

**RECENZJA**  
rozprawy doktorskiej

mgr inż. Natalii Suchorab - Matuszewska  
pt. „*Klasyfikacja efektywności energetycznej przenośników taśmowych*”

Promotor:  
dr hab. inż. Robert Król, prof. uczelni

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki dr hab. inż. Małgorzaty Wolskiej, prof. uczelni z dnia 20.07.2023 (nr RDND08/114/2023).

**1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska pt.: „*Klasyfikacja efektywności energetycznej przenośników taśmowych*” mgr inż. Natalii Suchorab – Matuszewskiej opisana została na 87 stronach, składająca się z 9 rozdziałów, streszczenia w języku polskim, literatury spisu rysunków, spisu tabel. Praca doktorska była współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego o numerze projektu POWR.03.02.00-00-I003/16. Doktorantka w pracy umieściła 19 tabel, 49 wykresów. Spis literatury zawiera 151 pozycji, w tym 2 prace z udziałem Doktorantki.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do problematyki którą Doktorantka będzie rozwiązywać. Autorka scharakteryzowała w oparciu literaturę koncepcję zrównoważonego rozwoju w aspekcie zużycia energii elektrycznej w przemyśle górnictwem. Koncepcja ta zorientowana jest na: poprawę efektywności energetycznej procesów technologicznych, wykorzystywanie czystej energii, zaimplementowanie strategii i systemów zarządzania energią elektryczną. Doktorantka w tym rozdziale wskazuje, że górnictwo jest uznane za jeden z najbardziej energochłonnych przemysłów na świecie. Oszacowała w oparciu o literaturę, że całkowite zużycie energii w ramach globalnej działalności wydobywczej, wynosi nieco ponad 6% całkowitego światowego zużycia energii, z czego 24% zużywane jest

w procesie odstawy urobku. W podsumowaniu tego rozdziału wskazano jaki jest główny cel etykietowania energetycznego, którym jest dostarczenie dokładnej informacji o efektywności energetycznej produktu.

W rozdziale 2 Doktorantka charakteryzuje efektywność energetyczną przenośników taśmowych, jako ocenę racjonalnego wykorzystania energii elektrycznej poprzez wskazanie uzyskanego efektu (transport urobku) do ilości dostarczanej energii elektrycznej. Autorka wskazuje na kierunki rozwoju efektywnego energetycznie transportu przenośników w kontekście perspektywy komponentów efektywności energetycznej. W oparciu o wykorzystanie klasyfikacji komponentów efektywności energetycznej na potrzeby transportu przenośnikowego określono w pracy poziom efektywności energetycznej z uwzględnieniem podejścia POET (efektywność eksploatacyjna, organizacja eksploatacji, konfiguracja sprzętu, technika). Opisana w rozprawie potrzeba oceny energochłonności przenośników taśmowych jako podejście do wprowadzenia etykiety efektywności energetycznej przenośnika taśmowego. W tym, wykazano że przenośnik taśmowy należy oceniać i klasyfikować nie tylko pod względem konstrukcji mechanicznej, ale także pod kątem ich prawidłowego użytkowania. Jak wskazała Doktorantka, że obecnie brakuje metody, która oceniała by efektywność energetyczną przenośnika taśmowego. Obecnie ocena opiera się na wykorzystaniu wskaźnika energochłonności (SEC), którego uzyskana wartość nie pozwala porównywać przenośników o zróżnicowanych parametrach technicznych. W rozdziale 3 Doktorantka formuje główny cel pracy, którym jest opracowanie klasyfikacji przenośników taśmowych w aspekcie efektywności energetycznej.

W rozdziale 4 została przeprowadzona analiza efektywności energetycznej przenośników taśmowych pracujących w kopalni odkrywkowej węgla brunatnego. Analizie poddano układ przenośników tworzących transport nadkładu. Przenośniki były o zróżnicowanych parametrach technicznych. Z wykonanej oceny zużycia energii elektrycznej i uzyskanych wyników Doktorantka dokonała analizy wskaźnika efektywności energetycznej. Uzyskane wyniki badań z powyższych analiz pozwoliły na wyznaczenie klas efektywności energetycznej z wykorzystaniem algorytmu k-średnich. Autorka na podstawie przeprowadzonej analizy wykazała, że właściwa ocena efektywności energetycznej przenośnika taśmowego powinna uwzględniać wielkości transportowanej masy w stosunku do wydajności maksymalnej, w tym parametry konstrukcyjne przenośnika oraz charakterystykę środowiska jego pracy.

