

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy

- posudek vedoucího posudek oponenta
 bakalářské práce diplomové práce

Autor: Jan Mareš
Název práce: Thermal convection in an ice layer with a viscosity depending on the deformation history
Studijní program a obor: Matematika, Matematické modelování
Rok odevzdání: 2024

Jméno a tituly oponenta: doc. RNDr. Ondřej Souček, Ph.D.
Pracoviště: Matematický ústav, MFF UK
Kontaktní e-mail: ondrej.soucek@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 opané

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:

Předložená bakalářská práce se zabývá konečně-prvkovým numerickým modelováním termální konvekce v ledových měsících a speciálně cílí na studium efektu evoluce velikosti ledových zrn. Práce sestává z úvodu a pěti kapitol, v nichž autor postupně představuje základní formulaci úlohy termální konvekce v Boussinesqově aproximaci, numerickou konečně-prvkovou aproximaci této úlohy včetně odpovídající slabé formulace a následují tři výpočtové kapitoly, v nichž se postupně testuje použitý výpočetní kód na stále komplexnějších problémech. Poslední výsledková kapitola naplňuje cíle práce v tom smyslu, že jsou ukázány výsledky simulací termální konvekce ve 2D kartézské oblasti s uvážením komplexní napětí ově a teplotně závislé reologie ledu, která zahrnuje selfkonzistentní vývoj velikosti zrn ledu napočítaný technikou Lagrangeovských markerů.

Práce je dobře strukturovaná a četla se bez větších obtíží. Hlavní výsledky práce jsou zajímavé a potenciálně publikovatelné ve vědeckém časopise. Oceňuji schopnost studenta implementovat fyzikálně, ale i numericky poměrně netriviální úlohu, jakkoli implementaci markerů student převzal z kódu konzultanta. Poněkud lituji, že hlavní a původní výsledková část (pátá kapitola) je velmi stručná. Kupříkladu porovnání časové škály advekce a evoluce zrn, je pouze zmíněno, ačkoli má poměrně zajímavé důsledky. V práci jsem shledal určité množství drobných nepřesností, viz. níže, které trochu ruší dojem z ní. Přes tyto výhrady však práce dle mého názoru rozsahem i úrovní splňuje nároky kladené na bakalářskou práci a proto ji rozhodně doporučuji k obhajobě.

Poznámky:

- Rce 2.4 a 2.6 - Symbolem \mathbf{t} je na str. 4 nahoře označen celý Cauchyho tenzor napětí. Ve výše zmíněných rovnicích je však s tímto symbolem nakládáno, jako by označoval pouze jeho viskózní část.
- Nad rcí 2.7 se píše “From the free-slip condition for velocity also follows the free-slip condition for the test function ...”. Podmínka 2.7 ale jednak není free-slip podmínkou pro testovací fci, jednak tato Dirichletovská podmínka představuje sice přirozenou, ale nikoli nezbytnou podmínku.
- Nový symbol \vec{q} ve 2.13, označený o řádek níže jako tepelný tok je zaveden s chybným znaménkem.
- Str. 9 dole - uvažovaný Taylor-Hood diskretizační pár představuje tzv. inf-sup stabilní, nikoli však pressure robust diskretizaci.
- Str. 14 nad 3.9 - Nusseltovo číslo je standardně zaváděno jako poměr celkového ku konduktivnímu tepelnému toku tedy v tomto případě convective (total) to conductive, nikoli tak, je psáno “convective to a conductive (total)”. Jak je tato veličina numericky vyčíslována v simulacích?
- Rovnice 3.10 Ačkoli pro bezrozměrné veličiny je tato definice jistě možná, root mean square velocity by i z pohledu rozměru měla být spíše $\sqrt{\frac{1}{hl} \int_{\Omega} \vec{v} \cdot \vec{v} dx}$, ne?
- Ve 4.1 má být místo faktorů $\frac{2}{3}$ faktor $\frac{3}{2}$
- Rce 5.3 - ve jmenovateli chybí minus u $c\gamma$, viz. Behn et al. (2021), jejich rce. 12.

Otázky:

- Kromě modulu pro advekci markerů je Váš numerický kód původní? Tedy implementoval jste část odpovídající termální konvekci materiálu s teplotně a napětově závislou reologií samostatně? Nevnímal bych jako problém, pokud by tomu tak nebylo. Pouze v případě kladné odpovědi bych to rád vyzdvihl.
- Jak je v časovém schématu 2.17 nakládáno s vodivostí k ? Z jakého se bere časového kroku?
- Proč je počáteční teplotní distribuce řešena Pickardovskými iteracemi. Proč zde nepoužít nelineární řešič (Newtonovu metodu)?
- Obdobně, proč jsou voleny Pickardovské iterace ve 2.4, a není přímo volán nelineární řešič? Jak dobře použitá technika konvergovala?
- Rovnice 5.3 - co jsou symboly σ_{II} a $\dot{\epsilon}_{II}$? Jedná-li se o druhé hlavní invarianty příslušných tenzorů (což je standardní značení), dává toto dobrý smysl? Fyzikální význam tohoto výrazu by měl být mechanický výkon, tedy $\sigma : \dot{\epsilon}$ ve smyslu $\sigma_{ij}\dot{\epsilon}_{ij}$, ne? Můžete se pokusit tuto Vaši volbu nějak okomentovat?
- V závěru je zmíněno, že poměr časových škál evoluce zrn a advekce umožňuje v principu uvažovat rovnovážnou velikost zrn v každém časovém kroku konvekčního běhu. Jak by se tato velikost reálně počítala a jak by vypadala odpovídající implementace? Byl by takový přístup numericky stabilní? Potenciálně se totiž vystavujete skokovým změnám viskozity mezi časovými kroky, tedy skokovým změnám napětí, ty ovšem vedou ke skokovým změnám velikosti zrn atd... Zkoušel jste s tím numericky experimentovat?

Náměty do diskuze:

- Rovnice 1.3 neobsahuje disipativní zdroje tepla, například od slapově buzené deformace. I pokud je vynecháme na úrovni termální evoluce, nemohou slapy vstupovat do vývoje velikosti zrna?
- Z Vašich simulací se zdá, že efekt velikosti zrna je vcelku “banální” v tom smyslu, že se velikost rychle ustálí poblíž maximální povolené hodnoty a efekt dynamické rekrytalizace je relativně nevýznamný. To značí, že dynamika konvekce do celého procesu vstupuje málo a klíčové bude množství nečistot v materiálu, které zastaví růst. Je tomu tak nebo v celém obrázku něco chybí? Na tuto otázku neznám odpověď, proto se jedná pouze o námět do diskuze.

Práci:

- doporučuji
 nedoporučuji
uznat jako bakalářskou.

Navrhuji hodnocení stupněm:

- výborně velmi dobře dobře neprospěl

Místo, datum a podpis oponenta:

Praha, 2. září 2024