

dr hab. inż. Adam Adamowicz

Białystok, 28 marca 2026 r.

Wydział Mechaniczny
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok



RPW/14924/2026 N
Data: 2026-04-03

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Formeli pt.

Badanie procesów tarcia w sprzęgle ciernym i ich optymalizacja pod względem niezawodności

Podstawą niniejszego opracowania jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Gdańskiej, prof. dr. hab. inż. Michała Wasilczuka z dnia 21.01.2026 r. (005/WIMiO/2026).

1. Dane formalne

Autor pracy: mgr inż. Michał Formela

Tytuł pracy: Badanie procesów tarcia w sprzęgle ciernym i ich optymalizacja pod względem niezawodności

Promotor: dr hab. inż. Jacek Łubiński, prof PG

Jednostka naukowa: Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej

Dyscyplina naukowa: Inżynieria Mechaniczna

Data sporządzenia recenzji: 28 marca 2026 r.

2. Charakterystyka tematyki badawczej

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska podejmuje problematykę badawczą z zakresu funkcjonowania układów napędowych pojazdów ciężarowych, koncentrując się na analizie procesów tribologicznych zachodzących w ciernym tłumiku drgań skrętnych zespołu tarczy sprzęgła. Głównym zagadnieniem badawczym pracy jest określenie wpływu normatywnego i nienormatywnego zużycia elementów tłumika na zmianę charakterystyki tłumienia w warunkach długotrwałej eksploatacji. Problematyka ta wpisuje się w aktualne wyzwania współczesnej motoryzacji, związane z koniecznością zwiększania ogólnie pojętej efektywności środków transportu, m.in. przez ograniczanie strat energii i zużycia paliwa przy jednoczesnej maksymalizacji trwałości i niezawodności komponentów. Autor wskazuje na bezpośredni związek pomiędzy ukierunkowaniem na poprawę sprawności energetycznej i ekonomicznej środków transportu ze wzrostem obciążeń elementów układu napędowego (w tym ze zwiększeniem amplitudy drgań skrętnych) oraz podwyższeniem wymagań co do trwałości, np. przez wydłużenie oczekiwanego czasu eksploatacji.

Celem głównym pracy jest identyfikacja czynników wpływających na stabilność procesów tarcia w ciernym tłumiku drgań skrętnych zespołu tarczy sprzęgła samochodu ciężarowego. Cel ten został

uszczegółowiony poprzez analizę zjawisk tribologicznych zachodzących w badanym podzespolu, ocenę wpływu wybranych parametrów eksploatacyjnych, konstrukcyjnych i technologicznych – w szczególności współczynnika tarcia, sposobu montażu oraz stopnia zużycia elementów – na wartość i stabilność momentu tarcia tłumika drgań skrętnych. Autor podejmuje próbę opracowania rozwiązań ograniczających negatywne skutki procesów zużycia na zdolność dyssypacji energii i co za tym idzie poprawnej, stabilnej pracy w warunkach długotrwałej eksploatacji pojazdu ciężarowego.

W pracy sformułowano hipotezy badawcze dotyczące wpływu zmian współczynnika tarcia elementów ślizgowych na stabilność momentu tarcia zarówno w okresie docierania, jak i po jego zakończeniu, a także wpływu nienormalnego zużycia elementów konstrukcyjnych – w szczególności w rejonie sprężyny dociskowej – na charakterystykę pracy tłumika w trakcie eksploatacji. Przyjęto tym samym założenie, że procesy zużycia eksploatacyjnego stanowią jeden z kluczowych czynników determinujących właściwości funkcjonalne tłumika drgań oraz pośrednio wpływają na trwałość całego układu napędowego pojazdu.

Autor poprawnie zdefiniował problem badawczy, jasno określił cele pracy oraz sformułował spójne i weryfikowalne hipotezy badawcze, które tworzą logiczną podstawę dla przeprowadzonych analiz i badań doświadczalnych.


3. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska opracowana została w postaci maszynopisu zawierającego 101 stron tekstu a jej zasadniczą część poprzedzają wymagane formalnie oświadczenia Autora, opis rozprawy, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści i wykaz najważniejszych oznaczeń używanych w dalszej części pracy. Na zasadniczą część pracy składa się siedem numerowanych rozdziałów, włączając spis literatury, z poprawnie zastosowaną strukturą podrozdziałów. Sposób podziału treści oraz kolejność rozdziałów nie budzą zastrzeżeń, struktura jest logiczna i odpowiada klasycznemu układowi rozpraw doktorskich, od zdefiniowania problemu, przez analizę literatury i badania własne, aż po wnioski i kierunki dalszych badań.

