

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii KOZŁOWSKIEJ

pt. „Badanie możliwości włączenia wybranych metod oceny zmian pola naprężeń i przebiegu aktywności sejsmicznej do analizy antropogenicznych procesów sejsmicznych”

Rozprawa została wykonana w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie pod kierunkiem Pani dr hab. inż. Beaty Orleckiej – Sikory, prof. PAN

1. WPROWADZENIE

Recenzję rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Marii Kozłowskiej pt. „*Badanie możliwości włączenia wybranych metod oceny zmian pola naprężeń i przebiegu aktywności sejsmicznej do analizy antropogenicznych procesów sejsmicznych*” opracowałem na podstawie pisma Dyrektora Instytutu Geofizyki PAN w Warszawie z dnia 13 maja 2016r., które realizuje uchwałę Rady Naukowej Instytutu podjętą w dniu 9 maja 2016r.

Stwierdzam, że przedmiotowa rozprawa mieści się w dziedzinie Nauk o Ziemi i w obszarze dyscypliny naukowej **geofizyka**.

Wymieniony w tytule rozprawy doktorskiej problem naukowy dotyczy wykorzystania badań geofizycznych, realizowanych z wykorzystaniem metody sejsmologicznej, do pogłębionej analizy sejsmiczności indukowanej działalnością górnictwem. Doktorantka w przedmiotowej rozprawie dąży do wykazania, że współczesna sejsmologia górnictwa wyposażona w nowoczesne narzędzia pomiarowe i interpretacyjne może efektywnie rozwiązywać kluczowe problemy związane z analizą antropogenicznych procesów sejsmicznych. Uważam, że taki cel rozprawy posiada znacznie nie tylko poznawcze, ale także praktyczne, szczególnie w przypadku sejsmiczności pochodzenia górnictwa.

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałem zgodnie z wymogami ustawy z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz. U. Nr 03.65.595 z dnia 16 kwietnia 2003r. wraz z późniejszymi zmianami). Zgodnie z tą ustawą rozprawa doktorska powinna być oryginalnym rozwiązaniem przez Doktoranta określonego zagadnienia naukowego oraz wykazywać jego ogólną wiedzę teoretyczną w danej dyscyplinie naukowej i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stąd metodologia oceny przyjęta w recenzji rozprawy doktorskiej koncentruje się na analizie następujących zagadnień:

- analizie i ocenie naukowej wartości rozprawy,
- zasadności (teoretycznej i praktycznej) podjęcia tematu rozprawy,
- prawidłowości sformułowania celu lub tezy rozprawy,

- ustaleniu jakie nowe zagadnienia naukowe Doktorantka rozwiązała samodzielnie,
- ocenie poprawności przeprowadzonych w rozprawie analiz, obliczeń i uzyskanych wyników oraz sformułowanych na tej podstawie wniosków i stwierdzeń,
- ocenie znajomości przez Doktorantkę przedmiotu zagadnienia, specjalistycznej literatury, jak i innych prac wchodzących w zakres tematyczny rozprawy doktorskiej.

2. ANALIZA I OCENA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Marii Kozłowskiej koncentruje się na czterech wybranych przez Doktorantkę problemach, które uznaje Ona za istotne dla dalszego rozwoju wiedzy i postępu w sejsmologii górniczej, a mianowicie :

- ✓ wyznaczanie strefy sejsmicznej wokół frontu eksploatacyjnego na podstawie rozkładu wstrząsów,
- ✓ badanie naprężeń kosejsmicznych wraz z analizą transferu naprężeń statycznych,
- ✓ modelowanie rozkładu sejsmiczności występującej po silnym wstrząsie pochodzenia górniczego w oparciu o model *rate - and - state*,
- ✓ analiza nietypowego rozkładu sejsmiczności na przykładzie kopalni węgla kamiennego „Bobrek”.

