

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Roberta Siaty

p.t.: „Dobór parametrów w algorytmach sejsmicznej tomografii amplitudowej wykorzystujących regularyzację w badaniach pokładów węgla”

Podstawa prawna wykonania recenzji: zamówienie Naczelnego Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa Pana dr hab. inż. Stanisława Pruska, prof. GIG, zawarte w piśmie z dnia 4 kwietnia 2016 r. o nr NSR/63/2016.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa składa się z 7 rozdziałów, podsumowania, stanowiącego rozdział 8 oraz, zawartego w rozdziale 9, spisu literatury. Praca obejmuje łącznie 103 strony. Rozważania zostały bogato zilustrowane na 92 rysunkach, syntetyczne zestawienia uzyskanych wyników podano w 7 tabelach. Spis literatury zawiera 50 pozycji. Trzy pozycje w spisie literatury to artykuły, w których mgr inż. Robert Siata jest autorem lub współautorem.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Adam Lurka, prof. GIG.

Tematyka rozprawy dotyczy tomografii sejsmicznej, metody wykorzystywanej w zakładach górniczych m.in. do rozpoznawania zaburzeń w zaleganiu złoża, określania zasięgu stref spękań górotworu, oceny względnych przyrostów naprężeń, kontroli skuteczności wykonywanych zabiegów profilaktyki tąpniowej. Wydaje się, że metoda ta jest nadal zbyt rzadko stosowana, szczególnie do weryfikacji przyjmowanych założeń dotyczących warunków zalegania złoża. Ze względu na rosnącą koncentrację produkcji, dokładna wiedza o możliwych zaburzeniach, które mogą wystąpić w parcelach eksploatacyjnych jest bardzo istotna. Zwiększająca się głębokość eksploatacji, konieczność prowadzenia jej w skomplikowanych warunkach geologiczno-górnictwowych, wpływają na wzrost zagrożenia tąpnięciami. W takich sytuacjach istotna jest wiedza o kształtowaniu się zagrożenia tąpnięciami prowadzonych robót, a także o skuteczności wykonywanych zabiegów aktywnej

profilaktyki tąpaniowej. Najdokładniejsze oceny stanu zagrożenia można uzyskać wykonując badania geofizyczne, w szczególności tomografię sejsmiczną.

W praktyce w badaniach metodą tomografii wykonywanych w zakładach górniczych najczęściej określana jest prędkość fal sejsmicznych. Autor rozprawy wykorzystał w prowadzonych badaniach rozwijaną w ostatnich latach tomografię amplitudową, pozwalającą określać zmiany współczynnika tłumienia (względnie współczynnika dobroci). Wyniki wielu prac pokazują, że współczynnik tłumienia charakteryzuje się większą wrażliwością na zmiany stanu naprężenia i deformacji w porównaniu do prędkości fali sejsmicznej. Jest to szczególnie istotne w sytuacji wykonywania prac sejsmicznych na coraz większych głębokościach. W trakcie prowadzonych badań Autor rozprawy założył prostoliniowe rozchodzenie się fal sejsmicznych. Przy przyjęciu ograniczonych zmian prędkości fal sejsmicznych w badanym obszarze założenie to można zaakceptować.

W świetle powyższych uwag, podjęcie przez autora rozprawy tematyki związanej ze zwiększeniem dokładności sejsmicznej tomografii amplitudowej uważam za bardzo celowe, biorąc pod uwagę zarówno względy poznawcze jak i aplikacyjne.

2. Merytoryczna ocena rozprawy doktorskiej

We wstępie do pracy autor omówił podstawowe rodzaje tomografii sejsmicznej, podkreślając możliwość jej wykorzystania do rozwiązywania różnorodnych zadań związanych z działalnością górniczą. Uważam, że cytowania podane w tym rozdziale warto byłoby rozszerzyć o prace innych autorów, m.in. Zbigniewa Kasiny, Zenona Pileckiego. W tym krótkim przeglądzie autor mógł także wspomnieć o innych wariantach tomografii, np. tomografii dyfrakcyjnej, a także ustosunkować się do wyboru (moim zdaniem uzasadnionego) tomografii prostoliniowej.

