

Radom, dnia 5.12.2025 r.

Dr hab. inż. Remigiusz Michalczewski
Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Eksploatacji
ul. K. Pułaskiego 6/10; 26-600 Radom

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mateusza Wójcickiego

Tytuł rozprawy:

„Identyfikacja synergizmu oddziaływania czynników środowiska kopalnianego w aspekcie ograniczenia zużycia ogniów łańcuchowych przenośników zgrzeblowych”

Recenzja rozprawy doktorskiej została przygotowana na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka prof. dr. hab. Krzysztofa Labusa, nr RIE-BD.512.42.2025 z dnia 3.10.2025 r (umowa UMC/3168/2025). Promotorem niniejszej rozprawy jest dr hab. inż. Andrzej Norbert Wieczorek, prof. PŚ. Opiekunem zakładowym jest dr inż. Krzysztof Nieśpiałowski.

1. Charakterystyka ogólna

Przedstawiona do oceny rozprawa liczy 217 stron i składa się z 10 rozdziałów, podzielonych na zwarte tematycznie podrozdziały. Zacytowano 116 pozycji bibliograficznych.

2. Ocena podjętego tematu

Praca podejmuje aktualny i naukowo uzasadniony problem badawczy, koncentrując się na analizie synergizmu oddziaływań czynników środowiska kopalnianego w aspekcie ograniczenia zużycia ogniów łańcuchowych przenośników zgrzeblowych. Temat ten wpisuje się w obecne trendy badań nad zwiększeniem trwałości elementów urządzeń transportowych eksploatowanych w branży górniczej.

3. Tytuł pracy

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Identyfikacja synergizmu oddziaływania czynników środowiska kopalnianego w aspekcie ograniczenia zużycia ogniw łańcuchowych przenośników zgrzeblowych” jest adekwatny do jej zawartości.

4. Cel i zakres pracy

Na podstawie przeglądu literatury oraz wyników prac wstępnych Autor sformułował problem badawczy, cel poznawczy pracy oraz hipotezę badawczą. Postawiony problemem badawczy w rozprawie to: „W celu opracowania łańcuchów górniczych cechujących się wysoką odpornością na działanie czynników eksploatacyjnych konieczne jest określenie synergii wieloczynnikowego procesu ich degradacji”. Problem badawczy dotyczy problemu eksploatacji maszyn górniczych, ze wskazaniem na potrzebę zrozumienia synergii czynników środowiska kopalnianego powodujących intensyfikację zużycia łańcuchów ogniowych stosowanych w przenośnikach zgrzeblowych. Przedstawiony problem badawczy wpisuje się w dyscyplinę Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Przyjętym przez Doktoranta celem poznawczym pracy jest „Identyfikacja synergizmu oddziaływania czynników środowiska kopalnianego w procesie zużywania ogniw łańcuchowych przenośników zgrzeblowych”. Cel pracy bezpośrednio wynika z podjętego problemu badawczego.

Postawiona hipoteza badawcza to: „Łączne oddziaływanie ścierniwa i zmiennych sił dynamicznych w otoczeniu czynników korozyjnych, jak i też bez nich, skutkuje dodatkowym efektem interakcyjnym w trakcie procesu zużycia wieloczynnikowego ogniw łańcuchowych”. Jest to przewidywana odpowiedź na postawiony problem badawczy.

Cel i hipoteza pracy mają nie tylko walory poznawcze, ale także duże znaczenie praktyczne, ponieważ są ściśle związane z aktualnymi wyzwaniami dotyczącymi problemów trwałości łańcuchów ogniowych stosowanych w przenośnikach zgrzeblowych w kopalniach głębinowych węgla kamiennego.

Dodatkowymi problemami badawczymi podjętymi w pracy były: określenie ilościowego wpływu wymuszeń dynamicznych na proces zużycia ściernego i korozyjnego łańcuchów górniczych oraz określenie szybkości korozji materiału stosowanego na łańcuchy górnicze w obecności mieszanin wód kopalnianych i ścierniwi mineralnych.

Dla osiągnięcia celów pracy i wykazania słuszności hipotezy badawczej Autor zaproponował obszerny program badań eksperymentalnych i analiz. Ilustracja graficzna planu procesu badawczego została przedstawiona w rodz. 5 na rys. 5.1.

