

SN.410.A.2023

SEKRETARIAT NAUKOWY INSTYTUT GEOFIZYKI PAN	
WPLYNEŁO	
04.04.2024 r.	☉
Pr. uz.	Zal.
Ref.	

Kraków, 03.04.2024

Prof. dr hab. inż. Andrzej Leśniak

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

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgra Jakuba Kokowskiego**

wykonanej w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie pod kierunkiem dra hab. Łukasza Rudzińskiego, Prof. IGF

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

Zawartość dysertacji

Przedstawiona do recenzji dysertacja jest opracowaniem dość szerokiego tematyce zagadnienia poświęconego analizie dokładności lokalizacji ognisk wstrząsów sejsmicznych. Dysertacja jako całość zawiera 99 stron tekstu ujętego w siedem rozdziałów, bibliografię, cztery dodatki zawierające szczegółowe wykresy oraz spis rysunków oraz spis tabel.

Konstrukcja dysertacji jest w zasadzie poprawna i logiczna. We **Wprowadzeniu** autor ogólnie przedstawia zakres podejmowanych w pracy tematów, tj analizy i optymalizacji sieci sejsmicznych w celu poprawienia dokładności lokalizacji wstrząsów rejestrowanych lokalną siecią pomiarową. Autor krótko charakteryzuje tę tematykę w kontekście podobnych badań przeprowadzonych do tej pory w kraju i za granicą.

Tezy pracy nie są sformułowane w sposób bezpośredni. W **drugim** rozdziale doktorant przedstawia cel pracy jakim jest „zapropozowanie kompleksowej metody służącej do ewaluacji oraz optymalizacji lokalnych sieci sejsmicznych rejestrujących płytką, intensywną sejsmiczność pod kątem dokładności wyznaczenia epicentrow wstrząsów”. Rozwiązania te implementuje dla sieci LUMINEOS, wykorzystywanej do monitorowania sejsmiczności indukowanej działalnością górnictw w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM).

Autor zaznacza na wstępie, że opracowana przez niego metoda jest unikalna i zawiera nowatorskie, zaimplementowane po raz pierwszy przez autora rozwiązania służące ewaluacji lokalnych sieci sejsmicznych. Od samego początku zaznacza również, że zawarte w pracy strategie i wnioski, mogą posłużyć za „cenne wskazówki dla optymalizacji geometrii stacji sejsmicznych”. Tym samym można odgadywać, że celami doktoranta opracowanie rozwiązań do (jak sam napisał) „znacznego usprawnienia prowadzenia obserwacji oraz

zarządzania ryzykiem związanym z lokalną sejsmicznością” Autor udostępnia również kody opracowanego przez siebie rozwiązania poprzez repozytorium serwisu internetowego Bitbucket. Recenzent jest trochę rozczarowany brakiem w pracy bezpośredniego sformułowania naukowych tez i w konsekwencji brakiem dyskusji nad ich udowodnieniem. Jeśli tego typu tezy zostały sformułowane podczas otwierania przewodu doktorskiego **recenzent prosi o ich przytoczenie w trakcie obrony.**

Trzeci rozdział jest poświęcony przeglądowi współczesnych metod związanych z lokalizacją wstrząsów. Autor w pierwszej kolejności omawia zagadnienia związane z niepewnością wyznaczania lokalizacji a dopiero w drugiej z metodami samego wyznaczania położenia ognisk wstrząsów. Zdaniem recenzenta lepsza byłaby odwrotna kolejność.

