

SEKRETARIAT NAUKOWY INSTYTUT GEOFIZYKI PAN	
WPLYNEŁO	
1. 27.08.2018	2018
1. 02.	1. 02.
Ref.	Ref.

Kraków, 24.08.2018

dr hab. inż. Tomasz Danek

Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr Anny Adamczyk**

wykonanej w Instytucie Geofizyki, Polskiej Akademii Nauk, pod kierunkiem dra hab. inż. Michała Malinowskiego, prof. IGF,

pt. „Application of full-waveform inversion to land datasets: how much does the acquisition matter?”

Wstęp

Przedstawiony materiał badawczy, a także publikacje, których Doktorantka jest współautorką, stanowią ogromną wartość i są niewątpliwym osiągnięciem na poziomie światowym. Zwłaszcza, że przedstawione przykłady bardzo udanego zastosowania inwersji pełnej formy falowej, dotyczą stanowiącej ciągle wyzwanie dla tej techniki sejsmiki lądowej, i to z uwzględnieniem ewentualnej anizotropii. Z całą pewnością więc, przedstawione osiągnięcia przekraczają wręcz poziom wymagany dla prac doktorskich. Przedstawiony doktorat wydaje się jednak być niedokończony i niedbale napisany. Ponadto, moim zdaniem, o wiele lepiej byłoby przedstawić go w formie cyklu publikacji:

- 1) Adamczyk, A., Malinowski, M. & Malehmir, A., 2013. Application of first-arrival tomography to characterize a quick-clay landslide site in southwest Sweden. *ActaGeophysica*, 61(5), 1057-1073.
- 2) Adamczyk, A., Malinowski, M. & Malehmir, A., 2014. High-resolution near surface velocity model building using full-waveform inversion – a case study from southwest Sweden. *Geophysical Journal International*, 197, 1693-1704.
- 3) Adamczyk, A., Malinowski, M. & Górszczyk, A., 2015. Full-waveform inversion of conventional Vibroseis data recorded along a regional profile from southeast Poland. *Geophysical Journal International*, 203, 351-365.

Moim zdaniem poziom powyższych artykułów jest na tyle wysoki, że ewentualny zarzut związany z tym, że Doktorantka w każdym z nich jest jednym z trzech współautorów, dałoby się łatwo odeprzeć. W obecnej formie, będącej zlepkiem studiów przypadków, opartym na pociętych fragmentach wyżej wymienionych artykułów, prześledzenie ewolucji stawianych hipotez badawczych, czy też ocena prawidłowego zastosowania metody naukowej w ogólności, jest utrudnione. Co więcej, Doktorantka przeznaczając zaledwie jeden z dziewięciu rozdziałów pracy na odpowiedź na zadane w tytule doktoratu pytanie.

Dunek

Innym problem, utrudniającym lekturę pracy, jest specyficzny sposób opisu kolejnych studiów przypadków, w których rozdziały sortowane są po fazach prowadzonych badań, co pociąga za sobą wielokrotne powtarzanie tych samych informacji w wielu miejscach.

Doktorat napisany jest w języku angielskim. Ponieważ nie czuję się kompetentny do oceny jego jakości, nie podejmuję się analizy tej strony przedstawionej dysertacji, za wyjątkiem tych fragmentów tekstu, w których ewentualne niedociągnięcia mogą - moim zdaniem - prowadzić do błędnego zrozumienia wyводу.

Ocena zawartości i uwagi szczegółowe

Rozdziały: Summary and Introduction

Na stronie 6 pojawia się określenie "innovative preprocessing workflow and an inversion strategy", które, moim zdaniem, jest nieco na wyrost. Lepiej byłoby napisać "improved processing workflow".

W przypadku przedstawiania podsumowania pracy w dwóch językach należałoby lepiej zadbać o ich zgodność merytoryczną. Przykładowo w wersji angielskiej nie pojawia się w ogóle termin "Basen Lubelski".

