

Katowice, 22.04.2018r.

Dr hab. inż. Rafał Burdzik, prof. PŚ

Wydział Transportu

Politechnika Śląska

40-019 Katowice

Ul. Krasińskiego 8

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. Grzegorza Żaka**

pt.

„Local damage detection methods in mining machines in the presence of non-Gaussian noise”

„Metody detekcji uszkodzeń lokalnych w maszynach górniczych w obecności niegaussowskich zakłóceń”

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo nr W6/487/2018 z dnia 09.04.2018 r. Dziekana Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej prof. dr. hab. inż. Moniki Hardygóry.

1. Ocena aktualności tematu rozprawy oraz poprawności sformułowanych celu i tezy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska dotyczy badań w zakresie opracowania metody detekcji uszkodzeń lokalnych w maszynach górniczych. Z uwagi na dużą liczbę opracowań o tematyce związanej z diagnostyką techniczną w początkowym etapie oceny rozprawy postanowiłem przeprowadzić pozycjonowanie badań autora na tle aktualnego stanu wiedzy w tym obszarze. Jako bardzo istotny argument wskazujący na oryginalny charakter problematyki badawczej stwierdziłem, że założenie skuteczności proponowanych metod w warunkach występowania niegaussowskich zakłóceń, które odpowiadają warunkom rzeczywistym, jednoznacznie potwierdza oryginalność tej pracy. Ponadto założone obiekty badań, jako maszyny górnicze, które charakteryzują się bardzo trudnymi (ekstremalnymi) warunkami pracy i zmiennością obciążeń, także stanowią wyzwanie w zakresie

stosowania systemów monitorowania stanu technicznego. Kolejny obszar, który wyróżnia opiniowaną rozprawę na tle innych opracowań to potencjał aplikacyjny opracowanych metod. Zagadnienia związane z planowaniem eksploatacji i obsług maszyn górniczych stanowią bardzo istotny obszar wiedzy w dziedzinie naukowej górnictwo i geologia inżynierska. W tym ujęciu przedmiot rozprawy, czyli metoda detekcji lokalnych uszkodzeń w maszynach górniczych, stanowi nowe ujęcie w zakresie systemów monitorowania w celu obniżenia kosztów związanych z naprawami interwencyjnymi oraz opracowania elastycznego planu eksploatacji i obsług tych urządzeń. Na podstawie przeprowadzonej analizy należy stwierdzić, że rozprawa ma charakter interdyscyplinarny. Biorąc pod uwagę obiekt badań oraz obszar potencjalnych zastosowań jednoznacznie można stwierdzić, że **tematyka oraz zakres rozprawy pozwala zakwalifikować ją do dyscypliny górnictwo i geologia inżynierska.**

Autor rozprawy postanowił przeprowadzić modelową oraz doświadczalną analizę z wykorzystaniem opracowanych metod analitycznych. Dodatkowo należy podkreślić, że weryfikację zaproponowanej metody przeprowadził dla trzech przypadków zakładających określone rzeczywiste warunki pracy maszyn górniczych. Co zwiększa wiarygodność i potencjał aplikacyjnych opracowanej metody. **W tym kontekście temat rozprawy należy uznać za aktualny, interesujący poznawczo i o dużym znaczeniu użytkowym.**

Choć struktura pracy, prawdopodobnie z uwagi na język angielski i układ rozprawy praktykowany w pracach anglojęzycznych, nie zawiera dedykowanego rozdziału „cel i teza” można jednoznacznie odczytać (rozdział: Introduction, str. 2 – w drukowanym egzemplarzu nie numerowana) cel główny rozprawy, jako „opracowanie metod detekcji lokalnych uszkodzeń w maszynach górniczych w obecności niegaussowskich zakłóceń”. Niestety Autor nie określił jednoznacznie tezy rozprawy, jednak na podstawie starannej lektury można domniemywać, że teza rozprawy dotyczy twierdzenia, że zastosowanie zaawansowanych technik modelowania stochastycznego umożliwi detekcję lokalnych uszkodzeń w maszynach górniczych w obecności szumu niegaussowskiego. **Uważam, że cel pracy została sformułowana prawidłowo**

i ma charakter twórczy. Ponadto jednoznacznie określa kierunek badań i pozwala opracować ich plan.

