



Recenzja rozprawy doktorskiej

nt.: *ALTERNATYWNA METODA OCENY WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ OSI
ZESTAWÓW KOŁOWYCH W POJAZDACH SZYNOWYCH*

mgr inż. Patrycja LAU

dr hab. inż. Grzegorz Zajęc, prof. PK		
Kraków, dnia 27 luty 2026 r.	Podpis:	

Podstawa formalna opracowania recenzji rozprawy doktorskiej:

Recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Patrycji Lau opracowano zgodnie z decyzją Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej z dnia 1 grudnia 2025 nr 12/III/11/2025 o objęciu obowiązków recenzenta (pismo DIM.075.288.2025 z dnia 3 grudnia 2025 roku).

1. Ocena celowości podjęcia problematyki

Transport szynowy stanowi jedną z podstawowych gałęzi transportu lądowego. Jego niska zasobochłonność sprawia, że należy do wysokoefektywnych rozwiązań transportu masowego zarówno towarowego jak i pasażerskiego. Kluczowymi obiektami w systemach transportu szynowego są pojazdy szynowe, które niezależnie od rodzaju i typu oraz realizowanych funkcji są wyposażone w zestawy kołowe. Przenoszą one statyczne, dynamiczne oddziaływania pojazd szynowy – tor oraz tor – pojazd szynowy. Ich niezawodne działanie decyduje bezpośrednio o jakości i bezpieczeństwie prowadzenia pojazdu w torze. Przedstawiona do recenzji praca porusza problematykę wytrzymałości zmęczeniowej najważniejszego elementu zestawu kołowego jakim jest oś zestawu kołowego. Uzyskane w ramach pracy osiągnięcia rozszerzają istniejące metody obliczeniowe oraz umożliwiają bardziej efektywne realizowanie procesu projektowania osi, procesu walidacji oraz badania przed dopuszczeniem nowej konstrukcji osi do eksploatacji. Wszelkie działania w tym obszarze stanowią bardzo ważny kierunek rozwoju zmierzający do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa transportu szynowego.

Należy stwierdzić, że podjęta przez Autorkę problematyka badawcza jest bardzo aktualna i potrzebna w ustawicznym rozwoju skutecznych narzędzi zwiększających efektywność projektowania, badania elementów układów biegowych pojazdów szynowych z zachowaniem wysokich standardów bezpieczeństwa. Wykonane w ramach rozprawy dysertacyjnej badania analityczne, stanowiskowe, numeryczne oraz eksperymentalne w małej skali stanowią ważny wkład w doskonalenie procesów wdrażania nowych typów osi zestawów kołowych. Rezultaty pracy pani mgr inż. Patrycja Lau są cenne zarówno z punktu widzenia naukowego jak i praktycznego, aplikacyjnego.

2. Omówienie rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska pani mgr inż. Patrycja Lau nt.: „Alternatywna metoda oceny wytrzymałości zmęczeniowej osi zestawów kołowych w pojazdach szynowych” składa się z dziesięciu ponumerowanych chronologicznie rozdziałów, przedstawiających kamienie milowe ścieżki merytorycznej jaką zrealizowała Autorka dla osiągnięcia przyjętych celów rozprawy dysertacyjnej. Pracę rozpoczyna rozdział „Streszczenie” w języku polskim i angielskim, a zamyka rozdział „Literatura” obejmujący 62 odniesienia do źródeł w większości anglojęzycznych m.in. publikacji naukowych, norm, stron internetowych. Praca zawiera także jeden Załącznik. Całość pracy liczy 122 strony.

Pierwszy numerowany rozdział pracy obejmuje Wprowadzenie, zawierające dwa podrozdziały „1.1. Rys historyczny i 1.2. Osie zestawów kołowych”, w których Autorka syntetycznie przedstawia historie rozwoju kolei oraz aspekty związane z osiami zestawów kołowych ich badaniami, a w szczególności zagadnieniami zużycia zmęczeniowego, które może prowadzić do katastroficznych skutków. Przedstawia przykłady metodycznego podejścia Autorów do badań zmęczeniowych osi. Podrozdział 1.2 stanowi kanwę do podjęcia przez Doktorantkę tematyki rozprawy, czyli metod oceny wytrzymałości zmęczeniowej osi zestawów kołowy pojazdów szynowych. W rozdziale drugim „Cel i zakres pracy” zawarty jest jasno sprecyzowany cel pracy i zakres wynikający ze istniejącej w obszarze oceny wytrzymałości zmęczeniowej osi luki badawczej. Przyjęto, że realizacja celu pracy ma umożliwić uzyskanie nowej metody pozwalającej na skuteczniejsze i szybsze analizowanie, ocenę przy wykorzystaniu badań numerycznych wytrzymałości zmęczeniowej osi. Dotyczy to zwłaszcza przypadków niestandardowych konstrukcji np. podpiaścia lub promieni przejścia. Kolejne podrozdziały w tym rozdziale prezentują przyjętą metodologię pracy oraz „Wartość i znaczenie pracy” w ujęciu deklaratywnym. Jednym z ważniejszych rozdziałów pracy jest rozdział trzeci zawierający podstawy teoretyczne z zakresu mechaniki pęknięcia materiałów. W czwartym rozdziale został szczegółowo przedstawiony obiekt badań czyli oś zestawu kołowego wykonana z materiału EA1N, stosowana w wagonach towarowych o nacisku równym 25 t/oś, zaprojektowana zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 13261. Przytoczone są również podstawowe dane materiałowe wykorzystywane do analiz w kolejnych etapach pracy. Piąty rozdział poświęcony jest badaniom analitycznym zrealizowanym w oparciu o wymagania normy EN 13103:2013+A2. W tym rozdziale przyjęte obciążenia, dane wejściowe, analizowane przypadki stanowią klasyczne normowe podejście do obliczeń osi zestawów kołowych. Otrzymane przy wykorzystaniu klasycznego podejścia wyniki porównawczo posłużą do weryfikacji badań zmęczeniowych z zastosowaniem tensometrów. Istotną część tego rozdziału stanowi również zintegrowane narzędzie do kreowania geometrii osi z użyciem parametrycznego modelowania bryłowego łączące wyniki z obliczeń

