

Kraków, dn. 29.04.2021r

dr hab. inż. Jerzy Dec prof. AGH

Katedra Geofizyki

Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Łukasza Szuły pt. „Przestrzenne modele statystyczne w prognozowaniu parametrów drgań gruntu wywołanych sejsmicznością indukowaną”.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska pana mgr inż. Łukasza Szuły zrealizowana została w obszarze nauk technicznych, dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Tematyka poruszona w omawianej pracy oparta jest na zaawansowanej statystyce i algebrze, a merytorycznie jest związana ze specjalnościami sejsmologia i sejsmometria. Docelowo, rozpatrywane przez Doktoranta zagadnienia i uzyskane wyniki, odnoszą się do problematyki górniczej i są związane z wybraną dyscypliną. Dlatego wybór dyscypliny uważam za uzasadniony.

Cała praca pana mgr inż. Łukasza Szuły posiada objętość 143 stron. Składa się z abstraktu, części zasadniczej oraz wykazu rysunków i tabel. Zasadnicza część to właściwa rozprawa doktorska obejmująca 125 stron bogato ilustrowanego tekstu oraz 8 stron spisu literatury. Spis literatury zawiera 107 pozycji w tym 1 pozycję autorstwa Doktoranta. Organizacja tekstu rozprawy tworzy czytelny układ opisu pracy badawczej. Tekst rozprawy został podzielony na 14 głównych rozdziałów.

Dwa pierwsze z nich to wprowadzenie w tematykę pracy, omówienie jej celu i przedstawienie zasadniczej tezy pracy. Teza ta została sformułowana w brzmieniu „Zastosowanie statystycznych modeli przestrzennych relacji tłumienia drgań gruntu oraz uwzględnienie w analizach zróżnicowania przestrzennego składnika resztowego prowadzą do wyznaczenia właściwych pod względem merytorycznym oszacowań parametrów

strukturalnych modeli oraz przyczyniają się do zmniejszenia błędów jak i zwiększenia wiarygodności prognoz” jest w dalszych częściach pracy pozytywnie weryfikowana.

W rozdziale trzecim Autor szeroko omawia wybrane pozycje literaturowe związane z zagadnieniami sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą oraz prognozowania parametrów drgań gruntu. Między innymi dyskutuje tu zagadnienie tłumienia drgań indukowanych i stosowane w rejonie GZW modele relacji tłumienia. Zwraca uwagę, że prognostyczne modele relacji tłumienia drgań uzyskiwane na podstawie danych z powierzchniowych stanowisk pomiarowych opisują uśrednione parametry drgań dla analizowanego obszaru, co skutkuje owalnym kształtem rozkładu izolinii prognozowanych wartości prędkości i przyspieszeń drgań gruntu. Doktorant proponuje tu aby w modelach relacji tłumienia drgań uwzględnić przestrzenny rozkład ognisk analizowanych wstrząsów poprzez wprowadzenie do modeli wag przestrzennych.

Rozdział czwarty poświęcony jest omówieniu teorii ruchu drgającego, zjawisku rezonansu i zagadnieniu amplifikacji drgań. Konkluzją tych rozważań jest stwierdzenie, że w miejscach występowania gruntów o częstotliwości rezonansowej zbliżonej do częstotliwości drgań własnych budynków, wstrząsy o niewielkiej energii mogą stanowić duże zagrożenie. Natomiast rozdział 5 jest obszernym teoretycznym wprowadzeniem dotyczącym relacji tłumienia drgań gruntu i podstaw statystycznej weryfikacji modelu regresyjnego.

Ciekawa charakterystyka dotycząca parametrów 861 analizowanych drgań zawarta jest w rozdziale szóstym, w którym pokazano rozkłady energii, odległości epicentralnych oraz wartości prędkości i przyspieszeń drgań gruntu. Dla danych tych, w rozdziale siódmym Doktorant dokonuje estymacji i weryfikacji regresyjnego modelu relacji drgań. Dla każdego zbioru danych stworzył dwa modele tj. model prostej regresji liniowej (OLS - ordinary least square model) oraz model uwzględniający cechę poszczególnych stanowisk pomiarowych reprezentowaną przez wyraz wolny (LSDV – least square dummy variable model). Dla estymowanych parametrów modeli Autor przeprowadza wnikliwą analizę składnika resztowego, jego zmienności i korelacji przestrzennej. Na podstawie dokonanej analizy

formułuje wniosek, iż zasadne jest rozpatrzenie modeli relacji tłumienia drgań z uwzględnieniem zależności przestrzennych.

