

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz

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

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki dr hab. inż. Roberta Króla, prof. uczelni z dnia 22.12.2022 (nr RDND08/166/2022).

### 1. Wprowadzenie

Rozprawa doktorska stanowi formę cyklu publikacji których wyniki badań były finansowane z dotacji celowej przyznanej dla Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej oraz ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego i Europejskiego Instytutu Innowacji i Technologii na podstawie umowy partnerskiej z Operational Monitoring of Mineral Crushing Machinery. Na rozprawę doktorską składają się wyniki badań opublikowane w następujących pracach:

*Informative frequency band selection in the presence of non-Gaussian noise—a novel approach based on the conditional variance statistic with application to bearing fault diagnosis*, Justyna Hebda-Sobkowicz, Radosław Zimroz, Marcin Pitera, Agnieszka Wyłomańska, Mechanical Systems and Signal Processing 145:106971, 2020. Punktacja MEiN z 2019-2021: 200. Lista Filadelfijska. Impact Factor: 06.823 (2020).

*Infogram performance analysis and its enhancement for bearings diagnostics in presence of non-Gaussian noise*, Justyna Hebda-Sobkowicz, Radosław Zimroz, Agnieszka Wyłomańska, Jerome Antoni, Mechanical Systems and Signal Processing 170:108764, 2022. Punktacja MEiN z 2019-2021: 200. Lista Filadelfijska. Impact Factor: 08.934 (2021)

*Pattern of H<sub>2</sub>S concentration in a deep copper mine and its correlation with ventilation schedule*, Justyna Hebda-Sobkowicz, Sebastian Gola, Radosław Zimroz, Agnieszka Wyłomańska, Measurement 140:373-381, 2019. Punktacja MEiN z 2019-2021: 200. Lista Filadelfijska. Impact Factor: 03.364 (2019).

*Local defect detection in bearings in the presence of heavy-tailed noise and spectral overlapping of informative and non-informative impulses*, Jakub Nowicki, Justyna Hebda-Sobkowicz, Radosław Zimroz, Agnieszka Wyłomańska, Sensors, 20(22):6444, 2020. Punktacja MEiN z 2019-2021: 100. Lista Filadelfijska. Impact Factor: 03.576 (2020)

*Identification and statistical analysis of impulse-like patterns of carbon monoxide variation in deep underground mines associated with the blasting procedure*, Justyna Hebda-Sobkowicz, Sebastian Gola, Radosław Zimroz, Agnieszka Wyłomańska, *Sensors*, 19(12):2757, 2019. Punktacja MEiN z 2019-2021: 100. Lista Filadelfijska. Impact Factor: 03.275 (2019).

*Selection of the informative frequency band in a bearing fault diagnosis in the presence of non-Gaussian noise – comparison of recently developed methods*, Justyna Hebda-Sobkowicz, Radosław Zimroz, Agnieszka Wyłomańska, *Applied Sciences* 10(8):2657, 2020. Punktacja MEiN z 2019-2021: 100. Lista Filadelfijska. Impact Factor: 02.679 (2020).

*Alternative measures of dependence for cyclic behaviour identification in the signal with impulsive noise – application to the local damage detection*, Justyna Hebda-Sobkowicz, Jakub Nowicki, Radosław Zimroz, Agnieszka Wyłomańska, *Electronics* 10(15):1863, 2021. Punktacja MEiN z 2019-2021: 100. Lista Filadelfijska. Impact Factor: 02.690 (2021).

*Dependency measures for the diagnosis of local faults in application to the heavy-tailed vibration signal*, Jakub Nowicki, Justyna Hebda-Sobkowicz, Radosław Zimroz, Agnieszka Wyłomańska, *Applied Acoustics* 178:107974, 2021. Punktacja MEiN z 2019-2021: 100. Lista Filadelfijska. Impact Factor: 03.614 (2021).