Rozdział rozpoczyna się od zdefiniowania niepewności i dokładności lokalizacji. Następnie omawiane są czynniki powodujące błędy określenia położenia ogniska wstrząsu. Autor omawia metody lokalizacji wykorzystujące czasy propagacji pierwszych wstąpień (ewentualnie czasy pierwszych wstąpień fazy S). Pomija metody lokalizacji wstrząsów wykorzystujące kierunki pierwszych wstąpień. W konsekwencji dyskutowane jest dalej wyłącznie określenie niepewności lokalizacji dla metod wykorzystujących czasy rejestracji fal bezpośrednich P i S lub refragowanych. Autor omawia podstawowe pojęcia związane z klasycznymi metodami reprezentacji niepewności jak elipsa/elipsoida błędów oraz poziomy/obszary ufności. W dalszej kolejności omawia wpływ poszczególnych czynników wpływających na dokładność lokalizacji wstrząsów takich jak geometria sieci sejsmicznej, rodzaj czujnika, poziom szumu oraz technika przetwarzania i jakość procedury inwersji. Autor zwraca również uwagę na wpływ modelu prędkościowego ośrodka na dokładność lokalizacji obejmującego zarówno model dla fal podłużnych jak i poprzecznych. Rozdział kończą uwagi dotyczące rozchodzenia się fal sejsmicznych.

Rozdział jest dobrym opisem bardziej lub mniej standardowych metod, które są stosowane w lokalnym monitoringu sejsmicznych. Pominięcia w opisie kierunkowych metod lokalizacji jest zasadne, jeśli uzna się że autor proponuje rozwiązania dla sieci niestosujących lokalizacji kierunkowej tj omawianej sieci LUMINEOS.

Czwarty rozdział dysertacji jest zdaniem recenzenta rozdziałem kluczowym, w którym doktorant proponuje „nową, kompleksową analizę prowadzącą do optymalizacji istniejących sieci sejsmicznych pod względem dokładności wyznaczenia epicentrow wstrząsów sejsmicznych”.

Zaproponowana metoda została opracowana do optymalizacji istniejących sieci z uwagi na konieczność dysponowania zbiorem zarejestrowanych przez analizowaną sieć wstrząsów. Jest to konieczne do oszacowania podstawowego parametru w zaproponowanej metodzie tj zasięgów detekcji stacji sejsmicznych wchodzących w skład sieci sejsmicznej.

Dane dotyczące konfiguracji sieci sejsmicznej, katalog wstrząsów rejestrowanych przez tą sieć oraz dane geologiczne i geomechaniczne z rejonu wstrząsów pozwalają na analizę

niepewności lokalizacji źródła. Składają się na nią standardowe procedury (jak analiza poziomów rejestrowanego na różnych czujnikach szumu, analiza jakości pikowania faz używanych w analizie wraz z analizą ich residuów i analizą Wadatięgo) oraz mniej typowych, ale istotnych z punktu widzenia całej procedury tj wspomnianej analizy zasięgów detekcji poszczególnych stacji.

Wyniki otrzymane na tym etapie analizy doktorant wykorzystuje do tzw optymalizacji geometrii sieci sejsmicznej, która poprzez analizę niepewności lokalizacji pozwala na podjęcie próby zmiany konfiguracji sieci, która ma prowadzić do mniejszej niepewności lokalizacji źródeł wstrząsów. Autor tego rozwiązania używa algorytmu genetycznego do znalezienia minimum funkcji opisującej wielkość niepewności lokalizacji.

Całość propozycji ewaluacji i optymalizacji jest przedstawiona na (dość nietypowym) schemacie blokowym (str.20 rozprawy). Z kolei standardowy schemat algorytmu genetycznego został przedstawiony na str. 29.

Rozdział piąty dysertacji przedstawia ewaluację istniejącej sieci LUMINEOS z LGOM oraz propozycję jej optymalizacji. Autor rozpoczyna od prezentacji sieci sejsmicznej LUMINEOS, katalogu wstrząsów oraz krótkiej charakterystyki budowy geologicznej rejonu badań. Następnie doktorant przedstawia analizę i dyskusję wpływu różnych czynników (szumu, zasięgu detekcji wstrząsów, jakości pikowania faz P i S oraz znaczenia modelu prędkościowego) na dokładność lokalizacji sieci LUMINEOS. Należy podkreślić ciekawą dyskusję zasięgu detekcji wstrząsów przedstawioną w pracy na podstawie dużego katalogu zjawisk sejsmicznych. Następnie prezentowane jest szacowanie niepewności lokalizacji dla obszaru LGOM. Rozkłady przestrzenne niepewności są prezentowane dla trzech progów prawdopodobieństwa i dwóch magnitud 2.0 i 3.0. W dalszej kolejności autor omawia optymalizację sieci LUMINEOS pod którą rozumie szereg zaleceń mających doprowadzić do zmniejszenia niepewności lokalizacji wstrząsów. Postuluje mianowicie rezygnację z używania fazy S, wprowadzenie poprawek czasowych uwzględniających wysokości stacji n.p.m a także modyfikację geometrii sieci. Rozdział kończy walidacja wyników, w trakcie której doktorant porównuje rzeczywiste lokalizacje wstrząsów (za takie uważa lokalizacje otrzymane z wykorzystaniem podziemnej sieci kopalnianej) i lokalizacje otrzymane przed i po zastosowaniu do lokalizacji zaproponowanych w rozprawie korekt i modyfikacji.

