

# Oponentský posudek na disertační práci doktoranda Mgr. Jana Šimáka „Solution of inverse problem for a flow around an airfoil”

pro získání titulu PhD.

Disertační práce doktoranda Mgr. Jana Šimáka nazvaná “Solution of inverse problem for a flow around an airfoil” se zabývá velmi významnou a zajímavou problematikou **řešení inverzní úlohy** obtékání leteckého profilu. Práce se zaměřuje na konkrétní úlohu konstrukce neznámého tvaru leteckého profilu na základě předepsaného tlakového nebo rychlostního rozložení. Problém je řešen ve zjednodušené dvourozměrné formulaci (2D) jako problém pevného bodu složeného operátoru (složený z přímého a přibližného inverzního operátoru). Inverzním operátorem je zde míněn operátor, který zadanému rozložení tlaků nebo rychlostí přiřazuje tvar obtékaného profilu. V práci je konstruován přibližný inverzní operátor, kdy tvar leteckého profilu je odvozen na základě teorie tenkých profilů prostřednictvím střední čáry a tloušťkové funkce. Přímým operátorem je pak míněn operátor, který zadanému tvaru přiřazuje tlakové nebo rychlostní rozložení na povrchu profilu. V práci jsou uvažovány dva přímé operátory. První je konstruován pomocí matematického modelu potenciálního proudění. Druhý model je model turbulentního proudění založený na středovaných Navierových-Stokesových rovnicích.

Disertační práce **je členěna do šesti kapitol**: V první kapitole je obsažen úvod do řešené problematiky a také stručné shrnutí současného stavu poznání. Druhá kapitola pak obsahuje matematický popis proudění prostřednictvím model potenciálního nebo turbulentního proudění. Problém potenciálního proudění je zformulován jako Fredholmův integrální problém, a je numericky aproximován pomocí numerické kvadratury. Turbulentní proudění je matematicky popsáno pomocí středovaných Navierových-Stokesových rovnic a jednoho ze dvou modelů turbulence. Je užit buď k-omega nebo EARSM (explicit algebraic Reynolds stress) model turbulence. V této části je také popsána numerická aproximace turbulentního proudění pomocí metody konečných objemů. Třetí kapitola pak obsahuje formulaci uvažovaného inverzního problému pomocí operátorové rovnice a její řešení pomocí konstrukce konvergentní posloupnosti. Kapitola čtvrtá je věnována konstrukci přibližného inverzního operátoru pomocí tzv. thin airfoil theory a jeho numerické realizace. Pátá kapitola je věnována tzv. numerické validaci zvolené metody. Tato kapitola obsahuje řadu testů, které dokládají použitelnost popsané numerické metody.

Za **hlavní přínos** této práce považuji to, že autor nejen popsal numerické metody používané pro numerické řešení problémů proudění a dokázal je implementovat ve vlastních programech, ale také je použil pro řešení výše zmíněné inverzní úlohy v kombinaci s přibližným inverzním operátorem realizovaným pomocí vlastních numerických algoritmů. Inverzní úloha je řešena i pro případ různých úhlů náběhu a nesymetrických profilů. Práce je formálně velmi kvalitně zpracována a psána velmi dobrou angličtinou, obsahuje také velké množství graficky pěkně zpracovaných výsledků, i když v některých případech s nejasným popisem.

Vzhledem k danému rozsahu práce je zřejmé, že tato bude obsahovat také i **některé nedostatky či nepřesnosti**: Práce možná není optimálně členěna, například pouze dvoustránková (!) kapitola 3 využívá přímého operátoru z kapitoly 2 a přibližného inverzního operátoru z kapitoly 4 (nabízí se umístit kapitolu 3 buď před, nebo za zbylé dvě kapitoly). Autor je v některých částech příliš stručný (např. popis numerických metod či numerických výsledků) v některých částech naopak příliš podrobný (například sekce 2.4.1 věnovaná bezrozměrným veličinám, nebo EARSM model, který pro řešení inverzní úlohy nejspíše (?) nebyl použit). V některých případech je autor nepřesný, např. na straně 8 v

tvrzení, že funkce  $F$  za splnění podmínek 2.1.5, 2.1.6 je holomorfní, chybí předpoklad o spojitosti parciálních derivací. Definice třídy Holderových funkcí na téže straně užívá značení pomocí symbolu  $H$ , který je na straně 9 ve větě 1 (Theorem 1) použit pro integrální funkci – symbol  $H$  je navíc v teorii funkce komplexní proměnné někdy používán pro holomorfní funkce. Na straně 9 je dále užit vztah (2.1.12) u kterého je odkaz na celou rozsáhlou monografii [19] bez bližšího upřesnění, které tvrzení je míněno. Dále jen stručný výčet: na straně 20 pod rovnicí 2.2.12 by bylo vhodné uvést jednotky u Sutherlandovy teploty, na straně 31 by mělo být zeslabeno tvrzení „perfectly natural initial condition“, zápis okrajové podmínky 2.4.32, strana 32 pro  $\omega$  je v kontextu této práce nejasný a zasluhoval by citaci. Dále ve vztahu 2.4.64 je s hodnotou  $C_D$  zacházeno jako s konstantou, ačkoliv závisí jak na  $k$  tak i  $\omega$ , v kapitole 3 (operátorová rovnice) na straně 40 autor pracuje s pojmem prostor, aniž by přesněji specifikoval jaký prostor je míněn. Ve Větě 2 na téže straně pak již korektně pracuje s pojmem Banachův prostor (zde upozorňuji na překlep: Than/Then). V páté kapitole pak část grafů obsahuje nepřesný popis, některé grafy nejsou zobrazeny nebo jsou navzájem překryty. V části věnované vazkému proudění (5.2 Viscous flow) není zřejmé, který z modelů turbulence byl použit. Detailněji popsány by měly být i parametry numerických výpočtů zejména sít' pro turbulentní proudění, nebo jak hrubé dělení bylo užito pro aproximaci potenciálního proudění nebo konstrukci inverzního operátoru.

V předchozím - poměrně dlouhém - odstavci jsem uvedl některé výtky k předkládané práci, nicméně bych rád upřesnil, že ostatní **pozitiva této práce tyto výtky daleko přesahují**. Ačkoliv práce není textově rozsáhlá (84 stran), její faktický obsah a přínos je velký – zde se pro stručnost zpětně odkazují na první dva odstavce posudku. Stručnost popisu je v této práci akceptovatelná vzhledem ke komplexnosti řešené problematiky. Je třeba zdůraznit, že práce detailně prezentuje postup řešení komplikovaného inverzního problému, užívaný matematický model a jeho numerickou aproximaci. Řešená problematika vychází přímo z technické praxe a samozřejmě je prakticky velmi dobře uplatnitelná.

### **Závěr:**

Předložená práce má vynikající úroveň, obsahuje výsledky z rozsáhlých oblastí aplikované matematiky. Disertační práce zcela jednoznačně prokazuje autorovy předpoklady k samostatné tvořivé práci. Z těchto důvodů ji vřele doporučuji k obhajobě a navrhuji, aby Mgr. Janu Šimákovi byl udělen titul PhD.

Praha 24. 7. 2014

Doc. RNDr. Petr Sváček, PhD.  
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,  
Karlovo nám. 13, Praha 2, 121 35