W rozdziale pierwszym przedstawiono wprowadzenie do problematyki pracy, uzasadnienie wyboru tematu oraz jego znaczenie w kontekście współczesnych wymagań stawianych układom napędowym pojazdów ciężarowych. Omówiono rolę sprzęgła oraz tłumika drgań skrętnych, wskazując na znaczenie procesów tribologicznych i ich wpływ na trwałość oraz niezawodność układu. Te wprowadzenie do tematyki badawczej jest też miejscem doprecyzowania tematu pracy na następujący: *Wpływ zużycia eksploatacyjnego wybranych elementów ciernego tłumika drgań skrętnych układu napędowego pojazdu samochodowego na zmianę charakterystyki tarcia tłumika.*

Rozdział drugi zawiera szczegółowy przegląd aktualnego stanu wiedzy dotyczącego ciernych tłumików drgań skrętnych. Omówiono ich budowę, zasadę działania, modele fizyczne oraz procesy tarcia i zużycia. Przedstawiono również stosowane stanowiska badawcze oraz wyniki badań innych autorów w zakresie tribologii i dynamiki układów napędowych.

W rozdziale trzecim przedstawiono genezę tematyki badawczej, cel oraz zakres pracy, a także sformułowano hipotezy badawcze. Na szczególne podkreślenie zasługuje powiązanie problemu badawczego z praktyką inżynierską oraz doświadczeniami eksploatacyjnymi. Hipotezy zostały



sformułowane w sposób jednoznaczny i odnoszą się bezpośrednio do wpływu współczynnika tarcia oraz zużycia elementów na stabilność momentu tarcia tłumika. Można jednak zauważyć powielanie treści zawartych w wprowadzeniu.

Rozdział czwarty, obejmujący opis badań doświadczalnych, stanowi zasadniczą część pracy. Autor szczegółowo opisuje metodykę badań, zastosowane stanowiska oraz uzyskane wyniki, a także przeprowadza ich analizę i dyskusję. Na pozytywną ocenę zasługuje kompleksowość badań oraz ich powiązanie z postawionymi hipotezami. Pewnym mankamentem jest jednak rozbudowana struktura rozdziału, która miejscami utrudnia śledzenie głównej linii argumentacji. Autor zastosował rozdzielenie opisu procedury badawczej (rozdział 4.1) od otrzymanych wyników (rozdział 4.2) i ich dyskusji (rozdział 4.3). Takiego podziału nie zastosowano w przypadku opisu badań uzupełniających, przedstawionych w rozdziale 4.4.

Rozdział piąty zawiera wnioski z przeprowadzonych badań, odnoszące się do wpływu parametrów tribologicznych i zużycia na stabilność momentu tarcia. Autor podejmuje również próbę wskazania rozwiązań o charakterze aplikacyjnym. Wnioski te są zgodne z zakresem pracy, choć ich prezentacja mogłaby być bardziej syntetyczna i wyraźniej uporządkowana pod kątem najważniejszych osiągnięć naukowych.

W rozdziale szóstym przedstawiono kierunki dalszych badań, obejmujące m.in. walidację proponowanych rozwiązań oraz rozwój badań nad stabilnością charakterystyk tarcia. Rozdział ten ma charakter uzupełniający i poprawnie wskazuje potencjalne możliwości kontynuacji prac, choć jego zakres mógłby zostać nieco szerzej rozwinięty.

Pracę kończy rozdział siódmy, zawierający zestawienie literatury wykorzystanej w pracy.

4. Ocena pracy

W recenzowanej rozprawie doktorskiej Pan mgr inż. Michał Formela dokonał kompleksowej analizy wpływu procesów zużycia eksploatacyjnego na charakterystykę tarcia ciernego tłumika drgań skrętnych, wykazując ich istotne znaczenie dla zachowania stabilności pracy tego podzespołu. Autor w sposób systematyczny powiązał zmiany właściwości tribologicznych elementów współpracujących z przebiegiem momentu tarcia, co stanowi wartościowy wkład poznawczy w zakresie funkcjonowania układów tłumienia drgań w napędach pojazdów samochodowych.

