

Warszawa, 18.05.2021 r.

Dr hab. Łukasz Rudziński

Zakład Sejsmologii

Instytut Geofizyki PAN

## Recenzja

### Rozprawy doktorskiej mgr Agnieszki BRACŁAWSKIEJ

**pt.: „*Wpływ aktywności sejsmicznej łuku Karpat oraz Wschodnich Alp na występowanie silnych zjawisk sejsmicznych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*”**

Rozprawa wykonana została w Uniwersytecie Śląskim w Katowicach na Wydziale Nauk Przyrodniczych w Sosnowcu, pod kierunkiem Pana prof. dr. hab. Adama Filipa Idziaka.

#### 1. Wprowadzenie

Recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr Agnieszki Braclawskiej pt.: „*Wpływ aktywności sejsmicznej łuku Karpat oraz Wschodnich Alp na występowanie silnych zjawisk sejsmicznych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*” opracowałem na podstawie pisma Dziekana Wydziału Nauk Przyrodniczych w Sosnowcu z informacją o powołaniu mnie na recenzenta w uchwale Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego z dnia 16 marca 2021 r.

Wprowadzony w tytule rozprawy problem naukowy dotyczy rozpoznania możliwego wpływu sejsmiczności występującej na południe i południowy – zachód od Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) na aktywność sejsmiczną indukowaną działalnością górniczą w tym rejonie Polski. Doktorantka w swojej rozprawie stara się wykazać, że naturalna aktywność sejsmiczna części rejonu alpejskiego i karpackiego ma swoje odzwierciedlenie w występowaniu większej liczby silnych wstrząsów lokalizowanych na obszarach górniczych GZW. Uważam, że tak postawiony cel badawczy jest warty uwagi i zawiera ciekawe wartości poznawcze.

Przedstawiona mi do opinii rozprawa składa się z 12 rozdziałów przygotowanych na 171 stronach dysertacji. Układ rozprawy jest czytelny i nie wymaga od czytelnika wysiłku w celu odnalezienia konkretnych informacji.

## 2. Ocena rozprawy

Rozprawa rozpoczyna się przedstawieniem *Zarysu Problematyki Badań*, które skrótowo i prawidłowo wprowadza do tematu przedstawionego w rozprawie. W rozdziale pojawia się spis instytucji zajmujących się historycznie oraz obecnie problematyką sejsmiczności GZW. Dość niefortunnie w spisie instytucji znalazła się **Państwowa Akademia Nauk**. Często spotykam się z takim określeniem, które generalnie nie jest niewłaściwe bo rzeczywiście Akademia jest instytucją państwową, niemniej jej oficjalna nazwa jest inna. Zabrakło również wzmianki o **Akademii Górniczo Hutniczej** z Krakowa czy też gliwickiej **Politechnice Śląskiej**.

W dalszej części rozdziału 1 przedstawione zostały poglądy na temat sejsmiczności GZW oraz cel i metodyka pracy. Doktorantka słusznie zauważa, że wstrząsy na terenach górniczych w GZW charakteryzowały się występowaniem bimodalności energetycznej. W szczególności ciekawe są tu wstrząsy wysokoenergetyczne to jest o energiach powyżej  $10^6$ J (co odpowiada magnitudom  $M \sim 2.3$ ). Stwierdzono bowiem, że część tych zjawisk nie jest związana z uszkodzeniami w wyrobiskach górniczych a tego zazwyczaj oczekuje się od silnych zjawisk na terenach górniczych. Przyjęto hipotezę, że zjawiska te nie są bezpośrednio indukowane, a raczej wyzwalane przez działalność górniczą np. w miejscach osłabień lub nieciągłości tektonicznych poprzez wpływ sejsmiczności łuku Karpat wraz z Basenem Panońskim oraz Alp Wschodnich wraz z Masywem Czeskim. Dalej Doktorantka przedstawia główny cel pracy, który trafnie określony jest już przez tytuł rozprawy. Badania motywuje potrzebą „potwierdzenia lub odrzucenia tej hipotezy” przez co jej wkład „mógłby pomóc lepiej zrozumieć genezę najsilniejszych zdarzeń sejsmicznych w polskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”. Jest to jak najbardziej słuszne chociaż warto w tym miejscu podkreślić, że badania wykonywane w kierunku rozpoznania możliwego wpływu naturalnej sejsmiczności w otoczeniu GZW nabiorą szczególnego znaczenia w najbliższej przyszłości, kiedy wydobywanie węgla zostanie wygaszone a zmiany naprężeń wywołane działalnością górniczą pozostaną jeszcze przez długi czas. Taka motywacja bardzo silnie wspierałaby cel naukowy rozprawy. Proponuję aby Doktorantka podczas swojej obrony krótko skomentowała powyższą motywację pokazując przy tym czy w polach obecnie zamkniętych kopalni w badanym okresie czasu wystąpiły wstrząsy o magnitudach powyżej progu kompletności katalogu, a jeśli tak to w jakiej liczbie i o jakiej sile.

