



MECHANISMUS ZEMĚTŘESENÍ ANEB CO SE (ASI) STALO U HLUČÍNA 10. PROSINCE 2017
MECHANISM OF THE EARTHQUAKE AT HLUČÍN NEAR OSTRAVA, CZECH REPUBLIC, ON
DECEMBER 10, 2017

Jan Šílený¹, Jan Zedník²

Abstrakt

Kritickým parametrem pro úspěšnou rekonstrukci mechanismu seismického jevu je geometrie monitorování – pravidelnost a hustota rozložení stanic kolem ohniska co do azimutů i vzdáleností. Dostupná data z blízkých stanic regionální sítě pro hlučínské zemětřesení toto kritérium nesplňují. Běžný přístup k řešení obrácené úlohy, kdy nám algoritmus vrátí mechanismus nejlépe simulující pozorovaná data, zde není moc k užitku, protože řešení je zatíženo velikou chybou. Namísto jednoho „nejlepšího“ řešení je rozumnější zmapovat třídu přijatelných mechanismů a mechanismů „zakázaných“. To jsme učinili pro kritérium shody předpovězených a pozorovaných polarit a ukázali, že mechanismy podél místních zlomů orientovaných přibližně Z – V polaritám nevyhovují. Třída přijatelných mechanismů naopak nabízí souvislost hlučínského zemětřesení se zlomy ve směrech SZ – JV a SV – JZ, tedy se sudetskou tektonikou.

Abstract

Geometry of the monitoring – the regularity and density of the station distribution around the focus concerning both the azimuth and the distance – is the crucial factor of the success in the reconstruction of the mechanism of a seismic source. The data available – records from the nearby stations of the regional seismic networks – do not satisfy this criterion. Standard approach to solving the inverse task, providing us with the mechanism best fitting the observed data, is not much helpful here, because the solution is biased largely. Thus, instead of presenting the single „best „solution, it is reasonable to map a class of acceptable mechanisms on one hand, and the „forbidden “ones on the other. We have done this assuming the criterion of matching the observed and predicted polarities and we have demonstrated that the mechanisms related to local faults oriented W-E do not fit. On the other hand, the class of the acceptable mechanisms suggests the Hlučín earthquake to be associated with faults along the NW-SE and NE-SW directions, i.e. related to the Sudety tectonics.

Klíčová slova

blízké stanice regionální sítě, řídká geometrie observace, slabá podmíněnost řešení, polarity P vln

Keywords

nearby stations of regional networks, sparse geometry of the monitoring, weakly constrained solution, P-wave polarities

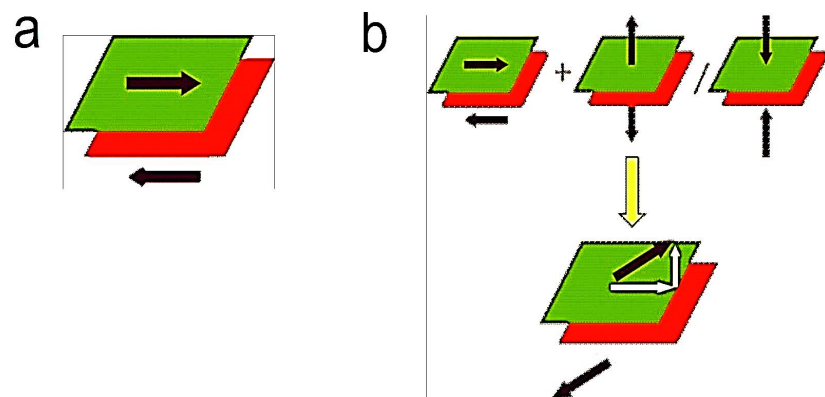
1 Úvod

Zemětřesení je přírodní fenomén, o jehož vlastnostech se dozvídáme někdy - naštěstí zřídka - osobní zkušeností, jindy - a to častěji - sledováním seismických vln a vyhodnocováním jejich vlastností. Zatímco po prvně jmenovaném způsobu poznávání touží málokdo (snad jen seismologové samotní, a to ještě spíše "platonicky" než fakticky), druhý je všednodenní činností jmenovaných vědců. Ti buď zkoumají jednotlivé jevy jako cenné exempláře vzácného druhu tropického motýla, anebo průmyslovým tempem sekají do katalogů seismologických agentur jedno za druhým „jak Baťa cvičky“. Obecně, seismické vlny jsou vyhodnocovány na několika úrovních a pro různé účely. Na základní hladině jde o detekci jevu – jeho rozpoznání v seismickém záznamu od všudypřítomného seismického neklidu, a lokalizaci – stanovení místa a časového okamžiku jeho vzniku. Protože jde o kinematickou úlohu, při lokalizaci vystačíme s přesnou časovou základnou, přesná kalibrace zesílení není podmínkou. Ta je zásadní v druhé hladině zpracování, kde si všímáme způsobu vyzařování seismických vln zdrojem do různých směrů. To je v podstatě obsah informace o zdroji seismických vln, kterou nazýváme mechanismus zemětřesení. Zemětřesení je ve většině případů fenomén spjatý s geologickým zlomem nebo obecněji dislokací, poruchou spojitosti horninového prostředí, vydělující horninové bloky, které se při náhlé relaxaci nahromaděného napětí vůči sobě pohybují, a tento pohyb vysílá do okolí seismické vlny. Mechanismus zemětřesení je pak schéma tohoto pohybu. Pro geofyziky ale i geology má zásadní význam, protože informuje mimo jiné i o orientaci tohoto zlomu či poruchy. Ne vždy nebo ne zcela jednoznačně jak uvidíme později, nicméně i nápověda je leckdy užitečnou informací.

