

## **Oponentský posudek diplomové práce D. Červinkové „Momentová inverze řeckých zemětřesení, metoda ISOLA“, MFF UK.**

Diplomová práce vznikla pod vedením prof. J. Zahradníka, a to predurčilo její obsah pro diplomantku šťastným způsobem, neboť vybral téma zajímavé a aktuální, a vzhledem k mnohaleté aktivitě prof. Zahradníka a jeho týmu při monitorování zemětřesné aktivity, zpracovávání dat z vlastních stanic umístěných v Řecku, jejich inverzím do zdrojových parametrů a interpretacím objasňujícím zvláštnosti ohniskových procesů se diplomantka setkala se skutečnou seismologickou praxí v atraktivní zemětřesné oblasti. V nadpisu je zmíněna ISOLA, jedna z metod vyvinutých týmem prof. Zahradníka při práci nad řeckými daty, ale diplomní práce D. Červinkové zdaleka není jen o ní. Metoda je zde nástrojem k průzkumu rozlišitelnosti mechanismu zemětřesení v popisu deviatorickým momentovým tenzorem v situacích, kdy jsou k dispozici záznamy jen z malého počtu stanic – v extrémním případě z jedné jediné. Práce je tak v jistém smyslu verifikací metody D. Dregera z 90. let, která je hojně citována jako autorita při pokusech o určení mechanismu zemětřesení z malého množství regionálních dat, avšak důkladné testování určitelnosti momentového tenzoru vzhledem k omezenému informačnímu obsahu filtrovaných regionálních záznamů nebylo – alespoň pokud je mi známo – dosud prezentováno. V tomto kontextu hodnotím téma jako velice aktuální a nepochybně zajímavé i pro širší seismologickou komunitu. Po dokončení testů a doplnění o zdůvodnění výsledků by se tak studie mohla stát důležitou referencí při regionálních inverzích, které se v mnoha případech potýkají s nedostatkem dat. Autorka diplomové práce se svým vedoucím mají jistě takovou extenzi v úmyslu, já ji vřele doporučuji.

Práce je obsažná a je vypracována pečlivě, zvláště její grafická část. V některých místech jsem měl pocit převahy grafické informace nad textovou částí. Některé tabulky působí poněkud nepřehledně následkem shrnutí údajů vzájemně nesouvisejících, pomohlo by lépe vizuálně oddělit části patřící k sobě (např. Tab.5.3 – oddělit parametry  $os P$  a  $T$  od vah  $a_i$  a parametrů inverze, pobobně u Tab.5.4). Vložení DVD s dodatečným materiálem je dobrý nápad – čtenář si může postup zopakovat, snadnější užití tohoto materiálu by však vyžadovalo jeho důkladnější dokumentaci.

Při čtení práce mě napadly následující otázky, resp. komentáře k jednotlivým konkrétním bodům:

Pro zemětřesení Trichonia ( $M_w$  zhruba 5.2) je uvádělo 6 momentových řešení, včetně agenturních z Harvardu a SED, Leonidio (o jednotku magnituda silnější) je prezentováno jen s jediným řešením – jak se shoduje s agenturními výsledky, které pro tak silný jev nepochybně existují?

Referované řešení pro Leonidio je získáno z 10 stanic, v diplomové práci se však využívají jen 4 stanice, navíc osazené třemi různými typy přístrojů – proč? Text diplomní práce tuto redukci dat přechází poukazem na „plně postačující záznamy“; čtyři stanice sice mohou stačit (a jak je dále v práci dokumentováno, stačí jich někdy i méně), avšak není pochyb o tom, že robustnější a proto preferovaný postup je využít maximálního dostupného množství dat (samozřejmě pokud jsou kvalitní a spolehlivá).

Na str.19 je zmíněno použití stejné váhy pro všechny stanice. U datového souboru pro Trichonidu však existují velké rozdíly v epicentrálních vzdálenostech stanic (SEL – 35km,

PYL – 180km), které implikují rozdílný poměr signálu k šumu a tedy kvalitu dat. Podle mého názoru je správné jednotlivá data vážit odhadem jejich variance.

Model Haslinger byl sestaven pro oblast severozápadního Řecka; pro zemětřesení Trichonia zeměpisně odpovídá, zemětřesení Leonidio je však až na jihu Peloponésu. Nabízí se tedy otázka po vlivu modelu na výsledný mechanismus. Takový test je popsán pro Trichonidu - Haslinger vs. M1 model – není však zmíněno, zda M1 zahrnuje celé Řecko. Leonidio je však jev hlubší a tedy se dá očekávat menší vliv rychlostního modelu. Odhady Q jsou náhodné nebo mají podklad v nějakém měření; byl testován též jejich vliv?

U Trichonidy je zmíněno, že zkrácené záznamy byly posouvány v čase podle údaje o hypocentrálním čase převzatém od Kiratzi et al. (2008) (podobně u Leonidia s referencí na práci Zahradníka et al. 2008a). Nepřesností modelu může dojít ke kinematickým odchylkám mezi daty a syntetickými signály, které mohou vadit při inverzi a je potom účelné je eliminovat; byly zde pozorovány znatelné disproporce časů nasazení jednotlivých fází? Invertovány byly celé záznamy od hypocentrálního času, tedy i šum mezi hyp. časem a příchodem P vlny; domnívám se, že je výhodnější situovat okno pro inverzi až těsně před časem příchodu první fáze.

