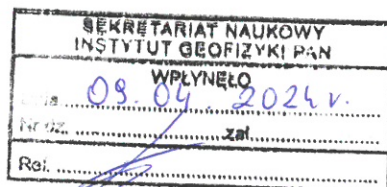


SN 410.1.2023

Dr hab. Artur Cichowicz

artur@cichowicz.com



Warszawa 23-03-2024

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba Kokowskiego nt.

„Ewaluacja i optymalizacja lokalnych sieci sejsmicznych pracujących w warunkach płytkiej i intensywnej aktywności sejsmicznej w celu poprawienia dokładności lokalizacji wstrząsów”.

Podstawa prawna recenzji.

Niniejsza recenzja została napisana w odpowiedzi na pismo prof. dr hab. Marka Lewandowskiego, Przewodniczącego Rady Naukowej Instytutu Geofizyki PAN, z dnia 25 stycznia 2024 r. W piśmie zawarta została informacja, że zgodnie z Uchwałą nr 5/278/2024 Rady Naukowej Instytutu Geofizyki PAN zostałem powołany na funkcję recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Jakuba Kokowskiego pt. „Ewaluacja i optymalizacja lokalnych sieci sejsmicznych pracujących w warunkach płytkiej i intensywnej aktywności sejsmicznej w celu poprawienia dokładności lokalizacji wstrząsów” została wykonana pod kierunkiem dr. hab. Łukasza Rudzińskiego, prof. PAN.

Ogólna charakterystyka recenzowanej pracy.

Prezentowana rozprawa doktorska opiera się w dużej mierze na trzech artykułach naukowych, w których kandydat jest pierwszym autorem:

Kokowski, J. oraz Rudziński, Ł. (2022). Epicenter Accuracy for Seismic Events Recorded on the LUMINEOS Network in Legnica-Głogów Copper District, Poland. Proceedings of the 10th international symposium on rockbursts and seismicity in mines, Tucson, USA.

Kokowski, J. oraz Rudziński, Ł. (2023). Estimation of Location Errors for Local Seismic Network in an Area with Intense and Weak Seismicity. *Geophys. J. Int.*, 234, 2, 839–851.

Kokowski, J. oraz Rudziński, Ł. (2023). Analysis of the Epicenter Location Accuracy for the Local Seismic Network Operated in the Mining Area Towards the Automation of Location Procedures. *Pure Appl. Geophys.* 180, 2561–2575.

Wyżej wymienione prace ukazały się w ciągu ostatnich 2 lat w renomowanych międzynarodowych czasopismach naukowych i materiałach konferencyjnych. Bardzo krótki czas, jaki upłynął od pierwszej publikacji, nie pozwala jeszcze ocenić, jaki jest lub będzie wkład tych prac dla społeczności naukowej.

Opis recenzowanej pracy.

Recenzowana praca jest opracowaniem składającym się z 99 stron tekstu, zawierającego stronę tytułową, spis treści, wstęp, określenie celu pracy, trzy rozdziały wraz z podrozdziałami stanowiące trzon pracy, omówienie wyników, wnioski, bibliografia, cztery załączniki, spis rysunków i spis tabel. Spis bibliograficzny obejmuje około 100 opublikowanych pozycji.

Tematem rozprawy doktorskiej jest poprawa lokalizacji wstrząsów zarejestrowanych przez lokalną sieć monitorującą sejsmiczność indukowaną. Do testowania rezultatów analizy wykorzystano sieć z Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM). Głównym celem rozprawy doktorskiej jest optymalizacja sieci w celu poprawy dokładności lokalizacji wstrząsów.

W kolejnych rozdziałach pracy autor przeprowadza szczegółową analizę błędów lokalizacji. Uwzględnił zagadnienia błędów związane z przybliżonym charakterem modelu prędkości dla fal P i S, szumem sejsmicznym, progiem detekcji sygnału oraz konfiguracją sieci sejsmicznej.

Najważniejszym elementem oceny pracy sieci sejsmicznej jest nowa metoda do szacowania zasięgu stacji sejsmicznej oparta na prawdopodobieństwie detekcji sygnału fali P. W metodzie uwzględnia się zasięg detekcji dla stacji, obliczony na podstawie stosunku amplitudy sygnału

do poziomu szumu zarejestrowanego na danej stacji. Badając szumy na stacji autor wprowadził parametr analizy jakości stacji. Parametr ten pozwala ocenić przydatność poszczególnych stacji. Autor przedstawił bardzo użyteczne wykresy przedstawiające stosunek wstrząsów wykrytych przez stację do wszystkich wstrząsów zarejestrowanych przez sieć.