2 Modely seismického zdroje

Následkem vysokého litostatického tlaku už v nevelkých hloubkách pod zemským povrchem dochází při tektonických zemětřeseních (kterých je drtivá většina přirozených seismických jevů) ke smykovým (střížným) pohybům po zlomech a tektonických poruchách - proti litostatickému tlaku se trhliny neotvírají, nedochází k vytvoření volného objemu. To se stává v ohniskách zemětřesení, souvisejících s pohyby fluid v zemské kůře - typicky magmatu, také však u takových, za jejichž iniciaci nemůže příroda sama, ale které vznikají přispěním lidské činnosti. Jde třeba o důlní otřesy, vznikající v masívu narušeném vyrubanými prostorami, nebo o seismické jevy spjaté s těžbou ropy a zemního plynu, nově též břidlicového plynu, kdy je horninový masív rozrušován injektováním kapaliny pod vysokým tlakem do vrtu pro zvýšení propustnosti horniny. Stejná technologie je užívána při exploataci geotermální energie pro vytvoření dostatečně propustného podzemního tepelného výměníku.

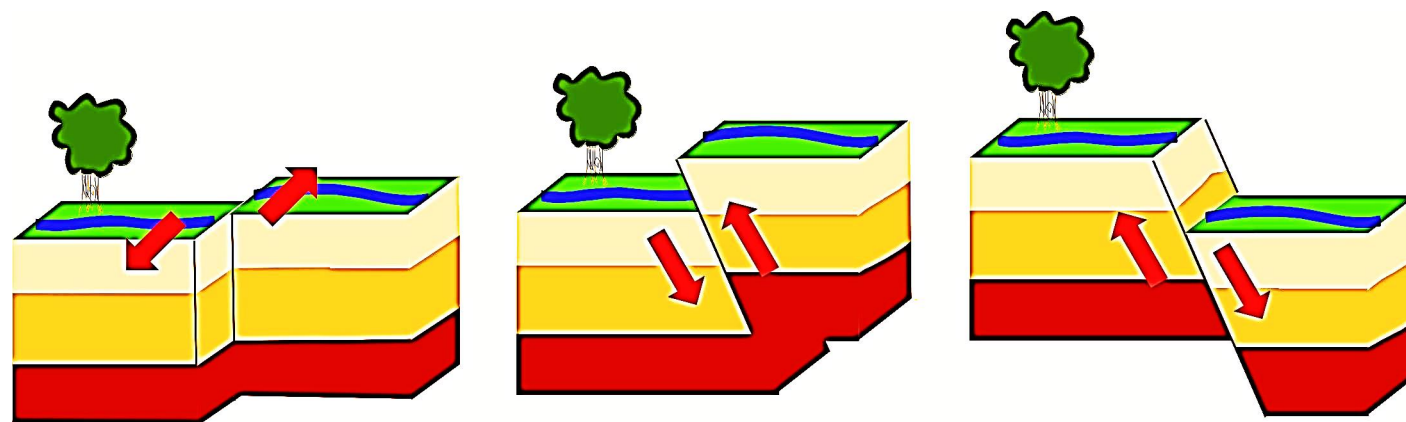
2.1 Střížný skluz vs. střížně-tahová trhlina



Obr. 1 Střížný skluz (a) a nestřížný skluz (střížně-tahová trhlina. STC). (b)

reálný zlom a pohyb na něm (Aki, Richards, 1980). Jeho výhoda je hlavně v následné linearitě vztahu mezi mechanismem a seismickým pohybem neseným seismickými vlnami, tedy především technická přednost pro řešení obrácené úlohy seismického zdroje. Pro popis

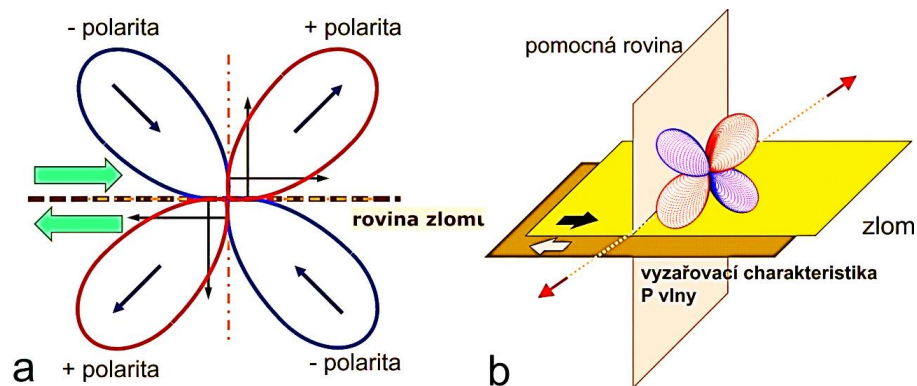
Z toho vychází i předpoklad střížného skluzu podél zlomu jako modelu pro ohnisko tektonického zemětřesení, tedy skluzu jen s tečnou složkou pohybu ke zlomu, bez normálové složky popisující jeho otevření (obr.1a). Podle konkrétní geometrie zlomu a skluzu ve vztahu k zemskému povrchu rozeznáváme několik základních typů pohybu horninových bloků - mechanismu tektonického zemětřesení (obr. 2): horizontální posun, tzv. strike-slip (zlom je zde zakreslen jako vertikální, může však být ukloněn pod libovolným úhlem), pokles s pohybem bloku nad rovinou zlomu směrem dolů, a přesmyk (dip-slip, thrust faulting) s opačným směrem pohybu. Opustíme-li předpoklad střížného pohybu po zlomu, v nejobecnějším popisu dislokačního zdroje - tedy takového, kde k pohybu dochází porušením spojitosti horninového masívu - dojdeme k tzv. tenzoru seismického momentu. Ten je silovým ekvivalentem dislokace, tedy systémem objemových sil, které v neporušeném kontinuu generují stejné vlnové pole jako