*Combination of Principal Component Analysis and Time-Frequency Representation for P-Wave Arrival Detection*, Jacek Wodecki, Justyna Hebda-Sobkowicz, Adam Mirek, Radosław Zimroz, Agnieszka Wyłomańska, *Shock and Vibration*, 2019:5961073, 2019. Punktacja MEiN z 2019-2021: 70. Lista Filadelfijska. Impact Factor: 01.298 (2019).

*Analysis of dynamic external loads to Haul Truck machine subsystems during operation in a deep underground mine*, Paweł Śliwiński, Tomasz Kaniewski, Justyna Hebda-Sobkowicz, Radosław Zimroz, Agnieszka Wyłomańska, *Mining goes Digital: Proceedings of the 39th International Symposium 'Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry'*. CRC Press, s. 515-524, 2019. Poziom wydawcy z wykazu MEiN: 1.

*Selection of variables acquired by the onboard monitoring system to determine operational cycles for haul truck vehicle*, Paweł Śliwiński, Marek Andrzejewski, Tomasz Kaniewski, Justyna Hebda-Sobkowicz, Radosław Zimroz, *Mining goes Digital: Proceedings of the 39th International Symposium 'Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry'*. CRC Press, s. 525-533, 2019. Poziom wydawcy z wykazu MEiN: 1.

*Mobile based vibration monitoring and its application to road quality monitoring in deep underground mine*, Radosław Zimroz, Jacek Wodecki, Justyna Hebda-Sobkowicz, Agnieszka Wyłomańska, Paweł Stefaniak, Paweł Śliwiński, Tomasz Kaniewski, *Vibroengineering Procedia*, 19:153-158, 2018. Punktacja spoza listy MNiSW: 001.

Przedmiotowa recenzja do rozprawy doktorskiej została wykonana zgodnie z obowiązującymi wymogami Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w art. 187 pkt. 3 - *Rozprawę doktorską może stanowić praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej.*

W związku z powyższym, stwierdzam że przedstawiona rozprawa doktorska do recenzji spełnia wymogi ustawy oraz mieści się w zakresie merytorycznym w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

## 2. Podjęty problem badawczy

Ogólnym celem rozprawy było opracowanie metod umożliwiających modelowanie matematyczne opisujące wybrane procesy technologiczne zachodzące w górnictwie miedzi. W tym zakresie pozyskano dane rzeczywiste pochodzące z kopalń KGHM S.A. które uwzględniły sygnały drganiowe, dane z pokładowych systemów monitorowania maszyn, dane dotyczące stężenia gazów, czy też sygnały sejsmiczne.

Podjęty problem badawczy został podzielony na cztery obszary:

- 1) Procesy związane z analizą drgań układów napędowych,
- 2) Wentylacji kopalń,
- 3) Zarządzaniem efektywnością pracy samojezdnych maszyn dołowych.
- 4) Aktywność górotworu – wykrywanie fali podłużnej (P) w sygnałach sejsmicznych

Postawiona hipotez skupia się na *opracowaniu metod umożliwiających modelowanie procesów technologicznych z wybranych obszarów w górnictwie z wykorzystaniem teorii procesów stochastycznych i metod statystycznych*. Powyższa sformułowana teza jest dość ogólna i opisowa. Jej szczegółową weryfikację podano w czterech poniższych punktach:

- a) Przetwarzanie i analizę sygnałów drganiowych na potrzeby wykrywania uszkodzeń elementów układów napędowych w maszynach górniczych.
- b) Modelowanie zmienności stężenia niebezpiecznych gazów (tlenek węgla, siarkowodor) w wybranej głębokiej kopalni rud miedzi.
- c) Modelowanie i analiza sygnału sejsmicznego na potrzeby wykrywania fali P.
- d) Analiza pracy maszyn dołowych.

Postawiona przez Doktorantkę hipoteza badawcza została podzielona na kilka hipotez szczegółowych:

**H1)** Wykorzystanie warunkowej wariancji w algorytmie wykrywania lokalnych uszkodzeń w maszynach wykazuje lepszą skuteczność od popularnych metod diagnostycznych, w szczególności dla sygnałów z niegaussowskim szumem.