Rozdział 5 stanowi przeprowadzoną analizę efektywności energetycznej przenośników taśmowych pracujących w podziemnej kopalni rud metali nieżelaznych. Analizę zużycia energii elektrycznej przeprowadzono w oparciu o zebrane dane. Uzyskane wyniki z analizy badawczej pozwoliły na przeprowadzenie analizy wskaźnika efektywności energetycznej. Doktorantka w oparciu o wykonaną analizę dokonała następujących spostrzeżeń:

- poziom zużycia energii elektrycznej nie jest miarą, która w sposób obiektywny pozwala na ocenę efektywności energetycznej przenośników taśmowych,
- wskaźnik energochłonności (SEC) jest parametrem miarodajnym lecz sam w sobie nie stanowi uniwersalnego narzędzia w ocenie efektywności energetycznej przenośników taśmowych,
- ocena efektywności eksploatacji powinna uwzględniać kąt nachylenia trasy przenośnika ze względu na jego wpływ na zmianę struktury oporów przenośnika,
- ocena efektywności eksploatacji powinna uwzględniać wykorzystanie potencjału transportowego przenośnika poprzez określenie stopnia wykorzystania jego wydajności nominalnej.

W rozdziale 6 Doktorantka dokonała prognozy efektywności energetycznej przenośników taśmowych z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo. Uzyskane wyniki symulacji z danymi rzeczywistymi pozwoliły Autorce na weryfikację modelu Monte Carlo i wykorzystanie go do przeprowadzenia procedury wyodrębnienia klas efektywności energetycznej przenośników taśmowych. Uzyskane wartości z modelu obliczeniowego przenośnika taśmowego posłużyły jako kryteria do nadania etykiet efektywności energetycznej dla eksploatowanych przenośników.

W rozdziale 7 Autorka na podstawie wyników uzyskanych z opracowanej metody modelowania wskaźnika energochłonności z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo, przeprowadziła procedurę podziału danych symulacyjnych na klasy efektywności energetycznej. Co pozwoliło Doktorantce na wyznaczenie klas efektywności energetycznej.

Rozdział 8 odniósł się do etykietyzacji i oceny efektywności energetycznej rzeczywistych przenośników taśmowych. Doktorantka omawia w tym rozdziale metodę klasyfikacji przenośników taśmowych w aspekcie ich efektywności energetycznej z uwzględnieniem kąta nachylenia i obciążenia jako główny parametr eksploatacyjny. Natomiast uzyskane wartości dla wskaźnika energochłonności traktuje się jako parametr referencyjny klasy efektywności energetycznej. Zdaniem autorki nadane etykiety odnoszą się do chwilowych wydajności uzyskiwanych przez przenośniki. Zaproponowana agregacja nadanych etykiet do konkretnego przedziału czasowego pozwala na ocenę i porównanie

efektywności energetycznej przenośników taśmowych w odniesieniu do zmianowego trybu pracy.

Rozdział 9 Doktorantka dokonała analizy z uzyskanych wyników badań o zrealizowaniu postawionego celu pracy, co pozwoliło na wyciągnięcie wniosków. Sformułowane wnioski potwierdzają główny cel badawczy w oparciu o zaplanowane i wykonane zadania szczegółowe. Autorka w oparciu o podjętą w rozprawie doktorskiej problematykę dotyczącą klasyfikacji efektywności energetycznej przenośników taśmowych, która wymagała analizy danych eksploatacyjnych z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo. To pozwoliło na opracowanie metodyki dla wyznaczania etykiet efektywności energetycznej przenośników taśmowych dla górnictwa odkrywkowego jak i podziemnego.

## 2. Podjęty problem badawczy

Celem rozprawy doktorskiej było opracowanie metody klasyfikacji energetycznej przenośników taśmowych dla górnictwa odkrywkowego oraz górnictwa podziemnego rud metali. Postawiony cel przez Doktorantkę wpisuje się w aktualną politykę energooszczędnego transportu przenośników wyznaczoną poprzez potrzebę realizacji celów zrównoważonego rozwoju i ustawodawstwa europejskiego. Jak przedstawiła Doktorantka w swojej pracy obecnie obserwuje się zintensyfikowane zaangażowanie w rozwój efektywnego transportu taśmowego w obszarach teoretycznych, projektowych i eksploatacyjnych. Co skłoniło Doktorantkę do pracy badawczej nad opracowaniem metody, która umożliwiłaby ocenę efektywności energetycznej przenośników taśmowych w sposób jednoznaczny i obiektywny uwzględniający ich parametry techniczne oraz sposób eksploatacji ich warunków pracy.