Omawiana część pracy pełna jest skrótów myślowych i nieścisłości, które pomimo, że nie wpływają na zrozumienie treści wyводу, to jednak nie powinny mieć miejsca w pracy doktorskiej. Przykładowo:

- na stronie 6 i dalej Doktorantka pisze, iż FWI jest lokalną metodą optymalizacyjną, podczas gdy jest to metoda inwersji danych wykorzystująca z reguły optymalizację lokalną,
- na stronie 10, definiując FWI, Doktorantka pisze, że służy ona do budowania modelu prędkości, podczas gdy kilkanaście linii dalej pisze już prawidłowo, że może służyć do odtwarzania wszystkich parametrów rządzących równaniem falowym,
- na tej samej stronie można przeczytać, że "the location and shape of the reflection events depend on the velocity model" itp.

Na pochwałę w tej części zasługuje fakt, iż Doktorantka przedstawia w niej przegląd współczesnych (najnowsze publikacje z 2018 roku) osiągnięć z zakresu inwersji pełnej formy falowej, podczas gdy jej artykuły stanowiące oś doktoratu były publikowane między rokiem 2013 a 2015.

Na stronie 13 Doktorantka podaje listę swoich publikacji, które stanowią źródło dla rozdziałów 5-9. Pojawia się informacja, że: "Chapters 8,9, and section 5.2 are parts of a paper that is in preparation for submission". Brak tutaj jednak jakiegokolwiek informacji na temat tytułu publikacji, autorów, a także czasopisma, od którego miałyby być złożona. Co więcej, biorąc pod uwagę fakt, że ostatnia z wymienionych publikacja Doktorantki powstała około trzy lat temu, należałoby się spodziewać iż praca, która była "in preparation for submission" przeszła już ten proces. Warto byłoby więc dowiedzieć się, czy praca została przyjęta, a jeżeli tak, to do jakiego czasopisma. Jeśli jednak praca ta nigdy nie powstała, użycie sformułowania

"paper that is in preparation for submission" zamiast, na przykład, "unpublished materials" jest wyjątkowo nieszczęśliwe.

Rozdział 2: Fullwave form inversion

Rozdział drugi jest bardzo elementarnym wprowadzeniem w podstawy teoretyczne inwersji pełnej formy falowej, z uwzględnieniem zarówno fazy modelowania, jak i zagadnienia odwrotnego, z podkreśleniem krytycznej roli informacji *a priori*. Doktorantka wspomina tutaj także o metodach globalnych i MCMC.

W podrozdziale 2.2 Doktorantka prawidłowo opisuje ogólną iteracyjną procedurę inwersji pełnej formy falowej, jednocześnie jednak dalej upierając się, że jest to metoda optymalizacji lokalnej, co więcej, tym razem dodając jeszcze, że jest to metoda wykorzystująca normę L2. Jest to o tyle dziwne, że w dalszym wywodzie funkcja niedopasowania ("misfit") jest już prawidłowo opisywana w sposób ogólny.

W dalszej części tego podrozdziału Doktorantka podejmuje się przekonania czytelnika do wyższości przeprowadzenia inwersji w domenie częstotliwości nad inwersją w domenie czasu. Moim zdaniem przedstawione argumenty są nieprzekonujące, tym bardziej, że publikacja wskazująca na lepszą efektywność numeryczną takiej inwersji w przypadku 2D w domenie częstotliwości (Sirgue & Pratt, 2004), nie jest uwzględniona w spisie publikacji. Co więcej, przedstawienie jednego z istotniejszych problemów współczesnej inwersji pełnej formy falowej w ośmiu liniach tekstu, wydaje mi się być zadaniem karkołomnym. Sądzę, iż lepiej byłoby napisać, że zdecydowano się wykorzystać popularną i wielokrotnie sprawdzoną implementację FWI, która to implementacja działa właśnie w domenie częstotliwości.

Przedstawiona na stronie 16 i 17 matematyczna strona jednego ze sposobów przeprowadzenia inwersji pełnej formy falowej, jest zaprezentowana w sposób bardzo ogólnikowy. Co więcej, cała ta część przedstawiona jest bez jakiegokolwiek cytacji, co sugeruje, że wzory od 2.1 do 2.6 zostały przez Doktorantkę autorsko wyprowadzone.

