HybridMT

Moduł *HybridMT* jest przykładem wszystko w jednym. Zawiera podstawowe funkcje do opracowania wstrząsu, mianowicie: lokalizator (patrz *Lokalizacj a zjawiska: HypoDD*), liczenie tensora momentu sejsmicznego (*MT*) i liczenie magnitudy *Mw*. Moduł wymaga modułów optymalizacji do liczenia lokalizacji. Dostarcza programowi *SWIP5* następujące czynności:

- Liczenie lokalizacji,
- Liczenie tensora momentu sejsmicznego i jednocześnie magnitudy *Mw*,
- Rysowanie i wyświetlanie tensorów momentu sejsmicznego w postaci „piłek plażowych”.

Opis metody liczenia tensora momentu sejsmicznego

Liczenie *MT* oparte jest na programie *hybridmt-v1.2.2* Grzegorz Kwiatka (Wiejacz 1992, Kwiatek i Martinez-Garzon 2016). Poniższa tabela pokazuje odpowiedniki składowych tensora momentu sejsmicznego:

Oznaczenia QuakeML	Oznaczenia FociMT	Oznaczenia ISEPOS Katalog
M_{tt}	M_{11}	MT_{ss}
M_{tp}	M_{12}	MT_{se}
M_{rt}	M_{13}	MT_{rs}
M_{pp}	M_{22}	MT_{ee}
M_{rp}	M_{23}	MT_{re}
M_{rr}	M_{33}	MT_{rr}

Mechanizm jest liczony z amplitud pierwszych wejść fal P lub pierwszych wejść fal P i S. Zakłada się zbliżony do prostokątnego proces rozrywu, co pozwala na pomińcie określania pełnej funkcji Greena i przebiegu czasowego procesu rozrywu. Według Aki i Richardsa (2002), Fitch i in. (1980) oraz De Natale i in. (1987), zarejestrowane przemieszczenie dla fali P wynosi

$$\mathbf{U}^{P}(\mathbf{x},t) = \frac{\boldsymbol{\gamma}\bullet\dot{\mathbf{M}}\left(t-T^{P}\right)\bullet\boldsymbol{\gamma}}{4\pi\rho\alpha^{3}r}\mathbf{I}$$

natomiast dla fali S wynosi

$$\mathbf{U}^{SV}(\mathbf{x},t) = \frac{\widehat{\mathbf{P}}_{\boldsymbol{\gamma}}\bullet\dot{\mathbf{M}}\left(t-T^{S}\right)\bullet\boldsymbol{\gamma}}{4\pi\rho\beta^{3}r}\widehat{\mathbf{P}}_{\mathbf{I}}$$

gdzie ρ to średnia gęstość medium, r to odległość źródło-odbiornik, α i β to średnie prędkości fal P i S u źródła, T^P i T^S to czasy podróży fal P i S , **M** jest tensorem momentu sejsmicznego, **I** jest kierunkiem fali w odbiorniku, **γ** jest kierunkiem fali w źródle, a $\mathbf{P}_{\boldsymbol{\gamma}}$ i $\mathbf{P}_{\mathbf{I}}$ są kierunkami poprzecznymi w źródle i odbiorniku. MT uzyskuje się przez rozwiązanie układu N powyższych równań, gdzie N jest liczbą faz sejsmicznych na stacjach rejestrujących zdarzenie. Tensor momentu otrzymujemy rozwiązując zbiór *N* równań na na **U**, gdzie *N* jest liczbą stacji, które zarejestrowały zdarzenie. Sześć niezależnych składowych tensora momentu wymaga minimum sześć równań, ale im więcej, tym lepiej. System równań jest traktowany wtedy jako nadmiarowy i rozwiązany za pomocą metody najmniejszych kwadratów (norma L2), gdzie funkcja z kosztu jest sumą kwadratów reszt. Niepewność oszacowania MT można jest liczona za pomocą znormalizowanego błędu średniej kwadratowej (RMS) między teoretyczną a szacowaną amplitudą (St ierle i in., 2014a, 2014b)

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(U_i^{measured}-U_i^{th}\right)^2}{\sum_{i}^{N}\left(U_i^{measured}\right)^2}}$$

W pierwszej kolejności liczony jest pełny tensor. Następnie warunek śladu zerowego (trace null - TN) jest nakładany na rozwiązanie i minimalizuje się funkcję kosztu powtórnie. Daje to nam rozwiązanie mechanizmu wstrząsu bez zmiany objętości w źródle. Kiedy warunki zerowy ślad i wyznacznika zerowy są ustawione, rozwiązanie jest ograniczone do podwójnej pary (double couple -DC), czyli ścinania prostego.. Cały moment roztwór można również rozłożyć na składowe: izotropową (ISO), skompensowany liniowy dipol wektorowy (CLVD) i części mechanizmu ścinający (DC).

