

POSUDEK OPONENTA DOKTORSKÉ DIZERTACE

Jméno a příjmení oponenta: *prof. Ing. Pavel Novák, PhD.*

Jméno a příjmení doktoranda: *Mgr. Martin Pauer*

Název dizertace: *Forward and inverse modeling of planetary gravity and topography*

Zhodnocení aktuálnosti, obsahu a přínosu disertační práce:

Doktorská disertační práce Mgr. Martina Pauera je zaměřena do oblasti planetární fyziky, jež po vzoru klasické geofyziky řeší především otázky spojené se strukturou, vznikem a vývojem hlavních těles sluneční soustavy. Teorie, metody a modely, které se používají v případě studia Země, musí být pro tyto účely vhodně modifikovány, aby zohlednily nedostatek měřených dat a specifičnosti jednotlivých těles. V předložené dizertaci se jedná o studium různých mechanismů kompenzace planetární topografie, které byly následně použity pro řešení tří různých problémů planetární fyziky vybraných těles sluneční soustavy: (i) studium topografických útvarů na Venuši a stanovení možných hodnot viskozity jejího pláště, (ii) odhad měrné hmotnosti vybrané části martánské kůry a (iii) analýza gravitačního pole možných topografických útvarů na Jupiterově měsíci Europa.

Téma předložené doktorské disertační práce patří do mladé, ale dynamicky se rozvíjející oblasti planetární fyziky. Rozvoj tohoto oboru je neodmyslitelně spojen s rozvojem planetárních družicových misí, které poskytují nutná vstupní data. S jejich dostupností se nestále zvětšuje mezinárodní komunita vědců, která se tomuto oboru věnuje. To platí především pro geofyzikální komunitu, v menší míře ale i pro další geovědní disciplíny včetně geodézie. Studované problémy jsou aktuální a dosud neuspokojivě řešené, což umožňuje přinášet nová vlastní řešení a navrhopvat původní a/či alternativní hypotézy. Zapojení katedry geofyziky MFF UK v Praze do těchto aktivit hodnotím velmi kladně.

Dizertační práce má dvě hlavní části: průvodní text v rozsahu 106 stran a tři články (příloha C) v rozsahu 69 stran publikovaných ve významných geofyzikálních časopisech.

První část práce je členěna do 5 kapitol a dvou příloh. V textu této části disertační práce je navíc použito 47 obrázků a 5 tabulek. Po krátkém úvodu definujícím obsah a význam zkoumané problematiky následuje druhá kapitola, která popisuje dostupná vstupní data týkající se topografie (lépe tvarových funkcí) a gravitačních polí vybraných těles. V této kapitole jsou definovány základní vztahy a parametry gravitačního pole, představeny měřické metody a datové produkty pro vybraná tělesa sluneční soustavy. V třetí kapitole práce jsou popsány metody přímého modelování parametrů gravitačního pole generovaného topografickými hmotami pro různé modely izostáze a možné koncepty litosférické podpory. Čtvrtá kapitola diskutuje metody odhadu hodnot neznámých parametrů modelů vnitřní struktury těles a jejich návaznost na termochemické evoluční modely. Poslední pátá kapitola shrnuje dosažené výsledky, jejich význam pro planetární výzkum a plány na další výzkumné aktivity a směry v dané problematice.

Druhá část dizertační práce obsahuje texty tří odborných článků, které popisují hlavní výsledky doktorského výzkumu Mgr. Martina Pauera. Tato část textu úspěšně prošla recenzním řízením, které dokládá jejich význam a přínos pro současnou planetární fyziku. Zde je důležitým faktem, že u všech publikací je doktorand vždy prvním autorem.

Kladně hodnotím členění textu do jednotlivých kapitol, jejich obsah i rozsah, logičnost a srozumitelnost popisu problémů a použitých metod jejich řešení, a pokud mi mé znalosti anglického jazyka dovolují, tak i gramatickou správnost textu (pozor na pořadí podnět – přísudek, zkratky „i.e.“ a „e.g.“ bývají odděleny čárkami). Použití anglického jazyka jako hlavního komunikačního prostředku dnešní mezinárodní vědecké komunity hodnotím velmi pozitivně. Stejně závěry lze použít pro matematické výrazy, které se zdají být editovány pečlivě; nejasnosti v definici a používání jednotlivých symbolů jsou vzhledem k rozsahu a komplexnosti dizertační práce velmi řídké. Podobné závěry lze konstatovat i v případě obrázků a tabulek. Celkový dojem z formální úpravy práce je velmi příznivý.