Na podstawie przeprowadzonej analizy z problematyki przenośników taśmowych Doktorantka zdefiniowała główny cel pracy, którym *jest opracowanie klasyfikacji przenośników taśmowych w aspekcie efektywności energetycznej służącej:*

- ocenie poszczególnych przenośników taśmowych i układów transportowych,
- porównaniu poziomu efektywności energetycznej analizowanych obiektów,
- identyfikacji stanów i przyczyn nieefektywnej pracy przenośnika.

Aby cel główny został osiągnięty Doktorantka sprecyzowała następujące zadania szczegółowe do wykonania;

- analiza i ocena efektywności energetycznej przenośników taśmowych na podstawie danych eksploatacyjnych z kopalni odkrywkowej,
- analiza i ocena efektywności energetycznej przenośników taśmowych na podstawie danych eksploatacyjnych z kopalni podziemnej,

- wygenerowanie zbioru danych reprezentującego przenośniki w pełnym zakresie parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych z wykorzystaniem zidentyfikowanych parametrów pracy,
- opracowanie metody wyznaczania klas efektywności energetycznej przenośników taśmowych pracujących w przemyśle górnictwie, dla których charakterystyczne są losowo zmienna struga urobku, zróżnicowane warunki pracy oraz zaawansowane systemy akwizycji danych,
- nadanie etykiet efektywności energetycznej przenośnikom taśmowym pracującym w warunkach kopalnianych.

### **3. Oryginalne osiągnięcie badawcze i znaczenie poznawcze Doktorantki**

Przedstawiona do opiniowania praca doktorska dotyczy klasyfikacji efektywności energetycznej przenośników taśmowych pracujących w podziemnej i odkrywkowej kopalni w odniesieniu do koncepcji zrównoważonego rozwoju w aspekcie zużycia energii elektrycznej. Jej tematyka została dobrze zinterpretowana i rozpoznana pod względem obecnej polityki dotyczącej zużycia energii przez przemysł wydobywczy. Uwzględniony przez Doktorantkę obecny stan wiedzy w powyższych obszarach nie był rozpatrywany do chwili obecnej na tak szeroką skalę. Do najważniejszych osiągnięć z przedstawionej rozprawy jest propozycja do wprowadzenia *metody klasyfikacji przenośników taśmowych w aspekcie ich efektywności energetycznej z uwzględnieniem kąta nachylenia i obciążenia przenośnika jako główne parametry eksploatacyjne, gdzie wartość wskaźnika energochłonności proponuje się jako parametr referencyjny klasy efektywności energetycznej.*

Aby powyższa opisana metoda mogła być wykorzystana muszą być spełnione poniższe punkty zaproponowane przez autorkę:

- wyznaczenie zakresów kąta nachylenia trasy przenośnika,
- wyznaczenie zakresów obciążenia przenośnika nosiwem,
- wyznaczeniu wartości kwartyli wskaźnika energochłonności w wyznaczonych zakresach kąta nachylenia trasy i obciążenia przenośnika, które będą stanowiły graniczne wartości odpowiednich klas efektywności energetycznej,
- przypisanie klas efektywności energetycznej danych symulacyjnym, co jest tożsame z nadaniem im etykiet efektywności energetycznej.

Uważam, że powyższe osiągnięcie Doktorantki jest kluczowe do wdrożenia dla nowo projektowanych układów transportu taśmowego w górnictwie podziemnym jak i odkrywkowym.

