

Prof. dr hab. Adam Idziak
Uniwersytet Śląski
Wydział nauk Przyrodniczych
Instytut Nauk o Ziemi
w Sosnowcu

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Sławomira Siwka

pt. "Związek zmian obciążeń grawitacyjnych górotworu z sejsmicznością indukowaną w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym."

wykonana na zamówienie dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach, pana prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska.

Omówienie układu pracy.

Przedstawiona do recenzji praca doktorska liczy 98 stron, z czego część merytoryczna zawiera się na 83 stronach. Pozostałą część stanowią streszczenia, spis treści, wykaz tabel, wykaz ilustracji i bibliografia. Treść rozprawy zilustrowano 51 rysunkami. Sposób numeracji rysunków jest prosty, odpowiadający kolejności omawiania ich w tekście pracy. Autor zamieścił spis rysunków, co ułatwia ich wyszukiwanie w rozprawie.

Spis literatury cytowanej zawiera 89 pozycji, w znaczącej części z bibliografii światowej, zarówno czasopism naukowych oraz monografii jak i abstraktów zamieszczonych w materiałach konferencyjnych.

Treść pracy została zawarta w dziewięciu rozdziałach.

Rozdział pierwszy – Wprowadzenie - zawiera charakterystykę zadania badawczego podjętego przez doktoranta, problematykę związaną z zakresem pracy, sformułowanie celu badań oraz omówienie i krótkie streszczenie następnych rozdziałów.

W rozdziale drugim autor omówił zjawisko pływów skorupy ziemskiej, przedstawił jego podstawy fizyczne, cechy charakterystyczne zjawisk pływowych oraz ich podział.

Rozdział trzeci poświęcony został omówieniu innych czynników wpływających na lokalne wahania natężenia siły ciężkości, takich jak krótkookresowe zmiany kierunku osi obrotu Ziemi, zmiany ciśnienia atmosferycznego czy wahania poziomu wód podziemnych.

W czwartym przedstawiona została krótka charakterystyka sejsmiczności obserwowanej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Autor przedstawił warunki geologiczne i górnicze wpływające na występowanie wstrząsów sejsmicznych oraz przyczyny i mechanizmy powstawania wstrząsów.

W rozdziale piątym opisany został dosyć szczegółowo aktualny stan badań nad wpływem falowania pływowego skorupy ziemskiej na generowanie naturalnych trzęsień ziemi. Doktorant przedstawił w nim zarówno wyniki badań potwierdzających przyjętą hipotezę badawczą jak i tych, które jej zaprzeczają. Dokonał też krytycznej analizy przedstawionych w literaturze rezultatów badań.

W rozdziale szóstym omówiono metodykę i zakres przeprowadzonych badań. Opisano przygotowanie danych do analizy statystycznej zależności pomiędzy

plywowymi zmianami natężenia siły ciężkości a występowaniem wstrząsów. Przedstawiono zestawy danych grawimetrycznych i sejsmicznych poddawanych analizie oraz opisano aparaturę pomiarową do pomiarów zmian natężenia siły ciężkości – grawimetry pływowe będące w dyspozycji Głównego Instytutu Górniczego.

Rozdział siódmy stanowi zasadniczą część pracy. Przedstawiona została w nim przeprowadzona przez doktoranta analiza wybranych zbiorów danych sejsmicznych i grawimetrycznych. Opisano szczegółowo wyniki kolejnych kroków obliczeniowych: testowania modelowych danych grawimetrycznych obliczonych dla punktu o określonych współrzędnych geograficznych, analizy rzeczywistych pomiarów grawimetrycznych na obszarze zaniechanej już eksploatacji górniczej oraz na obszarze czynnej eksploatacji głębinowej węgla kamiennego. Dla tych trzech zestawów danych przedstawiono wyniki analizy statystycznej związku między sejsmicznością a zmianami natężenia siły ciężkości.

Rozdział ósmy zawiera podsumowanie osiągniętych rezultatów i dyskusję dotyczącą możliwości ich wykorzystania.