W rozdziale ósmym przedstawione zostały statystyki przestrzenne epicentrów analizowanych wstrząsów, które pozwoliły na określenie pozycji epicentrów względem pozycji centroidalnej. Analiza ta pokazała, że odległość większości epicentrów od centroidu jest mniejsza od podwojonej odległości standardowej. Na tej podstawie Autor wnioskuje, że w badanej zbiorowości epicentrów wstrząsów nie występują tzw. obserwacje odstające, których uwzględnienie w modelowaniu interakcji przestrzennych mogłoby doprowadzić do błędów.

W kolejnych rozdziałach znajdujemy obszernie opisy teoretyczne modelowania interakcji przestrzennych i metodologii określania wag przestrzennych w odniesieniu do modeli statystycznych relacji tłumienia drgań gruntu. Modele te, w ujęciu przestrzennym, wiążą maksymalne wypadkowe składowych poziomych prędkości i przyspieszeń drgań z energią wstrząsu oraz odległością od źródła wstrząsu. Przyjęta przez Autora hipoteza zakłada, że reszty modelu relacji tłumienia drgań gruntu są skorelowane w ujęciu przestrzennym. Autor m.in. analizuje wpływ odległości pomiędzy epicentrami na stopień korelacji reszt modelu, także rozpatruje różne warianty konstrukcji macierzy wag przestrzennych opartych na kryteriach odległości czy też sąsiedztwa obiektów (epicentrów). Przedstawia też kryteria doboru modelu regresji przestrzennej i mając na uwadze autokorelację składnika resztowego prostego modelu regresji, do wyboru modelu regresji przestrzennej proponuje podejście klasyczne. Dla oszacowanego metodą najmniejszych kwadratów modelu regresji, a opisującego zależność logarytmu maksymalnych wartości prędkości drgań od logarytmu energii wstrząsów i logarytmu odległości epicentralnej oraz odległości epicentralnej, Autor przedstawił wartości mnożników Lagrange'a dla macierzy wag przestrzennych dla modeli SAR i SEM.

Rozdział dwunasty Doktorant poświęcił przedstawieniu teorii estymacji modeli regresji przestrzennej. Autor zauważa, że o ile do estymowania parametrów strukturalnych modeli regresji liniowej najczęściej wykorzystywana jest metoda najmniejszych kwadratów, to w

przypadku modeli przestrzennych metoda ta nie sprawdza się. Dotyczy to tak modeli SAR jak i SEM. W pierwszym przypadku w zbiorze zmiennych egzogenicznych występuje zmienna endogeniczna, zaś w drugim macierz wariancji - kowariancji składnika losowego jest niesferyczna. Szacowane estymatory są wówczas nieefektywne. Dlatego dla potrzeb szacowania parametrów strukturalnych modeli przestrzennych Doktorant wskazuje na metodę największej wiarygodności i szczegółowo dyskutuje algorytm jej stosowania.

Rozdział ostatni poświęcony jest estymacji i weryfikacji statystycznych modeli przestrzennych relacji tłumienia drgań. Dla zbioru danych dla 123 wstrząsów górniczych zarejestrowanych na 7 stanowiskach sejsmometrycznych Autor oszacował parametry strukturalne przestrzennych modeli relacji tłumienia drgań gruntu ($\log v^{\text{sem}}$ i $\log a^{\text{sem}}$). W obliczeniach wykorzystał przestrzenne macierze wag i zastosował metodę największej wiarygodności. Parametry te porównuje z uzyskanymi dla modelu klasycznego oszacowanego metodą najmniejszych kwadratów. Uzyskane wyniki zestawione są też w formie graficznej, co ułatwia porównanie estymatorów uzyskanych metodą klasyczną i przy zastosowaniu wag przestrzennych. Dalej przedstawione są prognozy rozkładu parametrów prędkości i przyspieszeń drgań gruntu dla modeli przestrzennych, które autor zestawia z modelami oszacowanymi metodą najmniejszych kwadratów. Prognozy wykonane są dla wysokoenergetycznego wstrząsu o danych współrzędnych epicentrum, a wyniki prognostyczne są zestawione z danymi ze stanowisk. W rozkładach powierzchniowych widoczna jest różnica dla rozwiązania MNK i metodą SEM z zastosowaniem algorytmu największej wiarygodności, w mojej opinii na korzyść tej drugiej. Autor określa także względny błąd prognozy i stwierdza, że prognoza modelu SEM lepiej opisuje rozkłady prędkości i przyspieszeń drgań gruntu aniżeli prognoza modelu MNK.

