

Reflect2 – semi-interaktivní nástroj pro heuristické zkoumání některých anomálií pozorovaných v seismogramech západočeských zemětřesení (představení verze 1)

P. Kolář

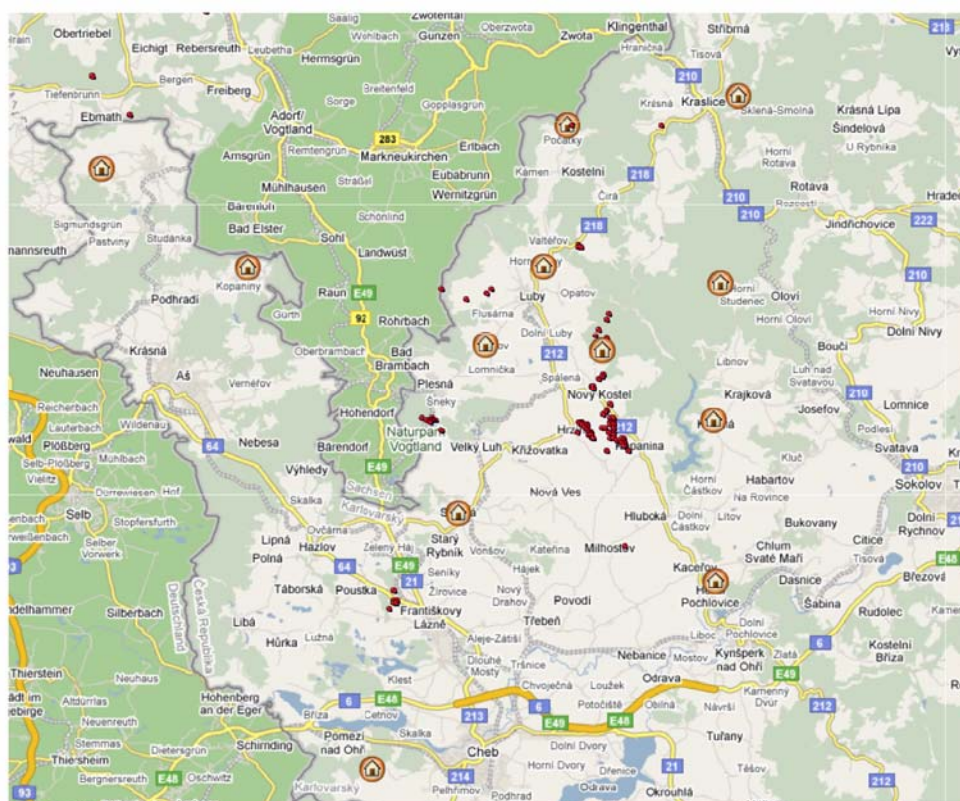
Geofyzikální Ústav AV ČR, Praha

1 Motivace

Seismická aktivita v západních Čechách je bezesporu nejvýznamnějším seismickým projevem na území České republiky. V příspěvku je navržen postup pro možné řešení jedno dílčího problému spojeného s danou oblastí a aktivitou. Protože však, jak je širší veřejností pravděpodobně známo z medií, došlo v první polovině měsíce října k obnovení seismické aktivity v této oblasti, považujeme za užitečné uvést zde i některé obecnější informace, vztahující se k dané problematice, byť předvídat spolehlivě další průběh této aktivity nelze.

