

## Oponentský posudek doktorské disertační práce

### Mgr. Radek Klanica: Stochastické simulace a modelování v magnetotelurické metodě

#### Posudek vypracoval RNDr.Bohuslav Růžek, CSc.

**Téma práce.** Autor si zvolil aktuální a zajímavé téma své práce, jímž je aplikace moderních inverzních algoritmů na magnetotelurickou metodu. S bouřlivým rozvojem výpočetní techniky lze realizovat numericky náročné postupy založené na bayesiánském přístupu i pro mnohadimenzionální přímé úlohy, jakou je magnetotelurický problém. Z praktického hlediska je významný i rozvoj samotné magnetoteluriky, která nabízí vhodnou paralelu se seismickými měřeními a následně pro společnou interpretaci v různých měřících. Kombinace seismických a magnetotelurických měření může v budoucnu přinášet zajímavé informace o geologickém prostředí.

**Formální podoba práce.** Text práce je sepsán přehledně, prakticky bez chyb, s přiměřeným množstvím obrázků v postačující kvalitě. Množství citací je též přiměřené účelu textu a všechny citace jsou relevantní. K členění textu na jednotlivé části nemám připomínek, oceňuji zařazení tabulky použitých symbolů na začátku práce. Až na několik vyjímek (viz dále) je text napsán srozumitelně a může sloužit i jako doplňující text pro jiné studenty a odborné zájemce.

**Pozitivní aspekty.** Autor práce se sám aktivně podílel na mnoha terénních měřeních. Naměřená data předběžně zpracoval a vyhodnotil. Pro jejich inverzi sestavil složité počítačové kódy, do nichž implementoval přímou úlohu pro 1D a 2D geometrii geoelektrického modelu. Před inverzí reálných dat provedl řadu numericky náročných syntetických testů. Invertoval a interpretoval MT data z různých geologicky odlišných oblastí. Inverzní metoda je založena na robustní nelineární optimalizaci s využitím Markovových řetězců, Bayesiánské statistiky a dalších zejména evolučních algoritmů. Tyto složité techniky nejsou běžnou součástí výukových programů na PřF UK a autor práce si je v dostatečné míře osvojil dodatečným studiem. Aplikace moderních stochastických metod optimalizace v MT je relativně novou a perspektivní disciplinou zasluhující pozornost. Je zřejmé, že v rámci řešeného tematu bylo odvedeno velké množství práce, což dokládají i čtyři publikace v impaktovaných časopisech, z nichž jednou je R.Klanica hlavním autorem.

**Negativní aspekty.** Bohužel je práce zatížena nedostatky, kterých by bylo záhodno se v další odborné práci autora vyvarovat. Je možné, že některé z níže zmíněných nedostatků jsou způsobeny jenom nedostatkem času vzhledem k dlouhým numerickým výpočtům a nikoliv ignorováním problému samotného.

*Strana 61, obr. 13.* Při výpočtu parametrů se přidává tlumení formou Tichonovovy regularizace. Potřebná síla tlumení se určuje pomocí bodu zlomu na L křivce. Na uvedených křivkách ale žádný zlomový bod není a použité "optimální" tlumení je tím pádem v podstatě náhodné. Je ale na zvážení, zda metodiku L křivek vůbec používat (byť korektně) nebo se uchýlit k jiné strategii. Jednoduchým výpočtem se lze přesvědčit, že tvar L křivek může být často hladký bez zlomového bodu a určení optimálního tlumení je tak značně diskutabilní.

*Strana 61, obr.14, a na mnoha dalších podobných místech.* Pokročilejší stochastická inverze by měla dát lepší výsledky než jednodušší metoda založená na sdružených gradientech. Podle mého názoru

tomu tak ale až na výjimky není. Stochastická inverze produkuje neúměrně rozkmitané ("strakaté") odporové řezy a obávám se, že pro další interpretace jsou tyto řezy prakticky nepoužitelné. Podle mého názoru je tento nedostatek způsoben špatně nastavenou váhou apriorní pravděpodobnosti, nebo špatným odhadem chyb invertovaných dat. U jednotlivých úloh mělo být jasně uvedeno, jak je s těmito důležitými parametry obrácené úlohy naloženo. Také by bylo vhodné explicitně uvádět počty parametrů a dat. Diskuse aposteriorních chyb by mohla být taktéž detailnější, například u seismických metod je obvyklé zobrazit histogram residuí (rozdílů naměřených a modelovaných dat), aby bylo možné jejich statistické posouzení. Proč je v práci uváděn jen jeden údaj RMS?

Výsledky různých inverzí MT dat z oblasti západních Čech na obrázcích 42-44 dávají odlišné výsledky, na obr. 44 je úplně otočena polarita anomálií. Takový zcela zásadní nesoulad by měl být náležitě vysvětlen, v práci je k tomuto bodu jen velmi povrchní zmínka.

V části 6.2.3.4 "Geologická stavba jihovýchodního okraje Českého masivu", jsou téměř všechny varianty stochastické inverze prakticky nepoužitelné, na rozdíl od linearizované inverze využívající sdružené gradienty. Zdá se mi, že vliv apriorní informace na stochastickou inverzi je zanedbatelný.

