

Dr hab. inż. Janusz Lubas prof. Prz
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa
Katedra Pojazdów Samochodowych
i Inżynierii Transportu
Aleja Powstańców Warszawy 12,
35-959 Rzeszów
e-mail: lubasj@prz.edu.pl

Rzeszów, dnia 20.08.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego
**nt. Badanie wybranych czynników wpływających na trwałość obręczy kół
tramwajowych**

Recenzja została opracowana na podstawie pisma (sygn. M.00-520-82/2024) Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej Pana prof. dr hab. inż. Jerzego Śładka, z dnia 19.16.2024r. i dołączonej do niego rozprawy doktorskiej mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego pt. „Badanie wybranych czynników wpływających na trwałość obręczy kół tramwajowych”. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Grzegorz Zając prof. PK, a promotorem pomocniczym dr inż. Augustyn Lorenc.

Istotność problematyki rozprawy

Tematyka przedłożonej do recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego dotyczy ważnego obszaru badawczego dotyczącego ograniczenia procesów zużycia elementów konstrukcji mechanicznych przez zastosowanie środka smarowego. Autor rozprawy doktorskiej zaprezentował problematykę zużywania się układu koło-szyna w zmiennych warunkach eksploatacji obejmujących konstrukcje układu jezdnego, kinematykę układu, materiały stosowane na elementy układu, metody smarowania i modyfikatory tarcia stosowane w tych układach. Wprowadzenie modyfikatorów tarcia do układu koło-szyna jest zagadnieniem ważnym i aktualnym, gdyż ograniczenie zużycie współpracujących elementów, istotnie zwiększa trwałość i niezawodność całego układu jezdnego, który w tramwajowym systemie transportowym jest głównym podzespołem kinematycznym realizującym ruch. Rozpatrywana tematyka ma nie tylko znaczenie poznawcze, lecz również praktyczne, ponieważ umożliwia zastosowanie tej metody w zagadnieniach inżynierskich. Wraz z korzystnymi zmianami trwałości i niezawodności tych układów można wskazać na efekty ekonomiczne dla przedsiębiorstw transportowych wynikające z wydłużenia czasu eksploatacji całego systemu transportowego i niższych kosztów eksploatacji. A także efektu ekologicznego wynikające z zmniejszenia energii wymaganej do pokonania oporów ruchu przez wagon tramwajowy. Istotnym obszarem analizowanym w rozprawie jest otwartość systemu tribologicznego, a zatem wpływ na smarowanie obszaru styku w układzie koło-szyna czynników otoczenia, które decydują o niekontrolowanych zmianach w współpracy węzła tarcia, co powoduje, że zagadnienie jest wieloaspektowe i interdyscyplinarne.

Charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego napisana została w języku polskim i przedstawiona jest na 182 stronach formatu A4. W skład jej wchodzi strona tytułowa, spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń, 6 rozdziałów, bibliografii i streszczenia w j. polski, i j. angielskim. Dysertacja ma klasyczny układ i podzielona została na dwie zasadnicze części: teoretyczną oraz doświadczalną. Zawiera materiał ilustracyjny w postaci 136 rysunków, fotografii i wykresów oraz 87 tabel, a w spisie cytowanej bibliografii znajduje 125 pozycji literatury. Część zawierająca materiały literaturowe (rozdziały 1-2) stanowi ok. 30 % całego tekstu rozprawy, a w pozostałej części znajdują się rozdziały związane z badaniami własnymi Doktoranta.

Pierwszy rozdział pracy obejmuje wprowadzenie do obszaru podjętej problematyki badawczej ze wskazaniem uzasadnienia merytorycznego, obejmującego zagadnienia konstrukcyjne i eksploatacyjne układu kinetycznego koło-szyna.

W rozdziale drugim przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat tramwajowych zestawów kołowych stosowanych w transporcie publicznym Polsce z uwzględnieniem profili obręczy kół i szyn. Przedstawiono tramwajowe nawierzchnie toru i opisano zagadnienia współpracy w układzie z kołem jezdnym z uwzględnieniem kompozycji materiałowej par kinematycznych. Zwrócono uwagę na stosowane obecnie systemy smarowania styku koło-szyna i scharakteryzowane procesy zużycia występujące w układzie koło-szyna. Następnie zamieszczono klasyfikacje stanów technicznych stosowane do oceny pojazdów szynowych i pomagające podejmowanie decyzji o systemie użytkowania. W analizie stanu wiedzy.

