

prof. Ing. Jan Kostecký, DrSc.

Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i., Zdíby, &
Institut geodézie a důlního měřictví, Hornicko-geologická fakulta, VŠB TU Ostrava

OPONENTSKÝ POSUDEK

disertační práce:

Ing. Mgr. Jitky Hájkové

Určení lokálního modelu geoidu z leteckých tíhových dat

Předkládaná disertační práce se zabývá určením lokálního modelu geoidu z leteckých tíhových dat v oblasti Taiwanu. Tématem letecké gravimetrie se intenzivně zabýval školitel doktorandky prof. Novák při svém pobytu v Kanadě, kde byla tato metoda také detailně rozpracována. Ale i tak se dá říci, že jde o metodu novou, její výhodou je to, že nahrazuje pozemská tíhová měření v oblastech, kde lze tato měření provést buď obtížně, nebo vůbec. A v porovnání s pozemním či námořním tíhovým měřením je i levnější. Díky tomu, že se zdařilo získat letecká tíhová měření z oblasti Taiwanu, naskytla se příležitost k zadání zajímavého, v naší zemi zatím ojedinělého, tématu disertační práce.

Práce je členěna kromě úvodu do sedmi kapitol a je doplněna velmi bohatou bibliografií a dodatkem o pěti částech, ve kterých jsou osvětleny základní pojmy, používané ve vlastní práci. Práce obsahuje teoretickou část týkající se problémů, souvisejících se studiem tíhového pole Země, dále se pak zabývá stručnou historií letecké gravimetrie a leteckých kampaní z posledních let. Dále je konzultováno řešení okrajových úloh teorie tíhového potenciálu a jsou vybrány dvě metody realizace výsledku. Druhá zvolená metoda – numerická metoda 4D vlnkové transformace – je originálním přínosem autorky k řešenému tématu. Teoretické závěry jsou pak aplikovány v části, kterou je možno nazvat praktickou.

Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Jak již řečeno výše, jde o první aplikaci perspektivní metody pro určování modelu geoidu. Určování tohoto modelu je „na pořadu dne“ vzhledem k širokému použití technologie GNSS pro přesné určování polohy. Model geoidu (nebo kvazigeoidu) hraje významnou roli při převodu geometrických výšek, získaných technologií GNSS na výšky fyzikální, používané jako „nadmořské“ v běžné praxi.

Vyjádření k postupu řešeného problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Vytčený cíl, daný zadáním, byl beze zbytku splněn. Použité metody jsou adekvátní řešenému problému, postup řešení byl metodicky bezchybný a výsledky jsou bohatě komentovány.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatelky práce

Výsledky jsou beze sporu velmi přínosné a mají bezprostřední praktickou aplikaci. Cenný je též komentář, zabývající se zhodnocením použitých metod.

Vyjádření k systematicce, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Práce je psána v anglickém jazyce, dle mého mínění velmi dobrou angličtinou, formální úprava je na vysoké úrovni, práce je přehledná, doplněná v úvodních částech seznamy obrázků, tabulek, zkratk a symbolů, dále je doplněna velmi bohatým seznamem použité či citované literatury.

Vyjádření k publikacím studenta

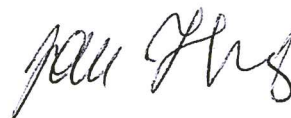
Publikační činnost autorky není příliš bohatá kvantitativně, ale je zaměřena na kvalitu – dvě práce jsou publikované v prestižních časopisech s tvrdým recenzním řízením. Na tomto místě považuji také za vhodné připomenout publikaci z doktorandského JUNIORSTAVU 2009, pořádaného Stavební fakultou v Brně, kde se doktorandka umístila se svým příspěvkem ve své kategorii na prvním místě.

I přes to, že jde o velmi kvalitní práci, mám následující drobné připomínky a dotazy:

- Str. 10 – Otázka: Může být povrch nerotujícího homogenního rotačního elipsoidu hladinovou plochou?
- Str. 21 – poslední odstavec v podstatě říká, že rozvoj nízkofrekvenční části parametrů gravitačního pole do kulových funkcí je možný na základě „satellite gravity and gravimetric measurements“. To ale není zcela pravda, neb přímé měření parametrů gravitačního pole pomocí družic se uskutečnilo až v misi GOCE (po asi 15 nerealizovaných návrzích). Všechny „předchozí modely“ byly určeny řešením úloh tzv. dynamické družicové geodézie (analýzou proměřených rušených drah).
- Otázka: potřebuje geodet geoid (kvazigeoid) ve kterém jsou zahrnuty topokorekce, když niveluje v reálném tíhovém poli a pro výpočet výšek používá skutečně naměřenou tíži?
- Str. 68 – Jaký typ ortometrických výšek je v oblasti Taiwanu používán?
- Otázka k porovnání (testování) vypočteného modelu s výsledky GNSS/nivelace. Jaké systematické vlivy může zjištěný rozdíl obecně obsahovat?