**H2)** Alternatywne miary uśredniania zastosowane do adaptacji infogramu poprawiają jego skuteczność diagnostyczną, w szczególności dla sygnałów z szumem niegaussowskim.

**H3)** Alternatywne miary zależności tj. korelacja Spearmana, Kendalla oraz Quadrant mogą być skutecznie wykorzystywane do tworzenia map podobieństwa, na potrzeby wykrywania lokalnych uszkodzeń w przypadku sygnałów o niegaussowskim charakterze.

**H4)** Spektralne nakładanie się pasm impulsów cyklicznych (lokalne uszkodzenie) oraz niecyklicznych (impulsy związane z technologią pracy maszyny) ma wpływ na skuteczność procedur diagnostycznych.

**H5)** Procesy eksploatacyjne znacząco wpływają na zmienność stężenia siarkowodoru. Zmienność tego procesu nie jest wyłącznie losowa i można ją opisać modelem deterministycznym. Praca wentylatorów głównych powoduje zwiększone wydzielanie  $H_2S$  z górotworu. Poprzez zastosowanie odpowiednich metod matematycznych i przetwarzania danych możliwe jest wykazanie tej zależności.

**H6)** Stężenie tlenu węgla związane z procedurą strzelania może być modelowane za pomocą mieszaniny deterministyczno-losowej. Wykryte gwałtowne wzrosty stężenia tlenu węgla w wybranej kopalni rudy miedzi są w większości związane z techniką urabiania skał za pomocą materiałów wybuchowych.

**H7)** Wykorzystanie reprezentacji czasowo-częstotliwościowej i następnie zastosowanie algorytmu PCA do redukcji wymiarów/złożoności analizowanych danych pozwala na bardziej precyzyjne wykrycie fali P niż klasyczna metoda LTA/STA, operująca w dziedzinie czasu.

**H8)** Analiza sygnału drganiowego z maszyny pozwala oszacować zmianę jakości nawierzchni po której się porusza.

**H9)** Na podstawie innych wskaźników niż ciśnienie oleju hydraulicznego można wyznaczyć cykle pracy wozu odstawczego.

Wynikiem praktycznym uzyskanym w pracy jest opisanie zjawisk zachodzących w górnictwie i geologii miedzi w oparciu o procesy stochastyczne. W tym celu zastosowano zaawansowane metody matematyczne. Przedstawione wyniki badań oraz ich analiza odnosiły się do rzeczywistych problemów. Uzyskane wyniki badań stanowią gotowość z możliwością ich wdrożenia przez kopalnię KGHM S.A.

### **3. Ogólna charakterystyka rozprawy**

Jak wskazała Doktorantka w rozprawie doktorskiej, że wyniki uzyskanych badań opublikowano w 12 pracach w tym 9 założyło się na liście filadelfijskiej.

**Rozdział 1** przedstawia wybrane procesy technologiczne i naturalne w górnictwie. Stanowi wprowadzenie do modelowania procesów w górnictwie i geologii z wykorzystaniem teorii procesów stochastycznych. W rozdziale 1.1. Doktorantka opisała diagnostykę maszyn górniczych w których podkreśliła że awaria nawet niewielkich komponentów maszyn może pociągnąć za sobą awarię kolejnych podzespołów, czego konsekwencją jest bardzo kosztowny przestój w pracy lub narażone jest bezpieczeństwo pracy górników. Na podstawie uzyskanych wyników opisanych w pracach [A1, A2, A4, A6, A7, A8] Doktorantka skupiła się na analizie danych drganiowych pochodzących z łożyska kruszarki rudy miedzi. W rozdziale 1.2. dotyczącym zagrożenia gazowego w kopalni głębinowej rudy miedzi odniesiono się do dwóch niebezpiecznych gazów: siarkowodoru oraz tlenu węgla. W celu uzyskania podstawowej wiedzy Doktorantka dokonał analizy i modelowania w oparciu o zebrane dane historyczne. Co zostało opisane w pracach [A3 i A5]. Rozdział 1.3. dotyczy zagrożeń sejsmicznych. W przeprowadzonych badaniach Doktorantka skupiła się na technice wykrywania fali P. Jak opisała w pracy [A9] głównym celem jest automatyczne wykrycie fali P z wysoką dokładnością i w jak najszybszym czasie. Ponieważ może się to bezpośrednio przełożyć na precyzyjną ocenę zagrożenia czyli zlokalizowania energii wstrząsu. W rozdziale 1.4. opisano analizę pracy maszyn dołowych. Doktorantka w przeprowadzonych badaniach