W kolejnym, drugim rozdziale, przedstawione zostały cel i założenia (a w zasadzie zakres) pracy. Cel został jasno określony – zastosowanie algorytmu Levenberga-Marquardta i regularyzacji do poprawy dokładności obliczania rozkładów współczynnika transmisji fal sejsmicznych. Cel ten został osiągnięty poprzez wyznaczenie optymalnych wartości parametrów regularyzacji. W rozdziale tym sformułowana została także następująca teza pracy:

„Odpowiedni dobór parametrów regularyzacyjnych umożliwia zwiększenie dokładności obliczania rozkładów współczynnika transmisji w sejsmicznej tomografii

amplitudowej i poprawia efektywność badania zaburzeń występujących w strukturze pokładów węgla”.

Uważam, że tak sformułowaną tezę pracy można zaakceptować, bardziej jednak odpowiada mi podejście zaprezentowane na poprzedniej stronie pracy, gdzie Autor napisał: *„Wprowadzenie regularyzacji ma za zadanie poprawę stabilności uzyskiwanych rozwiązań tomograficznych...”.*

W rozdziale 3 przedstawione zostały rozważania dotyczące zagadnień prostych i odwrotnych, a także problemów związanych z ich rozwiązywaniem. Dużo uwagi poświęcono metodom rozwiązywania zadania tomografii sejsmicznej, zarówno prędkościowej jak i amplitudowej. Autor zwrócił uwagę na podobieństwo relacji wykorzystywanych w obu wariantach tomografii. W rozdziale tym użyte zostało określenie „powolność”. Według mnie, lepiej posługiwać się określeniem „spowolnienie”. Wydaje mi się również, że poprawienia wymaga zapis równania 3.8 i konsekwentnie wymiarów macierzy dróg D.

Ponadto, równania 3.14 i 3.6 różnią się dodatkowym składnikiem (autor napisał o czynniku), w wyjaśnieniach do wzoru 3.16 zgodnie z nazewnictwem używanym w pracy powinno być użyte określenie „współczynnik tłumienia”.

Rozdział 4 zawiera podstawy teoretyczne tłumienia fal sprężystych w ośrodku skalnym. Autor przeanalizował tłumienie czasowe oraz tłumienie przestrzenne. Pokazał, że w obu przypadkach uzyskać można podobne zależności określające wartość amplitudy fal. Rozważania dotyczące tłumienia fal sprężystych są bardzo istotne ze względu na zastosowanie w prowadzonych badaniach tomografii amplitudowej. W rozdziale tym znalazła się istotna informacja, że prowadząc badania, których wyniki zaprezentowano w pracy, rozkłady współczynnika transmisji wyznaczano w wybranych na podstawie wyników analizy widmowej, wąskich pasmach częstotliwości drgań fali, co pozwalało pominąć jego zmienność w funkcji tej wielkości.

W rozdziale 5 omówione zostały metody rozwiązywania zadania tomografii sejsmicznej. Autor przedstawił sposób wykonywania inwersji tomograficznej dla zadań liniowych, zadań nieliniowych oraz zadań rozwiązywanych probabilistycznie. Podział ten jest w pewnym stopniu niekonsekwentny, bowiem w opisie rozwiązań probabilistycznych również uwzględniono podział na zadania liniowe i nieliniowe. W rozdziale omówiono algorytmy metod: ART, SIRT, gradientów sprzężonych oraz Levenberga-Marquardta. Należy zwrócić uwagę, że zaprezentowane metody

minimalizacji umożliwiają znalezienie minimum lokalnego. W związku z tym nasuwa się pytanie, czy autor próbował (i z jakim skutkiem) przeprowadzać minimalizację wykorzystując różne punkty startowe algorytmu. Ponadto, nie zostało podane, w jaki sposób obliczana jest wartość błędu w punkcie d^i (chyba omylnie w pracy podano d^{i-1}). W opisie rozwiązania zadania metodami probabilistycznymi na szczególną uwagę zasługuje informacja o sposobie estymacji błędów prezentowanych w pracy wyników inwersji sejsmicznej (zależność 5.26). Jest to bardzo istotne, bowiem o ile w początkowym okresie rozwoju metody tomografii sejsmicznej istotne było przede wszystkim uzyskanie rozwiązania, to na obecnym etapie rozwoju metody nie można pominąć oszacowania błędów uzyskanego rozwiązania.