Obecné připomínky k textu dizertace:

Drobné připomínky a dotazy k vlastnímu textu první části dizertační práce jsou uvedeny níže. S pohledu koncepčnosti obsahu mám následující připomínky či dotazy:

1. Popis a modelování gravitačního pole těles je možný pouze ve spojení s dobře definovaným a realizovaným souřadnicovým systémem. Text práce využívá aparátu sférických řad ve spojení se systémem sférických souřadnic. Tento systém je definován pouze obecně v kapitole 2. Bylo by dobré čtenáři poskytnout více informací o jejich realizaci ve spojení s jednotlivými tělesy, které jsou v práci diskutovány.

2. V části 4.1 jsou diskutovány dva přístupy pro určení neznámých parametrů modelů vnitřní struktury těles. Nabízí globální přístup nějaké výhody vzhledem k mnohem flexibilnějšímu lokálnímu přístupu? Lokální přístup se zdá být upřednostněn i v závěru práce. Jaké předpoklady by musely být splněny pro lepší aplikovatelnost globálního přístupu?

3. V závěru části 4.1.2 je diskutována metoda určení kompenzačních parametrů pomocí studia prostorově-spektrálních vlastností gravitačního pole a gravitující topografie. Tato analytická metoda (ve své podstatě Slepianova metoda na sféře) je účinným nástrojem v regionálních studiích s dostupnými algoritmy ve formě fortranovských zdrojových kódů (shtools / Wieczorek). Proč nebyla tato metoda použita alespoň pro porovnání či ověření výsledků?

4. Jak byl v případě Marsu řešen problém související s větší hodnotou pólového zploštění (0,5%) této planety (volba referenčního tělesa, normálního tíhového pole atp.)?

Konkrétní připomínky či otázky k textu dizertace:

Strana 13 a jinde: V textu práce se opakují výrazy *gravity* a *gravitation*. První výraz, česky tíže, zpravidla reprezentuje kombinaci gravitačního a odstředivého zrychlení,

kteřá působí na všechna tělesa na povrchu rotující planety. Myslím, že z pohledu problematiky diskutovaných v textu by bylo lépe odlišovat výrazy *gravity/gravitational field*, *gravity/gravitational data* atp.

Strana 14, pod rovnicí (2.4): Rovnici lze uplatnit pro oblast, ale vztah platí v bodě ... *for a point of mass density ...*

Strana 15, rovnice (2.17) – (2.18): Nulové hodnoty koeficientů pro stupeň 0 a 1 souvisí s definicí souřadnicového systému a jeho umístění vzhledem k danému tělesu (poloze těžiště) a s volbou normálního pole (v případě poruchového potenciálu).

Strana 16: Použití stejného symbolu – U – pro gravitační i poruchový potenciál působí trochu nepřehledně. Gravitační anomálie v rovnici (2.20) odpovídá definici gravitační poruchy. Názvy jednotek gravitačního zrychlení a jeho gradientů by bylo vhodné psát s velkými počátečními písmeny.

Strana 17, rovnice (2.21) – (2.23): Prodloužení gravitačních dat pomocí přibližné gradientové metody (analytické prodlužování) je možné, nicméně hodnota gradientu je velmi odlišná pro prodlužování uvnitř a vně hmot.

Strana 18, rovnice (2.28): Tato rovnice nevznikla aplikací adičního teorému. $\Delta\rho$ jako „density contrast“ (místo *change*)?

Strana 19, rovnice (2.37) a (2.38): Tento postup byl znám před rokem 1989, viz např. Balmino G, Lambeck K, Kaula WM, 1973, A spherical harmonic analysis of the Earth's topography. *Journal of Geophysical Research*, 78(2), 478-481. Omezení sumace přes n musí být zdůvodněno konvergenčí řady.

