

Katowice, 06.02.2023r.

Dr hab. inż. Rafał Burdzik, prof. PŚ  
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej  
Politechnika Śląska  
40-019 Katowice  
Ul. Krasińskiego 8

**Recenzja rozprawy doktorskiej  
mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz**

pt.

***„Modelowanie procesów w górnictwie i geologii z wykorzystaniem procesów  
stochastycznych”***

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo nr RDND08/165/2022 z dnia 22.12.2022 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej dr. hab. inż. Roberta Króla, prof. uczelni.

Recenzja została opracowana w odniesieniu do następujących aktów prawnych:

- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.).

**1. Ocena aktualności tematu rozprawy oraz poprawności sformułowanych celu i hipotezy**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska została opracowana jako obszerny autoreferat zawierającego podsumowanie przeprowadzonych badań oraz otrzymanych wyników. Do rozprawy Autorka dołączyła teksty źródłowe wszystkich publikacji współautorskich, na które powołuje się w autoreferacie. Z uwagi na fakt, że w przypadku wszystkich przytoczonych publikacji Doktorantka jest jedną z współautorów należy uznać, że w autoreferacie przedstawiono autorski wkład Pani

mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz w dołączonych publikacjach, który podlega dalszej ocenie.

Tematyka rozprawy doktorskiej obejmuje zagadnienia związane z procesami związanymi z analizą drgań układów napędowych, wentylacją kopalń, zarządzaniem efektywnością pracy samojezdnych maszyn dołowych oraz aktywnością górotworu. Tak szerokie spektrum tematyczne wskazuje na potencjał aplikacyjny opracowanych metod i modeli w górnictwie. Każdy z poruszanych obszarów jest niezwykle istotny w eksploatacji i zarządzaniu w górnictwie. Skuteczne metody diagnostyki maszyn górniczych wpływają na poprawę ich eksploatacji i niezawodności oraz bezpieczeństwo operatorów. Badania stężeń siarkowodoru i tlenu węgla, są niezwykle ważne w aspekcie metod wentylacji kopalń i determinują bezpieczeństwo pracy górników. Detekcja fal sejsmicznych umożliwia monitorowanie zagrożeń, których skutki są drastyczne. Dodatkowo zaproponowane w rozprawie wskaźniki identyfikacji cykli pracy maszyny umożliwiają ocenę efektywności pracy samojezdnych maszyn dołowych. Warto podkreślić, że problematyka podjęta w rozprawie jest bardzo przydatna i uwzględnia tendencję cyfryzacji kopalni. **Wszystko to sprawia, że ocena aktualności tematyki podjętej w rozprawie doktorskiej jest jednoznacznie pozytywna.**

Przeprowadzone badania zostały zrealizowane w ramach interdyscyplinarnego programu badawczego Interdok, którego celem jest łączenie różnych dziedzin naukowych, w tym przypadku matematyki oraz górnictwa. Badania przedstawione w rozprawie doktorskiej miały na celu modelowanie procesów w górnictwie i geologii z wykorzystaniem teorii procesów stochastycznych. W pełni uzasadnia to konieczność dwóch promotorów rozprawy doktorskiej, Pani dr hab. inż. Agnieszki Wyłomańskiej, prof. uczelni oraz Pana prof. dr hab. inż. Radosława Zimroza. Pani prof. Wyłomańska jest uznanym matematykiem i posiada w swoim dorobku liczne osiągnięcia w zakresie opracowania metod matematycznych w zastosowaniach inżynierskich. Z kolei Pan prof. Zimroz jest wieloletnim pracownikiem Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska i posiada wybitny dorobek naukowy i projektowy w tym zakresie.

Na podstawie przeprowadzonej analizy należy stwierdzić, że rozprawa ma charakter interdyscyplinarny. Biorąc pod uwagę objekty i zakres badań oraz obszar potencjalnych zastosowań jednoznacznie można stwierdzić, że **tematyka oraz zakres rozprawy pozwala zakwalifikować ją do Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.**

Doktoranta w załączonych publikacjach przedstawiła jawny matematyczny zapis opracowanych metod i modeli analitycznych oraz ich weryfikację na podstawie rzeczywistych danych pomiarowych w naturalnych warunkach eksploatacji kopalni. **W tym kontekście temat rozprawy należy uznać za aktualny, interesujący poznawczo i o dużym znaczeniu utylitarnym.**

Cele i hipotezy badawcze przedstawiono w rozdziale 2. Jako główny cel Doktorantka określa „*opracowanie metod umożliwiających modelowanie procesów technologicznych z wybranych obszarów w górnictwie z wykorzystaniem teorii procesów stochastycznych i metod statystycznych*”. Dodatkowo zdefiniowano cele szczegółowe związane z efektywnością i bezpieczeństwem pracy maszyn (cele szczegółowe 1 i 4, str. 27) oraz z bezpieczeństwem pracy górników (zagrożenia sejsmiczne i gazowe - cele szczegółowe 2 i 3, str. 27). Tak przyjęty podział celów szczegółowych umożliwia precyzyjne zaplanowanie badań.