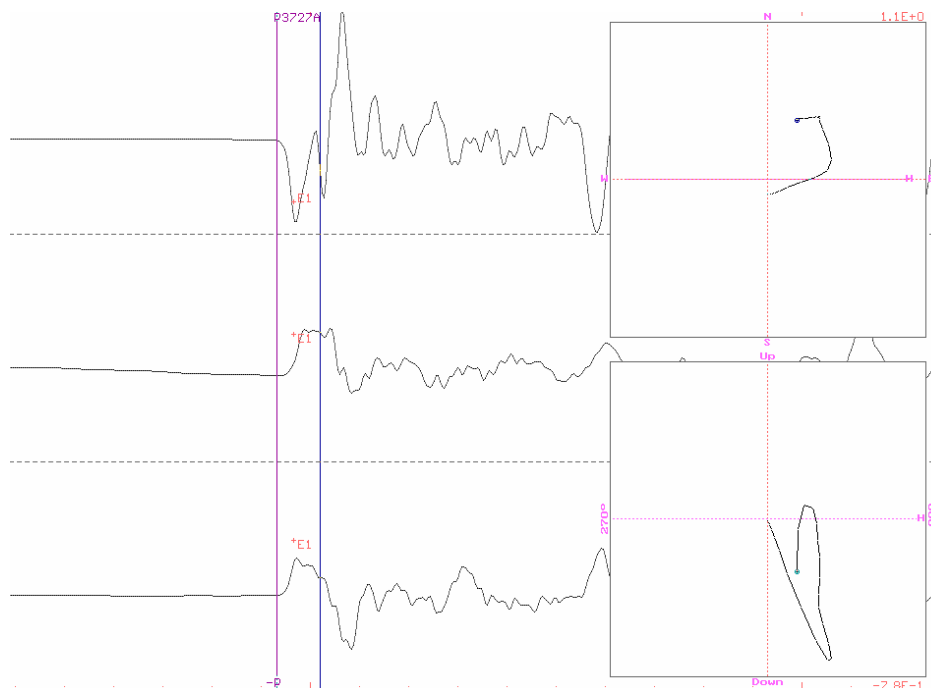
Obecně lze říci, že pro zájmovou oblast, která je z geofyzikálního hlediska aktivní nejenom seismicky, je typický výskyt tak zvaných seismických rojů (viz Apendix A a B; další informace, včetně automaticky reportovaného aktuálního stavu lze nalézt na WWW stránkách Geofyzikálního Ústavu – viz Apendix A). Seismická aktivita v dané oblasti je nepřetržitě monitorována sítí WEBNET (viz obr. 1), seismické záznamy jsou předmětem intenzivního zkoumání a mnoho prací s touto tematikou bylo publikováno během posledních desetiletí (viz např. monotematická čísla 2 a 4 časopisu *Studia Geophysica et Geodetica* z roku 2000, či připravovaná čísla 4/2008 a 2/2009 téhož časopisu).

Epicentra zemětřesení v západních Čechách-Vogtlandu



Obrázek 1: Mapa zájmové oblasti s vyznačenou polohou seismických stanic (symbol "domeček") a epicentra zemětřesení (červená kolečka), stav ze dne 14.10.2008 – převzato ze stránek GFU