analizy z tworzeniem modelu 3D osi. Badania stanowiskowe w skali 1:1 zostały przedstawione w rozdziale szóstym i jest on źródłem ważnych wyników o charakterze eksperymentalnym, stanowiących bazowe wartości odniesienia do pozostałych badań realizowanych w ramach pracy. Kolejny rozdział zawiera analizy numeryczne analogicznego rozwiązania jak w badaniach stanowiskowych układu koło - oś, przy wykorzystaniu Metody Elementów Skończonych wykonane za pomocą pakietu ABAQUS/Standard. W analizowanym przypadku zachowano geometrię kształtu oraz wymiary, które odpowiadały wymiarom konstrukcyjnym projektowanej osi zestawu kołowego. Otrzymane wyniki badań numerycznych wykazują bardzo dużą zbieżność z rezultatami pomiaru w eksperymentalnych badaniach stanowiskowych. Rozdział ósmy dotyczy badań eksperymentalnych na próbkach w małej skali trzech rodzajów osi, wykonanych z trzech różnych materiałów tj. stali S235, polimerów uzyskanych w technologii MJF (Multi Jet Fusion) oraz SLS (Selective Laser Sintering). W badaniach używano uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej ZWICK/Roell Z100. Uzyskane wyniki eksperymentu przedstawiono w sposób klarowny na wykresach, rysunkach i w tabelach. Na końcu rozdziału zamieszczono wyniki pomiarów geometrii próbek osi wykonane techniką współrzędnościową (CMM) za pomocą precyzyjnej maszyny współrzędnościowej. Rozdział dziewiąty stanowi szerokie omówienie uzyskanych wyników badań, analitycznych, eksperymentalnych i numerycznych. Natomiast wnioski i podsumowanie osiągniętych rezultatów pracy przedstawione zostały w rozdziale dziesiątym. Pracę zamyka literatura i załącznik I ze skrypcem napisanym w języku Python służącym do tworzenia geometrii 3D osi.

3. Merytoryczna ocena pracy

Przedstawiona do recenzji praca dysercyjna zawiera wszystkie niezbędne elementy formalne, redakcyjne i merytoryczne. Jako całość jest ważnym osiągnięciem w dziedzinie rozwoju nowoczesnych metod badań wytrzymałościowych, zmęczeniowych jednego z najważniejszych elementów układu biegowego pojazdów szynowych jakim jest oś zestawu kołowego. Precyzyjne ujęcie w pracy problematyki badawczej, wykrystalizowana luka badawcza na podstawie szerokiej analizy stanu wiedzy oraz doświadczeń badawczych, zawodowych Autorki wynikających z obszaru działalności Łukasiewicz - Poznańskiego Instytutu Technologicznego, wiodącego w Europie ośrodka badawczego w dziedzinie pojazdów szynowych stanowi mocny atut pracy. Opracowanie autorskie wieloetapowej metodyki badań umożliwiającej wypełnienie dostrzeżonej luki badawczej wskazuje na duży potencjał rozwojowy i profesjonalne podejście naukowe Autorki pracy. Praca charakteryzuje się wysokim potencjałem wdrożeniowym oraz pozostaje spójna ze strategią ukierunkowaną na zintegrowany rozwój nauki i przemysłu. Problematyka pracy mimo wysokiego waloru

