

doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.  
V Horkách 242/7  
46007, Liberec

**Posudek disertační práce Ing. Jiřího Stodůlky**  
**Analytical and Computational Methods for Transonic Flow Analysis and Design**

### Rešerše

Předložená disertační práce obsahuje celkem 95 stran textu. Součástí práce je titulní list, abstrakt v českém i anglickém jazyce, poděkování, prohlášení, obsah, seznam použitého značení a v závěru práce uvedené použité zdroje. Tématem předložené disertační práce jsou různé způsoby řešení transsonického proudění stlačitelných tekutin a jejich aplikace na akademické a i praktické úlohy.

Práce je členěna do kapitol, první kapitola stručně uvádí motivaci k výzkumu analytických metod. Opět velmi stručně je uvedena teorie proudění stlačitelné tekutiny a hodografická metoda v kapitole druhé. Cíle práce jsou náplní třetí kapitoly. Čtvrtá kapitola se věnuje numerickému ověření navržené metody na úloze interakce šikmé rázové vlny s pevnou stěnou.

Pátá kapitola se věnuje použití metody a její ověření na úloze obtékání symetrického a dvou nesymetrických profilů. Obsahem šesté kapitoly je řešení případu proudění v trysce kombinovaného tvaru. Sedmá, nejrozsáhlejší kapitola se věnuje proudění v lopátkové mříži. Osmou kapitolou je závěr.

Práce je psána v anglickém jazyce.

### Hodnocení formální stránky práce

Po grafické stránce je práce na velice solidní úrovni a příkladná. Autor práce se nicméně nevyvaroval nedostatků po stránce formální. Oponent není schopen posoudit jazykovou kvalitu anglického textu, ale ze subjektivního hlediska mu obzvláště začátek práce připadal velice obtížně čtivý a to nejen z důvodu na anglický jazyk poměrně dlouhých souvětí. Text není prostý překlepů (např. „*filed*“ versus „*field*“ na str. 2 a 15), chybějících slov (např. poslední věta na str. 16) nebo naopak přebývajících (např. „*may may*“ na str. 2) či nesprávného použití slov (např. slovo „*separation*“ na str. 22). Jazyková a stylistická korektura by čitelnosti textu práce velice prospěla. Chyby najdeme i v rovnicích:

- Oponent si rád nechá vysvětlit „rovnicí“ (2.12), ve které je uvažován rozšiřující se kanál pro záporná Machova čísla a zužující se kanál pro kladná Machova čísla.
- Prandtlůva rovnice pro rázovou vlnu by si jistě zasloužila uvedení v textu místo prostého popisu.
- Rovnice (2.19) je zřejmě chybná.
- Poměrně matoucí je uvedení veličiny „*specific energy*“, tj. měrné energie,  $e$  v seznamu použitého značení společně s jednotkou J/kg. Pokud by se skutečně jednalo o uvedenou veličinu, rovnice (4.2) až (4.4) a rovněž rovnice (4.10) a (4.11) by nebyly rozměrově ani fakticky správné. Zřejmě se tedy jedná o stejně označenou veličinu „*total energy*“, neuvedenou v seznamu, jež má ovšem rozměr Pa.

## Hodnocení odborné stránky práce

Práce se zabývá aktuálním a bezesporu vědecky velice zajímavým tématem proudění plynu při transsonických rychlostech. Dnešní komerční softwary sice dokáží řešit proudová pole stlačitelné tekutiny při transsonických rychlostech, ale jak autor práce v jejím úvodu namítá, ztrácí se tím pochopení procesů a jevů, které zapříčiňují výslednou podobu proudového pole. Autor práce si vytyčil velice ctížádostivý cíl – vzít si k ruce dnes již málo používané analytické metody, modifikovat je a za pomoci dnešních výpočtových prostředků je použít k řešení klasických úloh dynamiky plynů.

Postup autora vedoucí k dosažení cílů práce je správný. Odvozuje metody řešení transsonického proudového pole, které dále ověřuje na základní úloze dynamiky plynů – interakci rázové vlny s pevnou stěnou. Metodu dále používá k řešení klasických úloh, např. obtékání symetrického a nesymetrického leteckého profilu včetně interakce nadzvukových proudů na odtokové hraně a z ní vyplývajících rázových vln. Z prezentovaných dat je zřejmé, že autorem vyvinutá metoda dobře koresponduje s přesným řešením a je pro řešení daných úloh vhodná. Zajímavé jsou např. výsledky pro nenávrhové režimy obtékání leteckého profilu na obr. 5.17 a 5.19, ale rovněž výsledky výpočtu proudění v trysce kombinovaného tvaru na obr. 6.16.

Bezesporu nejzajímavější aplikací metody je řešení proudění v lopatkové mříži SE 1050 vyznačující se supersonickou kompresí při transsonické expanzi, ke které dochází v místě náhlé změny křivosti stěny. Autor využil CFD výpočty k získání informací o poloze a tvaru zvukové čáry, od které dále používá metodu charakteristik a identifikuje polohu neutrální charakteristiky. Ukazuje dále, že snaha o jednoduché řešení problému vede ke zhoršení situace a zvýšení intenzity vzniklé komprese a že je tedy nutné tvarovat i podzvukovou část profilu za pomoci vyvinuté metody umožňující rychlé řešení transsonického proudového pole. Při analýze autor správně uvažuje nejen vliv úprav na účinnost stupně, ale i na výsledné aerodynamické síly. Výsledky optimalizace, při kterých bylo dosaženo proudění bez lokálních kompresí, považuje oponent za unikátní.

### Pro účely obhajoby má oponent tyto otázky

1. Jaký je fyzikální význam veličiny „total energy“  $e$  použité ve vztazích (4.2) až (4.4)?
2. Můžete prezentovat podrobnější postup dosažení optimálního řešení prezentovaného na obr. 7.19 a 7.20?
3. Šlo by uvedenou metodu použít pro řešení transsonického proudění v ejektorech?

### Celkové hodnocení disertační práce

Závěrem lze konstatovat, že autor ve své práci představil velice zajímavý nástroj pro rychlé řešení transsonických proudových polí a pro rychlý návrh tvaru průtočných kanálů či obtékaných těles a jeho prostřednictvím umožňuje hlubší pochopení jevů spojených s prouděním stlačitelné tekutiny vysokou rychlostí.

Zmíněné výtky k formální stránce nijak nesnižují vynikající odbornou úroveň předložené disertační práce. Autor prokázal hluboké teoretické znalosti a schopnost řešit praktické problémy v oboru mechaniky stlačitelných tekutin na vysoké úrovni.

Disertant splnil všechny cíle práce v ní vytyčené. Dosažené výsledky jsou přínosné v oboru a prokazují schopnost vědecké práce. Práci doporučuji k obhajobě. Při úspěšném průběhu obhajoby doporučuji udělení titulu Ph.D.

V Liberci 9. 5. 2019

doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.