W punkcie 5.4 autor zdefiniował przyjętą w prowadzonych badaniach postać minimalizowanej funkcji celu. Omówił także rozważane sposoby jej regularyzacji. Wątpliwość budzi celowość wprowadzania stałej regularyzacyjnej λ_0 . Wskazane byłoby ujednoczenie pojęcia: stała regularyzująca, stała regularyzacji, czy stała regularyzacyjna (np. str. 28-29)?

Bardzo istotne dla zrealizowania założonego celu pracy są wyniki obliczeń rozkładów współczynnika transmisji dla 6 modeli ośrodka charakteryzujących się różnym stopniem skomplikowania zmienności wartości współczynnika transmisji. W rozważaniach uwzględniono zarówno bardzo proste modele – pojedynczą anomalię dodatnią, względnie ujemną, jak i bardziej skomplikowane, różniące się liczbą symulowanych anomalii oraz ich geometrią. Zarówno dane przyjmowane do obliczeń jak również ich wyniki zostały wyczerpująco udokumentowane, zarówno w postaci graficznej jak i tabelarycznej. Do oceny błędów uzyskanych odwzorowań tomograficznych Autor zdefiniował dwa wskaźniki: wariancję średnią i wariancję maksymalną. Uważam, że zamiast przyjmować określenie „wariancja średnia” lepiej byłoby stosować ogólnie przyjętą nazwę wskaźnika określonego wzorem 6.1: błąd średniokwadratowy (MSE). W definicji wariancji maksymalnej zamiast „różnic” powinno być podane „kwadratów różnic”; ponadto, formalnie rzecz biorąc, brakuje zależności pozwalającej obliczyć wariancję w i -tym węźle siatki modelu $D_i^2(T)$.

Autor w celu określenia optymalnych wartości stałych regularyzacji przyjął stałą wartość parametru $S_v=4$ (co wydaje się uzasadnione, uwzględniając wcześniejszą uwagę, że jedna ze stałych mogłaby być pominięta) oraz zmienną wartość parametru S_t . Parametry te są nazywane stałymi regularyzacji, W związku z tym powstaje

pytanie, czy są to parametry występujące w zależności 5.31, czy zmieniono oznaczenia z obowiązujących w rozdziale 5: λ_0 i λ_1 ?

Obliczenia algorytmem SIRT przeprowadzono, niezależnie od stopnia skomplikowania modelu, wykonując 100 iteracji. Czym uzasadnione było przyjęcie takiego kryterium zatrzymania algorytmu?

Bardzo interesujące z poznawczego punktu widzenia i wartościowe ze względów aplikacyjnych są wykresy zamieszczone w punkcie 6.8. Wynika z nich wprost konieczność właściwego doboru stałych regularyzacji. Przyjęcie nieodpowiednich ich wartości może spowodować, że uzyskane wyniki minimalizacji będą gorsze niż rezultaty otrzymane algorytmem SIRT. Rezultaty przeprowadzonych obliczeń testowych pozwoliły ustalić optymalne wartości stałych regularyzacji. Wartości te wykorzystano wykonując obliczenia metodą tomografii amplitudowej dla trzech poligonów badawczych w kopalniach węgla kamiennego GZW i LZW.

Analiza wyników modelowania numerycznego opisanego w rozdziale 6 pozwala stwierdzić, że został zrealizowany założony cel pracy jak i udowodniona przyjęta teza. Uzupełnieniem rozważań teoretycznych, dodatkowo potwierdzających powyższe stwierdzenie, są przykłady zastosowania tomografii amplitudowej w rzeczywistych rejonach prowadzonych robót górniczych opisane w 7 rozdziale pracy. W tym bardzo ciekawym rozdziale (niestety, dość niefortunnie rozpoczętym – patrz drugie zdanie), Autor wykazał przydatność zaproponowanej metody rozwiązywania zadania tomografii amplitudowej, wykorzystującej algorytm Levenberga-Marquardta z regularyzacją. Uzyskane wyniki zostały pozytywnie zweryfikowane z wykorzystaniem informacji dotyczących warunków zalegania złoża, uzyskanych w trakcie jego dalszej eksploatacji.