Poznámka k názornosti: při testu vlivu modelu by výsledné mechanismy měly být zakresleny společně, nebo alespoň vedle sebe; oddělení do obr. 5.1 a 5.6 velmi znesnadňuje porovnání.

Překlepy v legendě tabulek:

Tab.5.12 : Hodnoty...odpovídající obrázku 5.8

Tab.5.21 : 5.10

Tab.5.27 : 5.14

Tab.5.32 : 5.16

str. 32: „Mechanismy...se shodují...více než agenturní“

Tento fakt lze těžko použít k podpoře správnosti řešení z jedné stanice, protože agenturní řešení jsou založena na jiných datech.

U Leonidia je zmíněna shoda s řešením Zahradníka et al. (2008a) popsaná faktorem  $\mu=0.1$ ; toto řešení je získáno zřejmě též metodou ISOLA: je různost obou mechanismů důsledkem použití jiného počtu stanic? Opět se vnucuje otázka, proč byly zde zpracovávány jen 4 stanice.

str. 40, poslední věta: řádově menší hodnoty  $\sigma_{a_i}$  pro Trichonidu než pro Leonidio podle mého nevysvětlují větší úspěch inverzí z jedné stanice pro prvně jmenovaný jev – ten je řádově slabší a samotná  $a_i$  jsou řádově menší, tedy relativní chyba vyjde podobně.

Příčina osově symetrie z obr. 5.2.1 mi není zřejmá; uvítal bych proto více informací o způsobu konstrukce zmíněného diagramu (zvláště s jakým vzorkováním byly provedeny testy dokladující tuto symetrii).

V obr. 5.2.3 bych uvítal grafické znázornění přiřazení barev k jednotlivým hloubkám – slovní popis v textu není zrovna názorný. Podobně barvy vs. Stanice na obr. 5.24 a 5.25.

Na závěr oddílu 5.2.2 mi chybí podrobnější zhodnocení výsledků syntetického experimentování: byl sice dokumentován růst chyby momentového tenzoru (v reprezentaci

vah a<sub>i</sub>) s hloubkou ohniska, ale vysvětluje takový nárůst neúspěch inverze pro zemětřesení Leonidio? Podobně s poměrem min/max – s hloubkou klesá, zmenšuje se však v tomto ohledu signifikantně? Užitečné by bylo prezentovat tyto závislosti v souvislosti s odchylkou zjištěného mechanismu od teoretické hodnoty.

Jako významnější se mi jeví testy z oddílu 5.2.4, které tuto konfrontaci přinášejí. Nerozumím však zde dobře argumentaci pro výběr pouhých deseti vzorků pro experimenty s různým obsahem informace v invertovaných datech. Navržené testy zahrnující předem vybrané vlnové fáze jsou v pořádku, považoval bych je však za průkaznější, kdyby braly v úvahu celý záznam vybraných fází bez kritizovaného převzorkování. Výběr víceméně náhodných 10ti bodů podle mého názoru výsledky testů zkresluje a zamlžuje, protože není docela jasné, co vlastně ve vstupních datech inverze zůstane. Takový experiment není ani realistický, neboť v praxi invertujeme vlnový obraz se vzorkováním, které ještě dobře vystihuje tvar signálu. Potom lze také lépe zvládnout žádoucí zřazování (alignment) invertovaného záznamu se syntetickým seismogramem, což při zmíněném výběru několika vzorků není možné – zde se musíme spoléhat na informaci o čase vzniku zemětřesení a nemůžeme vyrovnat případné kinematické odchylky vzniklé následkem nejistého modelu nebo lokace ohniska.

Nerozumím navíc tvrzení na str.52 nahoře, že „nejkratší studovaná perioda je přibližně 10 sekund, Nyquistova perioda je 5 sekund“. Na str.22 je uvedeno vzorkování 0.05 s. Pokud jsem dobře porozumněl postupu, výběr 10ti bodů ze záznamu podle Tab.5.34 je vlastně převzorkováním signálu a ten by měl být předtím filtrován „antialiasing“ filtrem – dolní propustí s mezní frekvencí odpovídající novému vzorkovacímu kroku.

Při zachování původního vzorkování by též odpadly pochybnosti jakou vlnu vlastně invertujeme, protože hraniční body intervalů (B-E) by bylo možné vymapovat daleko přesněji, viz tvrzení o testu B na str.52 nahoře. Toto tvrzení je zřejmě správné a pravděpodobně je v invertovaném úseku obsažena ještě i Lg vlna; datový soubor tvořený jen P a S vlnou na jedné stanici je pro výpočet pěti složek deviatorického momentového tenzoru očividně deficitní.

Považuji nicméně tyto testy za velmi významné pro rozbor úlohy určení mechanismu z regionálních záznamů jedné stanice. Přikláněl bych se však k postupu provést je na syntetických datech, kde by bylo vymapování oblastí B-E zcela přesné a odpadly by pochybnosti, co vlastně je v datovém souboru pro inverzi obsažené.

V obr.5.28 by bylo pro názornost dobré vyznačit příchody fází P, S a Lg.. Cislo 5.28 se objevuje u dvou obrázků, následující snímky je třeba přečíslovat.

Závěr: předkládaná práce je velmi kvalitní a shrnuje rozsáhlé studie mechanismů dvou řeckých zemětřesení jakož i řadu syntetických testů. Vřele doporučuji, aby po jejím obhájení byl Daně Červinkové udělen absolventský titul Magister.



RNDr. Jan Šílený, CSc.  
GFÚ AV ČR

13.5.2008