

## **Recenzja**

### **pracy doktorskiej mgr inż. Pawła Śliwińskiego**

#### **pt. "Metoda kompleksowej oceny efektywności eksploatacyjnej maszyn i predykcyjnego utrzymania ruchu na podstawie danych z systemu monitoringu"**

Podstawa opracowania recenzji: podstawę formalną stanowi uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej z dnia 12 lipca 2023 roku oraz pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej dr hab. inż. Roberta Króla, prof. uczelni, z dnia 20 lipca 2023 roku zlecające wykonanie przedmiotowej recenzji.

### **1. Tematyka pracy**

Obszarem badań podjętych przez Doktoranta w recenzowanej rozprawie są zagadnienia związane z szeroko pojętą cyfryzacją przemysłu wydobywczego oraz wspomaganie decyzji zarządczych dotyczących procesów technologicznych oraz parku maszynowego na podstawie wiedzy odkrytej z danych.

Podjęta tematyka jest bardzo aktualna i ma niewątpliwie istotne znaczenie dla efektywności funkcjonowania przedsiębiorstw górniczych w silnie konkurencyjnym otoczeniu wspomaganym różnego rodzaju rozwiązaniami Przemysłu 4.0, w tym czujnikami nowych generacji, Internetem Rzeczy, nowymi metodami analitycznymi czy sztuczną inteligencją.

Pierwszym szczegółowym obszarem badawczym wyróżnionym w pracy jest monitorowanie procesów technologicznych, dzięki któremu możliwa jest analiza i ocena przyjętych rozwiązań oraz identyfikacja problemów występujących w procesie. Znajomość odchyleń i nieprawidłowości jest istotna dla doskonalenia procesów i wdrażania nowych rozwiązań, które mogą wpłynąć na poprawę kluczowych wskaźników efektywności.

Drugim obszarem badawczym wyróżnionym w pracy jest diagnostyka maszyn.

*Edyta Brzychczy*

Efektywność eksploatacyjna maszyn i urządzeń ma istotny wpływ na sferę finansową przedsiębiorstwa górniczego, bowiem koszty amortyzacji i utrzymania parku maszynowego stanowią istotną część kosztów wydobycia. Stąd jakiegokolwiek informacje sygnalizujące zmiany w zachowaniu maszyny (jej stanu) z odpowiednim wyprzedzeniem mogą pomóc w planowaniu przeglądów, wymian i konserwacji znacząco ograniczając wystąpienia awarii i przestojów generujących dodatkowe koszty.

Doktorant łącząc te dwa wyróżnione obszary w rozprawie podjął się opracowania metody kompleksowej oceny efektywności eksploatacyjnej maszyn i predykcyjnego utrzymania ruchu na podstawie danych z systemów monitorujących procesy realizowane w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A.

Praca ma charakter interdyscyplinarny, obejmując zarówno różne aspekty działalności górniczej jak i nowoczesne metody analityczne oraz techniki pomiarowe.

Stwierdzam, że podjęty przez Doktoranta temat rozprawy jest aktualny i ważny, nie tylko z badawczego, ale przede wszystkim z praktycznego punktu widzenia i właściwie wpisuje się w charakter doktoratu wdrożeniowego.

## **2. Syntetyczna charakterystyka pracy**

Tekst rozprawy obejmuje 223 strony wraz ze spisem bibliografii. Bibliografia obejmuje 138 źródeł literaturowych.

Recenzowana praca ma charakter teoretyczno-praktyczny, w której można wyróżnić dwie wyodrębniające się części:

1. część pierwsza dotyczy zagadnień teoretycznych i zawiera się we wprowadzeniu oraz rozdziałach 1÷3 (strony 3 - 71),
2. część druga posiada charakter praktyczny i zawarta jest w rozdziałach 4÷6 (strony 72 - 204) wraz z podsumowaniem i wnioskami końcowymi (strony 205 - 211).

W rozdziale pierwszym Doktorant zawarł ogólne wprowadzenie do tematyki rozprawy, przedstawił definicję problemu, zakres pracy oraz wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów.