Doktorantka sformułowała także hipotezę badawczą, jako „*procesy technologiczne i naturalne w górnictwie można opisać za pomocą modeli procesów losowych z wykorzystaniem zaawansowanych metod statystycznych*”. Główna hipoteza, została podzielona na kilka hipotez szczegółowych.

Wszystkie zdefiniowane hipotezy badawcze mają swoje źródło w realnych potrzebach górniczych, co szczególnie podkreśla słuszność podjętej tematyki dla dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

**Uważam, że cel i hipoteza pracy są poprawnie sformułowane i mają charakter twórczy.**

## **2. Struktura i charakterystyka rozprawy**

Rozprawa doktorska została opracowana w formie rozbudowanego autoreferatu zawierającego podsumowanie przeprowadzonych badań oraz otrzymanych wyników. Autoreferat liczy 123 strony formatu A4, zawiera streszczenie w języku polskim oraz angielskim, w tym wykaz cyklu 12 publikacji, których teksty źródłowe dołączyła Doktorantka. Pani mgr inż. Justyna Hebda-Sobkowicz jest jedną z współautorów, zatem należy uznać, że w autoreferacie przedstawiła ona swój autorski wkład, który stanowi podstawę oceny jej osiągnięcia naukowego. Dlatego w dalszej części recenzji użyto sformułowania „rozprawa doktorska” zamiast autoreferat.

Rozprawa doktorska została podzielona na 5 rozdziałów i 21 podrozdziałów. Bibliografia zawiera 142 pozycje. Dodatkowo zamieszczono spis rysunków (52 rysunki) oraz spis tabel (2 tabele).

Autoreferat został przygotowany w czytelny i logiczny sposób, we wstępie starannie wprowadzono w tematykę rozprawy doktorskiej oraz szczegółowo opisano cel i zakres pracy badawczej oraz jasno sformułowano hipotezy badawcze.

W pierwszym rozdziale opisano wybrane procesy technologiczne i naturalne w górnictwie w aspekcie problematyki poruszanej w rozprawie. W syntetyczny sposób w kolejnych podrozdziałach opisano obszary badawcze: diagnostykę maszyn górniczych, zagrożenia gazowe w kopalni podziemnej, zagrożenia sejsmiczne i eksploatację maszyn dołowych. Rozdział drugi poświęcony jest sformułowaniu celów i hipotez badawczych oraz przedstawia zakres pracy. W rozdziale trzecim przedstawiono metody badawcze. Pełny opis metodyki poszczególnych etapów pracy badawczej przedstawiony jest w publikacjach stanowiących integralną część opiniowanej rozprawy doktorskiej. W rozdziale czwartym przedstawiono i omówiono najważniejsze wyniki dotyczące przeprowadzonych badań. Każdy z przedstawionych obszarów tj.: obszar diagnostyka i ocena efektywności pracy maszyn górniczych, obszar wentylacja i zagrożenia gazowe oraz obszar sejsmika opiera się przede wszystkim na analizie danych rzeczywistych. Dokładne pochodzenie danych wykorzystywanych w analizach także opisano w treściach publikacji dołączonych do rozprawy. Ostatnim numerowanym rozdziałem rozprawy doktorskiej jest rozdział piąty, który zawiera najbardziej istotne wnioski, które jednoznacznie potwierdzają osiągnięcie celu i pozytywną weryfikację hipotezy badawczej wskazując, że procesy

stochastyczne zostały z powodzeniem wykorzystane do opisu zjawisk zachodzących w górnictwie i geologii.