Wnioski końcowe przedstawione zostały w rozdziale dziewiątym. Zaproponowany przez autora układ pracy nie budzi zastrzeżeń.

Ocena merytorycznej wartości pracy

Przystępując do badań opisanych w rozprawie autor przyjął hipotezę o znaczeniu pływów skorupy ziemskiej dla generowania zjawisk sejsmicznych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Hipotezę tą oparł na dwóch przesłankach. Pierwsza z nich związana była z pojawiającymi się w pracach dotyczących sejsmologii globalnej doniesieniami o możliwym znaczeniu pływów litosfery dla występowania trzęsień Ziemi w strefach aktywnych tektonicznie. Druga przesłanka wynikała z potwierdzonego wcześniejszymi badaniami faktu, że na obszarze GZW naruszony intensywną działalnością górnictwą górotwór znajduje się w stanie równowagi nietrwałej i nawet niewielkie zmiany stanu naprężeń mogą prowadzić do przekroczenia ich wartości krytycznych, skutkując powstawaniem wstrząsów. Łącząc obie te przesłanki doktorant postanowił sprawdzić, czy jednym z czynników prowadzących do osiągnięcia krytycznych wartości naprężeń mogą być cykliczne lokalne zmiany natężenia siły ciężkości wynikające z pływów grawitacyjnych skorupy ziemskiej.

Weryfikacja przyjętej hipotezy stanowi zadanie naukowe wpisujące się w długi ciąg badań nad genezą wstrząsów w GZW (szczególnie tych silniejszych o magnitudzie lokalnej powyżej 1,5) prowadzonych od kilkudziesięciu lat przez kilka polskich ośrodków naukowych. Trzeba przyznać, że przedstawiona rozprawa doktorska jest jedną z nielicznych (a pierwszą jeśli chodzi o zakres prowadzonych badań) prac poświęconych wpływowi wahań natężenia pola grawitacyjnego na wyzwalanie zjawisk sejsmicznych na obszarze intensywnej działalności górnictwa podziemnego.

Doktorant przeprowadził swoje badania na trzech zestawach danych o zjawiskach sejsmicznych zachodzących w różnych skalach. Ze względu na zastosowaną metodykę badania można podzielić na dwie części. W części pierwszej autor wykonał analizę korelacji pomiędzy teoretycznie wyliczonymi lokalnymi zmianami natężenia siły ciężkości, wynikającymi z interferencji różnych grawitacyjnych fal pływowych, a momentami wystąpienia wstrząsów o energii nie mniejszej niż 100 kJ, zarejestrowanych przez Górnośląską Regionalną Sieć

Sejsmologiczną (GRSS) w latach 2016 – 2018. Autor nie przedstawił jednak kryteriów, którymi kierował się przy wyborze okna czasowego dla swoich badań. Początki działania GRSS, o konfiguracji i progu rejestracji zbliżonych do jej dzisiejszego stanu, sięgają roku 1987. Możliwe więc było rozszerzenie okna czasowego nawet do czterdziestu lat. Przy zmieniającej się w czasie aktywności silnych wstrząsów wybór stosunkowo krótkiego okresu czasu badań mógł mieć wpływ na uzyskane rezultaty. Nasuwa się tu przypuszczenie, że zasadniczym kryterium była nie tyle dostępność danych, co moce obliczeniowe komputerów z których doktorant korzystał, niewystarczające do przetwarzania ogromnych ich zbiorów. Wykonane przez autora badania należy więc traktować jako analizę pewnego wybranego okresu aktywności sejsmicznej GZW, z określoną charakterystyką przestrzenną i energetyczną wstrząsów. Ogranicza to możliwość uogólnienia otrzymanych przez autora wyników.