W rozdziale drugim została zaprezentowana analiza stanu wiedzy w zakresie cyfryzacji w górnictwie, potrzeb informacyjnych w kontekście procesów, analizy efektywności pracy maszyn i procesów technologicznych, monitorowania procesów wykorzystujących samojezdne maszyny górnicze, diagnostyki maszyn oraz możliwości wykorzystania danych w systemach informacyjnych kopalni do budowania informacji zarządczych.

Rozdział trzeci obejmuje prezentację celów ogólnych i szczegółowych pracy, do których nawiążę w dalszej części recenzji.

W rozdziale czwartym zostały opisane prace eksperymentalne, obejmujące w szczególności eksperymenty w warunkach dołowych (zarówno krótko i długoterminowe) oraz zagadnienia związane z pozyskiwaniem i przygotowaniem danych do analiz.

Rozdział piąty prezentuje metody analityczne oraz wyniki badań w zakresie: analizy efektywności pracy maszyny ze sprzęgłem lock-up, monitorowania wybranych procesów technologicznych (wiercenia, odstawy, zabudowy obudowy kotwowej) oraz elementy diagnostyki wybranych części maszyn (na podstawie ciśnienia oleju, temperatur, prędkości obrotowej silnika). W rozdziale tym przedstawiono również procedurę tworzenia rejestrów zdarzeń eksploatacyjnych.

W rozdziale 6 zaprezentowano przykłady implementacji i wdrożeń opracowanych rozwiązań m.in. kokpity analityczne, wspierające decyzje zarządcze podejmowane w wybranych obszarach działalności przedsiębiorstwa górniczego.

Całość pracy zakończono podsumowaniem, w którym zestawiono najważniejsze rozwiązania zaprezentowane w pracy, wnioski wynikające z przeprowadzonych badań oraz możliwe kierunki dalszych prac.

### **3. Cele i hipotezy badawcze postawione w rozprawie**

Celem pracy było „*opracowanie metody kompleksowej oceny efektywności eksploatacyjnej maszyn i predykcyjnego utrzymania ruchu na podstawie danych z monitoringu SMG*” (str. 70). Cel ten został określony jako strategiczny (!), choć w kontekście prac naukowych formułowany zazwyczaj jest cel (cele) o charakterze ogólnym i cele szczegółowe (tak zresztą zatytułowany był rozdział trzeci), bądź cząstkowe. We wspomnianym rozdziale nie podano specyficznych celów szczegółowych, wymieniono natomiast różne procedury i rozwiązania, które pojawiają się w pracy, co według mnie na tym etapie pracy jest przedwczesne.

Główną hipotezą rozprawy było „*wykazanie możliwości i przydatności w codziennej eksploatacji szeroko pojętej technologii pomiarowej i metod analitycznych do generowania informacji zarządczej*” (str. 4). Ponadto Doktorant określił wiodącą sentencję rozprawy w brzmieniu: „*idea fuzji danych dostępnych w przedsiębiorstwie i wykonania wielowymiarowej analityki na potrzeby obranego celu cząstkowego*” (tamże). Ta sentencja, w kontekście wcześniejszych rozważań, wskazuje na potrzebę sformułowania jasno określonych

celów cząstkowych (szczegółowych) na które powinny odpowiadać treści prezentowane w części analitycznej pracy.

W kontekście przedstawionej analizy stanu zagadnienia i tematu pracy, w mojej ocenie cel główny rozprawy został postawiony trafnie, natomiast zabrakło sformułowania celów cząstkowych, co uporządkowało by logikę wywodu dla prezentowanych w pracy treści. Należy również wskazać, iż hipoteza badawcza sformułowana została poprawnie, choć dość ogólnie.

#### **4. Syntetyczna ocena pracy**

Podjęty przez Doktoranta temat posiada zarówno walor poznawczy, jak i praktyczny. Problematyka poruszona w pracy ma istotne znaczenie dla przedsiębiorstw górniczych, które rozpoczynają dopiero swoje doświadczenia z zaawansowaną analityką danych oraz wspomaganie decyzji zarządczych w oparciu o wiedzę odkrytą z danych.

