

**Oponentní posudek doktorské disertační práce Mgr. Hany Karousové
„Teleseismic Tomography of the Upper Mantle beneath the Bohemian Massif“
Školící pracoviště – Geofyzikální ústav AV ČR
Školitel – RNDr. Jaroslava Plomerová, DrSc.
Konzultant – RNDr. Vladimír Babuška, DrSc.**

Předložená disertace sestává ze tří publikovaných článků (P1-P3), u nichž je Mgr. Karousová prvním autorem (Studia Geophys. Geod, Tectonophysics, Geop. J. Int.), dále z uživatelské příručky k programu TELINV2012 (volně přístupná na internetu) a v neposlední řadě ze sjednocujícího textu v rozsahu cca 40 stran.

Předmětem výzkumu je vysoce aktuální problematika regionální tomografie pro území Českého masívu (dále ČM) s použitím časů příchodu P vln zemětřesení z teleseismických vzdáleností. Tomografií se v práci rozumí řešení 3D obrácené úlohy určení odchylek od referenčního 1D rychlostního modelu (IASP91). Data jsou získána jak ze stálých, tak zejména dočasných seismických sítí, hlavně v rámci pasivních experimentů BOHEMA II a III, doplněných o data ze spolupracujících zahraničních sítí. Pro upřesnění je nutno uvést, že samotná rozsáhlá seismická měření nejsou předmětem disertace, zatímco získání časů příchodu, jejich předzpracování a veškeré inverze předmětem obhajované práce jsou. Předzpracování dat je provedeno mimořádně pečlivě a vtipně. Z datového souboru jsou především odstraněny chybné hodnoty způsobené dočasnou ztrátou časové synchronizace registrační aparatury. Absolutní časová rezidua jsou převedena na relativní rezidua (tzv. normalizace), aby se zmenšil nežádoucí vliv nehomogenit mimo studovaný objem. Dále jsou data opravena o předpokládaný vliv zemské kůry; používá se 3D model kůry, vytvořený speciálně pro tyto účely v práci P1.

K inverzi dat je použit program TELINV, řešící tomografii jako linearizovanou obrácenou úlohu s aproximací 3D paprsků; původními autory programu byli J. Taylor, E. Kissling, U. Achauer, C. M. Weiland, L. Steck, H. Shomali, ale mnozí další jej dále upravovali, včetně doktorandky. Ta navíc vypracovala k současné verzi velmi podrobnou příručku, tvořící, jak již bylo řečeno, součást disertace. Inverze je v největším rozsahu prováděna metodou vážených nejmenších čtverců. Nezbytná regularizace je provedena hlavně pomocí tlumení, ale (v menším rozsahu) je diskutováno také použití alternativní metody – odřezání malých singulárních čísel. Součástí inverze je velmi objektivně a podrobně provedená analýza věrohodnosti řešení. Výsledné tomografické obrazy (zejména obr. 8 a 9 práce P2 a obr. 5 práce P3; resp. obr. 5.2 a 5.3. jednotlicího textu) jsou porovnány s předchozími publikovanými výsledky globální tomografie (Amaru, 2007). Články obsahují také předběžnou geologickou interpretaci nalezených regionálních tomografických modelů, kterou ale neumím posoudit; a nevím, zda v tomto směru jde více o příspěvek doktorandky nebo školitelky a konzultanta. Při hodnocení se proto zaměřuji na metodickou stránku provedené tomografie.

Množství a kvalita provedené práce jsou obdivuhodné. Za hlavní přínos považuji nápaditou aplikaci celého souboru technik, pomocí nichž doktorandka testuje věrohodnost tomografického výsledku. Techniky zahrnují zejména: (1) Hledání kompromisu mezi vystižením dat a složitostí modelu, které vyústilo ve volbu konkrétního parametru hlazení. (2) Studium vlivu vhodného počtu iterací. (3) Několikerou kvantifikaci paprskového pokrytí. (4) Rozbor matice rozlišení. (5) Různorodé syntetické testy stability řešení a kvality horizontálního a vertikálního rozlišení. V tomto směru si myslím, že Mgr. Karousová dosáhla teoretických znalostí, praktických zkušeností a samostatnosti, které jí umožňují bez problému diskutovat se zkušenými experty na seismickou tomografii.

V práci jsem nenašel zásadní chyby, ale nutno říci, že uživatelskou příručku jsem podrobně nestudoval a program jsem nezkoušel použít. Věnoval jsem se jak sjednocujícímu textu, tak podrobně i samotným článkům P1, P2, P3. K článkům mám několik dotazů, jejichž zodpovězení při obhajobě by mohlo dobře dokumentovat, že doktorandka hluboce pronikla do dané výzkumné problematiky.