Istnieją dwa sposoby określania MT:

Sposób stary oparty jest bezpośrednio na pracy Wiejacza (1992) i *programie hybridmt-v1.2.2.* Liczy on MT tylko ze składowych pionowych wyznaczając amplitudę fali P według wzoru

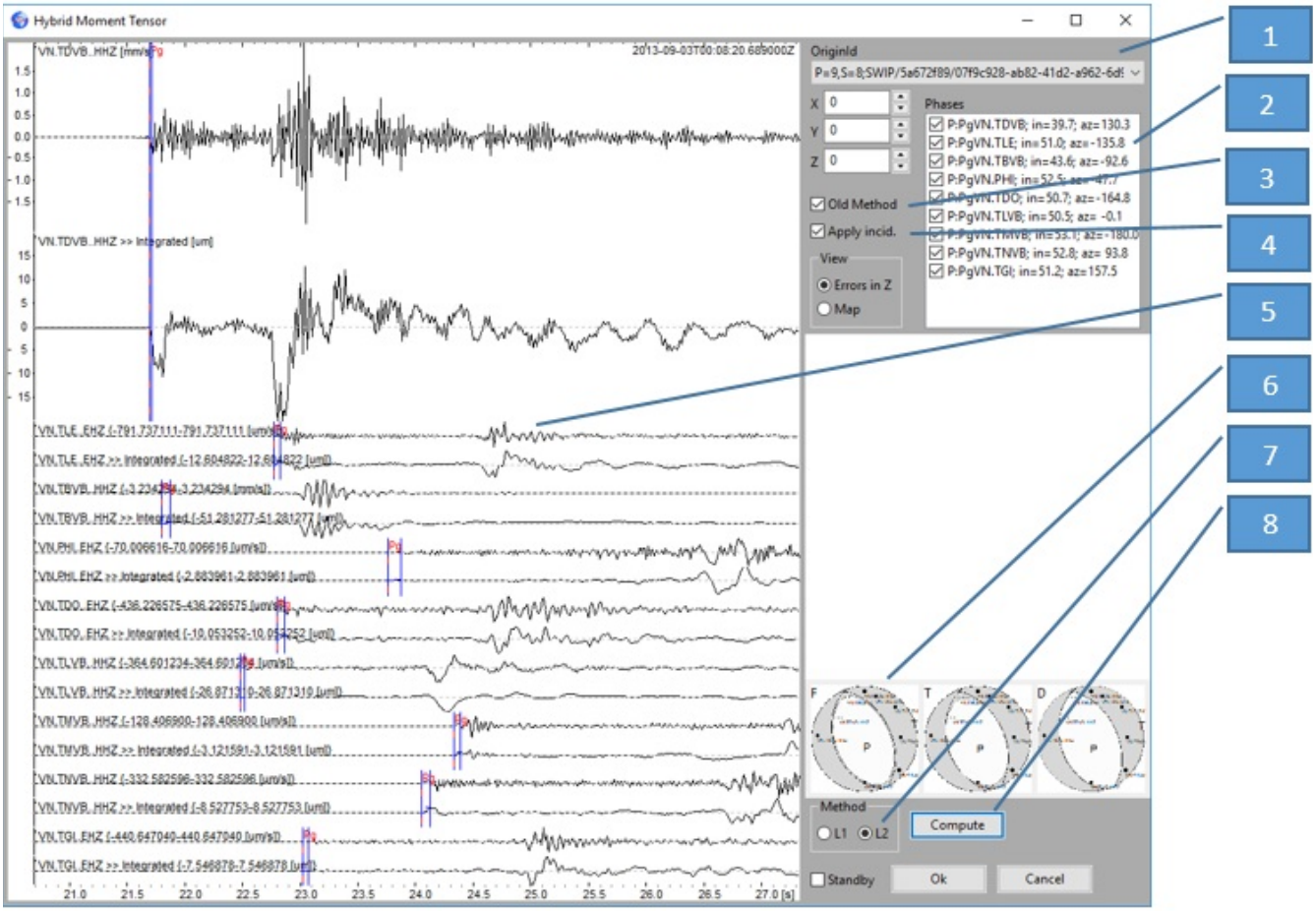
$$A = A_z / \cos(i)$$

gdzie *i* jest katem wynurzania fali (patrz Analiza drgań 3D) natomiast A_z jest amplitudą wyznaczoną ze składowej pionowej sygnału. Sposób ten ma zastosowanie do systemów kopalnianych, które często składają się tylko z czujnika jednej składowej. W przypadku systemów powierzchniowych założenie zbyt płaskiego konta wynurzania spowodowane dużą odległością i niedokładnym modelem prowadzi zawyżania amplitud.

Sposób nowy umożliwia liczenie MT zarówno z fal P jak i S_V. Korzysta z trzech składowych sygnału. Dokonuje rotacji sygnału z układu ZNE na LQT (patrz Analiza drgań 3D), po czym dla fali P amplituda jest określana na składowej L (A_L) a dla fali S_V na składowej Q (A_Q).

Instrukcja liczenia magnitudy ML

Przed liczeniem *MT*, należy mieć zaznaczone fazy, zlokalizowane zjawisko i policzone kąty wyjścia fali. Wywołanie liczenia tensora momentu sejsmicznego wykonuje się z menu poleceniem **Plugins** → **Full MT**. Pojawia się wtedy okno jak na Rys. 26.



Rys. 26 Okno Hybrid Moment Tensor

Można liczyć *MT* dla różnych lokalizacji (**1**). Muszą one jednak zawierać informacje o kątach wyjścia fali z ogniska oraz kątach wnurzania fali i azymutach przyjścia fali dla co najmniej 6-ciu fal. Lokalizacje nie zawierające kąta wyjścia fali z ogniska są ignorowane. Jeżeli kąt wynurzania fali i back-azymut są zdefiniowane