omówiła w jaki sposób przekształcić surowe dane z pokładowego systemu monitoringu wozów odstawczych w operacyjną informację o efektywności produkcji. Z przeprowadzonych badań [A11] zaproponowała alternatywne podejście, które pozwoliło na identyfikację cykli pracy, z wykorzystaniem ziemnych opisujących prace maszyny. Doktorantka w oparciu o przeprowadzony eksperyment opisany w pracy [A12] podjęła próbę identyfikacji zmiany jakości nawierzchni dróg dojazdowych w kopalni podziemnej na podstawie analizy drgań opisanej w pracy [A10]. Pozwoliła na wstępną ocenę dróg dojazdowych w kopalni podziemnej.

**W rozdziale 2** Doktorantka formuje cele, hipotezy badawcze oraz zakres rozprawy.

Celem rozprawy jest *opracowanie metod umożliwiających modelowanie procesów technologicznych z wybranych obszarów w górnictwie z wykorzystaniem teorii procesów stochastycznych i metod statystycznych*. Doktorantka stawia hipotezę badawczą: *procesy technologiczne i naturalne w górnictwie można opisać za pomocą modeli procesów losowych z wykorzystaniem zaawansowanych metod statystycznych*, którą następnie poddała weryfikacji. Zakres pracy skupia się na analizie danych symulacyjnych oraz rzeczywistych pochodzących z wybranych obszarów w górnictwie. Największą uwagę w rozprawie skupiono na diagnostyce maszyn.

**W rozdziale 3** Doktorantka opisuje metodykę badawczą która została zrealizowana w oparciu o:

- rachunek prawdopodobieństwa i teorię procesów stochastycznych, rozkłady prawdopodobieństwa, w szczególności teoria rozkładów  $\alpha$ -stabilnych oraz innych rozkładów niegaussowskich;
- analizę matematyczną, pochodne funkcji, szeregi czasowe oraz analiza Fouriera;
- miarę zależności, w szczególności współczynnik korelacji liniowej Pearsona, współczynnik korelacji rang Spearmana oraz rang Kendalla, korelacja Quadrant, kowariancja, kodyferencja;
- algorytmikę, metodę Monte Carlo;
- metodę statystyczną, analizę czynnikową, w tym analiza głównych składowych, metody klasteryzacji;
- statystykę nieparametryczną, teorię estymacji, (estymator jądrowy gęstości, test Kołmogorowa-Smirnowa), wnioskowanie statystyczne.

**Rozdział 4** odnosi się do metody i wyników badań. Doktorantka omawia uzyskane wyniki badań dla czterech obszarów: diagnostyka maszyn, wentylacja i zagrożenia gazowe, sejsmika, zarządzanie efektywnością pracy samojezdnych maszyn dołowych. Dla każdego z czterech obszarów udało się skutecznie dopasować odpowiednie modele matematyczne dla procesu technologicznego.

**W Rozdziale 5** Doktorantka dokonała analizy uzyskanych wyników badań. Sformułowała wnioski potwierdzając główną hipotezę badawczą: Procesy stochastyczne zostały z powodzeniem wykorzystane do opisu zjawisk zachodzących w górnictwie i geologii.