Rozdział 3: Summary of the case studies

Rozdział 3 stanowi wprowadzenie do budowy geologicznej oraz specyficznych wyzwań stojących przed FWI, w wybranych rejonach. Przedstawione informacje są generalnie dobrze udokumentowane i wystarczające dla zrozumienia problemów związanych z przeprowadzeniem inwersji pełnej formy falowej w kontekście lokalnym i regionalnym.

W jasny i przekonujący sposób Doktorantka podkreśla także przewagi stosowanych metod nad klasycznymi rozwiązaniami, jak na przykład tomografia pierwszych wstąpień, a także podkreśla - moim zdaniem imponujące - osiągnięcia prowadzonych badań.

W omawianym rozdziale, pewne uwagi można mieć jednak do jakości i informatywności przedstawionych rysunków (na przykład rysunek 3.1), a także do edycji tekstu. W podrozdziale 3.1, na stronie 21, w środku opisu geologii i geodynamiki regionu, pojawia się wyrwane z kontekstu zdanie "We model the structures...", które jak się wydaje,

powinno raczej pojawić się w części poświęconej opisowi wykonanych badań, kilka stron dalej.

Na stronie 26, w podrozdziale 3.2, Doktorantka pisze, że "...velocity model used for pre-stack depth migration provided by the industry.", bez żadnego odnośnika. Informacja taka wydaje mi się być niewystarczająca na poziomie pracy doktorskiej.

Figura 3.3 ma niekompletną cytację.

Rozdział 4: Challenges in applying FWI to land data

Rozdział, jako całość, w prawidłowy sposób diagnozuje podstawowe problemy z aplikacją FWI do danych lądowych, jednak znowu cechuje się pewną niedbałością i powierzchownością.

Podrozdział 4.1, zatytułowany "Physical problems", jest niemal w całości poświęcony problemom obliczeniowym oraz związanym z wydajnością numeryczną.

Podrozdział 4.2, zatytułowany niezręcznie "Geometry of land profiles", dotyczy problemów związanych z akwizycją, a także wpływowi wymuszonej, nieregularnej geometrii pomiarowej na przetwarzanie i inwersję danych. Jest więc krytyczny z punktu widzenia tyłu doktoratu. W związku z tym należałoby go raczej uwypuklić, nie zaś ukrywać jako podrozdział o nieco mylącym tytule. Dodatkowo, jedna z publikacji jest nieprawidłowo cytowana (Smithyman et al. zamiast Smithyman & Clowes).


Opisy poszczególnych geometrii pomiarowych, problemów z nimi związanych oraz zastosowanych rozwiązań są jednak bardzo precyzyjne, przedstawione w jasny i zrozumiały sposób. Jedyne zdanie "The receivers were projected onto the same line, but preserving original offsets between every shot and receiver." zasługiwałoby na doprecyzowanie.

Moim zdaniem, jedną z niezmiernie ciekawych kwestii poruszonych w tym rozdziale, jak i w całej pracy, jest redukcja ilości danych na wejściu inwersji. Uzyskane wyniki, bazujące na - jak się wydaje z lektury tekstu - arbitralnie dobranych parametrach, są bardzo obiecujące. Dokładniejsze studia nad tym zagadnieniem są, moim zdaniem, bardzo potrzebne.

Rozdział 5: Methods of building starting velocity model

Rozdział 5 jest jednym z najciekawszych rozdziałów pracy. Autorka przedstawia w nim najmniej spektakularną, ale krytyczną dla sukcesu całej inwersji, fazę budowy startowego modelu prędkości, a także innych parametrów (co jednak nie ma odzwierciedlenia w tytule rozdziału). W rozdziale zostaje także wspomniana metoda AWI, z podkreśleniem jej istotnych przewag nad zastosowaną metodyką. Doktorantce udało się również w sposób przekonujący wykazać istotność, czy wręcz konieczność, przeprowadzania FWI w omawianych przypadkach.

W rozdziale 5.1.2, opisującym detale akwizycji danych, pojawia się informacja o niezwykle długim dla płytkiej sejsmiki czasie rejestracji, wynoszącym 6 sekund. Autorka pozostawia ten fakt bez komentarza.



Opisana w rozdziale 5.1.3 procedura rozrzedzania siatki jest zastosowana jak najbardziej poprawnie, jednak brak tutaj informacji na temat jak podane parametry zostały dobrane, a także, co ważniejsze, czy znaczna różnica w gęstości poziomej i pionowej siatki nie wpływa na uzyskane wyniki.