Zakres pracy obejmuje podjęty problem kompleksowo, w tym: analizę stanu wiedzy, z zakresu procesów zużywania ogniowych łańcuchów górniczych, pozyskania i identyfikacji własności ścierniw i wód kopalnianych, badań sił dynamicznych występujących w łańcuchu z wykorzystaniem przenośnika zgrzeblowego. Zaplanowano także zaprojektowanie, wytworzenie i weryfikację stanowiska do badań procesu zużywania ogniw łańcuchowych. Plan badań obejmuje przeprowadzenie laboratoryjnych badań zużycia korozyjnego i stanowiskowe badania 12 wariantów czynników środowiskowych. Prace znajdują podsumowanie w obszernej i dogłębnej analizie i opracowaniu modelu synergii wieloczynnikowego procesu zużycia w obszarze przegubów ogniw łańcuchowych dla trzech wariantów środowiska górniczego.

5. Układ pracy, redakcja, interpretacja wyników

Praca ma klasyczny układ stosowany w rozprawach doktorskich. Składa się z dziesięciu rozdziałów. Obejmują one: (1) wprowadzenie, (2) uzasadnienie celowości podjęcia tematu pracy, (3) cel, zakres i hipotezę pracy, (4) charakterystykę górniczych łańcuchów ogniowych oraz procesu ich wytwarzania i eksploatacji, (5) charakterystykę procesu badawczego, (6) identyfikację czynników charakteryzujących warunki środowiska górniczego, (7) badania laboratoryjne, (8) wyniki badań zużycia ogniw łańcuchów górniczych, (9) identyfikację oddziaływania interakcyjnego procesów wieloczynnikowego zużywania się przegubów ogniw łańcuchowych, (10) podsumowanie oraz spis literatury.

Rozdział pierwszy, zatytułowany „Wprowadzenie”, dostarcza podstawowej wiedzy na temat czynników środowiskowych występujących w kopalniach węgla kamiennego wpływających na zużycie ogniw łańcuchowych stosowanych w przenośnikach zgrzeblowych. Czynnikami tymi są: zmienne siły dynamiczne oddziałujące na poszczególne ogniwa łańcuchów, obecność pyłu kamiennego i węglowego oraz oddziaływanie korozyjne wody kopalnianej nasyconej związkami chemicznymi.

Rozdział drugi poświęcony został uzasadnieniu potrzeby realizacji tematu pracy. Wskazano na możliwość występowania zjawiska synergii w kontekście degradacji elementów maszyn. Autor wskazał na istotną lukę w istniejącym stanie wiedzy. Literatura naukowa nie zawiera wyników badań dotyczących identyfikacji synergii czynników środowiskowych występujących w kopalniach węgla kamiennego w kontekście zużywania łańcuchów stosowanych w górnictwie.

W rozdziale trzecim zatytułowanym „Cel, zakres i teza pracy” Doktorant przedstawił problem badawczy, cel poznawczy oraz hipotezę badawczą. Zaprezentował także zakres pracy oraz dodatkowe szczegółowe problemy badawcze, które zostały uwzględnione w rozprawie. Doktorant używa zamiennie słów teza (w tytule rozprawy) oraz hipoteza badawcza (w treści). Różnica między tezą a hipotezą badawczą w rozprawie doktorskiej sprowadza się do stopnia pewności oraz sposobu weryfikacji twierdzenia. Doktorant w pracy przedstawił wyniki eksperymentalnego procesu badawczego potwierdzające postawioną hipotezę.

W rozdziale czwartym pt. „Charakterystyka górniczych łańcuchów ogniowych oraz procesu ich wytwarzania i eksploatacji” omawiano kluczowe aspekty budowy łańcuchów ogniowych stosowanych w górnictwie, technologię ich produkcji oraz warunki eksploatacji. Rozdział ten przybliży czytelnikowi główny obiekt badań. Zawiera informacje kluczowe dla inżynierów zajmujących się eksploatacją łańcuchów ogniowych.

W rozdziale piątym pt. „Charakterystyka procesu badawczego” zostały omówione metody pomiarowe zastosowane w badaniach laboratoryjnych i stanowiskowych. Doktorant zaprezentował opracowane i zbudowane stanowisko badawcze dedykowane badaniom synergizmu procesu zużycia łańcuchów ogniowych. Przeprowadzono analizę kinematyki współpracy ogni łańcuchowych w przegubie.