Celkově považuji předloženou práci za vysoce kvalitní a přínosnou, doktorandka zvládla excelentně studovanou problematiku a prokázala schopnost samostatné vědecké práce. Doporučuji proto práci předložit k obhajobě a po jejím úspěšném průběhu udělit Ing. Mgr. Jitce Hájkové titul „doktor“ (Ph.D.)

V Praze dne 18. 2. 2015



Oponentský posudek disertační práce doktorandského studia***Ing. Mgr. Jitky Hájkové:******„Určení lokálního modelu geoidu z leteckých tíhových dat“***

*

(a) *Zhodnocení významu disertace pro obor.* Určení geoidu je jednou z klíčových úloh, jejichž řešení naplňuje obsah studia tíhového pole Země ve fyzikální geodézii. V rámci této disciplíny je zaměřeno zejména na vztah fyzikálních a geometrických parametrů tíhového pole. Vedle svého matematicko-fyzikálního obsahu má řešení tohoto problému velmi významné praktické dopady.

V disertační práci jsou k určení lokálního segmentu plochy geoidu využity údaje, které jsou produktem letecké gravimetrie, tedy techniky, jejíž počátky svými kořeny sahají do padesátých let minulého století. Do dnešních dnů se tato technika podstatně zdokonalila a uplatnila se v řadě významných měřických kampaní. Cítována jsou zejména měření nad teritoriem Grónska, Švýcarska, nad Arktidou, Antarktidou, severní částí baltského regionu, v Malajsii, Mongolsku, Etiopii, na Taiwanu, ve Spojených státech, ale i v dalších oblastech.

V uváděných případech letecká gravimetrická data hrají roli nezávislých údajů pro studium tíhového pole v dané oblasti nebo doplňují soubory údajů z kampaní pozemních gravimetrických měření. Letecká gravimetrická měření jsou také ideálním komplementárním produktem při studiu gravitačního pole družicovými metodami, např. družicovou gradiometrií.

Uplatnění letecké gravimetrie je lokální a tedy její význam a dopad je třeba posuzovat vzhledem k uvažované lokalitě. V České republice je provedeno poměrně velmi detailní a kvalitní pozemní gravimetrické mapování a proto využití letecké gravimetrie se zatím nejevilo jako naprosto urgentní. Přesto však s postupem času se interpretace tohoto stavu může podstatně změnit a může zohlednit a zdůraznit nové aspekty.

Je proto velmi dobré, že se disertační práce této problematice věnuje, navíc též proto, že se jedná o techniku, která je ve světě často využívána. V této obecnější perspektivě také zřetelněji vynikne přínos disertace pro řešení metodických otázek spojených s využitím údajů pořizovaných technikou letecké gravimetrie. Řešení dané problematiky je současně cestou k aktivní mezinárodní vědeckotechnické spolupráci. V případě předložené disertace se jedná o záležitost značně konkrétní. Využity jsou údaje pořízené leteckou gravimetrií v oblasti Taiwanu, odkud byla současně získána i další data nutná pro ověření metody.

- - -

(b) *Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle.* Uplatnění letecké gravimetrie obsahuje výrazné podněty k řešení řady témat teoretického, metodického i technického charakteru.

Autorka se zaměřila na problematiku související s posouzením otázek matematické povahy, s výběrem fyzikálně-matematického modelu řešené problematiky a zejména s posouzením účinnosti některých matematických technik vhodných jako nástroj k řešení dané problematiky.

Tento cíl je třeba jednoznačně ocenit. Zmíněná problematika je rozsáhlá a v existující odborné literatuře převážně není diskutována, případně interpretována, ve stylu, který by svým charakterem odpovídal rigorózně matematickému pojetí. Tím byl přístup k řešeným otázkám i náročnější. Autorka si vybrala některé klíčové partie, kde se rozhodla uplatnit své postupy. Do prezentace problematiky začlenila i určitá zobecnění. Opřela se přitom o své znalosti nabyté studiem prací H. Moritze, a to zejména těch, v nichž jsou diskutovány koncepty, které ve fyzikální geodézii sledovali Krarup

a Hörmander. Efektivně také využila vědeckých poznatků získaných při spolupráci s prof. Kellerem na univerzitě ve Stuttgartu.