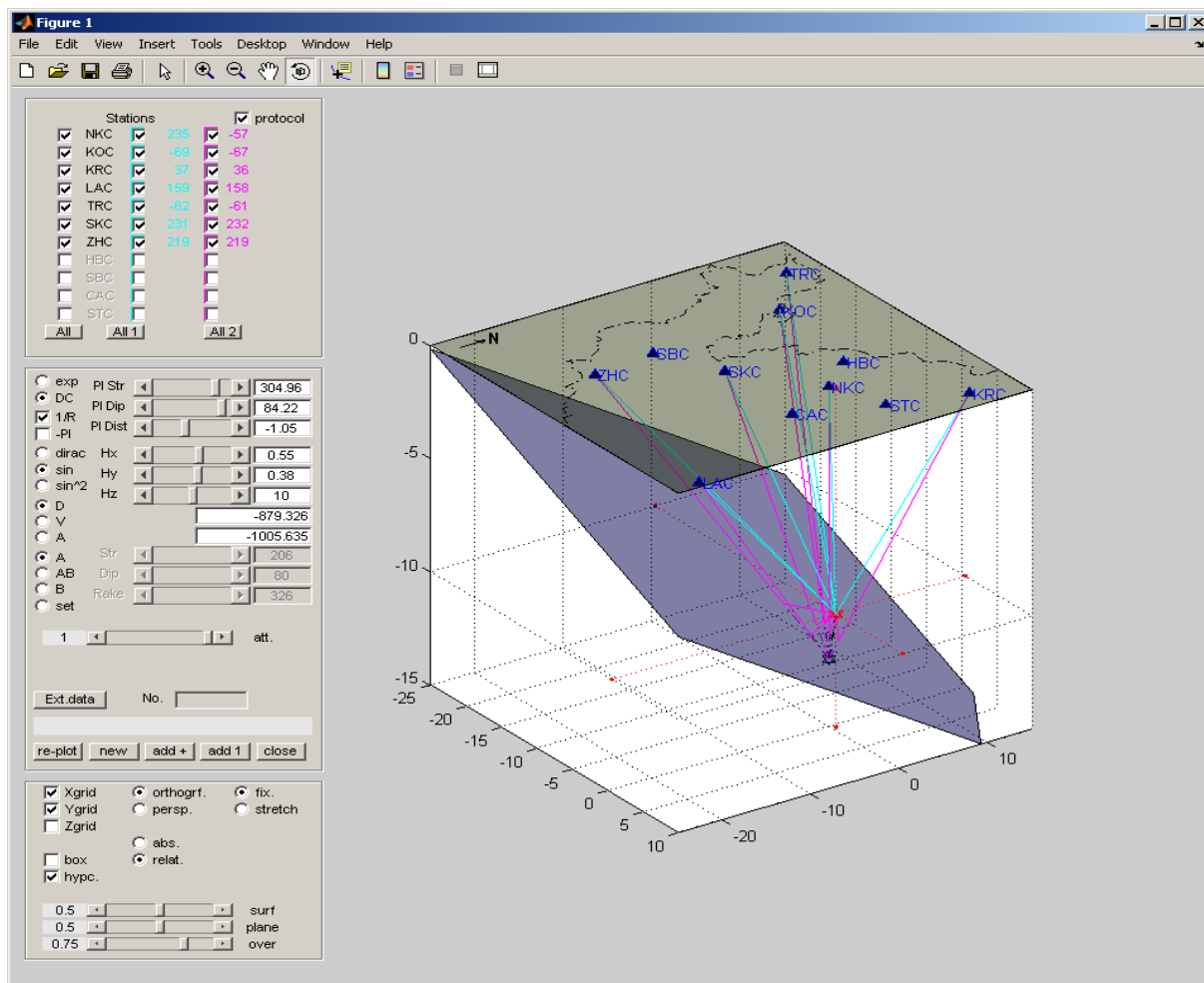
Řada těchto studií používá zjednodušené model prostředí (homogenní poloprostor nebo vertikální 1D model). Jakkoliv jsou tyto výsledky cenné a obecně jistě platné, v získaných seismogramech se také pozorují anomálie, které nemohou být za těchto předpokladů objasněny. Jedná se jmenovitě o fáze vln přicházející z jiného azimutu, než odpovídá geometrické spojnici stanice a epicentra (obr. 2). Jednou z hypotéz pokoušející se vysvětlit komplexitu vlnových obrazů je předpoklad odrazné plochy nacházející se v blízkosti zemětřeseného ohniska. Takováto představa je však obtížně “uchopitelná” jak intuitivně tak i exaktnějšími numerickými výpočty (mimo jiné i pro prvotní neurčitost polohy takovéto odrazné plochy). Aby mohly být takovéto efekty nahlíženy a studovány alespoň kvantitativně, byl vytvořen program *Reflect2*, který umožňuje semi-interaktivní simulaci takovýchto efektů.



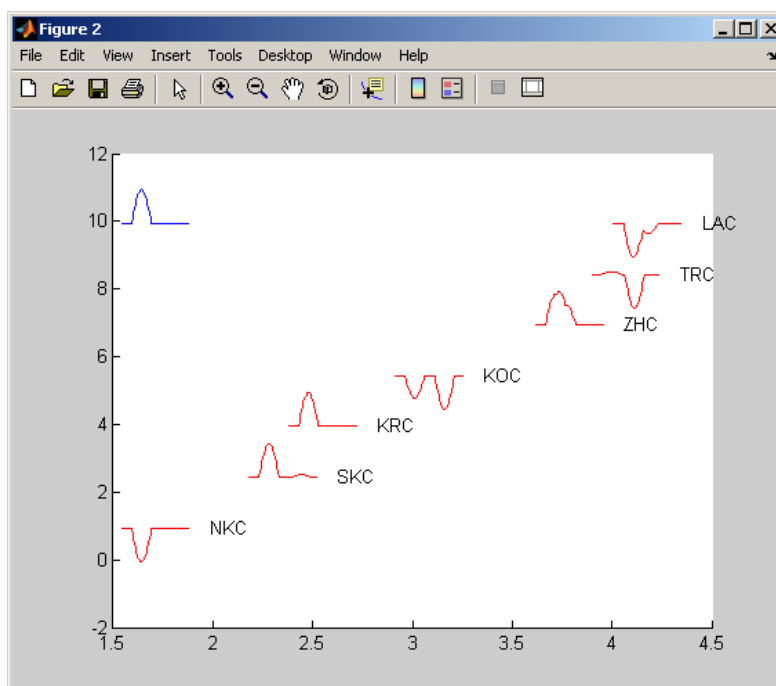
Obrázek 2. Příklad efektu, který nelze objasnit v jednoduchém modelu prostředí. Vlevo je seismogram ze stanice SKC (Skalná), vpravo jeho polarizační diagramy (horizontální a vertikální), které jasně ukazují příchod odlišně polarizované fáze.