Istota każdego z tych problemów wraz z opisem zrealizowanych badań i uzyskanych wyników została zawarta w następujących czterech artykułach, stanowiących integralną część rozprawy doktorskiej :

1. Kozłowska M. (2012), *Ilościowa analiza odległości epicentralnych wstrząsów względem frontu eksploatacji w O/ZG Rudna (LGOM)*, Przegląd Górniczy, nr 12.
2. Kozłowska M. (2013), *Analysis of Spatial Distribution of Mining Tremors Occurring in Rudna Copper Mine (Poland)*, Acta Geophysica Volume 61 (5):
3. Kozłowska, M., B. Orlecka-Sikora, G. Kwiatek, M. S. Boettcher, and G. Dresen (2015), *Nanoseismicity and picoseismicity rate changes from static stress triggering caused by a M_w 2.2 earthquake in Mponeng gold mine, South Africa*, J. Geophys. Res. Solid Earth, 120, doi:10.1002/2014JB011410.
4. Kozłowska, M., B. Orlecka-Sikora, Ł. Rudziński, S. Cielesta, and G. Mutke (2016), *Atypical evolution of seismicity patterns resulting from the coupled natural, human-induced and coseismic stresses in a longwall coal mining environment*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 86, 5-15, doi: 10.1016/j.ijrmms.2016.03.024.

Dwa spośród powyższych artykułów są autorskimi publikacjami Doktorantki, natomiast w kolejnych dwóch artykułach jest Ona jednym z pięciu współautorów i wymienioną na pierwszym miejscu, a więc należy przypuszczać, że jej udział merytoryczny jest tutaj największy. Oceniając rangę tych czasopism należy podkreślić, że trzy spośród nich są to prestiżowe czasopisma geofizyczne (2 i 3) i górnicze (4) o zasięgu światowym, znajdujące się

w bazie JCR i o wysokim wskaźniku IF. Czasopismo polskie Przegląd Górniczy (1) jest jednym z najważniejszych czasopism o tematyce górniczej w Polsce i o zasięgu krajowym.

Ponadto, ważną częścią rozprawy doktorskiej jest rodzaj **wprowadzenia**, zawarty na 19 stronach tekstu, prezentujący zwięzłą charakterystykę każdego w wymienionych powyżej problemów badawczych. Uzupełnieniem jest tutaj spis literatury obejmujący 33 pozycje.

Badania dotyczące pierwszego problemu, to jest wyznaczania stref sejsmogenicznych tworzących się w otoczeniu frontu eksploatacji, Doktorantka zrealizowała w czterech oddziałach zakładu górniczego Rudna, wydobywających rudy miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym. Są one opisane w artykułach 1 i 2. Należy podkreślić, że oddziały te różniły się lokalną tektoniką oraz geometrią rozcinki złoża, co z pewnością ma wpływ na kształtowanie się powyższych stref zagrożenia sejsmicznego. Jednak pomimo tego, uzyskane wyniki pozwalają Doktorantce na ustalenie pewnych ogólnych prawidłowości w rozkładzie wstrząsów, to jest na koncentrację ich ognisk w strefie do 50m przed frontem eksploatacji oraz na odmienny ich rozkład w strefie zrobów, charakteryzujący się lokalnymi ekstremami i znacznie większymi odległościami za frontem eksploatacji. Są to ważne wnioski mogące mieć określone implikacje dla działań profilaktycznych prowadzonych przez służby tapaniowe kopalń rud miedzi.

Za niezwykle ważny uważam ten fragment rozprawy doktorskiej, który jest poświęcony badaniu zmian naprężeń kosejsmicznych powstających po silnym wstrząsie, czyli analizie transferu naprężeń statycznych. Problem badawczy - jak wystąpienie silnego wstrząsu zaburza stan naprężeń w danym rejonie, a w konsekwencji rozkład lokalnej aktywności sejsmicznej - jest kluczowym dla analizy zagrożenia sejsmicznego. W zamieszczonych w rozprawie artykułach 3 i 4 prezentowane są wyniki analiz transferu naprężeń statycznych z dwóch kopalń; głębokiej kopalni złota Mpoeneng w RPA i kopalni węgla kamiennego Bobrek w GZW. Doktorantka koncentruje się tutaj głównie na zmianach pola naprężeń, które są wywoływane przez wstrząsy sejsmiczne, jakie mają miejsce w wyniku przemieszczeń ośrodka skalnego (górotworu) na płaszczyźnie powstającej nieciągłości (tzw. przemieszczenia kosejsmiczne). Zmiany te są przez Doktorantkę analizowane w odniesieniu do zmian pola naprężeń wywoływanych przez czynniki technologiczne. Wyniki tej analizy wyraźnie potwierdzają, że w sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą dominująca rolę w redystrybucji pola naprężeń odgrywają czynniki antropogeniczne. Kolejnym, ważnym wnioskiem poznawczym i praktycznym, wynikającym z tych badań jest stwierdzenie, że transfer naprężeń statycznych może istotnie modyfikować rozkład naprężeń wokół wyrobisk górniczych i tym samym w pewnym stopniu determinować przebieg procesu sejsmicznego.