Następnie Doktorantka wnikliwie analizuje dostępne prace związane z współczesnymi kierunkami naprężeń w obszarach, w których aktywność sejsmiczna może mieć wpływ na sejsmiczność w GZW. Do obszarów tych należą:

- Łuk Karpat oraz Basen Panoński
- Alpy Wschodnie i Masyw Czeski.

Podkreśla, że taka a nie inna aktywność sejsmiczna i tektoniczna powyższych obszarów mogłaby wpływać na generowanie silnych wstrząsów w GZW. Analiza taka pokazuje samodzielność i dociekliwość Doktorantki w odnalezieniu właściwego kierunku dla późniejszej interpretacji swoich badań.

Rozdział 3 to rozszerzona *Charakterystyka Badanych Obszarów*. W tej części usystematyzowana została dostępna wiedza na temat głównych struktur, koncepcji powstania oraz sejsmotektoniki każdego regionu.

O ile tak rozszerzona analiza literatury dla GZW jest bezsprzecznie słuszna, nie odnajduję opisu głębszej merytorycznej motywacji do przeprowadzenia tego typu analizy w kontekście tematu rozprawy dla innych obszarów, oprócz oczywiście naukowej ciekawości w poznaniu tektoniki i historii powstawania Łuku Karpat, Basenu Panońskiego oraz Alp Wschodnich czy Masywu Czeskiego. Ufam, że mogło być to pomocne w interpretacji wyników i liczę na komentarz Autorki w tej sprawie podczas obrony.

Rozdział 4 przedstawia metody użyte w rozprawie do przeprowadzenia badań. Zaproponowana została analiza statystyczna oparta o dane dostępne w katalogach sejsmicznych różnych agencji i instytucji seismologicznych. Wykorzystane zostało sześć różnych metod wykorzystujących analizę szeregów czasowy, analizę przestrzenno – czasową, badania zmienności współczynnika  $b$  relacji Gutenberga – Richtera (G-R) oraz zmiany wyzwala energii sejsmicznej. Poszczególne metody zostały opisane w sposób przejrzysty.

Autorka słusznie zauważa, że prowadzone przez nią badania wymagają określenia magnitudy progu kompletności katalogu nazywanej w rozprawie także **magnitudą minimalną**, poniżej której część informacji o wstrząsach jest **tracona**. W tym miejscu nie do końca mogę się zgodzić, ponieważ informacja o wstrząsach słabszych ciągle istnieje i nie jest tracona choć rzeczywiście jest ona niepełna i z tego względu jak to zostało trafnie napisane nie powinna być używana do wybranych w rozprawie metod badawczych. Nazwa magnituda minimalna może być w tym przypadku również myląca, ponieważ sieci sejsmiczne są w stanie wykryć wstrząsy znacznie słabsze niż **magnituda progu kompletności katalogu**.

W przyszłej pracy naukowej proponowałbym również Autorce używać jednego rodzaju układów jednostek. Obecnie w seismologii używa się jednostek **SI**. Jednostki takie są również w powszechnym użyciu w seismologii górniczej w Polsce, gdzie na przykład energia podawana jest w [J]. Tymczasem na przykład wzór **14** podaje nam zależność energii od magnitudy, gdzie energia podana jest w układzie **CGS**. Nie jest to błąd ale wymaga od czytelnika oraz samej Autorki uwagi, tak aby nie doszło do pomieszania pomiędzy układami SI oraz CGS.