2 Program *Reflect2*

Program *Reflect2* umožňuje interaktivně nastavit polohu zemětřeseného ohniska a odrazné plochy ve 3D modelu studované oblasti (obr. 3). Po nastavení potřebných parametrů jsou vykresleny odpovídající syntetické seismogramy (obr. 4), které jsou následně předmětem typové analýzy (porovnání se studovanými reálnými daty). Podstatným zjednodušením (oproti reálné situaci) je předpoklad homogenního rychlostního modelu. Za tohoto předpokladu je však možná velmi jednoduchá konstrukce seismických paprsků (v tomto případě se jedná o přímky, respektive úsečky; odraz na ploše je modelován pomocí symetricky sdruženého virtuálního ohniska ležícího za odraznou plochou). Oproti tomu už i v poměrně jednoduchém 1D gradientovém modelu rychlosti se výpočet paprsků stává složitým 3D problémem, který navíc zpravidla ani nemá analytické řešení (naopak za předpokladu homogenní rychlosti je výpočet tak jednoduchý, že je možno paprsky zobrazovat v iterativním modu při změně parametrů).



Obrázek 3. Hlavní okno programu *Reflect2*. Vlevo jsou ovládací prvky, vpravo interaktivní 3D model oblasti. Barevně je zvýrazněna odrazná plocha (šedo-modrá) a povrch modelu.



Obrázek 4. Příklad vytvořených syntetických seismogramů pro jednotlivé uvažované stanice (červeně) a výchozí "zdrojový" pulz (modře)

3 Závěr

Přepokládáme, že i za výše uvedených zjednodušení bude možno získat alespoň kvalitativní náhled o chování vlnových obrazů a následně stanovit (alespoň přibližně) třídu možných modelů; taková to přibližná řešení pak případně mohou sloužit jako vstupní data pro numerická modelování za realističtějších fyzikálních předpokladů.

Již první modelové seismogramy získané pomocí programu *Reflect2* potvrdily očekávanou skutečnost, že i kombinací několika málo jednoduchých až triviálních efektů lze v principu obdržet značně variabilní a dostatečně komplexní vlnové obrazy, což je přinejmenším slibné z hlediska zamýšlených studií.

Reflect2 je napsán v prostředí MATLAB, je k dispozici zájemcům a nebráníme se jeho dalšímu vylepšování, avšak s výhradou zachování přímkových paprsků (což je ekvivalent předpokladu homogenního rychlostního modelu). O některých programátorských problémech programu *Reflect2* a jejich řešení je pojednáno v Apendix-u C.

Poděkování

Autor děkuje svým kolegům za živý zájem a řadu podnětných připomínek k popisovanému programu. Práce vznikla v rámci grantu: **IAA300120805 GAAV ČR**

Apendix A – Západočeská oblast ze seismického a geofyzikálního hlediska.

Příčinou zemětřesné činnosti v západních Čechách je patrně oslabení zemské kůry. Během geologického vývoje se toto oslabení projevilo mimo jiné vznikem Chebské a Sokolovské pánve a sopečnou činností. Jejím dokladem je jedna z nejmladších sopek na našem území, Komorní hůrka u Františkových Lázní, která byla aktivní ještě před 200 tisíci let, tedy během čtvrtohor.

Pozůstatkem vulkanismu jsou dnes četné prameny minerálních vod a výrony oxidu uhličitého (CO₂) - tzv. mofety. Západočeská oblast je díky tomu známá nejen proslulými lázněmi, ale také neobvyklými přírodními úkazy, např. přírodní rezervací Soos v chebské pánvi s tzv. bahenními sopkami. Zdejší zemětřesení jsou patrně jedním z dalších projevů doznívajícího vulkanismu.