### **3. Ocena rozprawy**

Merytoryczna ocena opiniowanej rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz jest bardzo dobra. Podjęta tematyka jest ważna i ma charakter interdyscyplinarny i aplikacyjny. Pod względem rozważań teoretycznych i zastosowań praktycznych wnosi wkład w dyscyplinę naukową inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, zaś jej użyteczny charakter może znaleźć zainteresowanie w obszarach inżynierii mechanicznej, eksploatacji i diagnostyki technicznej oraz matematyce stosowanej i przetwarzaniu sygnałów. Na szczególną uwagę zasługuje wysoki poziom w zakresie sformalizowania metod analitycznych i ich weryfikacji na podstawie badań na obiektach rzeczywistych, co stanowi dużą wartość opiniowanej rozprawy.

Przedstawiając główne obszary badawcze Doktorantka przedstawia szczegółowy opis problemu badawczego oraz dedykowane rozwiązanie, wykorzystujące metody matematyczne. Obszary te charakteryzują się inną specyfiką zjawisk, co wymagało od Doktorantki indywidualnego podejścia i dogłębnej analizy oraz zrozumienia podstaw pracy w kopalni oraz obszernego przeglądu literaturowego, aż w czterech różnych obszarach górnictwa.

Pierwszy obszar dotyczący diagnostyki maszyn obejmuje zakres tematyczny sześciu (połowa z dwunastu) artykułów dołączonych do rozprawy. Wszystkie z nich są wysoko punktowane (w tym dwie prace za 200 pkt. oraz cztery za 100 pkt.). Kolejne dwa artykuły opublikowane w czasopiśmie 200-punktowym dotyczą obszaru wentylacji i zagrożeń gazowych. Artykuł poświęcony zagadnieniom sejsmicznym opublikowano w czasopiśmie 70-punktowym. Kolejne trzy artykuły z obszaru związanego z zarządzaniem efektywnością pracy samojezdnych maszyn dołowych to artykuły konferencyjne.

Zdecydowanie najwięcej miejsca w rozprawie Autorka poświęca pierwszemu obszarowi i diagnostyce maszyn górniczych. Jako sygnały pomiarowe stanowiące źródło wiedzy, którą za pomocą opracowanych metod Doktoranta stara się wydobyć,

wykorzystano sygnały drganiowe. Sygnały o zmiennych w czasie charakterystykach utrudniają analizę, przez co wymagają zaawansowanych metod matematycznych, które umożliwiają identyfikację komponentów sygnału, które niosą przydatną informację o stanie maszyny. W rozprawie zaproponowano innowacyjne podejścia uwzględniające różne metody matematyczne, które zostały podzielone na trzy grupy algorytmów. Pierwsze podejście uwzględnia tylko impulsową charakterystykę uszkodzenia - tutaj zaproponowano nowatorską statystykę CVB, która skutecznie identyfikuje częstotliwość nośną uszkodzenia, wykorzystując do tego czasowo-częstotliwościową reprezentację sygnału. Wyniki porównano ze znanymi metodami, których wyniki publikowane są w artykułach naukowych innych autorów. Jako podstawę kolejnej metody wykorzystano cykliczną charakterystykę symptomów uszkodzenia. Doktorantka Zaproponowała wykorzystanie bardziej odpornych miar zależności, niż powszechnie znana i stosowana miara Pearsona, do wykrywania cykli w czasowo-częstotliwościowej reprezentacji sygnału. Badania w tym zakresie pokazują użyteczność innych miar, takich jak miara Spearmana, Kendalla, Quadrant oraz szczegółowo opisaną procedurę zastosowania do znajdowania informacyjnego pasma częstotliwości z wykorzystaniem map korelacji bazujących na proponowanych miarach. Jako kolejną metodę zaproponowano wykorzystanie zaawansowanego narzędzia diagnostycznego, jakim jest infogram. Badania przeprowadzone w tym zakresie ujawniły wady i zalety tej metody wraz z propozycją modyfikacji i udoskonalenia, które znacząco poprawiły jego skuteczność dla sygnałów z niegasusowskim szumem. Warto podkreślić, że publikacja dotycząca tej tematyki została napisana w współautorstwie prof. Jerome Antonii, który jest jednym z największych autorytetów na świecie w diagnostyce maszyn i w zastosowaniu teorii procesów cyklo-stacjonarnych.