Szczególnie nowatorskie i oryginalne są wyniki badań mgr inż. Marii Kozłowskiej dotyczące modelowania rozkładu sejsmiczności po silnym wstrząsie górniczym, w oparciu o model *rate – and – state*, przedstawione w artykule 3. Doktorantka wykorzystuje tutaj możliwości badawcze i wyniki analizy transferu naprężeń statycznych do modelowania czasowego

i przestrzennego rozkładu sejsmiczności po silnym wstrząsie. Uważam, że wykorzystanie stosowanego w sejsmologii globalnej prawa tarcia *rate – and – state* jest w odniesieniu do sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą podejściem nowatorskim i może mieć istotne znaczenie dla lepszej estymacji zagrożenia sejsmicznego. Według mojej wiedzy jest to pierwsze tego rodzaju zastosowanie powyższego podejścia do pełnej oceny czasoprzestrzennej zmienności aktywności sejsmicznej pochodzenia antropogenicznego. Przedstawione w artykule 3 wyniki badań pokazały, że modelowane zmiany aktywności sejsmicznej zarówno w czasie, jak i w przestrzeni, odpowiadają zaobserwowanym zmianom aktywności sejsmicznej po wystąpieniu silnego wstrząsu. Tak więc, po wystąpieniu silnego zjawiska można oszacować, które obszary są narażone na wzrost aktywności sejsmicznej, jak zmieni się poziom aktywności sejsmicznej i po jakim czasie można się spodziewać powrotu aktywności sejsmicznej do poziomu sprzed wystąpienia silnego wstrząsu sejsmicznego. Wyniki te wskazały również na podobieństwo procesów pęknięcia górotworu wywołane czynnikami naturalnymi jak i indukowanymi działalnością człowieka.

Ostatni problem rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Kozłowskiej poświęcony jest kompleksowej analizie nietypowego rozkładu sejsmiczności pochodzenia górniczego, jaki miał miejsce w kopalni węgla kamiennego „Bobrek”. Przedmiotowa nietypowość związana jest z głębokością występowania ognisk wstrząsów, znacznie poniżej poziom eksploatacji pokładu węgla 503. Wyniki tej analizy są przedstawione w artykule 4 opublikowanym w czasopiśmie *Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, gdzie Doktorantka dokonała analizy genezy tego nietypowego rozkładu przestrzennego wstrząsów stosując własne, oryginalne podejście badawcze. Uzyskane wyniki wskazywały na interakcję naprężeń tektonicznych, eksploatacyjnych i kosejsmicznych, a także potwierdziły tezę o istotnym wpływie tektoniki obszaru Niecki Bytomskiej na rozkład głębokości ognisk wstrząsów indukowanych działalnością górniczą. Wskazywały także na możliwość aktywacji głębokich struktur tektonicznych przeszłą i aktualną eksploatacją górniczą.

Reasumując, przedstawioną analizę rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Kozłowskiej oceniam wysoko wyniki Jej badań jakie zostały zamieszczone w rozprawie. Są one w znaczącej mierze nowatorskie i oryginalne. Rozpatrywane w rozprawie problemy badawcze łączą się w logiczną całość, tworzącą nową wiedzę istotną dla rozwoju sejsmologii zajmującej się badaniem sejsmiczności antropogenicznej, w tym szczególnie sejsmiczności pochodzenia górniczego. Łączącym je elementem jest ocena potencjału prognostycznego w każdej z analizowanych metod szacowania zmian pola naprężeń, które są kluczowym elementem w modelowaniu czasoprzestrzennego rozwoju procesów sejsmicznych indukowanych działalnością górniczą. Stwierdzam, że postawione przez Doktorantkę cele pracy doktorskiej zostały osiągnięte. W swoich badaniach wykazała, między innymi, że transfer naprężeń statycznych, wynikający z już zaistniałych wstrząsów, istotnie modyfikuje rozkład naprężeń wokół wyrobisk górniczych i wpływa na dalszy przebieg procesu