Obr. 2 Základní typy pohybu horninových bloků - mechanismu tektonického zemětřesení: horizontální posun, tzv. strike-slip (vlevo), pokles s pohybem bloku nad rovinou zlomu směrem dolů (uprostřed), a přesmyk (dip-slip, thrust faulting) vpravo

samotného fyzikálního procesu vzniku zemětřesení jako skluzu po zlomu je zbytečně složitý (Šílený, 2018). Pro střížný i nestřížný skluz - tedy pro popis tektonických i indukovaných zemětřesení - nám stačí jednodušší model, tzv. střížně-tahová trhlina (Shear-Tensile-Crack, STC), obr.1b. Rozdíl proti střížnému skluzu je jen v tom, že dovoluje normálovou složkou pohybu, tedy otevírání, popř. zavírání zlomu (Vavryčuk, 2011). Interpretace zůstává jednoduchá, popis je jednodušší (jen pět parametrů oproti šesti u momentového tenzoru) a stabilita obrácené úlohy je obecně lepší.

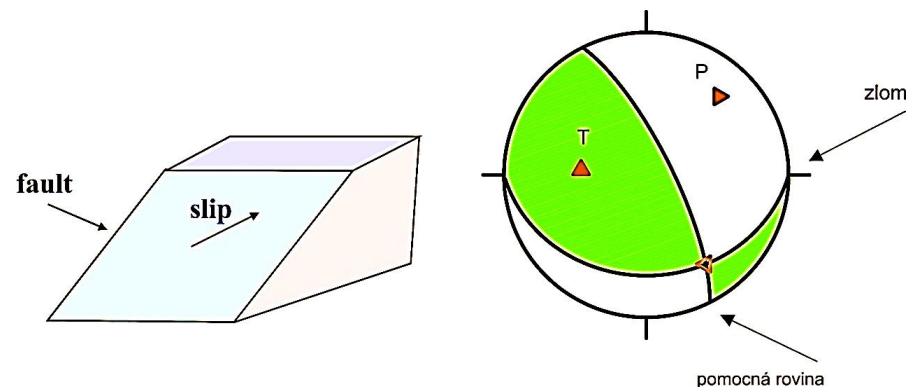
2.2 Vyzařovací charakteristika



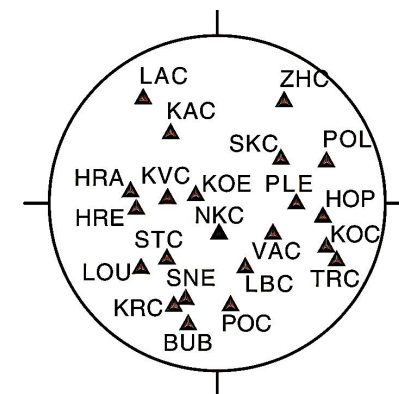
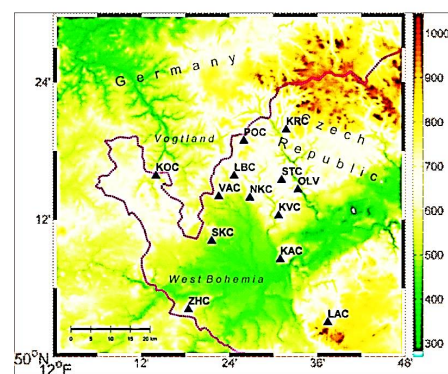
Obr. 3 Vyzařovací charakteristika střížného zdroje – tečného posunu po zlomu: a – pohled podél roviny zlomu, b – 3D pohled, červené šipky – znázornění symetrie vyzařování.

Zůstaňme však u mechanismů tektonických zemětřesení, tedy u střížného skluzu. Jeho vyzařovací charakteristika - schéma intenzity vyzařování seismických vln do různých směrů - je pro podélné (P - primární) vlny kvadrantní: maxima v osách kvadrantů vymezených rovinou zlomu a pomocnou rovinou na něj kolmou, tedy 45° od roviny zlomu s polaritou kladnou (pohyb vpřed, podél paprsku) a zápornou (pohyb vzad, proti směru paprsku) podle směru skluzu po zlomu, obr. 3. Pro úplnost je třeba připomenout, že bodové zdroje vyzařují symetricky, tedy stejně do daného směru a na stranu opačnou, obr.3b. Kvadrantní charakteristika (podobná je i pro vyzařování S (sekundárních) vln) má důsledek nerozlišitelnosti zlomu a roviny kolmé k němu (roviny kolmé ke směru vektoru skluzu), pro rozhodování se potřebujeme opřít o další údaje (mapování následné seismicity - “aftershocks”, úvahy založené na tektonickém napětí, aj.).