Następnie w rozdziale trzecim zostały podane cele i zakres pracy. Doktorant sformułował cztery cele cząstkowe i cel użytkowy, który mówi o opracowaniu innowacyjnej substancji smarującej, którą można zastosować do smarowania obrzeży kół tramwajowych i zmniejszyć intensywność ich zużycia, przy zachowaniu istniejącej konstrukcji układu koło –szyna.

W rozdziale czwartym zatytułowanym „Badania probabilistyczne w zakresie trwałości obręczy eksploatowanych w wagonach tramwajowych” zawarto opis wymogów stawianym wózkom kołowym, kołom i podano dokładności ich wykonania. Następnie na podstawie danych eksploatacyjnych dla trzech typów konstrukcji układu jezdny wykonano analizę przebiegu funkcji niezawodności dla obręczy kół jezdnych i określono umowną trwałość obręczy.

W następnym rozdziale 5 przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych modyfikator tarcia w układzie koło-szyna. W rozdziale tym zawarto szczegółowy opis obiektu badań, statystycznej oceny wyniki badań, metodyki badawczej i przebieg badań i analizę wyników. W pierwszej kolejności zaprezentowano wyniki badań przeprowadzone w czterokulowym układzie tribologicznym dla 15 zestawów badawczych, w tym dla zestawów z autorską kompozycją smarową. Badania te obejmowały wyznaczenie wartości współczynnika tarcia w zależności od obciążenia pary tribologicznej, które wykazały istotne zmiany przebiegu współczynnik tarcia w zależności od kompozycji badawczej. W dalszej części wykonano analizę wyników badań stanowiskowych z podziałem na trzy grupy skojarzeń w zależności od dominującego dodatkowego czynnika smarowego w badanej parze tribologicznej. W oparciu o wartość współczynnika tarcia i średnich śladów wytarcia na kulkach pomiarowych wykazano pozytywny wpływ autorskiej kompozycji smarowej na proces tarcia i zużycie. Następnie przedstawiono wyniki pomiarów chropowatości powierzchni kulek z pary tribologicznej i zdjęcia śladów wytarcia na kulkach dolnych i kulce górnej. Również

w tym przypadku analizę przeprowadzono dla trzech grup skojarzeń i wybranych dwóch parametrów chropowatości Rz (największej wysokości profilu chropowatości) i Sz (maksymalnej wysokości chropowatości powierzchni) zmierzonych na dolnych kulkach. Pomiary wykazały znacznie niższe parametry wysokościowe chropowatości dla skojarzeń smarowanych autorską kompozycją smarową. Uzyskane wyniki badań jednoznacznie potwierdziły, że autorska substancja smarowa stosowana do smarowania węzłów tarcia koło-szyna powoduje mniejsze niż w innych smarowanych skojarzeniach opory tarcia, mniejsze zużycie i mniejsze zmiany w strukturze geometrycznej badanych elementów.

Rozdział 6 to podsumowanie i wnioski, gdzie przedstawiono wnioski poznawcze dotyczące wpływu wybranych czynników na trwałość obręczy kół tramwajowych i wniosek użytkarny opisujący efekt zastosowania autorskiej substancji smarowej. Opisane zostały również kierunki dalszych badań.

Ocena merytoryczna i dyskusja treści rozprawy

Jednym ze sposobów zwiększenia trwałości i niezawodności eksploatacyjnej elementów metalowych w systemach tribologicznych jest zastosowanie środka smarowego o odpowiednich właściwościach tribochemicznych zapewniających ograniczenie kontaktu nierówności warstw powierzchniowych elementów współpracujących oraz zmniejszenie oporów ruchu. Elementy układu tribologicznego narażone są na różnego rodzaju uszkodzenia, a ich trwałość eksploatacyjna zależy przede wszystkim od zastosowanych materiałów współpracujących tarciovo oraz stosowanie w nich odpowiednich środków smarowych zapewniających wymagane warunki tarcia.