dla pików, to nie muszą być zdefiniowane dla ogniska. Moduł *HybridMT* jest w trakcie badań. Obecnie działa stara metoda wyznaczania amplitud wejścia fal zgodna z *hybridmt-v1.2.2* oraz nowa metoda licząca z fal *P* i *SH* oraz rotująca sejsmogramy. Dlatego przy obliczeniach, należy zaznaczyć starą metodą wyznaczanie pierwszych amplitud fal sejsmicznych – *Old method* (**3**). W starej metodzie można wybrać, czy amplituda składowej pionowej fali jest korygowana na kąt wynurzania – *Apply incid* (**4**). Dla fal *P* w oknie sejsmogramu rysowane są dla składowych *Z*: sejsmogram prędkościowy i przemieszczeniowy. Wskazana myszką para sejsmogramów jest powiększana. Początek i koniec fali zaznacza się na sejsmogramie prędkościowym. Koniec fali zaznacza się przez kliknięcie prawym przyciskiem myszy. Początek fali jest przyjmowany domyślnie jako czas zaznaczonej fazy, ale można go zmienić przez kliknięcie prawym przyciskiem myszy przy wciśniętym klawiszu **Ctrl**. Po zaznaczeniu fali na sejsmogramie przemieszczeniowym wyświetlane są kreski początkowej i końcowej amplitudy. Wartość ta jest liczona metodą całkowania wielomianu i może się nieznacznie różnić od sejsmogramu przemieszczeniowego. Po naciśnięciu *Compute* liczony jest pełny *MT*, trace null *MT* i double couple *MT* i odpowiednie „piłki plażowe" są wyświetlane (**6**). Kliknięcie na jednej z nich powoduje wyświetlenie jej powyżej w powiększeniu. Liczenie *MT* wywoływane jest z menu **Plugins** → **Full MT**.

- Liczenie MT metodą pierwszych wejść fali P
- Liczenie MT zmodernizowaną metodą z fal P i SV
- Rysowanie „piłek plażowych"