W rozdziale 8 przedstawione zostały wnioski wynikające z przeprowadzonych badań. Generalnie są one poprawnie sformułowane, wynikają z rozważań zaprezentowanych w pracy. Wątpliwość budzi jedynie stwierdzenie, że: *„tomograficzne odwzorowania przeświałłań sejsmicznych w pokładach węgla z zastosowaniem regularyzacji są poprawnie skorelowane z niejednorodnościami geologicznymi badanego ośrodka i są bardziej wiarygodne od wyników uzyskanych z użyciem algorytmu algebraicznej rekonstrukcji SIRT”*. Biorąc pod uwagę wyniki modelowania numerycznego, przedstawione w rozdziale 6 też jestem o tym przekonany, natomiast brakuje w pracy porównania wyników uzyskanych w przyjętych poligonach badawczych przy

zastosowaniu algorytmu Levenberga-Marquardta z regularyzacją oraz algorytmu SIRT.

Podsumowując, wysoko oceniam merytoryczny poziom recenzowanej pracy. Sformułowane uwagi krytyczne nie zmieniają bardzo wysokiej oceny rozprawy. W oparciu o analizę przedłożonej pracy stwierdzam, że Doktorant bardzo rzetelnie zrealizował zaplanowany przez siebie zakres modelowania numerycznego jak i badań poligonowych. Rozdziały, w których Autor zaprezentował podstawy teoretyczne metody tomografii sejsmicznej świadczą o jego dobrym przygotowaniu matematycznym i geofizycznym. Treść rozprawy świadczy o jego pełnej znajomości opisywanej problematyki.

Uważam, że ze względu na dużą wartość poznawczą i aplikacyjną uzyskanych wyników, powinny one zostać opublikowane. W trakcie opracowywania publikacji Autor powinien poprawić drobne błędy literowe i językowe, które znalazły się w pracy: m.in.: „właściwości” zamiast „własności”, „niewrażliwa” zamiast „nie wrażliwa” (str. 2), „błędy w określeniu” zamiast „błędy w odczytach” (str. 5), „szybkobieżnego” zamiast „szybkobieźnego” (str. 6), „operatory” zamiast „operator” (str. 8), „dopuszczalnych wartości” – czego? (str. 9), „wartość π/Q ” zamiast „czynnik π/Q ” (str. 15), „organu urabiającego kombajnu” zamiast „organu kombajnu urabiającego” (str. 17), zdania w wierszach 8-11 od dołu na stronie 17, „empiryczny” zamiast „empiryczna” (str. 18), „długość” zamiast „część długości” (str. 21), niekonsekwentne określanie położenia stref anomalii w modelach – „z przodu po prawej stronie”, „w prawym górnym narożu modelu” (str. 47, 60), brak końca zdania „do momentu...” (str. 53), brak spacji pomiędzy liczbą i jednostką (str. 56), „uzyskania” zamiast „uzyskanie” (str. 57), „stref” zamiast „strefy” (str. 60), „wyniki, które można nazwać połowicznymi” (str. 61), brak jednostek na rys. 6.54, „średnia korelacja z modelem” (wielokrotnie, np. na str. 64), „Jankowice” zamiast „Jankowie” (wielokrotnie, np. str. 70), „pas resztkowy?” (str. 72), „rysunkach 7.10...” zamiast „poniższych rysunkach”, „eksploatacji pokładu... ścianą” zamiast „eksploatacji ściany” (str. 95), „odcinka wybiegu” zamiast „odcinka eksploatacji” (str. 95), „liczba” zamiast „ilość” – w całej pracy, przecinki zamiast kropek, w celu rozdzielenia części całkowitej i ułamkowej liczby. Pragnę jeszcze raz zaznaczyć, że te drobne błędy nie zmniejszają wysokiej oceny wartości merytorycznej pracy.

3. Wniosek końcowy

W konkluzji wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Roberta Siaty p.t. „**Dobór parametrów w algorytmach sejsmicznej tomografii amplitudowej wykorzystujących regularyzację w badaniach pokładów węgla**” dotyczy dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska. Ma charakter poznawczy i użyteczny, stanowi kompleksowe i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego sformułowanego w temacie rozprawy, co potwierdza, że Autor posiada pełne umiejętności formułowania celów badawczych, prowadzenia badań, odpowiedniego rozwiązywania zagadnień teoretycznych i eksperymentalnych, wnioskowania w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań.

Analizowana rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim w myśl art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki. Na tej podstawie wnoszę do Rady Naukowej GIG o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