(převzato z <http://www.iq.cas.cz/cz/struktura/observatore/zapadoceska-seismicka-sit-webnet/>)

Na uvedených stránkách lze nalézt další informace o dané problematice. Dalším zdrojem informací může být např. *Československý časopis pro fyziku* 4/2004 – speciální číslo věnované geofyzikálnímu výzkumu, nebo starší speciální číslo téhož časopisu A33/1983

Apendix B – Seismické roje

Roje otřesové. Trvá-li zatřesení delší dobu a dostavuje-li se při tom velký počet otřesů v době několika dnů nebo týdnů, mluvíme o rojích otřesových. Roje takové se ohlašují podzemním duněním a rachotem, načež po několik dnů následuje zprvu méně, pak více nárazů střídavě slabších a silnějších s podzemním rachotem, až konečně roj jedním nebo dvěma hlavními nárazy vyvrcholí, načež rychleji nebo pomaleji zemětřesení ustává, dostaví se klid třeba několikadenní, až po menším nárazu, se slabším otřesem a podzemním duněním spojeném, roj se ukončí.

Převzato z: Jos. Kafka, 1909, *Zemětřesení* (s 33 vyobrazeními a dvoustrannou přílohou), edice Dalekohled (vzdělávací četba pro každý věk i stav), svazek VIII, nákladem F. Šimáčka v Praze, str. 34-35

Významnou roli sehrála zemětřesná aktivita na počátku 20. století (1903 a 1908), která představuje pravděpodobně délkou svého trvání i silou otřesů dosud nejvýraznější řadu západočeských

zemětřesení. K jejímu označení bylo tehdy poprvé v sousedním Sasku použito termínu zemětřesný roj. Tento pojem se pak ujal mezi seismology v celém světě pro označení série zemětřesení bez převládajícího hlavního otřesu.

(převzato z <http://www.ig.cas.cz/cz/struktura/observatore/zapadoceska-seismicka-sit-webnet/>)

Appendix C – Reflect2: programátorská řešení

Při tvorbě programu vyvstalo několik programátorských problémů, jejichž řešení nebylo zcela triviální a o kterých se zde stručně zmíníme:

- Analytická řešení geometrické roviny jsou středoškolskou látkou (viz např. Bartch, 2000, *Matematické vzorce*, Mladá Fronta, Praha). Použité vzorce jsou sice pro některé speciální orientace roviny singulární (v případě rovnoběžnosti s některou souřadnou osou), v praxi je však možno takovou singularitu aproximovat mírným odklonem (např. 1 stupeň). Takovéto řešení považujeme pro daný účel za dostatečné a problematické orientace roviny nebyly dále nijak ošetřeny.
- Pro vykreslení (odrazné) roviny jsou spočteny její průsečíky s hranami “krychle“ modelu, před samotným vykreslením jsou jednotlivé body seříděny dle azimutu (v polárních souřadnicích). I tento postup může v některých případech vést k singularitám, ty však ani v tomto případě nejsou fatální (viz výše).
- Dílčí problémy s přepínáním vlastností “fixed“ a “stretch“ os vykreslovaného modelu byly úspěšně vyřešeny po konzultaci s firmou Humusoft (panem Houškou) - děkujeme
- Pro uživatelské pohodlí (zejména při interaktivním otáčení 3D modelu) jsme považovali za užitečné barevně rozlišit rub a líc obou zobrazovaných poloprůhledných rovin (odrazná rovina a rovina povrchu). Pro jednu rovinu se takové barevné rozlišení dá dosáhnout pomocí dvou různobarevných osvětlení ze dvou stran. Takovéto řešení však není možné použít pro větší počet rovin. Proto je druhá rovina tvořena dvěma různobarevnými rovinami přiblíženými těsně k sobě. Takovéto řešení je sice částečně funkční, není však dokonalé a pro některé kombinace polohy rovin a náhledu vlastně selhává. Nejedná se sice opět o fatální nedostatek, nicméně budeme vděčni za upozornění na nějaké elegantnější a funkčnější řešení daného problému.