2. Struktura i charakterystyka rozprawy

Treść opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. Grzegorza Żaka zawiera się na 132 stronach, podzielonych na 9 rozdziałów, w tym 1 rozdział zawierający załącznik. Ponadto zamieszczono streszczenia w języku polskim i angielskim, spis rysunków i tabel oraz spis literatury, składający się z 144 pozycji (w tym 10 pozycji współautorskich). Całość rozprawy, z wyłączeniem streszczenia w języku polskim, jest napisana w języku angielskim, co uważam za dodatkową wartość opiniowanej rozprawy.

Autor w pierwszym rozdziale, jako wprowadzenie uzasadnia wybór tematu, określa cel rozprawy oraz wskazuje metody analizy. Rozdział ten kończy się na 3 stronie.

Rozdział drugi zawiera sformułowanie problemu badawczego, jako wykrywanie lokalnych uszkodzeń na podstawie sygnałów drganiowych. Rozdział ten zawiera także opis wybranych rodzajów uszkodzeń przekładni zębatach i łożysk. Przeprowadza także czytelnika w sposób pobieżny przez zagadnienia sygnałów drganiowych rejestrowanych na wybranych urządzeniach maszyn górniczych, na przykładzie jednostki napędowej przenośnika taśmowego. Rozdział ten kończy się na 8 stronie.

Trzeci rozdział przedstawia niezbyt obszerną analizę aktualnego stanu wiedzy. Analiza ta ma jednak charakter syntezy wiadomości na podstawie bardzo wielu pozycji literaturowych. Z jednej strony należy uznać to za jednoznaczne potwierdzenie umiejętności Autora syntetycznego przeglądu literatury światowej, co niewątpliwie może być bardzo przydatne Autorowi podczas opracowywania kolejnych artykułów naukowych. Jednak w większości rozpraw doktorskich pisanych w języku polskim przegląd wiedzy jest bardziej obszerny i usystematyzowany. Na wybór takiego podejścia w zakresie charakterystyki aktualnego stanu wiedzy mógł mieć wpływ rozmiar ilościowy rozdziałów poświęcony badaniom własnym i wynikom

eksperymentów. W tym ujęciu należy uznać przegląd wiedzy za wystarczający, w trosce o końcowy rozmiar ilościowy rozprawy. Rozdział ten kończy się na 15 stronie.

Rozdział czwarty jest niewątpliwie najważniejszym rozdziałem rozprawy, w którym Autor bardzo szczegółowo przedstawia propozycję metody wykrywania lokalnych uszkodzeń. W tym celu stosuje metody charakterystyczne dla modelowania procesów bazujących na rozkładach ciężko-ogonowych. Zgodnie z obserwowanym trendem światowym w tym zakresie Autor stosuje narzędzia analizy stochastycznej procesów bazujących na rozkładach ciężko-ogonowych, w szczególności α -stabilnych. W zaproponowanej metodzie Autor bazuje na modelowaniu sygnałów reprezentowanych w dziedzinie czasu i częstotliwości za pomocą rozkładu α -stabilnego. To co wyróżnia opracowaną metodę od innych opisywanych już w literaturze, to założenie impulsowego charakteru szumu do oceny cykliczności występujących impulsów oraz zastosowanie miar zależności charakterystycznych dla procesów bazujących na rozkładach ciężko-ogonowych. Na szczególne podkreślenie, na podstawie lektury tego rozdziału, zasługuje bardzo dobry zapis matematyczny i jawna postać algorytmów opracowanej metody, w ramach której Autor podaje nawet składnie programowania. Rozdział ten kończy się na 28 stronie.

Rozdział piąty zawiera opis obiektów badań oraz eksperymentów badawczych. Jako pierwszy obiekt badań wybrano jednostkę napędową przenośnika taśmowego. Badania prowadzono na stacji napędowej przenośnika taśmowego wyposażonej w dwie jednostki napędowe. Podczas badań rejestrowano sygnały drgań w 5 miejscach na przekładni. Dodatkowo rejestrowano drgania na obudowie łożyska bębna napędowego przenośnika taśmowego. Drugim obiektem badań była kruszarka rudy miedzi. Zarejestrowano 33 sygnały drgań na obudowie łożyska. W badaniach wykorzystano kruszarki młotkowe, które charakteryzują się dużą liczbą składników impulsowych w rejestrowanych sygnałach drgań. Rozdział ten kończy się na 34 stronie.