#### **4. Oryginalne osiągnięcie i znaczenie poznawcze Doktorantki**

Przedstawiona praca badawcza dotyczyła czterech obszarów badawczych tj. diagnostyki wybranych elementów maszyn górniczych oraz monitorowanie efektywności pracy maszyn dołowych, wentylację i zagrożenia gazowe oraz zagrożenia naturalne związane z aktywnością sejsmiczną. Zaprezentowany przez Doktorantkę obecny stan wiedzy w powyższych obszarach badawczych nie był rozpatrywany dotychczas na taką skalę. Dla każdego z wymienionych obszarów badawczych zastosowano metody matematyczne (w szczególności statystyczne) opisujące procesy w górnictwie. Doktorantka sformułowała w sposób poprawny cele, hipotezy badawcze oraz zakres pracy. Przeprowadziła badania oraz obliczenia i analizy w sposób szczegółowy. Główna hipoteza *procesy stochastyczne zostały z powodzeniem wykorzystane do opisu zjawisk zachodzących w górnictwie i geologii* stawiana przez Doktorantkę hipoteza została potwierdzona.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy należy:

- modyfikacja infogramu,
- poprawienie skuteczności wykrywania fal sejsmicznych w kopalniach,
- opracowanie uniwersalnej procedur danych dla obszaru wentylacji i zagrożenia gazowe,
- opracowanie alternatywnych wskaźników dla diagnostyki samojezdnych maszyn dołowych.

Prezentowany dorobek naukowy Doktorantki związany z rozprawą obejmuje 9 publikacji na Liście Filadelfijskiej. Natomiast Doktorantka w swoim zbiorze publikacji nie posiada samodzielnej pozycji.

Wymienione osiągnięcia naukowo-badawcze w opublikowanych pracach mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz potwierdzają zrealizowany cel rozprawy. Uważam, że Doktorantka udowodniła postawione hipotezy oraz wykazała się wysokim poziomem umiejętności oraz wiedzy samodzielnego rozwiązywania trudnych problemów teoretycznych i praktycznych w zakresie modelowania procesów górnictwie i geologii rudy miedzi z wykorzystaniem procesów stochastycznych.

#### **5. Uwagi krytyczne dotyczące rozprawy**

- 1) Proszę przedstawić w postaci schematu blokowego mechanizm zastosowania czterech obszarów badawczych w kopalni miedzi.
- 2) Proszę określić kierunki dalszych przedmiotowych prac badawczych.
- 3) Proszę określić innowacyjny charakter pracy.
- 4) Jaka jest dokładność opracowanego algorytmu znajdowania fali P.
- 5) Proszę określić który z algorytmów do przekształcania surowych danych jest najbardziej dokładny.
- 6) Proszę wyjaśnić jaka jest skuteczność danych sejsmicznych w opracowaniu metody wstępnej identyfikacji źródła pochodzenia tlenku węgla.

## 6. Wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa do recenzji z uwagi na występujące problemy w przemyśle wydobywczym jest aktualna. Podjęte w pracy zadania do rozwiązania stanowią obecną problematykę do rozwiązania w przemyśle wydobywczym miedzi. Uzyskane wyniki badań dostarczyły istotnych informacji, i byłoby właściwe w przyszłości rozwijanie tej tematyki przez Doktorantkę. Za najważniejsze osiągnięcie doktorantki uważam modelowanie procesów technologicznych z użyciem danych historycznych. To nie tylko procesy drganiowe, ale również wentylacyjne czy sejsmiczne. Tych danych pochodzących z systemów monitoringu w górnictwie miedziowym jest wiele. Na podstawie danych archiwalnych przy zastosowaniu odpowiednich modeli Doktorantka wyciągnęła ciekawe wnioski. Doktorantka w swojej pracy zaprezentowała ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz wykazała umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Przedmiot rozprawy doktorskiej jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego, oryginalnym rozwiązaniem w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz pt.: „*Modelowanie procesów w górnictwie i geologii z wykorzystaniem procesów stochastycznych*” spełnia wymagania określone w art. 187 ust. 1÷3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2022 r., poz. 574 z późn. zm.)

Na tej podstawie wnoszę wniosek do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki o dopuszczenie mgr inż. Justyny Hebdy-Sobkowicz do publicznej dyskusji nad tematem rozprawy.