*Obecná poznámka.* Autor uvádí chyby jednotlivých parametrů na základě diskuse aposteriorní pravděpodobnosti. U všech syntetických úloh je ale řešení známé. Jsou-li histogramy jednotlivých parametrů úzké, neznamená to ještě, že chyba příslušného parametru je malá (viz např. vliv diskutabilně nastaveného tlumení resp. apriorní pravděpodobnosti). Je žádoucí srovnání správných a invertovaných parametrů. To by se mělo objevit i v obrázcích obr. 12 a všech dalších podobných.

### **Méně významné nedostatky.**

- Popis inverzních algoritmů v odstavcích 4.3 a 4.4 je pro mě nesrozumitelný. Nicméně považuji toto za méně významné jen proto, že je možné příslušné informace dohledat jinde a nejde o vlastní práci autora.
- Pro měření přes MLF byla hlavní motivací snaha o upřesnění sklonu MLF. O tom jaký sklon byl nalezen ale není v textu jediná konkrétní zmínka.
- Kapitola 6.2.3.2 je nazvána "Úklon bradlového pásma", ale jaký je tento úklon? V textu jsem nic bližšího nenašel obdobně jako v předchozí námitce.

### **Formulační nedostatky.** (Pozn. vždy je uvedena stránka, ke které se váže příslušná námitka)

11. Jaké geochemické údaje lze vyvodit z geoelektrické anizotropie prostředí?
15. Co je to regionální směr nehomogenity? Jak je možné, že se píše "... je regionální směr nehomogenity kolmý k dopadající rovině EM vlny ...". Chápu věc tak, že EM vlna dopadá na zemský povrch kolmo, pak by regionální směr nehomogenity musel být vertikální.
16. V rovnici 3.11 je asi navíc matice sigma.
20. Ve vzorci 3.15 je nutno odlišit jednotkovou matici 3x3 od skalární jedničky.
21. Zaručuje vzorec 3.20, aby tenzor vodivosti byl pozitivně definitní?
23. bivariátní → bivarietní
23. U rovnic 3.22 by měla být poznámka o vystředování a o symbolu  $\langle \rangle$ .
24. Jaký rozdíl je mezi "stohováním" spekter a již dříve uvedeným postupem v rovnicích 3.22?
25. "Posun o konstantu vzhůru či dolů" → ..o kladný či záporný posun o konstantu.
27. "Je imunní vůči distorzím" → je nezávislý na distorzích.

27,28,29. "Určení dimezionality dat" → určení dimenzionality geoelektrického modelu.

27. Proč se nepřekládá skew jako šikmost?

34. "Šum modelu a šum dat": co je to šum modelu?

37. Co je to "chyba vycházející ze struktury modelu"?

40, obr.5. Bylo by záhodno dodat, že přímá i obrácená úloha pracuje shodně s třívrstevným modelem. Jak by dopadl výsledek při inverzi modelu s jiným počtem vrstev?

56. Co je 50% vrchních vzorků řetězce?

58. Pokud v testovacím příkladu je první vrstva izotropní, a inverze poskytne shodné hlavní horizontální odpory, pak anizotropní úhel může být libovolný(?), není tedy důvod ke kritice nenulového anizotropního úhlu.

60. Model ukazuje poněkud hůře nevodič, podle mého názoru inverze nevodič neukazuje vůbec. Na obr. 12 nic v místě nevodiče nevidím.

60. Obr. 12. Jakto, že model s jemnější diskretizací má horší RMS než model s hrubou diskretizací? Mělo by to být naopak.

75. Obr. 31 neobsahuje geologické schema, ale ortofoto s velice vágními popisky. Nejsou tam žádné souřadnice a nelze se tudíž orientovat.

75. Obr. 32. Legenda by měla především odkazovat na výsledek MT měření.

75-76. Jaký je rozdíl co se týče MT mezi obr. 32 a 33? Zdá se mi, že je to totéž jen jinak vykreslený řez.

79. Obr. 36. Chybí barevná legenda

80. Jaký je rozdíl mezi Obr. 37 a 38?

83. Obr. 41 používá nevhodně volené a nekонтastní barevné odstíny (např. granity je zvykem kreslit červeně a tercierní sedimenty žlutě).

84. " ... přinesly nové informace o mocnosti jednotlivých jednotek". O co konkrétně jde z interpretace obr. 42?

### **Závěrečné hodnocení**

Navzdory uvedeným výtkám považuji oponovanou práci za kvalitní. Doporučuji kladné hodnocení a udělení titulu PhD.

### **Doporučení k dalšímu studiu**

Autorovi práce doporučuji vrátit se ke sporným bodům a příslušné nejasnosti vyřešit. Pokud by se později podařilo implementovat i 3D inverze MT dat, otevřely by se tím této metodě nové možnosti s velkým potenciálem.

Dne 30.září 2019

Bohuslav Růžek

GFÚ AV ČR