Istotnym osiągnięciem pracy jest eksperymentalna weryfikacja postawionych hipotez badawczych dotyczących wpływu zmian współczynnika tarcia oraz zużycia elementów na stabilność momentu tarcia, zarówno w okresie docierania, jak i w dalszej eksploatacji. Autor zrealizował badania współczynnika tarcia w roboczej parze cierniej tłumika, w warunkach które można określić na wyizolowane, za pomocą tribometru Rtec MFT-5000. Przeprowadzono również badania momentu tarcia tłumików drgań skrętnych w zespołach tarcz sprzęgłowych: nowych, używanych oraz takich, w których zaobserwowano symptomy zużycia nienormalnego (stanowisko testowe Fatigue Bench 2). Otrzymane wyniki zestawiono z charakterystykami sprężyn talerzowych tych tłumików. Analizując zużycie talerzowej sprężyny dociskowej tłumika, Autor dokonał identyfikacji mechanizmów obniżania siły docisku elementów pary cierniej a w efekcie zmniejszania momentu



tarcia i zdolności do tłumienia drgań skrętnych zespołu. Wskazano strefy ubytku materiału sprężyny, powodującego w efekcie końcowym degradację właściwości eksploatacyjnych tłumika.

Uzyskane wyniki pozwoliły na wskazanie kluczowych czynników konstrukcyjnych i technologicznych mających wpływ na zmienność charakterystyki tłumika podczas eksploatacji. Ma to niewątpliwie znaczenie zarówno poznawcze, jak i aplikacyjne. Autor podejmuje próbę sformułowania wniosków o charakterze wdrożeniowym, ukierunkowanych na ograniczenie negatywnego wpływu zużycia na pracę zespołu tłumika drgań skrętnych.

Do osiągnięć pracy należy zaliczyć powiązanie analiz tribologicznych z rzeczywistymi warunkami eksploatacyjnymi układów napędowych pojazdów ciężarowych, co zwiększa jej wartość praktyczną. Praca wpisuje się w aktualne kierunki badań związanych z poprawą niezawodności i trwałości elementów układów przeniesienia napędu.

Podsumowując, główne osiągnięcia rozprawy obejmują identyfikację mechanizmów wpływających na stabilność charakterystyki tarcia ciernego tłumika drgań skrętnych, ich eksperymentalne potwierdzenie oraz wskazanie potencjalnych kierunków doskonalenia konstrukcji i eksploatacji tego typu układów.

Zastosowana w pracy technika pomiarowa zużycia elementów ciernego tłumika drgań skrętnych stanowi poprawną podstawę do oceny zmian geometrycznych i masowych, jednak nie w pełni wykorzystuje możliwości współczesnych metod analizy tribologicznej. Autor koncentruje się przede wszystkim na prostych pomiarach za pomocą mikrometru i wysokościomierza, co pozwala na ilościową ocenę degradacji elementów pary ciernej i sprężyny talerzowej. Przyjęta metodologia ma charakter pośredni i ogranicza się do wybranych parametrów geometrycznych, nie obejmując pełnej charakterystyki zużycia w ujęciu tribologicznym. Utrudnia to jednoznaczną interpretację przyczyn obserwowanych zmian właściwości eksploatacyjnych tłumika. Rozszerzenie metod pomiarowych o profilometrię czy metody bezkontaktowe, np. skanowanie 3D, pozwoliłoby na jakościową ocenę procesów zużycia elementów tłumika.

Zaproponowane zmiany konstrukcyjne tłumika drgań skrętnych prowadzą się do zmniejszenia tolerancji montażowych połączenia wielowypustowego talerzowej sprężyny dociskowej i piasty oraz zmniejszenia grubości samej piasty. Pierwsza z modyfikacji pozwoli na zminimalizowanie procesów zużycia ciernego w strefie podparcia sprężyny i wywołanej tym degradacji zdolności do wywierania siły docisku elementów roboczych tłumika. Druga zmiana ma wymusić montaż sprężyny w zespole tłumika, zapewniający jej pracę w zakresie charakterystyki, w której następujące zużycie eksploatacyjne nie będzie powodowało zmniejszenia siły docisku. Pomimo tego, że skuteczność zaproponowanych zmian konstrukcyjnych nie została w pracy wykazana, należy je określić jako obiecujące i bardzo efektywne z ekonomicznego punktu widzenia.

5. Ocena redakcyjnej strony pracy

Redakcję pracy należy ocenić jako poprawną pod względem formalnym, jednak nierówną pod względem jakości stylistycznej i przejrzystości wyводу. Układ pracy jest logiczny i zgodny z przyjętymi standardami rozpraw doktorskich a poszczególne rozdziały zostały jasno wyodrębnione i uporządkowane. Na pozytywną ocenę zasługuje również konsekwentne stosowanie terminologii



technicznej oraz wprowadzenie wykazu oznaczeń, co ułatwia interpretację zależności przedstawianych w dalszej części pracy.