Przedstawiona w dalszej części podrozdziału 5.1 interpretacja wyników pod kątem geologicznym i geotechnicznym jest na pewno odważna, a stawiane hipotezy śmiałe (np. artefakt F1 na figurze 5.7). Jednak wydają się one być dobrze udokumentowane zarówno wynikami własnymi jak i innych autorów.

W rozdziale 5.2.1 omówiony został pokrótce problem tworzenia modeli startowych dla inwersji uwzględniającej zjawisko anizotropii. Przedstawiana metodyka, chociaż prosta, czasochłonna i wymagająca arbitralnych decyzji, wydaje się być bardzo skuteczna. Na stronie 54 Autorka wspomina o potencjalnej automatyzacji tej fazy przygotowania danych wejściowych, jednak niestety pomysł ten nie zostaje rozwinięty. Dodatkowo sądzę, że należałoby także w tym miejscu wspomnieć chociaż o ryzyku "przeparametryzowania" inwersji, a także o ewentualnych sposobach jego zapobiegania.

Rozdział 6: Near-surface application at a quick-clay landslide site in south-west Sweden

Rozdział 6 rozpoczyna się od powtórzenia podanych wcześniej informacji dotyczących detali akwizycji danych. Generalnie, w tym i w kolejnych rozdziałach, często powtarzane są informacje z wcześniejszych części pracy. Dla zwięzłości recenzji uwagi do tych fragmentów nie będą powtarzane.

W początkowej części rozdziału, w zwięzły, ale wystarczający sposób, zostały przedstawione detale procedur wstępnego processingu danych, a proponowana metodyka jest dobrze udokumentowana w literaturze przedmiotu. Ciekawym i oryginalnym elementem jest tutaj przedstawienie processingu danych, rejestrowanych z wykorzystaniem dwóch rodzajów źródeł.

W rozdziale 6.3 podana jest nieszczęśliwie sformułowana informacja, że kontrasty prędkościowe czynią znalezienie minimum globalnego jeszcze trudniejszym. Wydaje mi się, że Doktorantce chodzi tutaj raczej o problem ze zbieżnością algorytmu LSQR, chociaż trudno to określić z kontekstu.

W dalszej części Doktorantka przedstawia zastosowaną strategię inwersyjną, bazującą na odwracaniu danych dla kolejnych częstotliwości, o czym na pewno należałoby wcześniej wspomnieć w rozdziale drugim, dyskutując przewagi FWI w domenie częstotliwości.

Przeprowadzona procedura inwersji wymaga arbitralnego doboru wielu parametrów. W rozdziale 6 brakuje jednak głębszej analizy wpływu ich doboru na uzyskane wyniki.

Na stronie 66 Doktorantka pisze, że "The borehole measurements have not yet been fully processed and analyzed.", co wydaje się mało prawdopodobne dla eksperymentu przeprowadzonego w marcu 2013 roku.

Na stronie 69, w dyskusji wyników, Doktorantka odnosi się do nieistniejących w rozprawie figur 3a i 3b.

Podsumowując rozdział 6 należy jednak stwierdzić, że przedstawiane rezultaty, ich walidacja, interpretacja i dyskusja są na wysokim poziomie naukowym.

Rozdział 7: Regional-scale application: profile POLCRUST-01

Treść rozdziału bazuje dosłownie na bardzo dobrym artykule Adamczyk et. al. 2015 i jego wartość merytoryczna i naukowa nie podlega tutaj dyskusji. Uwagi, podobnie jak w przypadku poprzedniego rozdziału, mogą jednak pojawić się co do braku pełnego wyjaśniania pewnych szczegółów.

I tak, na stronie 79 pojawia się określenie "our code", co sugeruje, że inwersja została wykonana przy użyciu oprogramowania stworzonego przez Autorkę.

Podobnie jak to miało miejsce we wcześniejszych rozdziałach, parametry inwersji zostają podane bez dokładnego sposobu ich określenia. Szczególnie ciekawe byłoby wyjaśnienie, skąd wzięło się określenie zakresu częstotliwościowego.