Kandydat koncentruje się na zagadnieniach optymalizacji geometrii sieci sejsmicznej z wykorzystaniem algorytmu genetycznego. Zaproponował konfigurację sieci obejmującą monitoring całego obszaru LGOM, której zadaniem jest wykrywanie wszystkich wstrząsów o magnitudzie $M_w=3,0$ i lokalizowanie ich z błędem mniejszym niż 1000 metrów. Zgodnie z wynikami analizy, zaproponowano stanowiska dla trzynastu nowych stacji, a z części stacji zrezygnowano.

Lokalizacje ognisk wstrząsów wymagają znajomości struktur geologicznych, przez które promienie przechodzą z ogniska do stacji. Modele jednowymiarowe są standardowo stosowane w sejsmologii, gdzie w algorytmach do lokalizacji wstrząsów zakłada się, że wszystkie warstwy leżą poziomo. Model prędkości fali P wykonano na podstawie danych z pomiarów sejsmicznych 3D oraz danych z jednego odwiertu. Dla fal S nie przeprowadzono dodatkowych badań, dlatego prędkość fali S obliczono ze stosunku prędkości $V_p/V_s = 1,73$. Przeprowadzona przez autora analiza przyścia fali P, jest jednym z pierwszych kroków w ocenie dokładności lokalizacji. Ta analiza dostarcza informacji o niedokładności modelu prędkościowego oraz błędów związanych z identyfikacją wejścia fali P.

Na koniec poddano analizie błąd identyfikacji wejść fal P i S generowanych w procesie analizy sejsmogramów metodami ręcznymi lub automatycznymi.

Ważnym elementem pracy była analiza Wadatiego, która wykazała, że identyfikacja pierwszych wejść fal S jest obarczona dużym błędem. Błąd jest na tyle duży, że systematycznie daje złą ocenę lokalizacji źródeł sejsmicznych, dlatego też autor zdecydował się na wyłączenie fal S z procesu lokalizacji.

Ogólna ocena pracy.

W rozprawie szczegółowo opisano zakres pracy wykonywanej bezpośrednio przez doktoranta. Analiza tekstu trzech publikacji oraz rozdziału zatytułowanego „Lokalizacja Wstrząsów” rozprawy doktorskiej wskazuje, że autor jest dobrze zorientowany w problematyce lokalizacji trzęsień ziemi rejestrowanych przez lokalne sieci. Sprawnie opisuje zastosowanie różnych metod lokalizacji wstrząsów. Autor nie wnika w szczegółową analizę wymienionych metod, ale dobrze rozumie ich zastosowanie.

Ważnym elementem określającym dokładność lokalizacji jest geometria sieci sejsmicznej. Autor skupił się na ocenie i optymalizacji sieci w celu poprawy dokładności lokalizacji. Szczegółowo opisał cały proces analizy sejsmogramów poprzedzających lokalizację, skupiając się głównie na ewentualnych niedokładnościach i błędach. Przedstawił również sposób oceny tych błędów oraz ich wpływu na ostateczną ocenę wyników lokalizacji trzęsienia ziemi. Jego systematyczne podejście do problemu robi wrażenie. Dzięki przeprowadzonej analizie autor dokładnie wie, który aspekt monitoringu powinien zostać dodatkowo przeanalizowany i ostatecznie jest zdolny podjąć właściwe decyzje operacyjne dotyczące konfiguracji sieci.

Wyjątkowo doceniam przyjęcie metodologii dokonywania korekt czasu wejścia fal dla każdej stacji (str. 52), aby tym zmniejszyć błąd powodowany przez model prędkości 1D. Z mojego doświadczenia wynika, że trójwymiarowy model prędkości nigdy nie jest wystarczająco dokładny dla każdej stacji. Nierzadko model 3D generuje większe residua fali P i S niż model 1D.

Analiza charakterystyki szumu sejsmicznego przeprowadzona na każdej stacji dała autorowi solidną podstawę do zrozumienia zarejestrowanego sygnału. I w konsekwencji dostarczyła argumentów za ewentualną zmianą lokalizacji stacji.

W mojej ocenie przedstawiona praca stała się cennym narzędziem oceny możliwych niedokładności związanych z lokalizacją trzęsień ziemi przez lokalną sieć sejsmiczną.

Uwagi krytyczne i rekomendacja do prowadzenia dalszych badań.

Choć tradycyjnie do obowiązków recenzenta należy także wskazanie słabych stron pracy, ja skupię się jedynie na zadaniach, które należy jeszcze wykonać, aby dalej udoskonalać lokalizację.