sejsmicznego. Ponadto, stosując odpowiednie modele zachowania się uskoku podczas wstrząsu sejsmicznego, odniesione do lokalnego pola naprężeń oraz zmian wynikających z prowadzonej działalności antropogenicznej, można estymować nie tylko czasoprzestrzenny rozkład przyszłej aktywności sejsmicznej, ale również szacować ilościowo zmiany tego parametru. Uważam, że szczegółowa analiza transferu naprężeń statycznych zintegrowana z charakterystyką tektoniczną badanego pola eksploatacji może być pomocna w optymalizacji prac górniczych z punktu widzenia stateczności górotworu w otoczeniu wyrobiska. Jestem przekonany, że jakościowa nowa, pozyskiwana w ten sposób, wiedza i informacje mogą mieć istotne znaczenie dla bezpieczeństwa pracy w kopalniach eksploatujących złoża cechujące się zagrożeniem sejsmicznym i zagrożeniem tąpnięciami.

Moje uwagi do powyższej, zasadniczej części recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Kozłowskiej bardziej dotyczą strony formalnej. Brakuje mi bowiem w rozprawie, która jest oparta na wykorzystaniu czterech opublikowanych artykułów, wyraźnego przedstawienia które treści artykułów współautorskich, z raczej liczną liczbą pięciu współautorów, można przypisać wyłącznie Doktorantce. Szkoda, że nie załączono do rozprawy informacji w tym zakresie, potwierdzonej przez współautorów. Stąd oczekuję, że na publicznej obronie Doktorantka ustosunkuje się do tej uwagi.

3. OCENA SPEŁNIENIA WYMOGÓW STAWIANYM PRACOM DOKTORSKIM

3.1. Zasadność wyboru tematu rozprawy

Sejsmiczność antropogeniczna, a więc wywoływana przez działalność człowieka, jest w szczególności związana z górnictwem i wydobywaniem takich surowców mineralnych jak rudy metali, węgiel i wiele innych. Stanowi ona istotny problem, przede wszystkim, w górnictwie podziemnym, gdzie wstrząsy górotworu mogą być przyczyną powstawania tąpnięć, czyli nagłej utraty stateczności i funkcjonalności wyrobisk górniczych wskutek gwałtownego wypełnienia ich skałami otaczającymi wyrobisko. Zjawisko to prowadzi do zniszczeń wyrobisk i wypadków wśród załogi górniczej. Tąpnięcia mogą mieć często charakter katastrofy górniczej. W polskim i światowym górnictwie sejsmologia górnicza jest podstawową metodą analizy i oceny zagrożenia sejsmicznego. Stąd prace badawcze, które umożliwiają jej dalszy rozwój w zakresie poprawy efektywności tej oceny są niezwykle potrzebne. Ponadto, lepsze poznanie mechanizmu generowania sejsmiczności przez działalność górniczą, szczególnie silnych zjawisk sejsmicznych, wnosi wiele cennych informacji dla odpowiedniego projektowania bardziej bezpiecznej eksploatacji górniczej.

Z powyższych względów uważam, że tematyka badawcza jakiej dotyczy rozprawa doktorska mgr inż. Marii Kozłowskiej jest niezwykle istotna, wnosi bowiem nowe elementy poznawcze i jej podjęcie jest w pełni zasadne.

3.2. Ocena celu rozprawy

Doktorantka jasno sformułowała cel rozprawy, którym jest zbadanie możliwości efektywnego włączenia do analizy sejsmiczności indukowanej przez działalność górniczą, metod oceny wpływu zmian naprężeń eksploatacyjnych i kosejsmicznych na rozkład przestrzenny i ilość wstrząsów.

Uważam, że podjęta przez mgr inż. Marię Kozłowska realizacja tego celu to szansa na lepsze poznanie mechanizmów rozwoju sejsmiczności górniczej oraz modelowanie przyszłej sejsmiczności wraz z oceną zagrożenia sejsmicznego.

3.3. Zagadnienia naukowe samodzielnie rozwiązane przez Doktoranta

Dostrzegłem w przedmiotowej rozprawie doktorskiej co najmniej kilka istotnych i moim zdaniem oryginalnych rozwiązań, którym można przypisać autorstwo Doktorantki. Wymienię dwa z nich, które uważam za najważniejsze :

- ✓ wykorzystanie w obszarze sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą, modelu *rate-and-state* z transferem naprężeń statycznych, do pełnej oceny czasoprzestrzennej zmienności aktywności sejsmicznej po silnych wstrząsach (*praca Doktorantki w tym zakresie wzbudziła w świecie szerokie zainteresowanie ośrodków naukowych zajmujących się problematyką sejsmiczności pochodzenia antropogenicznego*),
- ✓ zaprojektowanie i realizacja kompleksowych metod badawczych w analizie przyczyn nietypowej lokalizacji głębokościowej wstrząsów w KWK Bobrek oraz uzyskanie oryginalnych wyników wskazujących na interakcję w tym rejonie naprężeń tektonicznych, eksploatacyjnych oraz kosejsmicznych.

