

## Oponentní posudek na disertační práci

Název disertační práce: **Numerické simulace proudění mělkých vod**

Autor disertační práce: **Ing. Martin Fišer**

### 1. Úvod

Disertační práce je napsána v anglickém jazyce. Zabývá se řešením nestacionárního proudění nestlačitelné kapaliny s volnou hladinou. Navazuje na předchozí práce autora, které doplňuje o složitější fyzikální i matematické modely. Autor se neomezuje pouze na formulaci algoritmu pro numerické řešení. Naopak se mu podařilo účelně doplnit původní matematický model, odvozený Saint-Venantem. Doplnění se týká především zdrojových členů, popisujících tvar dna mělké vody, smykového napětí kapaliny ve styku se „sedlovou“, stěnou a ošetření záporné hloubky vody při členitém dnu, systémem nerovnic. Uvedený matematický model nezahrnuje dynamické děje s turbulentními vírovými strukturami.

### 2. Hodnocení

V úvodu práce je velmi přehledným způsobem provedena literární rešerše, která svědčí o širokých znalostech autora o problematice proudění mělké vody.

Práce je psána velmi úsporným, ale přesným jazykem. Velmi dobře působí pasáže o zařazení matematického modelu. Zejména důkaz o hyperbolickém tvaru základních rovnic, na základě modálních a spektrálních Jacobiho matic. Využití Jacobiho matice např. ve vztazích (1.10), (2.75) je rovněž velmi účelné. Uvedenými operacemi bylo možno vytvořit vhodný matematický model pro numerické řešení. Podotýkáme, že se jedná o velmi obtížný problém, řešení systému nelineárních parciálních diferenciálních rovnic. K vyřešení tohoto problému disertant vynaložil mnoho vynalézavosti a znalostí, jak z matematické analýzy, tak numerických metod. Pro malé změny výšky hladiny jsou rovnice linearizovány. Analytické řešení je tak možno srovnávat s výsledky numerické simulace, což vede k větší spolehlivosti numerických metod. Autor se rozhodl o převod parciálních diferenciálních rovnic na systém obyčejných diferenciálních rovnic dvěma metodami. Metodou kontrolních objemů a Galerkinovou metodou, s úspěšným využitím nestrukturovaných sítí.

Řešení rovnic v časové oblasti je správně popsáno metodami Eulera a Runge - Kutta vyšších řádů. Pro určitou třídu úloh by snad byla vhodná i metoda časové diskretizace (Rektorys, K.: Metoda časové diskretizace SNTL, Praha 1985).

Při numerickém řešení bylo nutno ověřit možnost vzniku záporné výšky, suchého a mokrého dna. I zde je nutno ocenit tvůrčí invenci autora disertační práce.

O úspěšnosti numerických metod svědčí srovnání výpočtů s analytickým řešením a experimentem. Nutno podotknout, že návrh experimentu odpovídal předpokladům matematického modelu. I srovnání výsledků výpočtového modelování s experimentem je nepřímým důkazem vhodnosti navržených numerických metod. Disertační práci by prospěla analýza nejistot měření. Vzhledem k významným výsledkům práce je závěr málo podrobný. Schází zde jasný popis vlastních přínosů disertační práce. Autor se v závěru odkazuje více na své publikace, než na charakteristiku výsledků uvedených v disertační práci.

### 3. Závěr

Disertační práce navazuje na předchozí úspěšnou publikační činnost autora. Metodika řešení je pojata systémově, se správnými závěry. Autor zpřesnil dosavadní matematické modely numerické simulace proudění mělkých vod a navrhl jejich originální řešení. Výpočtové modelování založil na ověřených numerických metodách, využitím nestrukturovaných sítí s aplikací nestandardních zdrojových funkcí.

Práce je v souladu se světovými trendy v daném oboru. Přináší nové poznatky, využitelné ve vědecké práci i praktických aplikacích.

Doporučuji práci k obhajobě,

V Brně dne 20.9.2016



prof. Ing. František Pochylý, CSc.  
oponent disertační práce

## Oponentský posudek

disertační práce pana Ing. Martina Fišera nazvané

### Numerické simulace proudění mělkých vod

Disertační práce Ing. Martina Fišera obsahuje v souladu s §47 zákona č. 111/98 původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění. Práce se zabývá aktuální problematikou efektivních numerických metod pro modelování dynamiky tekutin.

Autor se zaměřuje na vývoj numerického modelu pro proudění nestlačitelné tekutiny založeného na Saint-Venantových rovnicích. Používá metodu konečných objemů a nespojitou Galerkinovu metodu.