Bazy danych wykorzystane w rozprawie zostały opisane w rozdziale 5. Katalog sejsmiczny w swojej podstawowej formie zawiera oprócz czasu wystąpienia zjawiska sejsmicznego również jego punkt startowy – hipocentrum oraz siłę lub wielkość w postaci energii lub magnitudy. Jedynie dla obszaru GZW katalog dostępny był z jednego źródła – czyli można przyjąć, że zawiera on na przestrzeni czasu jednakowe magnitudy. Słusznie założono, że katalogi dla pozostałych obszarów dostępne z kilku różnych źródeł nie są jednorodne i posiadają różne magnitudy, jest to problem znany w seismologii i nastęrcza dużych problemów w analizie hazardu sejsmicznego. W tej sytuacji niezbędnym okazało się wcześniejsze ujednoczenie skali magnitud. Procedura taka została wykonana przed przystąpieniem do głównej części badań.

Ostatecznie do badań wybrano okres od 1 stycznia 1987 do 31 grudnia 2016 roku. Uważam wybrany okres za odpowiednio długi oraz bardzo ciekawy z punktu widzenia ograniczenia

wydobycia w GZW na przestrzeni tego czasu. Do analizy katalogu wybrano jedynie zjawiska o magnitudzie  $M_L \geq 2.0$ . Mam jedną ważną uwagę do opisu katalogu ze strony 68. W pracy odnajdujemy stwierdzenie, że katalog „... zawiera informację na temat wystąpienia poszczególnego wstrząsu, m. in.: datę i godzinę zarejestrowania, ...”. Czy nie chodzi raczej o czas w ognisku, czyli dokładny czas rozpoczęcia pęknięcia górotworu w źródle? Czas zarejestrowania jest związany nie tyle ze wstrząsem co stacją i dla każdej stacji będzie z oczywistych względów inny. Prosiłbym o komentarz w tej sprawie w trakcie obrony, przy okazji wyjaśniając co oznacza „CZAS WZGL.” zawarty w tabeli w Fig. 24 A.

Wartym podkreślenia jest sumienna ocena wartości proggu kompletności katalogów. Często praktyką określenia takiego proggu jest po prostu wyznaczenie go „na oko” z histogramu wstrząsów z danego regionu. Choć jest to metoda najprostsza to również mało dokładna. Doktorantka w swej pracy podjęła się wyznaczenia proggu kompletności za pomocą technik algorytmicznych. Uważam, że takie podejście zasługuje na uznanie.

Ostatecznie progi kompletności wyznaczono na poziomie  $M_c 2.05$  dla GZW oraz  $M_c 2.1$  dla pozostałych rejonów. W naturalny sposób nasuwa się pytanie czy wartość  $M_c 2.05$  jest wartością progową dla całej Górnośląskiej Regionalnej Sieci Seismologicznej. Dla sieci tych rozmiarów wydaje się on być na wysokim poziomie. Pytanie to pozostanie raczej do odpowiedzi na przyszłość ponieważ oryginalny katalog zawierał wstrząsy od magnitudy  $M \geq 2.0$ . Nie widziałem również w zestawieniu instytucji niemieckiego instytutu Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) z Hanoweru. BGR prowadzi narodową sieć niemiecką i powinien być w posiadaniu dobrej bazy danych o wstrząsach z terenu Niemiec.

Nie znalazłem również w pracy wzmianki na temat możliwych błędów lokalizacji wstrząsów z poszczególnych katalogów. Błąd wyznaczenia hipocentrow zjawisk słabych z narodowych sieci seismologicznych a z takimi mamy do czynienia we wszystkich rejonach oprócz GZW może być znaczny i być może w jakiś sposób wpływać na wyniki końcowe. Jako ciekawy przykład możemy podać mapę z Fig. 54, gdzie widzimy wyraźny klaster zjawisk w Saksonii a nawet południowej Brandenburgii zaraz przy granicy z Polską. Pytanie, czy część z tych wstrząsów nie jest źle zlokalizowanymi zjawiskami z terenu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego lub należą do burzy sejsmicznej z Masywu Czeskiego. Prosiłbym o komentarz w tej sprawie podczas obrony.