Seismologové tradičně zobrazují mechanismus pomocí tzv. plážového míče (“beach-ball”), projekce kvadrantní vyzařovací charakteristiky P-vln do horizontální roviny a vybarvení zón komprese - pohybu směrem od ohniska, která připomíná onu známou



Obr. 4 Mechanismus zemětřesení – tečný skluz po zlomu (vlevo) a jeho grafické znázornění obvyklé v seismologii – tzv. “plážový míč” (vpravo).



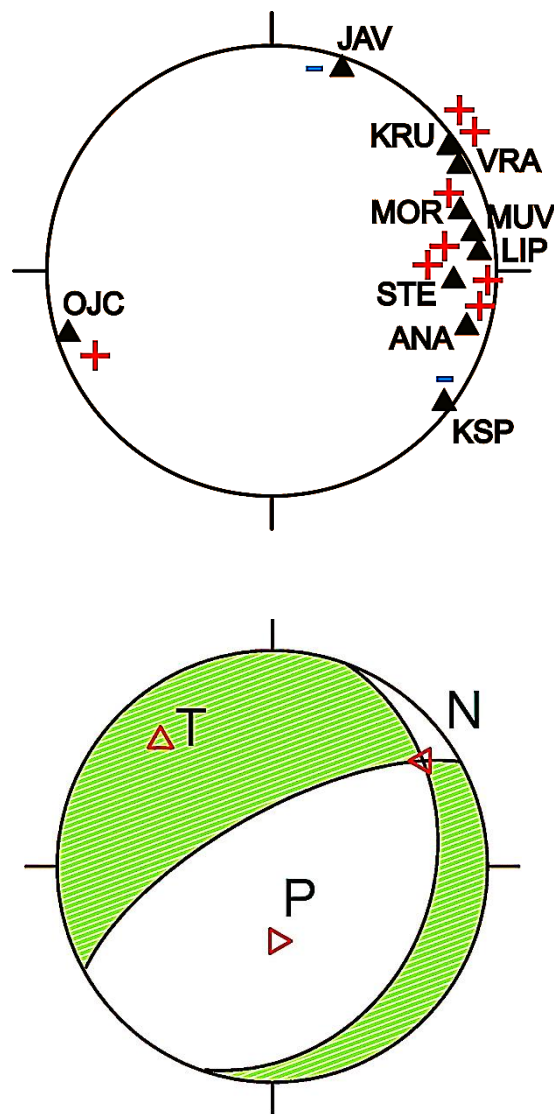
Obr. 5 Rozložení stanic lokální seismické site WEBNET monitorující západočeská zemětřesení: vlevo – mapa, vpravo – projekce stanic na fokální sféře pro ohniskovou zónu pod Novým Kostelem (pod stanicí NKC).

rekreační pomůcku. Natočení tohoto míče se mění právě podle orientace dvojice zlom - pomocná rovina, tedy podle směru a úklonu zlomu a téhož pro vektor skluzu. Jeden z konkrétních případů ukazuje obr. 4, kdy na ukloněném zlomu dochází k převažujícímu vertikálnímu skluzu – přesmyku s malou horizontální složkou.

Mechanismus lze nazvat směrovou charakteristikou zemětřesení, je tedy přirozené, že pro jeho určování ze seismických pozorování je zásadní mít informace z co nejvíce směrů a navíc dobře rozložených kolem ohniska. Pod adjektivem „dobře“ zde rozumíme takové rozložení stanic kolem ohniska zemětřesení, kdy se v žádném směru nevyskytuje velká „díra“ – oblast, ze které nemáme informaci o zemětřesením vyzářených vlnách. Pro dobré pokrytí tzv. fokální sféry – myšlené kulové plochy kolem ohniska – je důležité nejen co možná nejpravdělnější rozložení stanic kolem epicentra co do azimutu pozorování, ale též v každém azimutu informace ze stanic blízkých i vzdálených. Národním příkladem takového dobrého pokrytí je konfigurace seismických stanic západočeské lokální sítě WEBNET: vůči hlavní oblasti výskytu západočeských rojových zemětřesení pod Novým Kostelem (stanice NKC) je pokrytí fokální sféry stanicemi sítě téměř ideální (Fischer et al., 2014), obr. 5.