Rozdział szósty przedstawia wyniki badań symulacyjnych. W ramach tych badań Autor założył 3 rodzaje sygnałów. Pierwszy zawierał cykliczną składową impulsową i szum gaussowski. Autor twierdzi, że ten przypadek odpowiada większości sygnałów zarejestrowanych na łożyskach i bazował na sygnale zarejestrowanym dla

nieuszkodzonego łożyska bębna napędowego przenośnika taśmowego. Drugi rodzaj sygnałów symulacyjnych zawierał cykliczną składową impulsową i szum gaussowski z dodatkowo występującymi impulsami o charakterze losowej (incydentalnej). Ten sygnał skorelowany jest z drganiami rejestrowanymi na uszkodzonych elementach maszyn lub przy dodatkowych impulsach zewnętrznych, nie związanych z uszkodzeniem. Ten rodzaj sygnałów powoduje najczęściej błędną klasyfikację uszkodzeń, gdyż przypadkowe impulsy rozpoznawane są jako symptomy uszkodzeń a nie zewnętrzne zakłócenia, ponieważ proste metody diagnostyczne nie uwzględniają czy pasmo występowania impulsu jest zgodne z pasmem informacyjnym o stanie technicznym urządzenia. Trzeci rodzaj symulowanych sygnałów zawierał cykliczną składową impulsową i szum o charakterze impulsowym. Autor wskazuje, że ten model sygnału jest adekwatny do sygnałów rejestrowanych w urządzeniach górniczych (np. kruszarkach). Każdorazowo w tym rozdziale Autor przedstawia zamodelowane sygnały jako przebiegi czasowe sygnałów, widm obwiedni i rozkładów czasowo-częstotliwościowych (spektrogramów). Następnie Autor przedstawia wyniki zastosowania opracowanych metod analizy dla wszystkich 3 rodzajów sygnału. Pierwsza weryfikowana metoda to α -filtracja, opisana w rozdziale 4.3. Następnie metoda bazująca na miarach i mapach zależności, opisana w rozdziale 4.4. Kolejna to metoda bazująca na miarach odległości pomiędzy rozkładami uzyskanymi na podstawie transformacji STFT, opisana w rozdziale 4.6. Autor przedstawił także wyniki weryfikacji przydatności zaproponowanych selektorów statystycznych, opisanych w rozdziale 4.1. Autor zakłada, że rozkłady STFT można traktować jako szeregi czasowe („time series”), w stosunku do których można używać miary statystyczne, analizując ich podobieństwo do rozkładu Gaussa. Podczas weryfikacji przedstawiono możliwości identyfikacji pasm informacyjnych dla sygnałów reprezentowanych w dziedzinie czasu i częstotliwości. Rozdział ten kończy się na 71 stronie.

Rozdział siódmy przedstawia wyniki weryfikacji opracowanych metod dla sygnałów rzeczywistych zarejestrowanych w warunkach eksploatacji maszyn górniczych. Sygnały drgań zarejestrowano podczas badań 2-stopnieowej przekładni zębatej o mocy 630 kW. **Należy więc stwierdzić, że Autor zweryfikował w sposób**

doświadczalny zaproponowane w rozprawie metody analityczne. Układ i struktura rozdziału jest taka sama jak w rozdziale szóstym. Ułatwia to czytelnikowi porównanie wyników badań rzeczywistych i symulacyjnych. Rozdział ten kończy się na 110 stronie.

Rozdział ósmy to podsumowanie całości rozprawy. Autor syntetycznie przedstawia główne cele i osiągnięcia opisane w rozprawie. Rozdział ten kończy się na 110 stronie.

Ostatni numerowany rozdział dziewiąty zawiera załącznik z podstawowymi definicjami w zakresie analizy sygnałów, na które Autor powoływał się w treści rozprawy. Rozdział ten kończy się na 116 stronie.

3. Ocena rozprawy

Merytoryczna ocena opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr. Grzegorza Żaka jest bardzo dobra. Podjęta tematyka jest ważna i ma charakter interdyscyplinarny. Pod względem rozważań teoretycznych wnosi wkład w dyscyplinę górnictwo i geologia inżynierska, zaś jej użyteczny charakter może znaleźć zainteresowanie w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn oraz matematyka stosowana. Na szczególną uwagę zasługuje wysoki poziom w zakresie sformalizowania i jawnej postaci analitycznej stosowanych metod poparte identyfikacją na podstawie badań symulacyjnych i na obiektach rzeczywistych, co stanowi dużą wartość opiniowanej rozprawy.

Autor rozprawy udowodnił osiągnięcie założonego celu i zaproponował metody detekcji uszkodzeń lokalnych w maszynach górniczych w obecności niegaussowskich zakłóceń. Otrzymane wyniki badań symulacyjnych wykorzystał do zaplanowania czynnego eksperymentu diagnostycznego, na podstawie którego zweryfikował opracowane metody. Tym samym należy uznać, że cel rozprawy został zrealizowany.