Eksploatacja smarowanych węzłów tarcia koło-szyna stanowi poważne wyzwanie, co wynika przede wszystkim z otwartości tego układu tribologicznego. Kluczowym problemem jest dobór środków smarowych dedykowanych do tego układu ze względu na materiały pary ciernej, zmienne warunki pogodowe i klimatyczne, a także potencjalne zanieczyszczenia obszaru tarcia substancjami zewnętrznymi. Dotychczasowe prace wskazują na braki badawcze w zakresie teoretycznych podstaw doboru środka smarowego do konkretnych zastosowań technicznych w układzie koło-szyna. W literaturze przedmiotu brakuje również danych, które jednoznacznie określają kryteria wyboru czynnika smarowego i jego wpływ na procesy zużycia elementów współpracujących w układzie koło-szyna. Prowadzone próby doboru tych środków smarowych realizowane są głównie na drodze eksperymentalnej lub w oparciu o procesy eksploatacyjne producentów i przedsiębiorstw transportowych. Zmiany w konstrukcji układów jezdnych i zastosowanych kompozycji materiałowych układu wymuszają ciągle doskonalenie środków smarowych, zarówno tych stosowanych obecnie do stalowych węzłów tarcia, jak i poszukiwanie nowych o korzystniejszych właściwościach użytkowych i ekologicznych.

Biorąc pod uwagę znaczenie i zakres problematyki badawczej podjętej przez mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego, uważam wybór tematu pracy doktorskiej pt. „Badanie wybranych czynników wpływających na trwałość obręczy kół tramwajowych” za trafny i uzasadniony. Recenzowana praca mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna i dotyczy badania wpływu środka smarowego na właściwości eksploatacyjne smarowanych systemów tribologicznych w układzie par trących metal - metal w styku koło-szyna. Należy również stwierdzić, że tytuł rozprawy: „Badanie wybranych czynników wpływających na trwałość obręczy kół tramwajowych” oddaje jej zawartość.

Pytania merytoryczne i oraz uwagi do dyskusji

Po zapoznaniu się z treścią całej rozprawy, poniżej zebrano w kilku punktach pytania i uwagi merytoryczne wymagające odpowiedzi i wyjaśnienia:

1. Na stronie 73 Autor rozprawy opisuje środki smarowe i stwierdza, że nie można ujawnić żadnych danych o nich, jednak sądzę, że dla większej czytelności rozprawy można opisać wybrane środki smarowe ze względu np. na bazę środka, jako mineralne, syntetyczne, roślinne, zwierzęce, czy np. określenie ich biodegradowalności lub np. w przypadku olejów przez podanie lepkości lub innych ogólnych cech fizyczno-chemicznych.
2. W rozdziale 5 w tabelach 5.6 - 5.48 zamieszczono wyniki badań wykonanych na aparacie czterokulowym wykonane zgodnie z metodą stosowaną do wyznaczenia granicznego obciążenia zatarcia i granicznego nacisku zatarcia opracowane przez producenta urządzenia, jednak nie przeprowadzono ich analizy między badanymi zestawami.
3. Wymiary śladów wytarcia na kulkach stalowych (Rozdział 5.3.3) w zestawach badawczych zostały sumowane a następnie w oparciu o średni wynik wielkości wytarcia przeprowadzono analizę zużycia, jak autor wyjaśni tę metodologię badań w przypadku zestawów, w których wystąpiło zatarcie, które w sposób drastyczny zmienia zużycie (zatarcie wystąpiło w zestawach badawczych nr 3, 5, 8, 10, 12 i 14). Czy dla większej pewności wyniku nie powinno się przeprowadzić kolejnej próby i wykonać pomiary śladów wytarcia dla porównywalnych warunków współpracy?. Dla większej czytelności wyników na wykresach śladów wytarcia warto umieścić słupki błędów (umieszczenie ich tylko w tabelach utrudnia interpretacje wyników).
4. Na wykresach współczynnika tarcia w funkcji obciążenia zaznaczono przedział nominalnych obciążeń dla koła jezdnego wagonu tramwajowego typu NGT8, jednak Autor nie odniósł się do wartości oporów tarcia w tych obszarach a analizę wykonał dla przedziału obciążenia wynikającego z metody badawczej.
5. Dyskusyjne jest zastosowanie metody badawczej do oznaczenia granicznego obciążenia zatarcia i granicznego nacisku zatarcia do analizy zużycia w oparciu o pomiar śladów wytarcia na kulkach. Wyjaśnienia wymaga pewność uzyskanych wyników śladów wytarcia w stosunku do jednoznacznych warunków obciążenia w czasie trwania próby, które w tych warunkach nie muszą być powtarzalne.
6. W rozdziale 5 w opisach przeprowadzonych badań i wyników stosuje się zapis zestaw badawczy i kompozycja badawcza wg opisu autora jest to ten sam układ a stosowanie dwóch oznaczeń wprowadza niejasności w analizie wyników.
7. Wyniki badań doświadczalnych przedstawione w rozdziale 5.4 wymagają pewnego komentarza i dyskusji. Zamieszczone w pracy analizy struktur geometrycznych śladów wytarcia na kulkach badawczych nie są jednoznacznie opisane, co nie pozwala stwierdzić czy były to zestawy kulek z badań, w który wystąpiło zatarcie węzła tarcia czy nie (przykład zestawu badawczego nr 1, 3, 5, 8, 10, 12 i 14 opisanych w rozdziale 5, gdzie np. w zestawie nr 3 podczas testu nr 2 wystąpiło zatarcie). Ta uwaga dotyczy również tabelarycznych wyników z pomiarów wybranych parametrów chropowatości obejmujących 11 parametrów chropowatości profilu linii i 7 parametrów obrazu