W ocenie realizacji podjętego tematu pracy chciałam szczególnie podkreślić wkład i zaangażowanie Doktoranta w:

1. analizę stanu zagadnienia i dobór adekwatnej literatury,
2. opracowanie procedur analitycznych dla różnych przypadków użycia zarówno w zakresie oceny efektywności jak i diagnostyki maszyn i urządzeń, a w szczególności:
  - analizę efektywności pracy maszyny ze sprzęgiem lock-up,
  - analizę procesu odstawy (z wykorzystaniem różnych algorytmów analitycznych),
  - diagnostykę silnika SMG na podstawie ciśnienia oleju,
  - diagnostykę uszkodzeń tarczy flex-plate w układzie napędowym ładowarki przegubowej LKP 1601B;
3. implementację wybranych rozwiązań analitycznych.

Doktorant zaprezentował obfity materiał świadczący o rzetelnym i kompleksowym podejściu do realizacji własnych badań oraz potwierdził właściwy zasób wiedzy w zakresie zagadnień związanych z analityką danych w kontekście monitorowania procesów jak i diagnostyki maszyn. Wykazał się również umiejętnością stosowania różnych metod naukowych oraz specjalistycznego oprogramowania.

Na tej podstawie stwierdzam, iż Doktorant wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a opracowane rozwiązania są oryginalnym wkładem autora do

rozwoju dyscypliny.

Podsumowując ten punkt recenzji, stwierdzam, iż poziom merytoryczny pracy oceniam pozytywnie.

## 5. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Jakkolwiek pozytywnie oceniam całą rozprawę, tak po szczegółowym zapoznaniu się z jej treścią, nasunęły mi się pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym i krytycznym:

1. Tematem oraz celem głównym pracy było opracowanie metody. Metodą określa się sposób postępowania, który składa się z określonych i powtarzalnych etapów. Niestety w pracy trudno doszukać się schematu zaproponowanej metody. Nie zgadzam się ze stwierdzeniem, że *„Tytułowa metoda jest w zasadzie zbiorem procedur związanych z docelową optymalizacją wykorzystania maszyn i zapobieganiem krytycznym awariom wybranych podzespołów”*. Jeśli osiągnięciem jest zbiór procedur (metod), lepszym słowem w takim przypadku jest słowo „metodyka” (wg Słownika Języka Polskiego - *zbiór zasad dotyczących sposobów wykonywania jakiejś pracy lub trybu postępowania prowadzącego do określonego celu*), które w sposób bardziej właściwy oddaje tak wyrażony zamysł autora. W mojej ocenie schemat ogólny metody (metodyki) powinien w pracy się znaleźć, co znacznie ułatwiło by wskazanie logicznej całości opracowanych rozwiązań, których rezultaty *„potwierdzają możliwość wykorzystania danych z systemu monitoringu do zbudowania informacji zarządczej do oceny i poprawy efektywności eksploatacyjnej maszyn i predykcyjnego utrzymania ruchu”*.
2. Doktorant stwierdza na stronie 206, że: *„(...) Nie może być zatem mowy o jednej uniwersalnej metodzie analizy danych. Tytułowa metoda nie odnosi się do konkretnego algorytmu, ale do filozofii fuzji danych z różnych źródeł”* a zaraz później dodaje: *„Mimo, że procesy technologiczne są skrajnie różne, zadanie analityczne jest bardzo podobne – chodzi o pomiar efektywności procesu (...), a także o detekcji anomalii w danych (...)”*[pisownia oryginalna]. Kolejne zdania podają przykłady wspólnych etapów przetwarzania danych. W mojej ocenie są to dwa przeczące sobie zdania. Które z nich, zdaniem Doktoranta, jest właściwe w kontekście sformułowanego celu rozprawy?
3. W prezentacji opracowanych rozwiązań uderza różny stopień szczegółowości ich opisu; od prostego do bardzo naukowego (por. 5.3.1. i 5.2.3), w niektórych procedurach prezentowane są schematy ogólne, w niektórych jest ich brak. Niestety

sprawia to wrażenie pewnej niekonsekwencji i braku usystematyzowania. Z czego wynika to zróżnicowanie?