Rozprawę kończą **rozdziały 6 i 7** czyli dyskusja i wnioski, które są powtórzeniem i zebraniem w jednym miejscu licznych uwag i zaleceń, jakie doktorant udziela najprawdopodobniej osobom odpowiedzialnym za działanie sieci i interpretacje rejestracji (choć to dość rzadko spotykany sposób rekapitulacji własnych dokonań w doktoratach). Autor udostępnia również stosowne opracowane przez siebie oprogramowanie, które wraz z opracowaną metodą optymalizacji „doskonale sprawdza się jako narzędzie służące do wstępnego rozmieszczenia stacji sejsmicznych”.

Pomijając brak tez oraz manierę ekspertyzy, jaka dominuje w dysertacji jest ona napisana klarownym i zwięzłym językiem i obejmuje kluczowe elementy niezbędne do prezentacji założonego celu i uzasadnienia go metodami naukowymi. Niestety doktorant niezbyt starannie formułuje stwierdzenia posługując się slangiem zawodowym co jednak zdaniem recenzenta nie prowadzi do nieporozumień.

Uwagi ogólne

- 1) Pierwsza uwaga ogólna dotyczy formy zaprezentowanej pracy doktorskiej. Autor używa w trzech początkowych rozdziałach dysertacji formy bezosobowej co nadaje treści charakter neutralny. W kolejnych rozdziałach począwszy od czwartego, gdzie przedstawione są główne propozycje modyfikacji używanych metod, autor zmienia formę i zaczyna konsekwentnie używać formy osobowej w liczbie mnogiej. Nasuwa to przypuszczenie, że autor w dysertacji przedstawia nie tylko własne osiągnięcia. Począwszy od rozdziału czwartego występują liczne odwołania do trzech artykułów, których doktorant jest współautorem. By formalności stało się zadość recenzent zwrócił się do IGF o udzielenie mu informacji o merytorycznym wkładzie (wraz z procentowym udziałem) współautorów tych artykułów. Przesłane dokumenty wskazują na zdecydowany udział doktoranta w kluczowych dla prezentowanej dysertacji częściach dotyczących głównie koncepcji samej metody, obliczeń oraz interpretacji wyników.
- 2) Doktorant nie stroni od wartościowania swoich propozycji naukowych. Oczywiście użyte przez doktoranta liczne określenia wskazujące na rangę prezentowanych rozwiązań (typu „cenne wskazówki” lub „znaczące usprawnienia”) zostaną w przyszłości zweryfikowane (zapewne pozytywnie) przez innych użytkowników, ale na razie jest chyba za wcześnie na tego typu stwierdzenia.
- 3) Ewaluacja istniejącej sieci pozwala na oszacowanie rozkładów niepewności wyznaczania położenia epicentrum. Doktorant przedstawia osobno rozkłady dla wstrząsów o magnitudzie 2.0 i 3.0 dla trzech progów prawdopodobieństwa. Jeśli powody użycia wartości progów na poziomie 1.0 i 0.5 są dość jasne to jaki jest sens używania progów na poziomie 0.001 ? **Proszę w trakcie obrony o wyjaśnienie tej kwestii wraz z praktyczną interpretacją wyników uzyskanych z użyciem tego prog.**
- 4) W dyskusji wyników ewaluacji autor przedstawia swoje wnioski w formie zaleceń co jest trochę zaskakujące z uwagi na fakt że prezentowana praca jest dysertacją doktorską a nie ekspertyzą (str.49).
- 5) Doktorant stwierdza: „Wejścia fal S są najprawdopodobniej niewłaściwie pikowane” – niestety nie tylko taka może być przyczyna otrzymania znacznych residuów. Jak sam autor przyznaje otrzymanie silnego wzrostu residuów od odległości „sugeruje błędne pikowanie lub błędny model prędkościowy”. Autor nie przedstawia niestety żadnej analizy, jak uproszczone modele prędkości wpływają na wielkość residuów. Nie przedstawia również metod, jakie są (lub mogą być) użyte do pikowania fal poprzecznych. Postulat usunięcia fazy S z interpretacji oczywiście może przynieść

