

Oponentský posudek doktorské disertační práce Mgr. Elišky Zábranové “Numerical modeling of free oscillations applied to superconducting- gravimeter data in a low-frequency seismic range”

Předložená disertační práce je věnována numerickému modelování vlastních kmitů Země a studiu momentových tenzorů vybraných megazemětřesení z dat supravodivých gravimetrů. Práce se skládá z úvodu, 6 kapitol, ve kterých doktorandka popisuje nejvýznamnější výsledky dosažené v průběhu svého studia, ze závěru, seznamu literatury a jedné přílohy. Jádro práce tvoří 3 vědecké články, publikované v časopisech *Studia Geophysica et Geodaetica*, *Geophysical Research Letters* a *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. Ve všech třech článcích je doktorandka první autorkou.

Práce je rozdělena do dvou základních částí. První část (kapitoly 1-3) podává stručný přehled dané problematiky. První kapitola se věnuje základnímu matematickému popisu vlastních kmitů Země, jsou uvedeny příslušné pohybové rovnice a je popsán formalismus řešení těchto rovnic pomocí maticového přístupu výpočtu vlastních frekvencí a vlastních funkcí kmitů Země. V druhé kapitole jsou uvedeny vzorce pro výpočet odezvy elastické/neelastické, sférické/n esférické a rotující/nerotující Země na zemětřesný jev. Kapitola 3 se věnuje zpracování dat ze supravodivých gravimetrů pro tři vybraná zemětřesení. Druhá část disertace (kapitoly 4-6) je složena ze tří publikovaných článků. Kapitola 4 se zabývá zpracováním seismických a gravimetrických záznamů z geodetické observatoře Plesný pro zemětřesení v Tohoku v roce 2011. Kapitola 5 je věnována analýze radiálních módů vlastních kmitů Země generovaných při zemětřesení v Maule v roce 2010 a v Tohoku v roce 2011. V kapitole 6 je navržena sdružená inverze faktorů kvality čtyř základních sféroidálních módů a komponent momentových tenzorů pro zemětřesení v Maule v roce 2010 a v Tohoku v roce 2011. V závěru jsou stručně shrnuty nejvýznamnější výsledky práce. V dodatku je popsáno analytické řešení diferenciálních rovnic pro střed modelu Země.

Předložená disertační práce má solidní formální a jazykovou úroveň, obrázky jsou ilustrativní, práce je přehledná. Práce je vysoce teoretická s náročným numerickým modelováním. Z tohoto pohledu je sympatické a cenné, že přesnost vyvinutých metod a algoritmů je jednak testována porovnáním výsledků s nezávislými existujícími algoritmy, a dále, že je v práci značná pozornost věnována i aplikacím na vybraná konkrétní zemětřesení. O vysoké kvalitě práce svědčí fakt, že výsledky práce byly publikovány v prestižních mezinárodních časopisech.

K disertační práci mám několik připomínek a dotazů. Očekávám, že se doktorandka k mým připomínkám vyjádří a dotazy zodpoví při obhajobě práce.

- Na teoretické analýze vlastních kmitů Země buzeného seismickým zdrojem mi vadí, že není v disertaci použit běžně používaný formalismus representačního teorému a Greenovy funkce. Ztrácí se tím, dle mého názoru, poněkud náhled na to, jakým způsobem zdroj (popsaný buď jednoduchou silou, nebo momentovým tenzorem) ovlivňuje vlastní kmity Země.
- Každá nově vyvinutá metoda či modifikace musí být důkladně testována, aby bylo ověřeno, že není chybná, a aby byly určeny meze přesnosti. Oblíbená jsou např. srovnání s analytickými či semianalytickými řešeními pro jednoduché modely. Existují nějaká takováto řešení pro vlastní kmity Země, a pokud ano, byly prováděny srovnávací testy na těchto modelech?

- V sekci 1.8 Numerické testy doktorandka provádí srovnávací testy přesnosti vyvinutého softwaru se softwarem Mineos, jehož autorem je Guy Masters. Doktorandka uvádí, že shoda je excelentní, co se týče frekvencí a velmi dobrá, co se týče Q-faktoru jednotlivých vlastních kmitů. Nicméně porovnání v časové oblasti ukázané na obr. 2.1 v sekci 2.3 Syntetické akcelerogramy na nerotující sféře odhaluje rozdíly, které nelze považovat za zanedbatelné. Zajímalo by mne, čím jsou tyto rozdíly způsobeny. Dále, jaká je závislost těchto rozdílů na frekvenčním pásmu syntetických akcelerogramů. Předpokládám, že pro nižší frekvence budou rozdíly klesat.
- Je zřejmé, že jednoduchý rychlostní izotropní 1-D model Země je příliš hrubou aproximací, neboť zanedbává laterální nehomogenity a anizotropii v kůře a v plášti. Jaká jsou v tomto ohledu omezení používané metody? Lze postup zobecnit i na výše zmíněné složitější modely Země a jak by se v tomto případě zvýšila jeho výpočetní náročnost?
- Při určování složek momentového tenzoru se velmi často používá předpoklad jeho nulové stopy. Tento předpoklad je použit i v disertační práci (v kapitole 5 a 6), nicméně se jeví, že nemusí mít obecnou platnost, např. pro anizotropní ohniskovou zónu. Nakolik by se inverze zkomplikovala, pokud by se všechny tři diagonální členy momentového tenzoru počítaly nezávisle? Bylo by určování stopy momentového tenzoru inverzí vlastních kmitů Země vůbec rozumné z hlediska dosažitelné přesnosti? Pokud ano, jak silných zemětřesení by se takováto případná analýza mohla týkat?
- V kapitole 6 na str. 85 doktorandka uvádí, že tři komponenty momentového tenzoru bylo nutné zafixovat, protože pole vlastních kmitů Země bylo na ně málo citlivé. Předpokládám, že důvodem je relativně malá hloubka studovaného zemětřesení. Jak by se změnila citlivost vlnového pole na jednotlivé složky momentového tenzoru pro silná středně hluboká či hluboká zemětřesení? Je možné odhadnout minimální hloubku, jakou by zemětřesení mělo mít, aby byla možná inverze kompletního momentového tenzoru?

Závěrem chci vyzdvihnout, jak se doktorandka vypořádala s velmi náročným tématem. Osvojila si obtížnou a matematicky náročnou teorii vlastních kmitů Země. Ukázala, že je schopna vyvíjet nové numerické programy a algoritmy a aplikovat je na reálná data. Tímto doktorandka dle mého názoru prokázala, že je schopna samostatně vědecky pracovat a tvůrčím způsobem rozvíjet danou problematiku. Proto doporučuji, aby jí po úspěšné obhajobě byl udělen titul Ph.D.

V Praze 7.8.2015

RNDr. Václav Vavryčuk, DrSc.
Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i.