W drugiej części badań doktorant wykorzystał bezpośrednie dane pomiarowe zmian natężenia siły ciężkości uzyskane w wyniku zainstalowania w dwóch różnych punktach GZW wysokiej klasy grawimetrów pływowych. Jeden z grawimetrów ulokowany został w Głównym Instytucie Górnictwa, na terenie zakończonej już jakiś czas temu eksploatacji podziemnej. Drugi grawimetr umiejscowiono w Rybniku na obszarze górniczym czynnej kopalni „ROW – Ruch Rydułtowy”. Moment zainstalowania grawimetrów i czas ich stabilizacji ograniczył możliwość analizy szeregów czasowych do okresu jednego roku. Dane zarejestrowane grawimetrem zainstalowanym w GIG poddano analizie korelacyjnej z danymi sejsmicznymi GRSS, przy założeniu znikomego wpływu górnictwa na pomiary grawimetryczne. Inaczej było z pomiarami przeprowadzonymi w Rybniku. Tutaj próg rejestracji wstrząsów był znacznie niższy, a użyty katalog zawierał nawet wstrząsy o energii rzędu 10 J. Z tego powodu większość zarejestrowanych zjawisk sejsmicznych była ściśle związana z prowadzoną w tym czasie eksploatacją ścian, a wstrząsów o energii powyżej 100 kJ stwierdzono tylko kilkanaście. Zlokalizowany na obszarze górniczym czynnej kopalni grawimetr mógł więc oprócz zmian pływowych siły ciężkości rejestrować także zmiany wynikające z naruszenia górotworu robotami górniczymi. Doktorant miał w tym przypadku na celu stwierdzenie, czy pływy grawitacyjne skorupy ziemskiej mogą oddziaływać w skali lokalnej na występowanie sejsmiczności indukowanej.

Mgr Sławomir Siwek do analizy korelacyjnej związku sejsmiczności z pływami grawitacyjnymi zastosował dwie metody. Analiza wektorowa polegała na wyznaczeniu fazy zmian natężenia siły ciężkości w momencie wystąpienia danego wstrząsu i przypisanie każdemu zdarzeniu wektora jednostkowego o kierunku określonym w biegunowym układzie współrzędnych przez wyznaczony kąt fazowy. Pogrupowanie kierunków wektorów w przedziały katowe o zakresie 30° pozwoliło na wykreślenie diagramów rozetowych wskazujących na uprzywilejowane kąty fazowe a co za tym idzie na fazę zmian siły ciężkości przy której prawdopodobieństwo wystąpienia wstrząsu jest największe. Najbardziej wrażliwym elementem analizy wektorowej był sposób wyznaczenia kąta fazowego. Doktorant zdecydował się obliczać go przyjmując jako granice cyklu, w którym zaistniał wstrząs, dwa najbliższe maksima natężenia siły ciężkości, przypisując im odpowiednio fazę -180° i $+180^\circ$, a minimum natężenia - fazę 0° . Jest to równoznaczne z założeniem, że cykliczna funkcja zmian jest sinusoidalna. W rzeczywistości, zarówno teoretycznie wyliczone jak i bezpośrednio pomierzone zmiany natężenia są wyrażone bardziej złożonymi funkcjami okresowymi. Niestety, doktorant nie wyjaśnił sposobu obliczania kąta fazowego w przypadku gdy wstrząs

wystąpił w pobliżu lokalnego minimum funkcji. Na ilustracjach prezentujących sposób wyznaczania kąta fazowego (rysunki 17, 28 i 47) brakuje przykładów dotyczących takich sytuacji. Osobiście uważam, że właściwsze byłoby wyznaczenie kąta fazowego w oparciu o pełny okres zmienności funkcji natężenia siły ciężkości np. pomiędzy dwoma kolejnymi globalnymi minimami.