Uzupełnieniem rozważań doktoranta dotyczących prognoz parametrów prędkości i przyspieszeń drgań gruntu spowodowanych analizowanym wstrząsem jest zastosowanie metody bootstrapowej. Również tutaj Autor podaje estymowane wartości parametrów strukturalnych modeli SEM_{boot} oraz analizę względnego błędu prognozy. Uzyskane powierzchniowe rozkłady prognozowanych wartości prędkości i przyspieszeń generalnie są zbliżone do oszacowań na podstawie modelu SEM.

Na koniec Doktorant zauważa, że procentowe względne błędy prognoz prędkości i przyspieszeń drgań gruntu dla modelu SEM_{boot} są zbliżone z obliczonymi dla modelu SEM z niewielką przewagą modeli SEM_{boot} w zakresie prognozowania przyspieszeń drgań gruntu oraz, że prognoza przyspieszeń drgań gruntu wyznaczona w oparciu o model SEM_{boot} jest znacząco bliższa wartości rzeczywistej aniżeli prognoza wyznaczona w oparciu o model SEM. Z kolei modele prędkości i przyspieszeń drgań gruntu oszacowane MNK precyzyjniej prognozują wartości parametrów w dalekim polu falowym.

Rozprawa doktorska pana mgr inż. Łukasza Szulę ma charakter teoretyczny z jednoczesnym przełożeniem prezentowanych rozważań na bardzo istotne zagadnienia modelowe. Wyniki wykonanych przez Doktoranta obliczeń i analiz mają też charakter praktyczny. Cały zastosowany aparat statystyki i algebry służy bowiem wyznaczaniu ważnych estymatorów geofizycznych dla lepszego prognozowania oddziaływania zjawisk sejsmicznych na powierzchnię. Temat rozprawy jest ważny z poznawczego i praktycznego punktu widzenia. Wykorzystanie bowiem matematycznych modeli do estymacji parametrów drgań związanych ze wstrząsami indukowanymi pozwala na tworzenie coraz to bardziej wiarygodnych prognoz zagrożenia sejsmicznego powierzchni, w tym lokalnych i regionalnych. Dzięki zastosowanym rozwiązaniom możliwe jest obliczenie parametrów modelu dla danego rejonu i na tej podstawie opracowanie powierzchniowych rozkładów przyspieszeń i prędkości drgań gruntu dla spodziewanego wstrząsu o danej energii. Doktorant podjął się rozwiązania zagadnienia o wysokim stopniu trudności, które w znaczący sposób przyczynia się do postępu w zakresie prognozy i oceny zagrożeń związanych z sejsmicznością indukowaną w na obszarze GZW, a tym samym do ich minimalizacji. Przedstawione przez doktoranta rozważania, wyniki końcowe oraz sformułowane wnioski w pełni weryfikują postawioną w rozdziale drugim tezę.

Tekst rozprawy i przedstawione w nim rozważania tworzą logiczną całość i nie stwarzają problemów z zapoznaniem się z treścią i zrozumieniem meritum zagadnienia. Ogólne wrażenie co do konstrukcji rozprawy doktorskiej, opracowania edycyjnego i graficznego jest bardzo dobre. Zauważa się staranność Autora i umiejętność logicznego przedstawienia

kolejnych etapów postępowania związanego z doбором danych, obliczeniami poszczególnych parametrów drgań oraz analizy uzyskanych wyników.

Recenzent nie zgłasza uwag krytycznych do zawartości treści merytorycznej rozprawy. Jednak, mimo zauważalnej u Doktoranta umiejętności w tworzeniu tekstu, w pracy można zauważyć kilka drobnych potknięć najczęściej dotyczących skrótów myślowych i pewnego rodzaju „żargonu” matematycznego oraz miejscami zbyt ubogiego opisu prezentowanych rycin. W tekście można też spotkać kilka lapsusów językowych ale zdając sobie sprawę z różnych stylów słowa pisanego u różnych autorów uznaję to za mało istotne. Powyższe uwagi mają charakter marginalny i w żaden sposób nie umniejszają wartości merytorycznej pracy.

Przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska pana mgra inż. Łukasza Szuły pt. „Przestrzenne modele statystyczne w prognozowaniu parametrów drgań gruntu wywołanych sejsmicznością indukowaną” jest w moim przekonaniu oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego.

Autor rozprawy doktorskiej, wykazał dużą wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie swojej dyscypliny naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Rozprawa ta w pełni odpowiada wymogom określonym w art.13 Ustawy z dnia 14.03.2003r o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U.2003.65.595 z późn. zm.).

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie pana mgra inż. Łukasza Szuły do dalszego postępowania w ramach przewodu doktorskiego.