wzrost dokładności lokalizacji jednak zdaniem recenzenta powinien mu towarzyszyć postulat zwiększenia jakości pikowania tej fazy S.

- 6) Model prędkościowy używany do lokalizacji jest skrajnie uproszczony. Postulowane przez doktoranta utworzenia modelu 3D jest oczywisty i jak najbardziej zasadny – być może te modele już istnieją, gdyż budowa geologiczna LGOM jest dość dobrze poznana. Oczywiście może to doprowadzić do umożliwienia śledzenia promienia sejsmicznego (choć doktorant o tym nie wspomina) i wzrostu dokładności lokalizacji. Pozostałe dwa postulaty dotyczące przeniesienia niektórych stacji w nowe miejsca gdzie tło szumu jest niższe a zasięgi detekcji większe są całkowicie zasadne aczkolwiek trudne do realizacji w ramach zaproponowanej metodyki, z powodów przedstawionych poniżej.
- 7) W dalszej kolejności doktorant podejmuje temat optymalizacji sieci LUMINEOS. Tu zdaniem recenzenta najwięcej pytań rodzi się przy okazji założeń, jakie doktorant przyjął, by uruchomić minimalizację algorytmem genetycznym. Przyjęte założenia dla stacji niezmiennających położenia nie budzą większych wątpliwości natomiast przyjęcie stałego zasięgu 8000m dla stacji nowych już budzi wątpliwość. Zasięgi są wyznaczone na podstawie dużej populacji zarejestrowanych wstrząsów i jak autor pokazuje w swojej dysertacji znacznie się od siebie różnią tj są stacje prawie nierejestrujące wstrząsów jak również są te rejestrujące dużą ich część. Przyjęcie dla konkretnego nowego położenia stacji wartości średniej zasięgu jest zdaniem recenzenta dość optymistyczne, bo nie ma żadnej pewności, że zasięg nowych stacji będzie zgodny ze statystykami starych rozkładów. De facto należałoby poczekać aż zmodyfikowana sieć rejestruje wystarczającą populację zjawisk i wyznaczyć zasięgi dla nowych stacji zgodnie z zaproponowaną przez doktoranta metodyką. **Recenzent prosi o komentarz w tej kwestii.**
- 8) W trakcie opisu procedury optymalizacyjnej doktorant nie wspomina o ilości czujników zaangażowanych do tej procedury. Podobnie opisując algorytm genetyczny definiując osobnika (układ stacji) nie wspomina o ich liczbie. Czy w procedurze używane są po prostu wszystkie czujniki? **Proszę o doprecyzowanie tej kwestii w trakcie obrony.**
- 9) Walidacja wyników generalnie potwierdza zalecenia, jakie pojawiają się w treści dysertacji. Doktorant potwierdza to analizując rozbieżności pomiędzy rzeczywistymi położeniami epicentrów (katalog kopalniany) a lokalizacjami uzyskanymi różnymi wariantami programów i różnymi zbiorami danych. Praktycznie za każdym razem zarówno średnia jak i mediana wartości rozbieżności była najmniejsza po uwzględnieniu zmian zaproponowanych przez doktoranta. Proszę o wyjaśnienie **w czym tkwi zasadność używania zarówno wartości średniej jak i mediany?**