W pracy brakuje informacji na temat przyczyn nieprawidłowej identyfikacji wejścia fali S. Wydaje mi się, że podejście zaproponowane przez autora, polegające na rezygnacji z wykorzystania czasu wejścia fali S w algorytmach lokalizacyjnych, nie jest w pełni zadowalające. Można to uznać jedynie za rozwiązanie tymczasowe do czasu zrozumienia problemu.

W pracy przedstawiono dwa przykłady sejsmogramów (rysunek 9. stacje MOSK2 i GROD oraz rysunek 10. stacje GROD, MOSK2, PPOL i RUDN), które wyraźnie pokazują, że sygnał fali S jest silny i przekracza poziom szumu, co oznacza, że nadaje się do analizy.

Analizę polaryzacji sygnału zdecydowanie należy uwzględnić w rutynowym opracowaniach sejsmogramów. Trójwymiarowa analiza kierunku drgań gruntu jest bardzo potężnym narzędziem służącym do zrozumienia impulsów tworzących strukturę sejsmogramów, zwłaszcza grupy fal S.

Akceptuję fakt, że sieć sejsmiczna należąca do Instytutu Geofizyki PAN jest dwuwymiarowa, dlatego określenie głębokości wstrząsów nie jest łatwe. W celu uzyskania informacji o głębokości wstrząsów należy więc wykorzystać dane z sieci sejsmicznych należących do kopalń. Połączone sieci naziemne i podziemne stworzą monitoring trójwymiarowy, pozwalający na określenie głębokości wstrząsu.

Z mojego doświadczenia wynika, że użycie metody lokalizacji względnej przy użyciu „master event” poprawia lokalizację. Kopalnia stwarza niepowtarzalną możliwość wykorzystania sejsmogramów ze strzelań produkcyjnych.

Wnioski końcowe.

Projektowanie sieci sejsmicznej i lokalizacja trzęsień ziemi to prawdopodobnie najstarsze, a zarazem najważniejsze zadanie stojące przed sejsmologią. Realizacja tego zadania wymaga ciągłych innowacji w wyniku stałego rozwoju oprogramowania, czujników sejsmicznych i sposobów komunikacji pomiędzy stacjami. Efektem pracy doktoranta są nowe rozwiązania optymalizujące pracę lokalnej sieci sejsmicznej. Osiągnięcia doktoranta można podsumować w czterech punktach:

- Kandydat prezentuje wiedzę teoretyczną z zakresu sejsmologii obserwacyjnej.
- Zdobył wiedzę na temat metod i narzędzi stosowanych w przetwarzaniu sejsmogramów.
- Dobrze radzi sobie z różnymi zadaniami inwersyjnymi, ze szczególnym naciskiem na interpretację danych uzyskanych z monitoringu sejsmiczności indukowanej.
- Najbardziej doceniam fakt, że efektem pracy doktoranta jest metoda rutynowej oceny pracy sieci sejsmologicznej. Założenia tej metody zostały już zweryfikowane w procesie optymalizacji działającej sieci w rejonie LGOM. Optymalna konfiguracja przynosi już wymierne korzyści przy planowaniu dalszej rozbudowy sieci. Pozwala na dokładną i kompleksową analizę danych otrzymanych z sieci, aby zminimalizować błędy lokalizacji wstrząsów.

Autor udowodnił również, że potrafi samodzielnie prowadzić badania, koncentrując się na tematach badawczych, które są aktualne i wymagają ciągłego doskonalenia ze względu na stale zmieniającą się charakterystykę sejsmiczności indukowanej. Dokładnie i kompleksowo analizuje problem wymagający rozwiązania, nie boi się trudnych problemów. Jego celem jest lepsze monitorowanie i interpretacja sejsmiczności.

Rozprawa jest poprawnie zredagowana. Doktorant wykazał się wystarczającą biegłością w posługiwaniu się nowoczesnymi narzędziami badawczymi przy rozwiązywaniu postawionych mu zadań, a także opisując wyniki w sposób pozwalający na ich ocenę.

Rekomendacja.

Stwierdzam, że praca doktorska Pana mgr inż. Jakuba Kokowskiego spełnia wymagania stawiane pracy doktorskiej zgodnie z zapisami Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku 'Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce' (Dz.U. 2018, poz. 1668, z późn. zm.).

Wnioskuje zatem do Rady Naukowej Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie Pana mgr inż. Kokowskiego do dalszego postępowania kwalifikacyjnego przewidzianego w procedurze do uzyskania stopnia doktora.

Zwracam się również z wnioskiem do Rady Naukowej Instytutu Geofizyki PAN o **wyróżnienie rozprawy doktorskiej ze względu na:**

- **Wdrożenia:** Kandydat wdrożył metodę optymalizacji działającej sieci sejsmicznej.
- **Publikacje:** zasadnicze elementy pracy zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym.



Dr hab. Artur Cichowicz