Najcenniejsze informacje zawarte są w rozdziale 6, gdzie przedstawione zostały wyniki głównych badań prowadzące do odpowiedzi na zadane w celu pracy pytanie. Do analizy Doktorantka wybrała 100-dniowe okno czasowe, które w okresie obserwacji 10957 dni wydaje się być dobrym wyborem. W pracy nie znajdujemy jednak wzmianki uzasadnienia takiego a nie innego doboru okna i tego komentarza nieco brakuje. Zasadnicza część analizy skupia się na analizie szeregów czasowych w tym korelacji pomiędzy poszczególnymi szeregami, analizie przestrzenno – czasowej oraz badaniu rocznych zmian wartości współczynnika  $b$  relacji G-R. Przedstawiona analiza jest przejrzysta i ciekawa z punktu widzenia poznawczego. Prowadzi do potwierdzenia przypuszczenia, że silne zjawiska sejsmiczne w okolicy GZW mogą mieć wpływ na jego aktywność.

W tej części pracy najbardziej zaskakujący jest wzrost aktywności sejsmicznej po około 6000 dniach w obu regionach na południe od GZW. Oczywiście może to być związane tylko z modernizacją sieci, o której Doktorantka wspomina dla Rumunii, ale oznaczałoby to również modernizację sieci dla innych krajów. O takiej modernizacji z pracy nie dowiadujemy się, można więc założyć, że sieć w tym okresie była względnie stabilna. Założenie jest więc takie, że zmiany struktury naprężeń wywołały wzrost aktywności sejsmicznej. Z drugiej strony nie mamy tak wyraźnego wzrostu aktywności w GZW, co świadczyłoby, że przynajmniej jeśli chodzi o słabe zjawiska nie przekłada się to bezpośrednio na sejsmiczność w tym regionie.

Na rysunkach dotyczących zasięgów głębokościowych ognisk zjawisk w rejonie łuku Karpat oraz Basenu Panońskiego (Fig. 43 oraz Fig 44) widzimy wyraźnie zaznaczone „linie” występowania wstrząsów na specyficznych głębokościach. Wydaje się właściwym aby zostało to krótko skomentowane.

Bardzo ciekawe wyniki stanowi analiza zmian współczynnika  $b$ . Dobrze zobrazowane zostało to na rysunku Fig. 65. Wyraźnie widać, że rejon GZW miał „nadwyżkę” słabej sejsmiczności końcem XX wieku. Tymczasem w XXI wieku wartość współczynnika  $b$  znacząco spada. Doktorantka interpretuje aktywność końca XX wieku jako „... słabe przygotowanie górotworu do emisji silnych wstrząsów ...”, niemniej wydaje mi się, że zmiany współczynnika  $b$  mogą wynikać raczej ze zmniejszenia działalności wydobywczej i w rezultacie ze zmniejszenia się liczby słabszych zjawisk związanych bezpośrednio z wydobyciem węgla. Inaczej jest ze wstrząsami silniejszymi, dla których wpływ wydobycia jest na przykład odłożony w czasie.

Rozdziały 7 i 8 stanowią odpowiednio dyskusję wcześniejszych wyników oraz wnioski wyciągnięte na ich podstawie. Uważam, że Doktorantka w prawidłowy i co ważne krytyczny sposób podchodzi do swoich badań zaznaczając, że na ich podstawie nie można tworzyć deterministycznych modeli współzależności pomiędzy aktywnością sejsmiczną występującą we wszystkich badanych regionach.

### 3. Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy pt. **Wpływ aktywności sejsmicznej łuku Karpat oraz Wschodnich Alp na występowanie silnych zjawisk sejsmicznych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym** autorstwa mgr Agnieszki Braclawskiej stwierdzam, że praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie postawionego problemu naukowego oraz Doktorantka wykazuje się wiedzą teoretyczną i umiejętnościami na odpowiednim poziomie potrzebnym do prowadzenia samodzielnej pracy naukowej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska autorstwa mgr Agnieszki Braclawskiej **spełnia wymagania Ustawy** o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku i wnioskuje do Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi w Sosnowcu o dopuszczenie mgr Agnieszki Braclawskiej do obrony przedłożonej rozprawy.

*Juliusz Bednarski*