3 Zemětřesení u Hlučína

Hlučínské zemětřesení překvapilo obyvatele Ostravska a Opavska 10. prosince 2017. Takový příměr se zdá pro oblast, kde jsou lidé zvyklí na skoro každodenní otřesy vzniklé v důsledku dolování hlavně v přeshraniční polské části slezské uhelné pánve, dosti paradoxní; velká odezva v podobě dotazů na GFÚ AV ČR a vyplněných makroseismických dotazníků (dostali jsme jich téměř 500) svědčí o tom, že lidé v široké oblasti mezi Ostravou a Opavou vnímali tento jev jinak než obvyklé důlní otřesy. Nepochybně nápadnou odlišností byly často pozorované doprovodné zvukové efekty, připomínající dunění nebo zvuk projíždějících těžkotonážních vozidel. Velká oblast, kde obyvatelé pocítili účinek zemětřesení, souvisí



Obr. 6 Geometrie monitorování hlučínského zemětřesení blízkými stanicemi České regionální seismické sítě a stanicí OJC polské regionální sítě spolu s polaritami nasazení P vlny. Stanice jsou v rovnoploché projekci na fokální sféru se středem v ohnisku zemětřesení.

Obr. 7 Mechanismus hlučínského zemětřesení spočtený inverzí vertikálních složek amplitud P vln na deseti stanicích regionální seismické sítě (viz obr. 6). Zelená zóna – komprese přicházející P vlny, T,P,N – hlavní osy (po řadě tahová, tlaková a nulová).

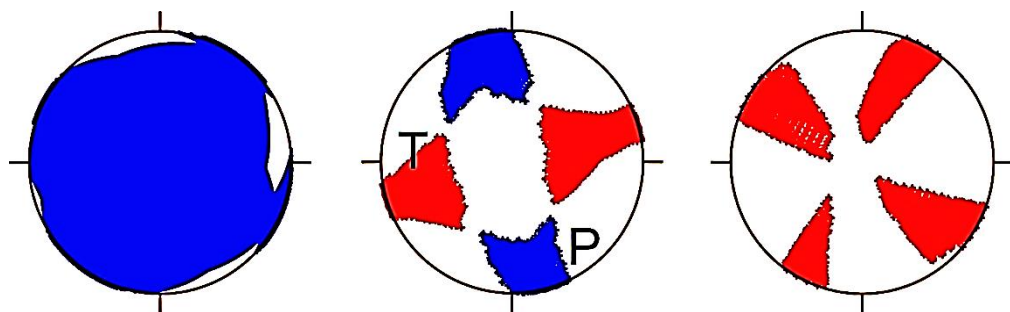
s jeho sílou – jeho magnitudo bylo stanoveno na 3,5, i hloubkou, dosahující 13 km (určení Ústavem fyziky Země Masarykovy univerzity v Brně).

3.1 Obrácená úloha seismického zdroje – „nejlepší řešení“ a jeho nejistota

U zemětřesení, vyskytnuvších se mimo známé (a systematicky sledované) seismoaktivní oblasti, se obvykle musíme spokojit s údaji stanic regionální seismické sítě. Ta – ač je koncipována tak, aby pokrývala celé území ČR a významné jevy umožnila s dostatečnou přesností lokalizovat, nemůže být dostatečně hustá pro určování mechanismu zemětřesení v libovolném místě teritoria republiky ve smyslu dostatečného pokrytí fokální sféry, jak jsme vysvětlovali výše. V případě hlučinského zemětřesení jsme těsně po zemětřesení měli k dispozici odečty z devíti blízkých stanic České regionální seismické sítě a jedné stanice polské sítě. Pokrytí těmito pozorováními však má daleko k ideálu: české stanice leží vesměs na západ od epicentra hlučinského zemětřesení, zbytek fokální sféry „vykřívá“ jediná polská stanice OJC, obr. 6. S jednoduchým modelem, který máme k dispozici - homogenní poloprostor, či nanejvýš několik homogenních horizontálních vrstev, se při stanovení mechanismu omezíme na vertikální složku seismogramu, abychom předešli nesrovnalostem v azimutu přicházejících seismických vln následkem složitější paprskové dráhy, než kterou předpovídá náš jednoduchý model, a samozřejmě pouze na P vlnu, jejíž odečet ze záznamu je nejjistější (všechny pozdější vlnové fáze včetně S vlny přicházejí do kódů P vlny, resp. vln jim v čase předcházejících). Za předpokladu jednoduchého časového průběhu posunutí po zlomu v ohnisku zemětřesení, který je pro slabá zemětřesení realistický, můžeme pominout určování časové funkce zdroje a zjednodušit si postup invertováním pouze první amplitudy P vlny. Výsledkem (s poměrně dobrou shodou syntetických amplitud s daty, kvantifikovanou reziduální sumou čtverců jejich rozdílů přes všechny stanice redukovanou na normu dat, nepřevyšující zde 0,23) je téměř kolmý pokles orientovaný zhruba SV – JZ, tedy s orientací v souladu s tektonikou sudetského typu (SV – JZ, SZ – JV), obr. 7. Jak však platí obecně pro všechny obrácené úlohy, samotný mechanismus je jen jednou částí řešení úlohy. Sám o sobě totiž nedává žádnou informaci o jeho věrohodnosti, jinými slovy o velikosti chyby, kterým je jeho určení zatíženo. Chyba ve stanovení mechanismu zemětřesení může mít mnoho příčin – nekvalitní data nedovolující spolehlivé odečty amplitud nebo samotných vlnových obrazů vlivem např. silného neklidu kontaminujícího záznam, nedostatečně přesná znalost polohy ohniska nebo rychlostní struktury prostředí mezi ohniskem a stanicemi, obé vedoucí k nepřesné Greenově funkci a deformaci řešení obrácené úlohy, nebo nedostatečná geometrie pozorování, o které jsme hovořili výše. V naší následující analýze si všimneme právě tohoto efektu.