Jednocześnie w pracy widoczna jest tendencja do nadmiernej rozbudowy opisów o charakterze wprowadzającym. Fragmenty te mają często charakter popularnonaukowy lub podręcznikowy, co osłabia naukową zwięźłość wyводу i utrudnia identyfikację kluczowych treści. W szczególności dotyczy to rozdziału pierwszego, w którym część zagadnień mogłaby zostać przedstawiona w sposób bardziej syntetyczny.

Styl językowy pracy jest generalnie poprawny, jednak miejscami pojawiają się zdania wielokrotnie złożone o znacznej długości oraz wtrącenia zmniejszające czytelność treści. Sprawia to, że tekst staje się trudny do pracy i wymagający od czytelnika znacznej koncentracji. Zdarzają się również powtórzenia treści oraz pewna redundancja informacji między rozdziałami, zwłaszcza w zakresie uzasadnienia tematyki i opisu problemu badawczego.

Strona edytorska pracy, obejmująca strukturę spisu treści, numerację oraz układ rozdziałów, jest zasadniczo poprawna, choć w dostarczonym materiale widoczne są drobne niedoskonałości redakcji. Zastosowanie interlinii 1.5 przyjmowany jest powszechnie dla tekstów o charakterze rękopisu. Pracę recenzenta ułatwiłby również spis rysunków. Do drobnych uchybień redakcyjnego przygotowania pracy zaliczyć można: pojedyncze znaki (spójniki, przyimki) pozostawione na końcach wierszy, tzw. sieroty, przypadkowa wielkość czcionek używanych w rysunkach i wykresach.

Zastrzeżenia budzi struktura wykorzystywanych źródeł bibliograficznych. W pracy wykorzystano liczne odniesienia do materiałów o charakterze technicznym, tj. dokumentacji producentów, opisów rozwiązań przemysłowych, przy ograniczonym wykorzystaniu najnowszych publikacji naukowych. Cytowanie dzieł takich autorów jak Leonardo da Vinci (pozycja 46, 47), Guillaume Amontons (pozycja 48) czy Charles Augustin de Coulomb jest niewątpliwie chwalebne lecz powołanie na współczesną pracę o charakterze przeglądowym wykazałoby lepsze osadzenie recenzowanej pracy w dyskusji naukowej. W wielu miejscach cytowania mają charakter ilustracyjny, a nie analityczny, co ogranicza ich wartość poznawczą. Pod względem redakcyjnym bibliografia należy ocenić jako poprawną, jednak w pracy tej rangi należałoby oczekiwać większej konsekwencji w doborze źródeł, ich aktualności oraz głębi ich wykorzystania w analizie naukowej.

Podsumowując, redakcja pracy spełnia podstawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim, jednak wymagałaby miejscami większej zwięźłości, eliminacji powtórzeń oraz poprawy przejrzystości stylistycznej, co wpłynęłoby korzystnie na odbiór całości opracowania.

6. Uwagi krytyczne i pytania

Przedstawione niżej uwagi do pracy mają bardzo zróżnicowany charakter, od wskazania drobnych nieścisłości językowych, do kwestii merytorycznych.

Na rys. 2.25 (str. 39) przedstawiono charakterystykę sprężyny talerzowej – w tym przypadku zależność siły od wysokości. Na tym etapie pracy Autor nie komentuje i nie wyjaśnia przyczyn powstawania uwidocznionej pętli histerezy. Czy nie lepiej byłoby ilustrować nieliniowość charakterystyki i pożądaną zakres pracy sprężyny na wykresie przedstawiającym charakterystykę idealną, bez uwzględniania zjawiska tarcia? Analizy prezentowanych wyników nie ułatwia fakt, że raz

Autor przedstawia siłę normalną sprężyny w funkcji wysokości, raz w funkcji ugięcia (np. rys. 4.37). W dalszej części pracy (np. str. 45) zdarza się Autorowi napisać: „dzięki płaskiej charakterystyce talerzowej sprężyny dociskowej”, co stoi w sprzeczności i z rys. 2.25 i wynikami dalszych badań. Ten dualizm, co do oceny charakterystyki sprężyny talerzowej, napotkać można w rozdziale 5.1 (str. 90). Sprężyna talerzowa pracuje w złożeniu tłumika w sposób statyczny a ewentualne zmiany jej wysokości następują w wyniku wolnozmiennych procesów zużycia. Powstaje kwestia, czy możliwe jest wyeliminowanie procesów tarcia z prób wyznaczania charakterystyki sprężyny?

W zależności opisującej moment tarcia tłumika wielopłytkowego (2.14, str. 40) należało użyć notacji sumowania.