W rozdziale zatytułowanym „Identyfikacja czynników charakteryzujących warunki środowiska górniczego w aspekcie odwzorowania ich na etapie badań stanowiskowych” zaprezentowano: własności materiałowych węzła tarcowego, wymuszenia mechaniczne, a także charakterystykę ścierniwa oraz wód kopalnianych.

Wyniki badań laboratoryjnych zawarto w rozdziale siódmym. Zaprezentowano wyniki: szybkości zużycia korozyjnego pod wpływem wód kopalnianych, korozyjności mieszaniny woda ścierniwo oraz zużycia tribologicznego w obecności ścierniw mineralnych. W ich wyniku dokonano wyboru materiałów stanowiących czynniki zużyciowe w badaniach stanowiskowych.

Wyniki badań stanowiskowych przedstawiono w rozdziale ósmym. Na potrzeby identyfikacji synergii czynników środowiskowych, zachodzących podczas eksploatacji łańcuchów górniczych badania zostały podzielone na 3 grupy wariantów środowiska pracy.

Grupa I wariantów czynników środowiskowych to warunki odpowiadające wydobywaniu prowadzonemu z wykorzystaniem metod strzałowych w wyrobisku suchym przy braku obecności wody (zarówno kopalnianej jak i z układu zraszania) w strefie współpracy ogni

łańcucha. Grupa II wariantów czynników środowiskowych to warunki odpowiadające wydobyciu prowadzonemu z wykorzystaniem kombajnu z układem zraszania podczas urabiania. Grupa III wariantów czynników środowiskowych to warunki odpowiadające wydobyciu prowadzonemu z wykorzystaniem metod strzałowych w wyrobisku z wypływającą wodą podziemną. W rozdziale zawarto ponadto wyniki analizy form zużycia ogniw łańcuchowych dla przyjętych 12 wariantów badań stanowiskowych: m.in. mikroskopię SEM, spektroskopię EDS, badania metalograficzne, rozkłady twardości, pomiary zużycia na ogniwach i analizę produktów zużycia.

Analizę uzyskanych wyników stanowiskowych zawarto w rozdziale dziewiątym pt. „Identyfikacja oddziaływania interakcyjnego procesów wieloczynnikowego zużywania się przegubów ogniw łańcuchowych”. W rozdziale tym zostały omówione istniejące modele zużycia wieloczynnikowego, polegającego na łącznym działaniu czynników zużyciowych i korozyjnych. Proces ten powszechnie jest definiowany jako tribokorozja. W modelu tym całkowite zużycie stanowi wypadkową trzech składowych: zużycia mechanicznego w warunkach braku korozji, ubytku materiału wskutek korozji przebiegającej bez udziału tarcia oraz składnika synergistycznego uwzględniającego wpływ procesów tarciovych na intensyfikację zjawisk korozyjnych oraz oddziaływanie korozji na mechanizmy zużycia tribologicznego. Autor rozprawy dokonał analizy synergistycznego zużycia w rzeczywistych systemach tribologicznych łańcuchów ogniwowych wynikających ze współdziałania procesów destrukcyjnych: ścierno-mechanicznych, korozyjno-mechanicznych, ścierno-korozyjnych oraz jednoczesnego oddziaływania procesów ścierno-korozyjno-mechanicznych.

Przyjęty podział systemów tribokorozyjnych to: (1) środowisko górnicze suche, (2) środowisko górnicze suche z wodą z układów zraszania oraz (3) środowisko górnicze mokre. Dla każdego ze środowisk górniczych, w ramach poszczególnych grup czynników, zostały opracowane modele interakcyjne uwzględniające rodzaj i liczbę czynników degradacyjnych. Opracowano 5 grup modeli: (1) modele zużycia w nieruchomym przegubie ogniw łańcuchowych, (2) modele interakcyjne wewnątrzsystemowe środowiska górniczego suchego w warunkach przemieszczających się ogniw, (3) modele interakcyjne wewnątrzsystemowe środowiska górniczego suchego z wodą z układów zraszania w warunkach przemieszczających się ogniw, (4) modele interakcyjne wewnątrzsystemowe środowiska górniczego mokrego w warunkach przemieszczających się ogniw oraz (5) modele interakcyjne międzysystemowe w warunkach przemieszczających się ogniw.