Następnie w rozprawie przedstawiono dokładne rozpoznanie problemu oraz wykazano znajomość zaawansowanych metod matematycznych wykorzystanych do modelowania procesów w obszarze wentylacji. Zagrożenia gazowe w kopalniach stanowią poważny problem, w szczególności dla życia, jak i bezpiecznych warunków pracy górników. Dokładne rozpoznanie zagrożeń i opis oraz modelowanie stanowi istotny problem badawczy. Znajomość modelu teoretycznego stężeń gazów w kopalni

podziemnej (w tym wypadku tlenku węgla i siarkowodoru) jest niezwykle istotne z punktu widzenia alarmowania górników o niebezpieczeństwie oraz prognozowania zmienności stężeń tych gazów. Opracowana metodologia dotycząca modelu stężenia siarkowodoru składa się z trzech niezależnych algorytmów, które zostały porównane. Docelowy model jest wypadkową tych trzech metod. Model zmienności siarkowodoru, który zawiera silny komponent deterministyczny, został porównany z reżimem pracy wentylatorów, co pozwoliło wykryć istnienie silnej korelacji w obecności tego groźnego gazu w przestrzeni wyrobisk górniczych oraz powiązanie jego wzrostów z harmonogramem pracy wentylatorów. Dotychczas siarkowódór jako gaz o pochodzeniu naturalnym był traktowany jako proces głównie losowy. Przeprowadzone badania udowodniły, że jego zmienność jest powtarzalna i może być przewidywalna. W przypadku modelowania zmienności stężenia tlenku węgla przedstawiona analiza statystyczna umożliwiła ocenę bezpieczeństwa pracy w kopalni po dokonanych robotach strzałowych. Zaproponowany model zmienności stężenia tlenku węgla umożliwia prognozowanie czasu oczekiwania na uzyskanie bezpiecznego poziomu stężenia tlenku węgla, co jest szczególnie ważne dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy przestrzeni roboczej górników. Wnioski uzyskane z przeprowadzonej analizy danych stężenia szkodliwych gazów mogą mieć szczególne znaczenie dla inżynierów odpowiedzialnych za wentylację wyrobisk.

W pozostałych dwóch obszarach Doktorantka zaproponowała nowe algorytmy poprawiające skuteczność procedur w zakresie wykrywania fali sejsmicznej (tzw. fali P), czy też w zakresie monitorowania efektywności pracy samojezdnych maszyn górniczych.

W rezultacie Doktorantka udowodniła osiągnięcie założonego celu i potwierdziła przyjęte w rozprawie hipotezy.

Zaproponowane w rozprawie i publikacjach metody przetwarzania różnych danych pomiarowych zostały precyzyjnie zdefiniowane w sposób uniwersalny, umożliwiając otworzenie dla zaktualizowanych danych. W rozprawie przedstawiono ciekawe podejście rozwiązania problemów badawczych, pokazujące że interdyscyplinarne badania i współpraca w obszarach nauk podstawowych i technicznych przynosi nadszpiewanie dobre efekty.

Opiniowana Rozprawa doktorska jest oryginalna i zawiera autorskie rozwiązania wielu istotnych problemów inżynierskich, związanych z czterema obszarami górnictwa. Jako najbardziej istotne osiągnięcia przedstawione w rozprawie i załączonych publikacjach należy wskazać:

- opracowanie nowych, automatycznych algorytmów wykrywania lokalnych uszkodzeń w maszynie górniczej, na przykładzie kruszarki rudy miedzi,

- opracowanie modeli zmienności stężeń niebezpiecznych gazów w kopalni podziemnej dla wybranych gazów tj. tlenek węgla oraz siarkowodór,

- opracowanie automatycznego algorytmu wykrywania fali sejsmicznej, dokładnie fali podłużnej tzw. fali P,

- opracowanie nowego algorytmu identyfikacji cykli pracy maszyny górniczej na przykładzie wozu odstawczego.

Doktorantka nie ustrzegła się 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. Istnieje duża dysproporcja pomiędzy poziomem szczegółowości oraz zakresem badań pomiędzy omawianymi obszarami. Pomimo, że w rozprawie wskazano, że najwięcej badań dotyczy zagadnień związanych z diagnostyką maszyn to forma w jakiej napisano autoreferat, z podziałem na 4 podrozdziały o tej samej wadze daje czytelnikowi duży niedosyt w kontekście pozostałych trzech obszarów.

2. W rozprawie i publikacjach z zakresu diagnostyki maszyn skupiono się głównie na analizie sygnałów z kruszarki rudy miedzi. Dlaczego ograniczono się do tej maszyny?

3. Czy Doktorantka prowadziła badania innych maszyn tj. przesiewacz, koparki, taśmy itp.? Jakie są możliwości i ograniczenia w zakresie zastosowania opracowanych metod diagnostycznych dla innych maszyn i uszkodzeń?