Termin „zacisk” jest powszechnie stosowany w praktyce inżynierskiej, zwłaszcza w odniesieniu do elementów takich jak zaciski hamulcowe, jednak w analizie procesów tribologicznych ma charakter bardziej potoczny i może prowadzić do niejednoznaczności interpretacyjnej. W kontekście analizowanego układu ciernego tłumika drgań skrętnych, bardziej precyzyjne i zgodne z terminologią mechaniki oraz tribologii jest posługiwanie się pojęciami takimi jak „siła docisku”, „nacisk kontaktowy” lub ewentualnie „siła normalna” działająca w skojarzeniu ciernym.

W rozdziale trzecim wprowadzono podział czynników wpływających na zmianę charakterystyki roboczej tłumika drgań skrętnych na czynniki kontrolowane, tj. eksploatacyjne zużycie elementów ciernych, oraz niekontrolowane, np. przyspieszone zużycie elementów w strefie podparcia sprężyny talerzowej. Dyskusyjne wydaje się zakwalifikowanie zmiany współczynnika tarcia ślizgowego w elementach par ciernych tłumika w początkowym etapie pracy, do czynników niekontrolowanych – wynika on bowiem z procesu technologicznego wytwarzania elementów tłumika (str. 47). Może celowym byłoby również wprowadzenie podziału na czynniki powodujące zużycie normatywne i nienormatywne.

Niefortunne określenia, np. zużycie „pasożytnicze” (str. 48), „Sprężyna dociskowa ma budowę stożkową” (str. 49), „nieliniowości w harmonogramie eksperymentów” (str. 50).

Dużym ułatwieniem w pracy z tekstem byłoby stosowanie jednakowych oznaczeń elementów na różnych rysunkach przedstawiających ten element/zespół, np. rys. 4.2 i 4.3. Na rysunkach przedstawiających przekrój zespołu tłumika drgań skrętnych, tj. rys. 2.14, 2.23, 2.24, 3.5, brak jest oznaczeń połączenia wielowypustowego. Szczegółów połączeń między elementami tłumika drgań można się domyślać jedynie na podstawie opisu i rysunków aksonometrycznych (rys. 2.14, 3.6).

Siła normalna, zastosowana w badaniach tarcia wyizolowanej pary cierniej tłumika drgań skrętnych (str. 53), na wartość 200N, co jest dalekie od rzeczywistych warunków pracy tłumika. Na jakiej podstawie przyjęto parametry opisywanego eksperymentu?

Na rys. 4.14 (str. 60) przedstawiono zależność czasu eksploatacji w dniach od przebiegu pojazdu ciężarowego dla tłumików, które uległy awarii. Na jakiej podstawie Autor zauważa „zależności dla wszystkich tłumików są zbliżone”?

Określenie „utrata grubości ścianki”, str. 75, str. 82, powinno zastąpić „zmniejszenie grubości”.

Określenie „geometryczny zacisk”, str. 80, wymaga przeredagowania lub wyjaśnienia.



W rozdziale 4.3.3 Autor porównuje zużycie masowe pierścieni A i B wskazując na dużo wyższe tego drugiego (1.7 ÷ 4.4 %) wobec tego pierwszego (2.4 ÷ 7.5 %). Czy jest to pomyłka redakcyjna?

Niezrozumiałe zdanie na str. 84: „W uproszczeniu, konstrukcja tarczy odpowiada tłumikowi drgań generującemu jedynie szczątkowe tarcie podczas pracy pod obciążeniem.”

Czy skokowy wzrost momentu tarcia, opisywany na str. 85-86 i ilustrowany rys. 4.41-4.43, można tłumaczyć tylko wejściem w kontakt elementów połączenia wielowypustowego?

Określenie „histereza ta spada w sposób liniowy” (str. 92) jest określeniem nieprecyzyjnym. Porównywanie pętli histerezy nie jest prostym porównywaniem przebiegów i wymaga wprowadzenia miar ilościowych lub jakościowych. Wymagany jest komentarz.

Jak można skomentować stosunkowo wysokie wartości współczynnika tarcia występujące w elementach ciernych tłumika drgań skrętnych? Otrzymywane wartości, np. 0.76, są w górnym zakresie skojarzenia stal-stal.

Wniosek końcowy

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Formeli pt. **„Badanie procesów tarcia w sprzęgle ciernym i ich optymalizacja pod względem niezawodności”** zawiera sformułowanie ważnych w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna* zadań badawczych, ich rozwiązanie i dyskusję wyników. Stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata w reprezentowanej dyscyplinie naukowej oraz potwierdza jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa spełnia więc wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z późn. zm.).

Uwzględniając powyższe, pozytywnie opiniuję rozprawę doktorską Pana mgr inż. Michała Formeli i wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora, w tym do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.



dr hab. inż. Adam Adamowicz