Strana 20: Tato část textu popisuje základní principy měření. Je škoda, že tato část textu zůstává pouze v obecné rovině a neposkytuje více konkrétních informací o vlastnostech měřených dat a jejich případného vlivu na řešenou problematiku. Družicový gradiometr byl realizován družicovou misí GOCE (relevantní pro výzkum statického gravitačního pole Země). Mikro-akcelerometr „přímó čte“ všechna zrychlení družice (gravitační i negravitační).

Strana 23: Některé části textu se zdají být již zastaralé (např. orbitální mise, která začne v roce 2011? ... *Messenger made ... which would be followed ...*). Hlavní referencí pro tuto část práce se zdá být Wieczorek 2007. Není k dispozici něco aktuálnějšího? Metoda optického snímkování povrchu se nazývá fotogrammetrie (*photogrammetric method*).

Strana 25, obr. 2.3 a jinde: Jaký je význam spojení '*gravity disturbance anomaly*'? Tento termín se zdá kombinovat dva parametry v jednom (anomálii a poruchu).

Strana 30: Rovinná aproximace je jednoduchá, nicméně ji v textu vidím jako poněkud nadbytečnou vzhledem k charakteru většiny problémů řešených v dizertační práci. Tížnicová odchylka je „*deflection of the vertical*“.

Strana 32: Pratt-Hayfordův model je v práci zmiňován včetně jeho možných výhod pro případy heterogenních modelů planetární kůry. Proč nebyl tento model v práci použit?

Strany 41 – 45, část 3.3.2: Model silné elastické sférické vrstvy je – předpokládám – jeden z příspěvků doktorského bádání. V úvodu této části jsou odkazy až do roku 1990. Jaký je vlastní příspěvek doktoranda?

Strana 51, pod rovnicí (4.2): Pokud byly zmíněny jiné možnosti volby normy pro definici metriky M , bylo by na místě zmíněné speciální případy uvést. Totéž platí pro některé modely zmíněné pod rovnicí (4.4) – srovnej s větou v závěru části 4.1.

Strana 53, pod rovnicí (4.11): Text první věty není zcela srozumitelný.

Strana 54, obr. 4.1: Hodnoty těchto parametrů jsou dostupné v některých publikacích, např. ve zmíněném Wieczorek 2007; bylo by možné provést porovnání.

Strana 59, pod rovnicí (4.23): A priori pravidlo („Kaula’s rule of thumbs”) pro globální spektrum gravitačního pole Země je známé. Jak vypadají podobná pravidla pro gravitační pole generované CMI jiných těles?

Literatura: Seznam použité literatury je velmi dlouhý a svědčí o značném odborném přehledu doktoranda. Jednotlivé vstupy jsou vysázeny velmi pečlivě, překlepů je velmi málo. Při zevrubné kontrole seznamu literatury se mi nepodařilo najít žádné chybějící či nadbytečné odkazy. Část referencí (Čadek et al., Čížková) na straně 82 se zdá být mimo abecedně seřazený seznam.

Seznamy na str. 85 – 95 se obvykle nacházejí na začátku textu dizertační práce. Seznam zkratk není zcela kompletní.

Zhodnocení dizertace a doporučení:

Doktorand ve své dizertační práci prokázal, že je odborníkem v oboru planetární fyziky schopným samostatné vědecké práce vysoké (mezinárodně srovnatelné) úrovně. Pobyty na renomovaných zahraničních pracovištích, spolupráce s významnými zahraničními kolegy zakončené společnými publikacemi v mezinárodních impaktovaných časopisech zároveň dokumentují jeho schopnost týmové spolupráce. Dle mého názoru předložená dizertační práce splňuje hlavní kritéria vyžadované pravidly doktorského studijního programu: kvalitní dizertační práce, která je založena na původních výsledcích výzkumné činnosti doktoranda, jež jsou správně a logicky prezentovány v textu dizertace a publikovány ve významných odborných časopisech.

Předloženou doktorskou dizertační práci Mgr. Martina Pauera hodnotím kladně a doporučuji její přijetí k obhajobě.

V Plzni, dne 6. 8. 2013


.....
prof. Ing. Pavel Novák, PhD.