Existuje porovnání s experimentem?
2. *otázka.* V práci je uvedena metoda pro návrh profilu konečné délky. A v kapitole 5 je uvedena i optimalizace geometrie profilu kluzáku (glider). Rád bych aby autor zdůvodnil proč není tato geometrie zobrazena tak, aby byla patrna konkrétní změna geometrie ke které vypracovaná metoda optimalizace vede? Je tato nová geometrie know-how firmy VZLU?.

## Závěr

Předložená práce má výbornou grafickou úroveň. Obsahuje stručný popis klasické teorie návrhu geometrie leteckých profilů a formulaci multikriteriální metody optimalizace v pojetí Paretovy fronty. Těžiště práce je ve využití této multikriteriální teorie optimalizace a vypracování algoritmu pro nalezení přijatelného optima nalézajícího se vesměs na Paretově frontě. Práce sleduje jeden z možných moderních trendů využití matematických metod pro návrh složitých zařízení. Je předpoklad, že po dalším dopracování bude možno tyto metody využít i pro návrh konkrétních leteckých profilů. Předložená doktorská práce k udělení titulu PhD, splňuje ustanovení § 47, odst. 3 Zákona č. 111/1998 o vysokých školách a doporučuji proto aby byl **RNDr. Jaroslav Hájek** připuštěn k její obhajobě na Matematicko-Fyzikální Fakultě University Karlovy v Praze..

V Praze dne 5. listopadu 2009



Prof. Ing. František Maršík, DrSc  
Ústav termomechaniky AVČR