Hlavní otázky a náměty pro diskusi při obhajobě:

1. Disertace ukazuje, že metoda uměle rozmazává nehomogenity ve svislém směru. Prosím ukázat vedle sebe obr. 8 a S4 z P2 a diskutovat, zda lze říci, pro který hloubkový rozsah lze horizontální rozložení anomálií na obr. 8 z P2 považovat za nejlépe určené. Totéž případně prosím pro obr. 5 a 8 z P3.
2. Obr. 1 v P2 (Bohema II) ukazuje velmi nerovnoměrné rozložení stanic, prakticky žádné v tepelsko-barrandienském a moldanubickém bloku. Prosím vysvětlit, proč se tomografie neomezila na menší oblast s hustším staničním pokrytím. Práce P3 (Bohema III) má podstatně lepší pokrytí ČM. Prosím ukázat vedle sebe obr. 8 z P2 a obr. 5 z P3 a diskutovat vzájemný vztah těchto dvou výsledků, např. pro hloubku 80 (resp. 85) km. Tuto připomínku považuji za nejdůležitější a postrádal jsem podobnou a podrobnou diskusi ve sjednocujícím textu, který by v tomto smyslu pěkně spojil práce P2 a P3.
3. Za jeden z hlavních výsledků se označuje zjištění vysokorychlostní anomálie (litosférického kořenu) Východních Alp, ostře kontrastující v hloubce 300 km s anomálií nízkorychlostní; obr. 10 práce P3. Prosím o objasnění věrohodnosti s ohledem na obr. 8 práce P3 [a řádky textu 9-12 na str. 9 v P3], kde se v syntetickém testu ukazuje anomálie v hloubce 300 km jako falešná. Prosím diskutovat věrohodnost vysokorychlostního kořenu jako velkorozměrné anomálie, zda je možné, aby chyběla v globálním tomografickém modelu v hloubkách kolem 300 km (obr. 9 v P3). třebaže tento globální model v jiných částech profilu vysokorychlostní anomálie v těchto hloubkách má?
4. Paprsková metoda použitá v programu TELINV je založena na technice Steck & Prothero (1991). Jedná se o opakované sinusoidální distorze přímkových paprsků. Nejsem odborníkem na paprskovou metodu, ale zajímalo by mě, zda někdo posoudil vliv této aproximace na tomografický výsledek. To může být i předmětem obecné diskuse v plénu. Také by mě zajímalo, zda by v ČR, jako zemi paprskových odborníků, nebylo užitečné odpovídající část programu nahradit jinou metodou. Může autorka odhadnout, jak složité by to bylo z programového hlediska?
5. Jednotlivý text obsahuje výhled do budoucna. Soudím, že by do něj mohla patřit snaha zpřesnit izotropní model přidáním další nezávislých dat. Mám na mysli povrchové vlny regionálních zemětřesení a korelace seismického šumu jako nástroj simulace Greenovy funkce mezi libovolnými dvěma stanicemi. Další možností by mohlo být alespoň porovnat [pomocí řešení přímé úlohy] reálné a syntetické vlnové obrazy regionálních zemětřesení pro několik alternativních modelů z této disertace pomocí vhodného 3D programu (konečné diference). Neměl by se také řešit současný rozpor v hloubce Moho, který existuje mezi různými metodami (DSS a RF v obr 9 práce P1)? Prosím o stručnou diskusi.

Technické detaily (k nimž není nutné se při obhajobě vyjadřovat):

V popisu metody na str. 14-15 jednotlivého textu jsou nepřesnosti. Např. ve vzorci 2.1 není místo pro chybu měření, neboť T není ještě na tomto místě zavedeno jako měřený čas. Dále pak - až do vzorce 2.7 - se vše vykládá pro 1 pár zdroj-stanice, ale vzápětí se mluví o vektoru časových reziduí. Je v programu TELINV úloha opravdu řešena v rychlostních přírůstcích nebo se interně využívá toho že člen $-\delta v/v^2$ je přírůstkem pomalosti a pouze výsledky jsou prezentovány v rychlostech? Proč je ve vzorci 2.8 zavedena chyba e , když se dál nic neříká o jejím významu pro řešení. Odkazům na Menke (1984) by prospěla čísla vzorců. Třebaže se jedná o známé pojmy, přehledové části práce by slušelo uvést přesné definice všech použitých veličin, např. „data RMS“, „model length“, „data variance“, „resolution matrix“.

Obr. 3.3. (str. 21) – mělo být uvedeno, jak velké jsou použité systematické časové posuny.

Str. 29, odst. 3.6. a obr. 3.8. jednotícího textu - používají se nekorigovaná (absolutní rezidua), není jasné proč. Ve všech zbývajících částech disertace je vždy korekce provedena zavedením relativního rezidua.

Pod vzorcem (2) práce P2 se říká, že G je matice parciálních derivací. To je v rozporu se vzorcem 2.7 jednotícího textu.

Odkaz na 6. řádku shora na str. 16 má být na obr. 3.1, nikoli 3.2.

Jak se má chápat hloubkový rozsah rychlostních anomálií vložených do prostředí v rámci syntetických testů? Na obrázcích jsou vždy zobrazeny v diskrétních hloubkách (např. obr 3.2. na str. 20); mají vložené anomálie nějakou mocnost?

Je referenční 1D model použit jako model s konstantními rychlostmi ve vrstvách nebo jako model s konstantními gradienty? Na obrázcích v disertaci (např. obr. 4 v P2) je model zobrazen jako gradientový.

Závěr: Předložená práce bezpochyby splňuje podmínky kladené na doktorskou disertaci. Tři publikované články, u nichž je Mgr. Karousová prvním autorem, dále její příručka k programu TELINV a také sjednocující text jasně prokazují, že se stala odborníkem na teleseismickou tomografii v regionálním měřítku. Za mimořádně cenné považují zejména originální výsledky týkající se hodnocení spolehlivosti tomografických obrazů svrchního pláště pod ČM. Disertace jasně prokazuje schopnost Mgr. Karousové k samostatné tvořivé práci.

prof. RNDr. Jiří Zahradník, DrSc.
katedra geofyziky MFF UK

Praha, 27.12. 2013