3.2 Chyba mechanismu způsobená špatnou geometrií monitorování

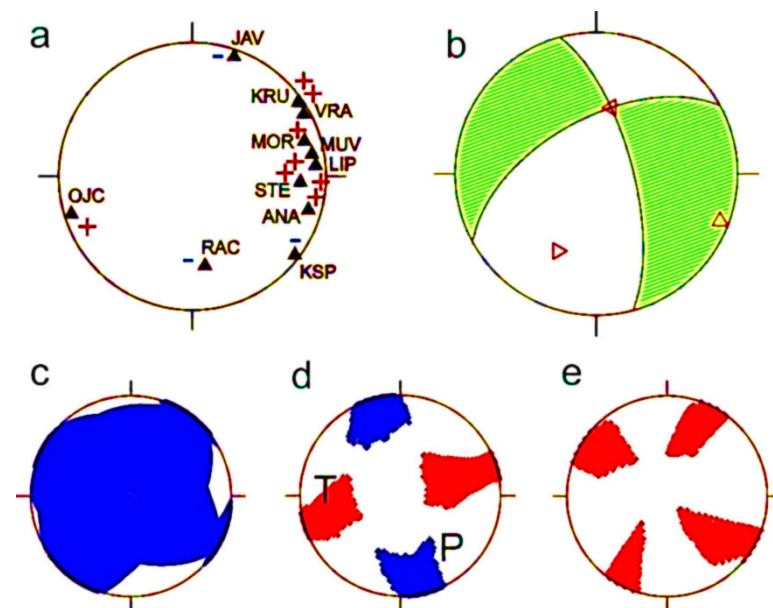
Chybu řešení obrácené úlohy popisují v úplnosti tzv. konfidenční zóny, části modelového prostoru úlohy, ve kterých můžeme nalézt skutečné řešení s předem zvolenou pravděpodobností. Na různých a priori zvolených pravděpodobnostních hladinách tak můžeme zkonstruovat konfidenční zónu pro orientaci určeného mechanismu i pro jeho rozklad např. do střížné a nestřížné složky. V naší analýze se pro názornost omezíme na jednodušší způsob, a sice mapování všech řešení splňujících určité kritérium kvality. Použijeme k tomu polarit nasazení P vlny pozorované na jednotlivých stanicích sítě, nejjednodušší charakteristiky vlnového pole vypovídající o mechanismu zdroje. Historicky popis i stanovování mechanismu zemětřesení začínaly právě u polarit, a leckde je to metoda přetrvávající až dodnes. Protože



Obr. 8 *Nejistota ve stanovení mechanismů hlučinského zemětřesení z 10 stanic z obr. 6 znázorněná jako rozptyl orientací všech střížných mechanismů vyhovujících pozorovaným polaritám (obr. 6). Vlevo – nodální čáry všech znaménkem vyhovujících mechanismů, uprostřed – tlakové (T, červeně) a tahové (P, modře) osy těchto mechanismů, vpravo – póly nodálních rovin těchto mechanismů.*

takto z celého seismogramu využíváme jen zlomek informace, nemůžeme se pochopitelně dostat ke komplexnímu popisu mechanismu tenzorem seismického momentu, ani jednodušším modelem střížně-tahové trhliny. Analýza znamének nenárokuje víc než vymezení polohy nodálních čas, tedy odhad orientace střížného skluzu po zlomu, a to ještě jen v případě dostatečně kvalitního pokrytí fokální sféry monitorujícími stanicemi. Příklad takového jsme viděli pro konfiguraci sítě WEBNET, rozhodně to však není případ monitorování hlučinského zemětřesení blízkými stanicemi regionální sítě. Zakreslíme-li všechny orientace střížného mechanismu, jejichž polarita P vlny vyhovují datům, tedy pozorovaným znaménkům nasazení P vlny, zjistíme, že takto podmíněný mechanismus má k jednoznačnosti velmi daleko: nodální čáry těchto řešení pokryjí téměř celou fokální sféru a poskytnou tak fakticky nulovou informaci o orientaci mechanismu, obr. 8. Lépe je na tom zobrazení hlavních os všech takto přijatelných řešení nebo pólů nodálních rovin. Nejistota zůstává veliká (tahová osa (značena T) – centrum kvadrantu kompresí P vlny – může ležet kdekoli v červené zóně, tlaková osa (P) – centrum kvadrantu dilatací – zase kdekoli v zóně modré), nicméně třída řešení je omezena.