4. W pracy na stronie 72 znajduje się podrozdział 4.1. dotyczący eksperymentów oraz symulacji numerycznych (zajmujący 12 linii tekstu), w którym Doktorant stwierdza, że *„Ze względu na bardzo wstępny charakter badań opartych na symulacjach, ograniczoną przydatność na kolejnych etapach rozważań i obszerność pracy, opis badań symulacyjnych nie został zamieszczony w rozprawie”*. W jakim celu zamieszczono ten podrozdział w pracy?
5. W jednym z algorytmów dotyczących automatycznego zliczania cykli roboczych wykorzystano drzewo klasyfikacyjne. Z uwagi na skąpy opis proszę o podanie jaki algorytm budowy drzewa wykorzystano, jak został przeprowadzony podział na próbę uczącą i testową oraz jaką poprawność klasyfikacji osiągnęło drzewo na próbie testowej.
6. W rozdziale 5.3.1 został zastosowany test t-Studenta do porównania wartości średnich w grupach, czy i jakim testem sprawdzono założenie o rozkładzie normalnym analizowanej cechy?
7. W pracy Doktorant zamieścił podrozdział pt. *„Wkład autora w rozwój dziedziny”*. W mojej ocenie umiejscowienie tego podrozdziału w zaprezentowanym brzmieniu (obejmującego m.in. zajmowane stanowiska i realizowane projekty) nie pasuje do tytułu rozdziału *„Analiza stanu wiedzy”*. Uważam, że powinien on stanowić Załącznik do pracy, wraz z rozszerzeniem realizowanych projektów i działań.

Praca została przygotowana dość starannie, natomiast w tym miejscu pragnę przekazać kilka uwag o charakterze edytorskim:

- Na stronie 29 została zaprezentowana Tabela 2.2 i opis do niej. Część opisu powieliła niepotrzebnie treści z tej tabeli. Brakuje objaśnień modeli TCO: A,B,C.
- Praca przygotowana jest w języku polskim, stąd zaskakuje obecność rysunków w języku angielskim (4.13, 5.14, 5.15, 5.18, 5.22, 5.23, 5.49, 5.50, 5.53).
- Kilka rysunków jest nieczytelnych np. 5.13, 5.72, nie jest jasne co jest na osi X na rysunku 5.39, w pracy zamieszczono te same rysunki (por. 5.65 i 5.66), brak powołań na rysunki (5.65, 6.4 do 6.6), występuje błędny podpis rysunku 5.71.
- Występują pojedyncze błędy językowe (*odnośnie* (do) str 97, 182, 192, 200, 211, *tendencja trendowa* – str.160, *wybudzenia* str. 166, *bateryjne* – str 185).

- Na stronie 132 znajduje się cytat bez podania źródła.

Pragnę podkreślić, że zgłoszone w tej części recenzji uwagi o charakterze dyskusyjnym i krytycznym nie obniżają mojej jednoznacznie pozytywnej oceny przedmiotowej rozprawy.

## **Wniosek końcowy**

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Śliwińskiego pt. *“Metoda kompleksowej oceny efektywności eksploatacyjnej maszyn i predykcijnego utrzymania ruchu na podstawie danych z systemu monitoringu”* stanowi oryginalny dorobek naukowy doktoranta i zawiera oryginalne rozwiązania w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

Przedłożona praca potwierdza właściwy poziom wiedzy naukowej Doktoranta i umiejętności samodzielnych badań związanych z dyscypliną inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Stwierdzam, że recenzowana praca doktorska mgr inż. Pawła Śliwińskiego **spełnia warunki** stawiane pracom doktorskim w *art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023r, poz.742)* i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*Edyta Romczyk*