Czynniki środowiskowe mają wpływ na zużycie ogniw łańcuchowych. Wyniki uzyskane dla grupy I wariantów czynników środowiskowych, tj. w warunkach odpowiadających wydobyciu prowadzonemu w wyrobisku suchym przy braku obecności wody (zarówno kopalnianej jak i z układu zraszania) na wprowadzenie do testu ścierniwa lub wymuszeń dynamicznych zwiększa zużycie o ok. 30%. Niemniej jednak nie odnotowano synergicznego oddziaływania tychże wymuszeń wprowadzonych jednocześnie. Wynika to z faktu intensywniejszego niż w przypadku zużycia ściernego rozkruszania ziaren podczas zużycia ścierno-dynamicznego, co powoduje, że ich oddziaływanie skrawające jest mniejsze, niż w przypadku ziaren większych.

Dla grupy II wariantów czynników środowiskowych (warunki odpowiadające wydobyciu prowadzonemu z wykorzystaniem kombajnu z układem zraszania podczas urabiania) obecność wody zmieniała charakter oddziaływania obecności ścierniwa mineralnego i wymuszeń dynamicznych. Obecność samej wody technologicznej zmniejszała zużycie w stosunku do sytuacji referencyjnej. Wprowadzenie ścierniwa do systemu z obecnością wody powodowało ok. 10 krotny wzrost zużycia, niezależnie od obecności wymuszeń dynamicznych. Antagonistyczne oddziaływanie odnotowano w przypadku jednoczesnego wprowadzenia wody i wymuszeń dynamicznych. Przejawiało się ono znaczącą redukcją zużycia o ok. 13% w stosunku do systemu z jedynie obecnością wody technologicznej. Przyczynę wystąpienia tego zjawiska wyjaśniono powstaniem na powierzchni strefy kontaktu utwardzonej w wyniku zgniotu warstwy wierzchniej materiału, co wykazały badania mikrotwardości.

Wyniki grupy III wariantów czynników środowiskowych (warunki odpowiadające wydobyciu prowadzonemu z wykorzystaniem metod strzałowych w wyrobisku z wypływającą wodą podziemną) miały podobny charakter co w przypadku wody technologicznej, przy czym dla każdego zestawu czynników środowiskowych widoczny był dodatkowy efekt intensyfikacji zużywania na skutek oddziaływania korozyjnego wody dołowej.

Na szczególną uwagę zasługuje model interakcyjny procesu zużywania mechanicznego w środowiskach różniących się właściwościami korozyjnymi przy braku ścierniwa mineralnego i wymuszeń dynamicznych. Woda technologiczna powoduje zmniejszenie współczynnika tarcia, tym samym ograniczając skutki tarcia. Oddziaływanie wody kopalnianej spowodowało zmianę procesu zużywania z czysto mechanicznego na zużycie tribokorozyjne o większej intensywności. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorant w swoich dociekaniach w każdym z wariantów dokonał analizy powierzchni tarcia stosując mikroskopię elektronową

(SEM), spektroskopię EDS, badania metalograficzne, rozkłady twardości, i analizę produktów zużycia.

W podsumowaniu Autor dokonał podsumowania uzyskanych badań, przedstawił wnioski oraz efekty wdrożeniowe pracy i kierunki dalszych badań. Uzyskane wyniki zostały podsumowane w tabeli 10.1 (str. 197). Dla każdego z wariantów Autor podał wielkość zużycia, formy uszkodzenia powierzchni i przekroju oraz zmiany tekstury i twardości.

W pracy zredagowano 12 wniosków, które mają charakter szczegółowy. Doktorant słusznie odnotował, że największy wpływ na postęp zużywania ogniów łańcuchowych w rejonie współpracy ma obecność zawodnionego ścierniwa oraz, że transport suchego urobku powoduje znacznie mniejsze zużycie przegubów łańcuchowych. Bardzo ciekawym spostrzeżeniem jest również fakt, że mieszaniny wód kopalnianych ze składnikami mineralnymi wykazują inne własności korozyjne, niż same wody kopalniane, co świadczy o zachodzeniu procesów interakcyjnych między ich składami chemicznymi.