Druga z zastosowanych przez doktoranta metod analizy korelacyjnej także bazuje na wyznaczaniu kątów fazowych poszczególnych wstrząsów i przypisywaniu im wektorów jednostkowych. Dalsze postępowanie polegało na obliczeniu długości wektora wypadkowego zbioru wektorów jednostkowych i testowaniu hipotezy o współzależności pomiędzy badanym zbiorem wstrząsów a okresem funkcji zmian natężenia siły ciężkości za pomocą testu Schustera. Statystyka testowa „p” miała postać funkcji wykładniczej zależnej od długości wektora wypadkowego, przyjmującej wartości z przedziału $< 0 ; 1 >$. Jako wartość krytyczną autor pracy przyjął $p=0,05$. Dla wartości statystyki mniejszych od wartości krytycznej hipoteza o współzależności była przyjmowana. Do przeprowadzenia testu Schustera dla różnych częstotliwości fal pływowych doktorant wykorzystał program „Schuster spectrum”, wyznaczający wartość statystyki „p” dla zbioru funkcji okresowych, których okresy zawarte są w pewnym ustalonym przedziale (tzw. widmo testu Schustera). Doktorant nie opisał algorytmów wykorzystywanych w programie, można tylko przypuszczać, że funkcje, dla których przeprowadzany jest test Schustera, mają postać fal sinusoidalnych.

Wyniki uzyskane przez mgr Sławomira Sitka nie pozwalają na jednoznaczne potwierdzenie lub odrzucenie postawionej tezy doktorskiej. Tylko w przypadku wstrząsów zarejestrowanych przez GRSS w latach 2016 - 2018 widmo testu Schustera pokazuje pozytywny wynik dla kilku częstotliwości funkcji zmian natężenia siły ciężkości, jednak, jak stwierdził doktorant, nie odpowiadają one częstotliwościom żadnej ze skatalogowanych fal pływów grawitacyjnych. Znacznie bardziej interesujące są wyniki analizy wektorowej. Wykazała ona, że w przypadku wstrząsów o energii 100 kJ i większej, z lat 2016 – 2018, prawie jedna trzecia z nich wystąpiła w fazie maksymalnego lub minimalnego, wyliczonego teoretycznie dociążenia grawitacyjnego, a 20% najsilniejszych wstrząsów (o magnitudzie 3,0 i wyższej) zaistniało w fazie minimalnego dociążenia górotworu. Jeszcze wyraźniej prawidłowości te zaznaczyły się w przypadku gdy wstrząsy z obszaru GZW rozpatrywano na tle rzeczywistych, zarejestrowanych zmian siły ciężkości.

Dla trzeciego zestawu danych sejsmicznych, zawierającego także wstrząsy bardzo słabe o energii rzędu dziesiątków dżuli rozkład kątów fazowych także wskazuje na dużą liczbę wstrząsów występujących w fazie ekstremalnego dociążenia. Jedynie wstrząsy o energii powyżej 100 kJ nie wykazują takiej prawidłowości, co może być wynikiem małej próby losowej tej grupy wstrząsów, związanej ze stosunkowo wąskim oknem obserwacyjnym.

Otrzymane wyniki analizy wektorowej wskazują na możliwy związek generowania wstrząsów z ekstremalnymi wartościami zmian natężenia siły ciężkości i stanowią oryginalne osiągnięcie doktoranta. Trochę szkoda, że nie pogłębił on analizy statystycznej kątów fazowych w celu wykazania niejednostajności ich rozkładów i wyznaczenia wartości najbardziej prawdopodobnych oraz wariancji. Mógł na przykład zastosować testy zgodności z kołowym rozkładem normalnym lub metodę momentów bezwładności dla rozkładu wektorów jednostkowych. Wpłynęłoby to znacząco na wartość przedstawionej rozprawy.

Zgodnie z wymaganiami określonymi w ustawie i rozporządzeniach MNiSzW praca doktorska musi stanowić samodzielne rozwiązanie określonego problemu badawczego wnosząc wkład w poszerzenie zakresu wiedzy w danej dyscyplinie. Pomimo pewnych niedociągnięć metodycznych nie mam wątpliwości, że doktorant spełnił ten warunek, przeprowadzając badania na trzech zróżnicowanych zbiorach danych i krytycznie opracowując ich wyniki. Przedstawił on i przeanalizował uwarunkowania dotyczące przygotowania i doboru danych. Wskazał na istotne źródła możliwych błędów i niejednoznaczności w uzyskiwanych wynikach. Końcowy efekt swoich badań zawarł w kilku dobrze sformułowanych wnioskach.