4. Czy w przypadku czasowo-częstotliwościowej dekompozycji sygnałów stosowano także inne przekształcenia niż STFT?
5. Jaka jest interpretacja fizyczna (lub techniczna) reguły zwanej równowagą rozproszenia - Reguła 20/60/20 oraz czy przekształcenia z dziedziny czasu do rozkładu TFR nie zaburza tej reguły?
6. Jaki jest związek pomiędzy zjawiskami negentropii a impulsowością w kontekście efektów uszkodzeń?
7. Jakie są metody i kryteria szacowania wag w propozycji modyfikacji infogramu?
8. Rozprawa doktorska została napisana w języku polskim, dlaczego zatem w opisie rysunków i schematów zastosowano pisownię w języku angielskim?

Pozostałe uwagi językowe, gramatyczne i redakcyjne zaznaczyłem na otrzymanym egzemplarzu i nie mają one istotnego znaczenia dla wartości merytorycznej pracy.

## **5. Konkluzja**

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz wyróżnia się pod względami jakości prowadzonych rozważań analitycznych oraz weryfikacji na drodze badań eksperymentalnych na obiektach rzeczywistym w trudnych warunkach pracy maszyn górniczych. Całość rozprawy pokazuje logiczny i prawidłowy tok postępowania, charakterystyczny do prowadzenia badań naukowych. Pozwala to na wnioskowanie o umiejętności i dojrzałości mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz w planowaniu i realizacji eksperymentów badawczych. **Należy jednoznacznie stwierdzić, że opiniowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie przez Doktorantkę problemu naukowego i świadczy o jej dużej ogólnej wiedzy teoretycznej oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.** Dodatkowo należy podkreślić użyteczny charakter dysertacji co umożliwi ekstrakcję jej rezultatów do wielu obszarów inżynierskich.

Opiniowana rozprawa doktorska prezentuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników badań we

wskazanych obszarach działalności górniczej. Ponadto należy zwrócić uwagę, że opracowane metody z wykorzystaniem teorii procesów stochastycznych i metod statystycznych posiadają duży potencjał aplikacyjny także w innych obszarach pozatechnicznych.

Z uwagi na charakter rozprawy i formę autoreferatu należy także przeprowadzić ocenę dorobku publikacyjnego Doktorantki. Pani mgr inż. Justyna Hebda-Sobkowicz jest współautorką siedemnastu opublikowanych artykułów, z czego dwanaście stanowi główny temat rozprawy, w tym trzy o najwyższej punktacji 200 pkt. według listy ministerialnej. Dodatkowo na wyróżnienie zasługują jej bardzo dobre wskaźniki biblio-metryczne. Liczba cytowań według Web of Science wynosi 42 (bez autocytowań), h-index wynosi 6. W bazie scopus to aż 115 cytowań i h-index 5. Należy podkreślić, że zdecydowana większość artykułów stanowiących dorobek naukowy Doktorantki to publikacje w bardzo renomowanych czasopismach, w których stosuje się tzw. „peer review”, czyli anonimowy proces recenzowania z zachowaniem najwyższych standardów i wysokich wymagań. Potwierdza to bardzo wysoki poziom tych publikacji oceniany przez niezależne grono ekspertów z całego świata. Tak znaczący dorobek dla tak młodej osoby, rozpoczynającej pracę naukową, pozwala bardzo optymistycznie spoglądać na dalszy rozwój naukowy Pani mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz.

Przedstawione uwagi nie mają większego wpływu na fakt samodzielnego zrealizowania przez Doktorantkę zadania naukowo-badawczego. Do rozwiązania zagadnienia Doktoranta wykazała się wiedzą z matematyki, wykorzystwała poprawnie dobrane metody badawcze oraz skutecznie przeprowadziła weryfikację opracowanych metod.

**Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz pt. „Modelowanie procesów w górnictwie i geologii z wykorzystaniem procesów stochastycznych” spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.). Może zatem służyć jako podstawa do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatce stopnia doktora nauk technicznych. W związku z powyższym stawiam wniosek o dopuszczenie Pani mgr inż. Justyny Hebdy-**

**Sobkowicz do publicznej obrony opiniowanej rozprawy jako dzieła w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.**

**Jednocześnie z uwagi na moją bardzo dobrą ocenę rozprawy, wysoce nowatorski charakter i międzynarodowy poziom osiągniętych wyników oraz wyróżniający się dorobek naukowy Kandydatki, składam wniosek do Wysokiej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej o wyróżnienie przedmiotowej rozprawy doktorskiej.**

*Krzysztof Bmowski*