Autor nie ustrzegł się licznych błędów gramatycznych i językowych. Błędy te jednak nie wpływają na moją wysoką ocenę opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Dlatego też moja ocena całości rozprawy doktorskiej jest jednoznacznie pozytywna.

4. Uwagi i zapytania

Staranna lektura rozprawy prowadzi do następujących uwag i pytań:

1. Dlaczego do analiz wybrano sygnały zarejestrowane w tak krótkich chwilach i co decydowało o doborze czasu rejestracji sygnału?
2. Czy Autor rozważał możliwość zastosowania opracowanych metod do monitorowania stanu technicznego maszyn górniczych w warunkach niestabilnych, w tym podczas rozruchu? Obciążenia i ujawnienia niesprawności są znacznie większe dla tych stanów pracy.
3. Jak jest interpretacja fizyczna „sub-signals”, które są podstawą w proponowanej metodzie selektorów statystycznych?
4. Czy rozważano możliwość zastosowania innych przekształceń czasowo-częstotliwościowych w proponowanych metodach, np. CWT, WVD?
5. Dlaczego założono, że składowa sygnału skorelowana z uszkodzeniem ma charakter impulsowy? Czy istnieją możliwości innych zaburzeń sygnału drganiowego, które będą symptomami uszkodzenia?
6. Jakie może być znaczenie i rola opracowanej metody po implementacji do systemów monitorowania stanu technicznego maszyn górniczych?
7. Jakie są ograniczenia stosowania opracowanej metody?

Pozostałe uwagi językowe, gramatyczne i redakcyjne (w tym błędna kolejność w spisie literatury poz. 2-5) zaznaczyłem na otrzymanym egzemplarzu i nie mają one istotnego znaczenia dla wartości merytorycznej pracy.

5. Konkluzja

Opiniowana rozprawa doktorska mgr. Grzegorza Żaka wyróżnia się pod względami jakości prowadzonych rozważań analitycznych oraz weryfikacji na drodze symulacji numerycznych i badań eksperymentalnych na obiekcie rzeczywistym. Realizacja określonych etapów pracy oraz uzyskane wyniki potwierdzają poprawność przyjętej metodyki postępowania zmierzającej do osiągnięcia określonego celu. Pozwala to na wnioskowanie o umiejętności i dojrzałości mgr. Grzegorza Żaka w prowadzeniu badań naukowych oraz rzetelnym opanowaniu „warsztatu badawczego”.

Należy jednoznacznie stwierdzić, że opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie przez Doktoranta problemu naukowego i świadczy o jego dużej ogólnej wiedzy teoretycznej oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska. Dodatkowo należy podkreślić użyteczny charakter dysertacji co umożliwia ekstrakcję jej rezultatów do wielu obszarów inżynierskich.

Z uwagi na poruszaną w rozprawie tematykę przeanalizowałem także dorobek naukowy Autora, który jest imponujący jak na młodego pracownika nauki. Aż 8 z 16 opublikowanych artykułów to prace w czasopismach z listy filadelfijskiej. Wskazuje to, że problematyka pracy badawczej Pana mgr. Grzegorza Żaka jest aktualna, a jej wyniki znajdują uznanie recenzentów poczytnych czasopism międzynarodowych.

Przedstawione uwagi nie mają większego wpływu na fakt samodzielnego zrealizowania przez Autora zadania naukowo-badawczego. Do rozwiązania zagadnienia Doktorant wykazał się wiedzą z analizy sygnałów, wykorzystał poprawnie dobrane metody badawcze wykazując się umiejętnością prowadzenia eksperymentu oraz skutecznie przeprowadził weryfikację opracowanych metod.

Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr. Grzegorza Żaka pt. „*Local damage detection methods in mining machines in the presence of non-Gaussian noise*” spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki. Może zatem służyć jako podstawa do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych. W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie mgr. Grzegorza Żaka do publicznej obrony opiniowanej rozprawy jako dzieła w zakresie dyscypliny górnictwo i geologia inżynierska.

Jednocześnie z uwagi na moją bardzo dobrą ocenę rozprawy, wysoce nowatorski charakter i międzynarodowy poziom osiągniętych wyników (o czym świadczy poziom publikowanych prac Doktoranta) i użyteczne znaczenie oraz dojrzałość i rzetelność badawczą Kandydata, wnoszę wniosek do Wysokiej Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej o wyróżnienie przedmiotowej rozprawy doktorskiej.