Zauważone błędy

W tekście części metodycznej rozprawy doktorant nie ustrzegł się kilku błędów. Oto najważniejsze z nich.

-str. 46, wiersz 1 od góry

„...wyznaczono kąty fazowe dla promieni o szerokości 30° ...”

Jest to błędne sformułowanie – promienie, jako odcinki linii prostej, nie mają szerokości, tym bardziej mierzonej w stopniach. Prawidłowe zapis powinien brzmieć: „Wyznaczone dla poszczególnych zbiorów kąty fazowe pogrupowano w przedziałach kątowych o rozwarciu 30° , zliczając ilość wektorów jednostkowych zawartych w każdym przedziale.”

-str.46, wiersz 10 od góry

„... prawdopodobieństwo, że długość sumy wektorowej jest równa lub większa niż D...”

Wzór (16) definiuje długość wektora wypadkowego dla zbioru wektorów jednostkowych o liczebności „n”. Długość wektora wypadkowego „D” może być tylko mniejsza lub równa n. Zdefiniowana we wzorze (17) liczba „p” nie jest prawdopodobieństwem, lecz statystyką testową dla testu Schustera. Prawdopodobieństwo, że rozkład czasowy wstrząsów koreluje z badanym okresem „T” jest równe „1-p”. Ponieważ w analizie badano związki korelacyjne czasu wystąpienia wstrząsu z fazą okresowej funkcji zmian natężenia siły ciężkości, nie można używać sformułowania „rozkład czasowy wstrząsów zależy od badanego okresu T”, gdyż należy ono do zakresu analizy regresji, której doktorant nie przeprowadził.

-str. 48, wiersz 7 od dołu

„W systemie tym prowadzona jest ciągła, z częstotliwością 1 Hz, rejestracja zmian przyspieszenia siły ciężkości w czasie. „

Rejestracja nie może być jednocześnie ciągła i dyskretna (tzn. prowadzona w wyznaczonych momentach czasu). Obserwacja ciągła daje w wyniku analogowy zapis zmian pewnej funkcji w czasie, podczas gdy pomiary chwilowe prowadzone z określoną częstotliwością tworzą ciąg wartości liczbowych reprezentujących tę funkcję. Właściwe byłoby sformułowanie:

„W systemie tym prowadzona jest permanentna obserwacja zmian natężenia siły ciężkości w czasie z częstotliwością próbkowania 1 Hz”.

Na marginesie, termin przyspieszenie siły ciężkości, często spotykany w literaturze, jest niepoprawny z punktu widzenia fizyki. Poprawny termin to natężenie siły

ciężkości. Ponieważ natężenie w danym punkcie pola grawitacyjnego jest liczbowo równe przyspieszeniu grawitacyjnemu, jakie uzyskuje ciało znajdujące się w tym punkcie, to te dwa pojęcia są używane zamiennie, co wg. mnie jest błędem.

Błędy redakcyjne, takie jak literówki, czy błędy stylistyczne są bardzo nieliczne i nie ma sensu wskazywanie ich w tekście rozprawy.

Podsumowanie.

Rezultaty badań wykonanych w ramach pracy doktorskiej pokazują, że mgr Sławomir Sitek wykazał się dużą wiedzą z zakresu prowadzonych badań, opanował w dostatecznym stopniu umiejętność samodzielnego ich prowadzenia i analizy osiągniętych wyników oraz rozwiązał pewien problem naukowy, wnosząc wkład do badań nad genezą i charakterystyką wstrząsów występujących w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Tym samym doktorant spełnił wymagania zapisane w ustawie „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 r. W związku z powyższym uważam, że kandydata można dopuścić do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Sosnowiec, 6 maja 2021 r