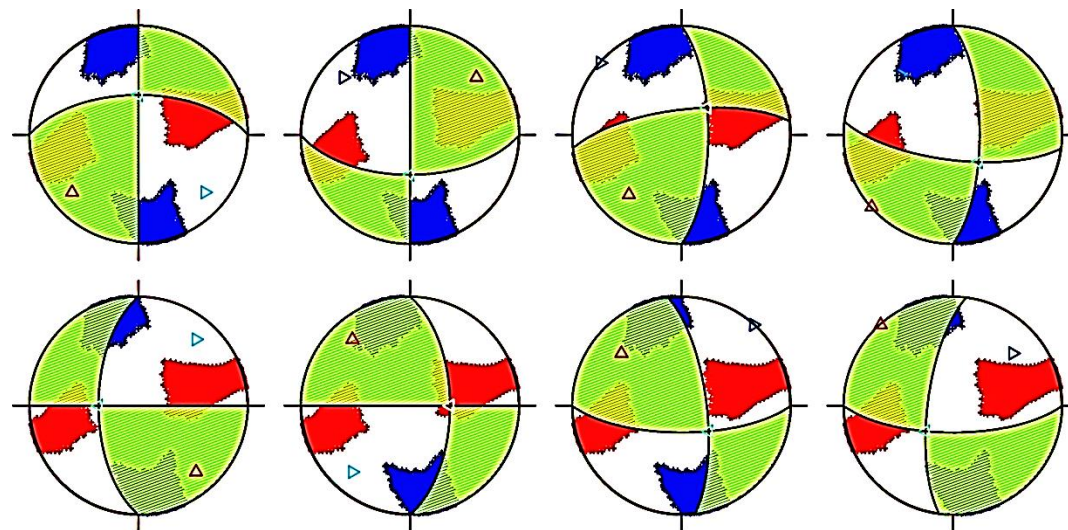
Jak již bylo zdůrazněno, stupeň určenosti úlohy samozřejmě závisí na geometrii observace – kvalitě rozložení pozorovacích stanic kolem ohniska, přesněji na kvalitě pokrytí fokální sféry. Jednoduchou demonstrací této skutečnosti je obr. 9, shrnující analýzu situace, kdy jsme k souboru dat z deseti regionálních stanic přidali jednu další, data, z níž se podařilo získat později. Jde o polskou stanicí RAC, ležící



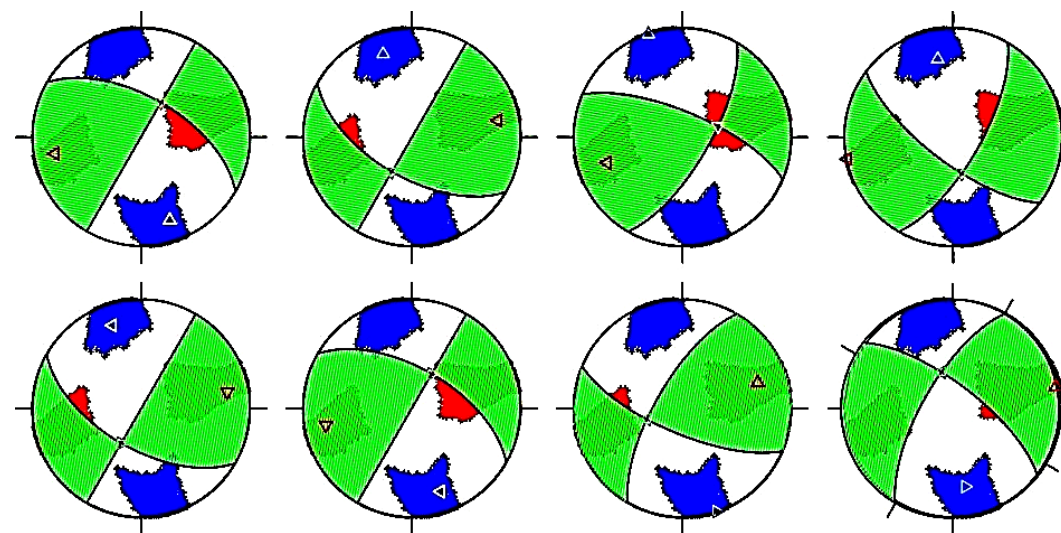
Obr. 9 *Mechanismus hlučinského zemětřesení (b) z 11 stanic (a), nejistota v jeho stanovení mapována jako rozptyl orientací všech střížných mechanismů vyhovujících pozorovaným polaritám (a). Detaily viz popis obr. 6-8.*

na sever od ohniska a představující tedy pozorování v důležitém – dosud nepokrytém – azimutu (obr.9a). Analýza „zakázaných“ a „dovolených“ zón mapováním orientací střížného mechanismu vyhovujícího všem pozorovaným polaritám zde sice opět dokladuje velkou nejistotu v řešení, nicméně zóny nejistoty zde vyjdou nepatrně menší (obr.9c-e). Zajímavá skutečnost je ta, že nejlepší řešení ve smyslu minimalizace rozdílu pozorovaných a syntetických amplitud je výrazně jiné než v případě určení z 10 stanic (srov. obr.9b a obr. 7); nodální rovina s azimutem SV – JZ zůstává (pouze s malou změnou sklonu), sklon druhé nodální roviny je však jiný. Pokud bychom ztotožnili prvně jmenovanou nodální rovinu se zlomem, interpretace by byla taková, že zlom je rozlišen vcelku dobře, posunutí po něm se však promění z téměř čistého poklesu na kombinaci s horizontálním skluzem. Taková proměna řešení je možná tím, že v obr.9b a obr. 7 jde o inverzi amplitud P vln klasickou minimalizací čtverců reziduí, kdy největší váhu ve výpočtu mají velké amplitudy a samotná polarita – zvláště u nízkých amplitud, tedy u pozorování slabých vln – nemusí být nutně zachována. Čím je kvalita geometrie pozorování nižší, tím je možná změna řešení při přidání dalších dat přirozeně markantnější.