Uwagi szczegółowe

1. Schemat blokowy przedstawiony na rys 2 jest niezrozumiały. W tego typu schematach realizowane na każdym etapie procedury powinny być jednoznaczne. W

zaproponowanym przez doktoranta schemacie w trzech miejscach pojawia się blok o nazwie „Analiza niepewności lokalizacji”. Ponadto zaprezentowane w części **Ewaluacja** bloki są połączone w dwie grupy, przy czym kierunki przepływów są prowadzone zarówno od całych grup jak i wchodzących w ich skład bloków składowych, co znacznie utrudnia i zaciemnia propozycje autora metody. Ponadto część procedur (tj „Zasięgi stacji” oraz „Wariacja residuów”) zostały zaznaczone nie jako bloki a jako opisy kierunków przepływów. Niestety diagram niewiele wnosi do dysertacji a jego analiza raczej zaciemnia obraz całej procedury.

2. Tabela 2 kompletności wstrząsów w katalogu sieci LUMINEOS zawiera rozbieżności wstrząsów z okresu dnia o z okresu nocy. Podobne rozbieżności jest stosowane dla wykresów widmowej gęstości mocy. Czy to rozbieżności ma znaczenie dla przeprowadzonych przez doktoranta analiz?
3. Na wykresach z rys. 12 i w Dodatku 1 i 2 Przedstawiono na tle modelu maksymalnego szumu Petersena wartości empiryczne widmowej gęstości mocy bez wyjaśnienia czym jest zielona obwódka/poświata, której skala procentowa jest przedstawiona po prawej stronie rysunków.

Uwagi techniczne

Str. 3. Powinno być Ziemi zamiast „ziemi”

Rozdział 3.1 posiada wyłącznie jeden podrozdział 3.1.1 i zdaniem recenzenta takie wydzielenie jest dość sztuczne, jeśli nie ma innych podrozdziałów (tj. 3.1.2 itd.)

Str. 7. Doktorant mówi o „dobrej niepewności” i „złej dokładności”. Czy chodzi o „małą niepewność” i „niską/małą dokładność”?

Str. 11. 4w Pisząc „źródło wariacji” doktorant miał zapewne na myśli źródło zmienności/zróźnicowania.

Str. 11. 5d Stwierdzenie, że „błędy są obliczane statystycznie,, jest kolokwializmem.

Str. 16. Cytacja Zhu i in. 2018 błędna – w bibliografii podano rok 2019.

Str. 21 i 45 Doktorant wielokrotnie używa skrótu myślowego pisząc o „zasięgach stacji sejsmicznych” zamiast o „zasięgu detekcji” tych stacji.

Str. 26. 2w Odnośnie fali sejsmicznej zamiast „czas podróży” raczej używa się „czas propagacji”

Str. 30. Na rysunku 6 przedstawiono strefy czasowe w Europie. Czy zrobiono to intencjonalnie?

Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że zaprezentowana przez mgra inż. Jakuba Kokowskiego dysertacja wnosi wkład w doskonalenie metod oceny dokładności lokalizacji płytkich wstrząsów sejsmicznych w szczególności rejestrowanych lokalnymi sieciami powierzchniowymi w rejonach intensywnej aktywności sejsmicznej oraz możliwości projektowania nowych geometrii tych sieci.

Praca doktorska udowadnia moim zdaniem, iż mgr inż. Jakub Kokowski w sposób wystarczający wykonał postawione zadanie i mimo, że nie ustrzegł się pewnych niedociągnięć udowodnił znajomość prezentowanej problematyki naukowej.

Z uwagi na fakt, że w świetle wiedzy recenzenta przedmiotowa dysertacja autorstwa pana mgra inż. Jakuba Kokowskiego pt „Ewaluacja i optymalizacja lokalnych sieci sejsmicznych pracujących w warunkach płytkiej i intensywnej aktywności sejsmicznej w celu poprawienia dokładności lokalizacji wstrząsów” jest samodzielny i oryginalny opracowaniem autora, stwierdzam, spełnia ona wymogi określone w Ustawie (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.) z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce wnioskuję o dopuszczenie pana mgra inż. Jakuba Kokowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony.

Lesimiek.