#### 4. Uwagi krytyczne do rozprawy

- 1) Dlaczego nie wyznaczono klasy efektywności energetycznej z wykorzystaniem algorytmu k-średnich w dla przenośników pracujących w podziemnej kopalni?
- 2) Czy opracowana metoda była w jakiś sposób analizowana z algorytmem szacowania funkcji zapotrzebowania na energię opisaną w normie PN-EN 16247-4 Audyty energetyczne: Część 4 – Transport?
- 3) Proszę się odnieść do metody pinch i jej możliwego zastosowania jako dodatkowego uzupełnienia metody opracowanej w ramach pracy doktorskiej w aspekcie odzysku ciepła powstałego podczas pracy napędu przenośnika.
- 4) Kto powinien odpowiadać za wprowadzenie klasyfikacji efektywności energetycznej przenośników taśmowych, oraz kto ma mieć uprawnienia do wydawania etykiety efektywności energetycznej przenośnika taśmowego.
- 5) Które z podzespołów przenośnika taśmowego mają największy stopień zużycia i mogą znaczenie wpływać na wskaźnik efektywności przenośnika taśmowego.
- 6) Wykorzystując opracowaną metodę klasyfikacji efektywności energetycznej przenośników taśmowych w ilu procentach jesteśmy w stanie zmniejszyć zużycie energii w procesie odstawy urobku?
- 7) Czy była wykonywana analiza klasyfikacji efektywności energetycznej przenośników taśmowych odstawy głównej w celu jej modernizacji?
- 8) Proszę o przedstawienie w postaci schematu blokowego toku postępowania przy klasyfikacji efektywności energetycznej przenośnika taśmowego.
- 9) W jaki sposób opracowana metoda klasyfikacji w aspekcie efektywności energetycznej może być zaimplementowana w istniejący systemie informatycznym zakładu górniczego.
- 10) Z uwagi na ważność przedstawionej problematyki wydaje się dalsze rozwijanie prac badawczych związanych z efektywnością energetyczną przenośników, w tym celu proszę podać jaki mógłby być zakres przyszłych prac?

#### 5. Wnioski końcowe

Przedstawiona do opinii rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Suchorab-Matuszewskiej pt., *Klasyfikacja efektywności energetycznej przenośników taśmowych*” ze względu na przyjętą koncepcję zrównoważonego rozwoju w aspekcie zużycia energii elektrycznej w przemyśle wydobywczym uważam za aktualną i uzasadnioną. Opisany przez

Doktorantkę w rozprawie sposób rozwiązywania problemów w oparciu o zebrane dane z kopalń i na ich podstawie przeprowadziła badania, symulacje co pozwoliło na wyciągnięcie wniosków o charakterze eksperymentalnym i poznawczym. Wskazuje to, na wysoki poziom przygotowania Doktorantki co udowodniła, że opanowała i zrozumiała zagadnienia w obszarze w którym się porusza. Uwzględnione wszelkie uwagi krytyczne nie mają wpływu na obniżenie oceny rozprawy. Natomiast uwagi te mają być pomocne w dalszym rozwoju naukowym jeśli będzie przez Doktorantkę kontynuowany. Doktorantka w swojej pracy doktorskiej zaprezentowała, iż posiada wiedzę teoretyczną w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz wykazała się umiejętnościami samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Uwzględniając wysoki wkład w opracowanie etykietyzacji przenośników taśmowych, uważam że, najważniejszym osiągnięciem Doktorantki w charakterze badawczym i poznawczym jest propozycja wprowadzenia *metody klasyfikacji przenośników taśmowych w aspekcie ich efektywności energetycznej z uwzględnieniem kąta nachylenia i obciążenia przenośnika jako główne parametry eksploatacyjne, gdzie wartość wskaźnika energochłonności proponuje się jako parametr referencyjny klasy efektywności energetycznej.* Uzyskane wyniki badań dostarczyły oryginalnych informacji o charakterze poznawczym. Zebrany dorobek w ramach swojej pracy doktorskiej przez Doktorantkę to, 7 publikacji naukowych, w tym jedna samodzielna, z czego 6 znajduje się w bazach Web Of Science oraz Scopus, cztery z tych publikacji są wysoko punktowane uwzględniają współczynnik Impact Factor.

Przedstawione rozwiązanie problemu naukowego w przedmiotowej rozprawie doktorskiej jest oryginalnym rozwiązaniem zakresu zastosowania wyników własnych badań naukowych i poznawczych w przemyśle wydobywczym. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Natalii Suchorab-Matuszewskiej pt. „*Klasyfikacja efektywności energetycznej przenośników taśmowych*” spełnia wymogi stawiane w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2022. poz. 574 z późn. zm.)

W związku z powyższym wnoszę wniosek o przyjęcie i dopuszczenie Pani mgr. inż. Natalii Suchorab-Matuszewskiej do publicznej obrony. Z uwagi na wysoce nowatorski charakter poznawczy oraz wyróżniający się dorobek naukowy Doktorantki, składam wniosek do Wysockiej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Wrocławskiej o wyróżnienie przedmiotowej rozprawy doktorskiej.