V případech geometrie monitorování, jako je pozorování hlučinského zemětřesení blízkými stanicemi české a polské regionální sítě, je smysluplnějším postupem než prezentovat jedno „nejlepší“ řešení inverze amplitud zmapovat oblast, kde všude se přijatelná řešení mohou vyskytnout. To lze udělat pomocí již zmíněných pravděpodobnostních charakteristik – konfidenčních zón, nebo jednodušeji zjištěním všech přijatelných řešení robustní obrácené úlohy, necitlivé k vlastnosti „velká vs. malá data“. Takovou robustní charakteristikou seismického signálu je polarita nasazení. Touto strategií nám i velmi omezený soubor pozorování dovolí rozhodnout, které třídy řešení (typy



Obr. 10 Příklady „zakázaných“ mechanismů hlučinského zemětřesení, tj. takových, které nevyhovují pozorovaným polaritám.



Obr. 11 Příklady „povolených“ mechanismů hlučinského zemětřesení, vyhovujících pozorovaným polaritám.

mechanismů) jsou vyloučené – nekonzistentní s daty, a které naopak „povolené“, tedy vyhovující datům. V rozložení tahových a tlakových os (resp. pólů nodálních rovin) znaménkově vyhovujících řešení na obr. 8 a obr. 9 jsme viděli, že azimuty T a P os „povolených“ řešení nemohou sledovat světové strany, ale musí být rotovány o zhruba 30° . Omezíme-li se na sub-vertikální zlomy (což je snad rozumné, vzhledem k velké nejistotě v určování úklonu skutečných geologických zlomů), a sub-horizontální posuny po nich (pro jednoduchost, neboť zde už podobný argument nemáme), můžeme ukázat příklad šesti mechanismů, které nevyhovují pozorovaným polaritám: sub-horizontální posuny po zlomech orientovaných přibližně ve směrech Z – V a S – J, obr. 10. Podobně ukážeme šest příkladů mechanismů, které jsou konzistentní s pozorovanými polaritami P vln: sub-horizontální posuny po zlomech orientovaných přibližně ve směrech JV – SZ a JZ – SV, obr. 11.

4 Závěr

Tradičním schématem antického dramatu byla následnost krize – katarze. Ač v naší hříčce s mechanismem hlučinského zemětřesení jsme daleko od závažnosti témat antických mistrů, tuto posloupnost velkých vzorů jsme dodrželi. Krizí byla nemožnost – možná spíš neadekvátnost – stanovit mechanismus zemětřesení na Ostravsku z 10. prosince 2017 jako jednoznačně určenou vlastnost tohoto přírodního jevu; hlavním viníkem byla nedostatečná geometrie pozorování – příliš řídká datová sada ze záznamů blízkých stanic České regionální sítě a to i tehdy, kdy jsme ji zahustili daty z blízkých stanic polských. Míra nejednoznačnosti řešení obrácené úlohy – konfidenční zóna, zde pro jednoduchost nahrazená mapou všech polaritami vyhovujících řešení – je tak veliká, že o výběru jednoho reprezentativního mechanismu nemůže být řeči. Přesto však nějakou informaci dává – a to je ta katarze: dovoluje nám (za jistých zjednodušujících, avšak přijatelných předpokladů) vydělit třídu zakázaných mechanismů a na druhé straně naopak mechanismů povolených. Ty první jsou takové, že sledují směry světových stran, Z – V a N – S, druhé směry zhruba JV – SZ a JZ – SV. Ve směru Z – V se táhne linie místního tektonického zlomu, JV – SZ a JZ – SV jsou směry sudetské tektoniky. Interpretace našeho výsledku je tedy tato: podle (neúplných) dat blízkých stanic regionální sítě bylo hlučinské zemětřesení pravděpodobně spjato se sudetským zlomovým systémem, a nikoli s místními zlomy, které zaklíňují hlučinské údolí ve směru přibližně Z – V. Není to přece jen katarze?

Literatura

AKI, K., RICHARDS, P., G. *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, Freeman & Co., 1980, 932 pp.

FISCHER, T., HORÁLEK, J., HRUBCOVÁ, P., VAVRYČUK, V., BRAUER, K., KAMPF, H. Intra-continental earthquake swarms in West-Bohemia and Vogtland: A review, *Tectonophysics*, 2014, p.1-27, DOI: 10.1016/j.tecto.2013.11.001

ŠÍLENÝ, J. Constrained moment tensors: source models and case studies. In: *Moment Tensor Solutions – A Useful Tool for Seismotectonics*, Ed. Sebastiano D'Amico, Springer Natural Hazard Series, Springer, ISBN 978-3-319-77358-2.

VAVRYČUK, V. Tensile earthquakes: Theory, modelling and inversion, *J. Geophys. Res.*, 116, B12320, doi: 10.1029/2011JB008770.

Autoři

¹ RNDr. Jan Šílený CSc., Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Boční II/1401 140 00 Praha 4 - Spořilov, jsi@ig.cas.cz,

² RNDr. Jan Zedník, Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Boční II/1401 140 00 Praha 4 - Spořilov, jzd@ig.cas.cz