praktycznego porusza skomplikowane zagadnienia w ujęciu naukowym i badawczym. Opracowanie efektywnych narzędzi numerycznych wspomagających procesy projektowania, testowania i wdrażania nowych konstrukcji osi jest uzasadnione zarówno na polu naukowym jak i ekonomicznym. Autorka biorąc jako obiekt badań osł zestawu kołowego tocznego, podjęła się bardzo trudnego i odpowiedzialnego wyzwania badawczego. Dzięki konsekwentnej realizacji opracowanej metodyki osiągnęła cel rozwiązania złożonego problemu naukowego i opracowania narzędzia komplementarnego z obecnie obowiązującymi normami, metodami, projektowania, badania i wdrażania nowych konstrukcji osi. Autorka, w sposób obszerny prezentując wyniki swoich badań, umożliwia innym specjalistom poszerzenie ich własnego zakresu doświadczeń. Przedstawione w pracy wyniki badań analitycznych, modelowych w skali, numerycznych i stanowiskowych mają wysoką wartość merytoryczną. Tego typu badania w dziedzinie układów biegowych pojazdów szynowych są bardzo pożądane, nie tylko z punktu widzenia osiągnięć naukowych, ale również w dziedzinie rozwoju nowoczesnych, ekologicznych pojazdów szynowych niezbędnych w transporcie szynowym.

Przesłana do recenzji praca pani mgr inż. Patrycji Lau nt. „ALTERNATYWNA METODA OCENY WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ OSI ZESTAWÓW KOŁOWYCH W POJAZDACH SZYNOWYCH”, znacząco uzupełnia potencjał wiedzy w obszarze szeroko pojętych badań zmęczeniowych osi. Może stanowić istotny element zwiększający efektywność prac projektowych dotyczących osi zestawów kołowych, realizowanych w Łukasiewicz – Poznańskim Instytucie Technologicznym, które komplementarnie wykorzystują osiągnięcia niniejszej pracy.

4. Uwagi

Praca pani mgr inż. Patrycji Lau nt. „ALTERNATYWNA METODA OCENY WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ OSI ZESTAWÓW KOŁOWYCH W POJAZDACH SZYNOWYCH” zredagowana jest starannie i poprawnie stylistycznie. Autorka posługuje się z dużą swobodą i zrozumieniem specjalistyczną terminologią z zakresu pojazdów szynowych, układów biegowych, zestawów kołowych oraz zagadnień mechaniki i wytrzymałości zmęczeniowej materiałów. W wersji drukowanej pracy, ze względu na ograniczoną rozdzielczość oraz miejscami zbyt mały rozmiar czcionki, odczytanie niektórych opisów jest utrudnione. Nie stwierdzono natomiast istotnych błędów merytorycznych, które mogłyby prowadzić do nieprawidłowych wniosków.

W pracy mimo wysokiej dbałości o szczegóły incydentalnie zdarzają się drobne błędy edycyjne, tzw. literówki. Uważam, że osiągnięcia pracy w większym stopniu wskazują na komplementarność opracowanych narzędzi obliczeniowych, niż na ich pełną alternatywność wobec istniejących, konserwatywnych rozwiązań.

Całość pracy oceniam pozytywnie i dostrzegam biegłość Autorki w posługiwaniu się oprogramowaniem do analizy MES, która stanowi bardzo ważną część pracy. Należy stwierdzić, że metody wykorzystujące analizę MES są jednymi ze skuteczniejszych narzędzi wspierających proces projektowania oraz konstruowania osi zestawów. Wysoko oceniam również plany rozszerzenia opracowanych narzędzi o metodykę dającą możliwość wykorzystania ich w procesie oceny stanu technicznego osi po długim okresie eksploatacji. Szczególnie wysoki potencjał dostrzegam w planach rozszerzenia funkcjonalności o obliczenia osi napędnych.

Przytoczone przeze mnie spostrzeżenia mają przede wszystkim charakter informacyjny i mogą stanowić punkt wyjścia do dyskusji podczas publicznej obrony. W mojej ocenie nie umniejszają one zasadniczych walorów merytorycznych pracy.

5. Wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji praca doktorska pani mgr inż. Patrycja Lau nt.: „Alternatywna metoda oceny wytrzymałości zmęczeniowej osi zestawów kołowych w pojazdach szynowych” prezentuje w sposób wyczerpujący podjęte oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jest poprawnie zredagowana i cechuje się odpowiednim poziomem merytorycznym. Analiza treści pracy i dorobku publikacyjnego wskazuje wysoki poziom teoretycznej wiedzy ogólnej oraz specjalistycznej Doktorantki z dziedziny prowadzonych badań i oceny wytrzymałości zmęczeniowej osi z wykorzystaniem autorskiej metodyki i narzędzi.

Osiągnięcia Autorki są potwierdzeniem Jej kompetencji do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i odpowiednich umiejętności praktycznych w dyscyplinie naukowej „Inżynieria Mechaniczna”, w której zawiera się tematyka pracy.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska pani mgr inż. Patrycji Lau nt.: „Alternatywna metoda oceny wytrzymałości zmęczeniowej osi zestawów kołowych w pojazdach szynowych” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w myśl ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r. poz. 85 z późniejszymi zmianami). Wnioskuje zatem do Szanownej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej o przyjęcie rozprawy doktorskiej nt.: „Alternatywna metoda oceny wytrzymałości zmęczeniowej osi zestawów kołowych w pojazdach szynowych” i dopuszczenie mgr inż. Patrycji Lau do publicznej obrony.