V mezích širokého spektra celé problematiky se v disertační práci speciálně zaměřila na transformaci tíhových poruch na skalární poruchový potenciál, na související otázky numerické integrace, uplatnění waveletové transformace, aplikaci Taylorových řad a na řešení otázek spojených s účinkem topografických hmot na měřenou tíži.

Tato témata jsou diskutována velmi pečlivě. Autorce disertace se ve své podstatě podařilo splnit vytčený cíl. V některých místech by výklad mohl být ještě upraven, či upřesněn. V úvahu by bylo dobré vzít, např., následující komentáře:

(b.1) Strana 11 před rovnicí (1.22). Jaký je důvod k tvrzení, že uvnitř referenčního elipsoidu není normální gravitační potenciál definován? Problémem zde v zásadě je určení hustotního rozdělení pro hladinový elipsoid. Řešení sice není triviální, neznamená to ale, že neexistuje.

(b.2) Rovnice (1.23) na straně 11 neodpovídá realitě. Na pravé straně by se měl objevit výraz $2\omega^2$.

(b.3) Strana 24 uprostřed. „If the boundary surface is a sphere, the BPs listed above are well-posed“. Tento výrok má poněkud sugestivní obsah. V jistém smyslu akcentuje jakousi výjimečnost sférické hranice. Uvažované problémy jsou ale korektní (v Hadamardově smyslu) pro celou širokou škálu hranic, jejichž geometrie zdaleka není sférická. Formulace v textu by pravděpodobně zasloužila větší citlivost.

(b.4) V textu na straně 25 by bylo vhodné vzít v úvahu, že formule (1.72) a (1.75) nedávají řešení uvažovaných okrajových problémů, ale pouze stopu řešení na hranici.

(b.5) Poznámku pod čarou na straně 27 by bylo třeba formulovat obezřetněji. To že bod je ve vnějším prostoru Země ještě neznamená, že v něm působí pouze gravitační zrychlení.

(b.6) Výklad na straně 37 v části obsahující i formulaci (4.2) je poněkud nejasný, terminologicky i obsahově. Např. se uvádí „Assuming gravity disturbances δg_b^H available at the constant flight level D above the geocentric sphere of radius R all over the Earth, we can formulate the problem as Neumann's BVP, see Eq. (1.66).“ Aby však formulace (4.2) představovala Neumannovu úlohu, pak by bylo třeba náležitě vymežit oblast, ve které je řešení hledáno. V textu za formulací (4.2) je sice vidět snaha výklad nějakým způsobem upřesnit. Zmíněn je pojem počátečního problému, ale z formulace (4.2) opět není vidět, o jakém počátečním problému se hovoří, které počáteční podmínky jsou uvažovány. V článku, který autorka publikovala v roce 2011 ve *Sudia Geophysica et Geodaetica* je tato část napsána lépe. K výkladu by bylo dobré připojit i zmínku o tom, jak věc souvisí s tzv. Cauchyho úlohou a teorémem Cauchy-Kowalewské.

(b.7) Strana 55 a 56: Jak se získá prvá a druhá radiální derivace tíhové poruchy v rovnicích (4.68) a (4.69)? (V podstatě derivace poruchového potenciálu, který je teprve předmětem určení.) Podobná otázka se týká i výkladu na straně 69.

— — —

(c) *Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce.* Disertační práce byla sepsána v anglickém jazyce, má XXVII + 183 stran formátu A4. Její jádro tvoří 8 kapitol s obsahovou gradací odpovídající zpracování tématu. Kapitoly jsou postupně věnovány:

- obecnému úvodu,
- vybraným částem z oblasti matematických metod studia tíhového pole Země,
- historii a principům letecké gravimetrie,
- popisu leteckého gravimetrického mapování v oblasti Taiwanu,
- metodám použitým ke zpracování leteckých tíhových údajů,
- testování metod opřenému o využití syntetických tíhových údajů,
- aplikacím na reálné údaje letecké gravimetrie z oblasti Taiwanu,
- závěrům a doporučením.

Disertace byla sepsána jako originální text a je homogenním tématickým celkem. Obsahuje četné ilustrace a tabulky znázorňující kvantitativní stránky studovaných problémů. Ilustrace a tabulky jsou také

dokumentací uskutečněných numerických experimentů a testů. K základnímu obsahu práce jsou připojeny převážně formou dodatků a v práci jsou detailně komentovány.

