

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího       posudek oponenta  
 bakalářské práce       diplomové práce

Autor: Dominik Vach  
Název práce: Surface manifestation of melting within the ice shell of Europa  
Studijní program a obor: Fyzika, Matematické a počítačové modelování ve fyzice (FMPMF)  
Rok odevzdání: 2019

Jméno a tituly oponenta: RNDr. Jakub Velímský, Ph.D.  
Pracoviště: Katedra geofyziky, MFF UK  
Kontaktní e-mail: jakub.velimsky@mff.cuni.cz

## Odborná úroveň práce:

- vynikající     velmi dobrá     průměrná     podprůměrná     nevyhovující

## Věcné chyby:

- téměř žádné     vzhledem k rozsahu přiměřený počet     méně podstatné četné     závažné

## Výsledky:

- originální     původní i převzaté     netriviální kompilace     citované z literatury     opsané

## Rozsah práce:

- veliký     standardní     dostatečný     nedostatečný

## Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající     velmi dobrá     průměrná     podprůměrná     nevyhovující

## Tiskové chyby:

- téměř žádné     vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet     četné

## Celková úroveň práce:

- vynikající     velmi dobrá     průměrná     podprůměrná     nevyhovující

### **Slovní vyjádření, komentáře a připomínky oponenta:**

Diplomová práce se věnuje numerickému modelování tečení ledu v konfiguraci s volným povrchem a s použitím komplexní viskoplastické reologie. Za cíl si klade přispět k objasnění formace chaotických povrchů na Jupiterově ledovém měsíci Europě.

Úvodní kapitola obsahuje stručný přehled literatury, představuje hypotézy formace chaotických povrchů na Evropě, včetně čtyřfázového modelu vodní čočky podle Schmidt et al. (2011), kterým se práce nadále zabývá. Druhá kapitola se věnuje použité teorii a ve více či méně pozměněné formě přebírá formulaci problému viskoplastického tečení s viskozitou závislou na historii deformace (Maierová 2012) s produkcí taveniny (Kalousová 2016), odvození rovnic tečení, včetně Boussinesqovy aproximace, ze zákonů zachování základních fyzikálních veličin (Martinec 2003, Matyska 2005), představení ALE metody (Donea et al. 1982) pro modelování volného povrchu, Nitscheho metody pro formulaci okrajové podmínky (Juntunen a Stenberg 2009) a použitých numerických schémat (Crank-Nicolsonové schéma, Taylor-Hoodovy elementy, Picardovy iterace, nespojitá Galerkinova metoda). Bohužel, tato kapitola trpí značnou neuspořádaností a nepřehledností. Například finální verze matematického modelu určená pro modelování formace chaotických povrchů je uvedena hned na začátku, ale samotná viskoplastická reologie je představena o několik stran později. Slabá formulace je uvedena pro úlohu termální konvekce v bezrozměrném zápisu, a zvláště pro advekci druhého invariantu deformace, ale již ne pro model chaotických povrchů. Pro čtenáře je v důsledku jednodušší obrátit se přímo na citované články a učebnice k pochopení jednotlivých problémů a technik. Třetí kapitola popisuje čtyři benchmarky vyvíjeného kódu (patrně ve Fenicsu, což ale z práce není zřejmé, stejně jako podíl autora na vývoji a implementaci) ve vzrůstající složitosti problému: termální konvekce, termální konvekce s volnou hranicí, viskoplastická termální konvekce, viskoplastická termální konvekce s lokální akumulací deformace. V jednotlivých benchmarkích se zbytečně opakují formulace z předchozí kapitoly, nicméně korektnost kódu je jistě prokázána. Čtvrtá kapitola, která se věnuje vlastní aplikaci kódu na modelování chaotických povrchů Evropy je naopak zbytečně krátká. Pro čtyři různé modely s rostoucí složitostí je zobrazen časový vývoj druhého invariantu tenzoru deformace. Pro nejsložitější model s tepelně závislou viskozitou a advekcí deformace autor připouští shodu se Schmidtovým modelem, ale bez hlubší diskuze.

Jakkoliv to není zřejmé ze samotného textu práce, lze konstatovat, že si student při vývoji programu a jeho testování osvojil pokročilé metody matematického modelování ve fyzice ledových měsíců. Provedl několik benchmarků, které ověřují správnost řešení a nepochybně musel překonat celou řadu překážek technického rázu. Je proto škoda, že se toto úsilí nepodařilo zhodnotit i v kvalitě finálního textu práce. Navzdory tomu nemám pochyb, že předložená diplomová práce by měla být přijata.

### **Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:**

- Do jaké míry závisí v simulacích Evropy klíčový efekt oslabení deformace na úhlu vnitřního tření? Je oprávněné převzetí hodnoty  $30^\circ$  pro led?
- Můžete detailněji rozvést srovnání výsledků numerického modelování se Schmidtovou hypotézou. Lze v namodelované časové řadě rozlišit jednotlivé fáze procesu, nebo se modelování týká jenom některé z nich? Nepomohlo by i zobrazení jiných parametrů (např. viskozity)?

### **Práci:**

- doporučuji  
 nedoporučuji  
uznat jako diplomovou.

### **Navrhuji hodnocení stupněm:**

- výborně  velmi dobře  dobře  neprospěl

Místo, datum a podpis oponenta:

Praha, 28. srpna 2019