Na stronie 86 podana jest informacja, że zastosowana procedura odszumiania nie wpływa na fazę sygnału, co jest kwestią krytyczną dla użycia jej w FWI. Rysunek mający to potwierdzać jest jednak słabej jakości. Co więcej, w kontekście tak ważnej cechy zastosowanej filtracji, należałoby jednak przedstawić bardziej przekonujące rezultaty. Podobna uwaga może dotyczyć zastosowania w fazie zagadnienia prostego powierzchni swobodnej i konsekwencji takiej decyzji (strony 89 i 90).

Rozdział 8: Regional-scale application: PolandSPAN PL1-5300 profile

Rozdział ten, zgodnie z informacją podaną we wcześniejszej części pracy, bazuje na niepublikowanych materiałach określonych przez Autorkę jako "in preparation for submission". Wydaje mi się to zaskakujące, biorąc pod uwagę, że poziom przedstawionych badań nie odbiega znacznie od Adamczyk et. al. 2015, a od wydania tej pracy minęły już 3 lata. Struktura omawianego rozdziału jest bardzo zbliżona do poprzedniego. Główne uwagi dotyczą tutaj znowu bardziej szczegółów niż jakichś fundamentalnych barków.

I tak, na początku rozdziału informacja o jednym z parametrów podana jest w jednostkach imperialnych, natomiast reszta – w metrycznych. Figura 8.1 jest bardzo słabej jakości i w takiej formie na pewno nie powinna się znaleźć w końcowej wersji rozprawy. W rozdziale 8.3 Autorka pisze "We used velocity model [...] conditioned with heuristic anisotropy model", jednak nie podaje żadnych informacji o tym modelu, sposobie jego uzyskania, ani jego wpływu na uzyskane wyniki. Moim zdaniem jest to duże niedociągnięcie tej części pracy.

Bardzo ciekawym fragmentem tego rozdziału jest porównanie modeli PSDM, FWI i VSP. Autorka w dyskusji wyników jest bardzo wobec nich krytyczna, jednak moim zdaniem, poprawa jakości modelu prędkościowego i zbliżenie go do wyników VSP jest

niewątpliwe, a problemy z otworem Kutno 1 dają się dobrze usprawiedliwić lokalnymi warunkami. Moim zdaniem, na podkreślenie zasługuje też odzyskanie w modelu prędkościowym artefaktu L1 (Figura 8.3), a także dobre dopasowanie go do danych VSP (Figura 8.5, otwór Bodzanów).

W podsumowaniu rozdziału Autorka znowu wspomina o możliwości automatyzacji zastosowanej procedury, jednak i tym razem nie podając żadnych szczegółów.

Rozdział 9: Conclusions: why is acquisition so important for FWI?

Rozdział 9 stanowi bardzo krótkie, ale dobre podsumowanie elementów związanych z akwizycją omówionych wcześniej w studiach przypadków, nie wprowadzając żadnych istotnych nowych informacji. Jeśli jednak miałyby on stanowić kompletną odpowiedź na zadane w tytule doktoratu pytanie to pozostawia spory niedosyt.

Literatura

W literaturze znalazła się praca będąca standardowym cytowaniem dla Seismic Unix, która jednak nie jest cytowana w tekście. Ciekawy jestem czy pozycja ta znalazła się tutaj przez przypadek, czy też, i na ile, omówiony w tekście processing danych realizowany był z wykorzystaniem SU.

Wniosek końcowy

Podsumowując, zaprezentowana przez mgr Annę Adamczyk dysertacja przedstawia badania dotyczące inwersji pełnej formy falowej będące na bardzo wysokim poziomie. Pomimo, że Autorka nie ustrzegła się pewnych niedociągnięć, udowodniła swoją biegłość w prezentowanej problematyce naukowej.

Recenzowana rozprawa doktorska jest dobrze udokumentowanym, samodzielnym i oryginalnym opracowaniem Autorki.

Tym samym stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „Application of full-wave form inversion to land datasets: how much does the acquisition matter?” spełnia wymogi określone w Ustawie Prawo o Szkolnictwie Wyższym, Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki i wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr Anny Adamczyk do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Tomasz Danek