Uważam, że rozwiązania te w pełni potwierdzają umiejętność mgr inż. Marii Kozłowskiej do samodzielnego planowania i prowadzenia badań oraz interpretacji i analizy uzyskiwanych wyników.

3.4. Ocena poprawności przeprowadzonych analiz, uzyskanych wyników i wniosków.

Uważam, że wszystkie operacje analityczne w rozprawie doktorskiej zostały przeprowadzone prawidłowo i rzetelnie. Także za poprawne uznaje wnioski i stwierdzenia sformułowane na podstawie treści zawartych w rozprawie i w załączonych artykułach. Do takiej oceny upoważnia mnie również fakt, że powyższe artykuły zostały opublikowane w renomowanych czasopismach , gdzie były poddane solidnemu procesowi recenzowania.

3.5. Ocena znajomości przedmiotu zagadnienia przez Doktorantkę

Mgr inż. Maria Kozłowska wykazała się pełną znajomością specjalistycznych zagadnień związanych z problematyką stanowiącą istotę Jej rozprawy doktorskiej. Fakt ten potwierdza, między innymi wykaz cytowanych pozycji literatury fachowej we wprowadzeniu do rozprawy

jak i w czterech artykułach stanowiących jej podstawę. W rozwiązaniu postawionego celu badawczego Doktorantka musiała się wykazać posiadaniem szerokiej, interdyscyplinarnej wiedzy z zakresu sejsmologii ogólnej i górniczej, geologii, elementów mechaniki górotworu i modelowania matematycznego. Niezbędne było:

- dobre zrozumienie fizycznej strony złożonych procesów tworzenia się ognisk wstrząsów sejsmicznych pochodzenia górniczego, ich mechanizmów, propagacji fal sejsmicznych w ośrodkach skalnych, w tym o niejednorodnej strukturze,
- umiejętnością wykorzystania zaawansowanych narzędzi informatycznych w procesie analizy dużych zbiorów danych pomiarowych.

Oceniam znajomość przedmiotu zagadnienia przez Doktorantkę jako bardzo dobrą.

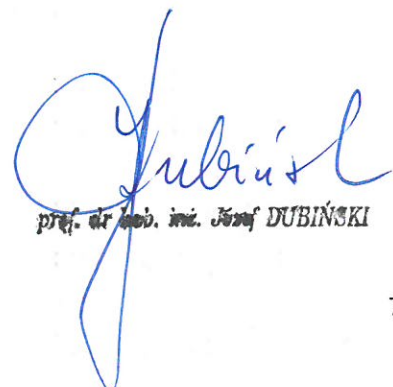
4. WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej pt. *„Badanie możliwości włączenia wybranych metod oceny zmian pola naprężeń i przebiegu aktywności sejsmicznej do analizy antropogenicznych procesów sejsmicznych”* autorstwa mgr inż. Marii KOZŁOWSKIEJ stwierdzam, że Doktorantka:

- wykazuje odpowiedni poziom wiedzy w dyscyplinie geofizyka, szczególnie w zakresie sejsmologii,
- posiada bardzo dobre przygotowanie fizyczno-matematyczne dla rozwiązywania złożonych problemów badawczych i dowiodła tego w pełni w przedmiotowej rozprawie doktorskiej;
- posiada umiejętność samodzielnego formułowania problemów naukowych oraz organizacji i prowadzenia procesu badawczego dla ich efektywnego rozwiązania wraz z analizą i prezentacją wyników;
- zrealizowała założone cele rozprawy, która posiada istotne walory naukowe i praktyczne.

Wobec powyższych stwierdzeń uważam, że rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Marii Kozłowskiej spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r.

Na tej podstawie wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie mgr inż. **Marii KOZŁOWSKIEJ** do publicznej obrony przedmiotowej rozprawy.


prof. dr hab. inż. Jan DUBIŃSKI