Práce má 117 stran a je rozdělena do sedmi kapitol. První kapitola je krátkým úvodem a je zde také stručně popsán obsah práce, shrnut vývoj problematiky, přehledně prezentován její současný stav a jsou zde uvedeny cíle práce. Kapitola druhá je věnována formulaci matematického modelu, jeho vlastnostem a otázkám spojeným s okrajovými podmínkami. Třetí kapitola je zaměřena na popis metody konečných objemů (na nestrukturované síti), přibližné Riemannovy řešiče, popis korekce zajišťující splnění entropické podmínky, na problematiku přechodu mezi suchou a zatopenou oblastí a na problematiku aproximace zdrojových členů a udržení ustálených stavů. Čtvrtá kapitola, která je – spolu s předchozí kapitolou – teoretickým jádrem práce, je věnována nespojitě Galerkinově metodě. Autor se zde zaměřuje na podobné otázky jako v kapitole třetí a dále zde navrhuje nový postup pro stabilizaci metody (tzv. limiting). Následující kapitola je věnována numerickým schémátům pro aproximaci v časové proměnné. V pořadí šestá kapitola je věnována některým detailům souvisejícím s použitím nestrukturovaných sítí a kapitola sedmá otázkám paralelizace příslušných algoritmů. Závěrečná kapitola je věnována numerickým experimentům, které poukazují na vlastnosti studovaných přístupů. Následuje závěr shrnující získané poznatky.

Jak již bylo řečeno, základním cílem disertační práce je rozvinout některé moderní výpočetní postupy pro numerické modelování proudění s volnou hladinou. Autor se zaměřil na dvě metody: metodu konečných objemů a nespojitou Galerkinovu metodu, v jejichž rámci je možné řešení aproximovat nespojitou funkcí. Metody analyzoval a navrhl jejich vylepšení. Provedl také

řadu numerických experimentů. Cíle byly bezpochyby splněny. V disertační práci je celá problematika přehledně popsána.

Konstatuji, že předložená disertační práce splňuje obvyklá odborná kritéria. Jsem toho názoru, že pan Martin Fišer v práci prokázal svoje hluboké znalosti jak v oblasti aplikované matematiky a mechaniky kontinua, tak i v oblasti počítačové implementace a modelování složitých problémů. Je evidentní, že má předpoklady k samostatné tvůrčí práci v oboru.

V práci jsem našel několik především stylistických nedostatků. Vylepšení si jistě zaslouží česká verze abstraktu. Navrhuji také dokončit odvození formule (2.95). Tyto nedostatky však nesnižují celkovou úroveň díla.

Mám následující otázky:

1. V práci se předpokládá, že dno je popsáno spojitou funkcí. Lze tento předpoklad opustit? Přináší toto zobecnění zásadní komplikace související s přesným a přibližným řešením Riemannova problému nekonzervativní soustavy rozšířené o neznámé svázané s topologií dna? Přineslo by toto zobecnění nějaké zásadní výhody?
2. Může autor shrnout informace o problematice udržení ustáleného stavu v případě nespojitě Galerkinovy metody?
3. Autor konstatuje, že nespojitá Galerkinova metoda je výpočetně náročná. Zvýšení efektivity lze pravděpodobně dosáhnout využitím hp-adaptivity. Je zásadním problémem včlenění této techniky do stávajících postupů (nedojde k porušení některých vlastností)?

Hlavní přínos autora v řešené problematice představuje využití moderních efektivních prostředků numerické matematiky v oblasti výpočtové dynamiky tekutin. Speciálně jde o návrh algoritmů založených na metodě konečných objemů a nespojitě Galerkinově metodě, jejich paralelní implementaci. Oceňuji také řadu numerických experimentů, na kterých autor ukazuje možnosti a omezení studovaných technik. Opakuji, že autor ve své práci splnil stanovené cíle. Všechny publikace, jejichž seznam je uveden v závěru disertační práce, přinášejí zajímavé a původní vědecké výsledky. Jde o pět výstupů na celostátní i mezinárodní úrovni.

Závěr:

Z celkového hodnocení je zřejmé, že disertační práci doporučuji k obhajobě v rámci oboru Aplikovaná mechanika doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni. Za předpokladu úspěšné obhajoby disertační práce doporučuji, aby panu Martinu Fišerovi byl udělen akademický titul „doktor“ ve výše uvedeném studijním programu.

V Plzni dne 12. září 2016

  
Doc. Ing. Marek Brandner, Ph.D.  
oponent