Disertace dále zahrnuje seznam použité literatury a také seznam publikací předkladatelky disertace nebo publikací vzniklých za jejího spoluautorství. O výsledcích diskutovaných v těchto pracích bylo již také s úspěchem referováno na vědeckých konferencích a jednáních.

Výklad by v některých místech mohl být eventuálně lépe stylizován. V tomto smyslu lze uvést následující poznámky:

(c.1) Na straně 2 se píše, že družicové mise „CHAMP, GRACE and GOCE provide gravity data that cover almost a whole surface of the Earth“. Obsah této formulace (data získaná na dráze družice pokrývají povrch Země) si lze však těžko reálně představit. Možná by stačilo napsat: „ ... provide gravity data above almost the whole surface of the Earth ...“

(c.2) Na straně 2 by ve výčtu používaných metod bylo vhodné při třídění uplatnit také koncept klasického a tzv. slabého řešení.

(c.3) Symbol ∇ na straně 7 za rovnicí (1.3) by měl být charakterizován nikoliv jako „gradient“, ale jako „gradient operator“.

(c.4) Strana 8 před rovnicí (1.3): The gravitational potential can be evaluated by Newton's integral. Vhodnější by bylo napsat „can be represented by“

(c.5) Symbol \angle na straně 13 by měl být explicitně definován.

(c.6) Strana 21 za rovnicí (1.61). Že sférické harmonické funkce nultého a prvního řádu jsou nulové není třeba v daném případě předpokládat (we can assume ...), je to prostě fakt.

(c.7) Sférická aproximace, Helmertovy kondensace, přímý a nepřímý efekt atd., představují velmi klasické koncepty. Problém, který je řešen, je při jejich uplatnění v podstatě segmentován do částí, jejichž návaznost není zcela bezproblémová. V literatuře jsou tyto koncepty sice běžně prezentovány, celkový matematický model by však možná zasloužil důslednější posouzení.

V každém případě však podoba, v jaké je disertace zpracována, svědčí o tom, že autorka k řešené problematice přistoupila se zaujetím a tvořivým způsobem. Práce také shrnuje úctyhodné množství provedených výpočtů. Dosažené výsledky jsou cenné a mají původní charakter. Platí to zejména o použití waveletové transformace, kterou se autorka detailně a s úspěchem zabývala. Při pohledu na celou práci lze říci, že se podařilo posoudit specifika a účinnost různých postupů uplatněných pro určení lokálního segmentu geoidu na Taiwanu z dat letecké gravimetrie. V syntetizující formulaci závěru je pak zvýrazněna řada aspektů. Studovaná problematika je v mezinárodním měřítku reprezentována rozsáhlou odbornou literaturou. I na tomto pozadí však předložená práce obsahuje nové pohledy na řadu důležitých otázek metodického i praktického významu. Autorka formulovala i dobře argumentovaná doporučení pro zaměření dalšího výzkumu zvoleného tématu.

— — —

(d) *Vyjádření k systematické, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce.* Po formální stránce je práce celkem zdařile sestavena a napsána celá v angličtině na poměrně dobré úrovni. V textu by asi bylo možné vynechat opakování odstavců na stranách 4 a 28 nebo 2 a 41 (a zvýraznit současně gradaci výkladu). Bylo by eventuálně také užitečné posoudit a případně i pozměnit obsah některých formulací, např. na straně 83: „flight trajectories can be approximated by the geocentric sphere of radius ...“ (křivka versus plocha).

— — —

(e) *Vyjádření k publikacím studenta.* Svou publikační činnost paní kandidátka dokumentuje seznamem pěti prací. Články, kde je samostatným autorem vyšly v časopisu *Studia Geophysica et Geodaetica*, který má velmi dobré renomé v mezinárodní vědecké komunitě (pro Geofyzikální ústav AV ČR vydává Springer) a ve dvou sbornících z konference Juniorstav v Brně v roce 2009 a 2010. Články, kde je kandidátka spoluautorkou, vyšly v *Journal of Geodesy*, který je předním publikačním médiem mezinárodní geodetické vědecké komunity (pro Mezinárodní asociace geodézie vydává

Springer) a ve sborníku z mezinárodní konference „International Conference from Scientific Computation to Computational Engineering“ pořádané v Aténách v roce 2010.

(f) *Jednoznačné vyjádření oponenta, zda doporučuje či nedoporučuje disertační práci k obhajobě.* Souhrn všech poznatků o předložené disertační práci, pozitiv i připomínek mi umožňuje doporučit tuto doktorskou disertační práce paní Ing. Mgr. Jitky Hájkové k obhajobě.

V Praze dne 14.5.2015



P. Holota