Wniosek podsumowujący „Najbardziej intensywne procesy zużycia ogniów łańcuchowych zachodzą przy łącznym oddziaływaniu ścierniwa mineralnego, wody korozyjnej i zmiennych sił obciążających” (wariant 12) wydaje się intuicyjny. Jednak w sytuacji, gdy wykazano, że obecność łącznie czynników wody technologicznej i wymuszeń dynamicznych (wariant 7) bez ścierniwa wpływa najkorzystniej na zmniejszenie zużycia ogniów, intuicyjne wnioskowanie na temat synergizmu i antagonizmu oddziaływań czynników środowiskowych może prowadzić do błędnych wniosków.

W podsumowaniu zawarto wniosek o charakterze ogólnym, że synergizm jest najczęstszym zjawiskiem interakcyjnym procesu zużywania się ogniów łańcuchowych w przegubie, a jego występowanie i wielkość są ściśle zależne od rodzaju i charakteru zestawionych ze sobą czynników środowiskowych. Łącznie z wnioskami została potwierdzona poprawność sformułowanego problemu badawczego oraz słuszność postawionej hipotezy.

6. Uwagi merytoryczne i pytania

Lektura rozprawy skłania do refleksji nad poniżej sformułowanymi kwestiami:

1. Praca zawiera bardzo obszerny program prac opisany w rodz. 3. Ilustracja graficzna planu procesu badawczego została przedstawiona na rys. 5.1, a zestawienie wariantów badań stanowiskowych w tabeli 5.1 (rodz. 5). W przyszłych pracach rekomenduję zawarcie planu

badawczego i zestawienia wariantów badań stanowiskowych w jednym rozdziale wraz z opisem programu prac.

2. Na stronie 163 stwierdzono, że *„W przypadku wszystkich wód kopalnianych, dodanie do nich węgla powoduje wzrost ich agresywności korozyjnej, czyli uzyskany zostanie efekt synergistyczny. W przypadku pozostałych materiałów mineralnych, efekt ten nie jest jednoznaczny, może być zarówno synergistyczny jak i antagonistyczny”* co znajduje potwierdzenie w wynikach badań zamieszczonych na rys. 9.2. Jako ścierniwo mineralne do badań stanowiskowych wytypowano piaskowiec z kopalni „C” (rozdz. 6.3.1). Proszę uzasadnić użycie piaskowca w badaniach.
3. Proszę sformułować zalecenia dla opracowania łańcuchów górniczych cechujących się wysoką odpornością na działanie czynników eksploatacyjnych.

Powyższe uwagi wyrażone w komentarzach i pytaniach, nie umniejszają merytorycznej wartości rozprawy. Proszę je potraktować jako zalecenie do uwzględnienia w przyszłych pracach i publikacjach.

7. Ocena dysertacji i wniosek końcowy

Praca została napisana starannie, zrozumiale, poprawną polszczyzną oraz z zastosowaniem właściwej terminologii technicznej. W rozprawie przeprowadzono właściwą analizę źródeł literaturowych, co świadczy o dużej wiedzy Autora. Prawidłowo sformułowano problem badawczy, cel oraz hipotezę. Zaplanowane i zrealizowane badania oparto na przyjętej metodyce oraz zastosowano w nich nowoczesne narzędzia naukowe. Autor logicznie zinterpretował uzyskane wyniki i na ich podstawie opracował modele zużycia wieloczynnikowego oraz sformułował wnioski. Stopień rozwiązania zagadnienia oceniam jako bardzo dobry. Doktorant osiągnął postawiony w rozprawie cel pracy i wykazał słuszność hipotezy badawczej.

Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Mateusza Wójcickiego wpisuje się w dyscyplinę inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Praca stanowi niewątpliwą wkład w istniejący stan wiedzy, a zawarty w niej materiał badawczy jest oryginalnym dorobkiem autora oraz posiada walory poznawcze i praktyczne. Treść rozprawy świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu Autora do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Uwzględniając uwagi i komentarze zawarte w recenzji, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Wójcickiego pt. „Identyfikacja synergizmu oddziaływania czynników środowiska kopalnianego w aspekcie ograniczenia zużycia ogniw łańcuchowych przenośników zgrzeblowych” spełnia wymagania określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.). W związku z tym proponuję Radzie Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej dopuszczenie Autora do publicznej obrony, a po jej pomyślnym przebiegu – nadanie mu stopnia doktora nauk technicznych. Biorąc pod uwagę wagę aspektów użytecznych pracy, jej cenne wartości poznawcze oraz wysoki poziom edycyjny wnoszę o wyróżnienie rozprawy.

Podpisał Remigiusz Michalczewski