badanej powierzchni (tabele 5.49 - 5-78). Nie podano wyjaśnienia, dlaczego przeprowadzono porównanie i analizę wyników badań tylko dla parametrów Rz i Sz, które obejmują skrajne wysokości i głębokości a inne pominięto w analizie?

8. Na ile otrzymane wyniki można przenieść do rzeczywistej eksploatacji gdzie występują zmienne temperatury nie tylko klimatyczne, ale również spowodowane zjawiskiem tarcia w obszarach styku koło-szyna.

Ważniejsze uwagi edycyjne:

- Tabela 2.1 (str. 11) – brak opisu indeksów umieszczanych przy gatunkach stali,
- w tabeli 2.3 (str. 15) – symbol d posiada dwa opisy; średnica kręgu tocznego i długość prowadna zestawu kołowego,
- strona 20 w akapicie drugim występuje powtórzenie fragmentu „decyduje wiele parametrów między innymi”,
- na stronie 49 jest odwołanie do pozycji literatury [90], gdzie podane jest tylko informacja o badaniach przy zanieczyszczeniu solą i piaskiem, ale brak jest podania wyników tych badań,
- na wykresach na rysunkach 5.26 - 5.84 czcionka opisów jest zbyt mała i nieczytelna; przebieg krzywej w kolorze czerwonym na czarnym tle jest również nieczytelny.

Na podstawie uzyskanych wyników prac badawczych sformułowano wnioski poznawcze i użytkowe. Podane wnioski stanowią podsumowanie najważniejszych wyników badań i należy uznać, że uzyskane wyniki badań potwierdziły założone cele pracy. Wykazano, że typ konstrukcji układu biegowego wpływa na niezawodność i trwałość obręczy kół i najbardziej korzystnym układem jest zastosowanie obrotowego wózka tocznego z rozprężniętymi zestawami kołowymi na osiach portalowych. Dowiedziono, że możliwa jest poprawa właściwości tribologicznych par ciernych przy zachowaniu istniejącej konstrukcji i warunków obciążenia poprzez zastosowanie autorskiej substancji smarowej. Osiągnięty został cel praktyczny pracy, gdyż uzyskano zmniejszenie zużycia wężła tarcia i oporów tarcia, a tym samym uzyskano poprawienie funkcjonalności układu mechanicznego, zmniejszenie zapotrzebowania na energię i zwiększenie parametrów eksploatacyjnych przy zachowaniu obecnej eksploatacji wężła ciernego koło-szyna.

Ocena dysertacji i wniosków końcowy

Stwierdzam, że rozprawa Pana mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego wpisuje się w dyscyplinę inżynieria mechaniczna. W rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł literaturowych świadcząca o dużej wiedzy Autora. Prawidłowo sformułowano problem badawczy i określono jego cel naukowy i cel praktyczny. Zaplanowano i zrealizowano badania stosując nowoczesne narzędzia naukowe według przyjętej metodyki badań. Odpowiednio zinterpretowano uzyskane wyniki i sformułowano wnioski, co wskazuje na dobre przygotowanie merytoryczne Kandydata. Stopień rozwiązania zagadnienia oceniam, jako dobry. Doktorant udowodnił słuszność postawionego celu pracy.

Reasumując uważam, że recenzowana rozprawa została poprawnie skonstruowana pod względem merytorycznym i językowym. Rozprawa stanowi niewątpliwą wkład do istniejącego stanu wiedzy w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Zawarty w niej materiał badawczy jest oryginalnym dorobkiem Doktoranta i ma on walory poznawcze i praktyczne.

Zawartość rozprawy świadczy o dobrym przygotowaniu Doktoranta do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Biorąc pod uwagę powyższe fakty, stwierdzam, że przedłożona rozprawa doktorska mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego pt. „Badanie wybranych czynników wpływających na trwałość obręczy kół tramwajowych” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące w tym względzie przepisy ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o *szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2018r. poz. 1668 z późn. zm.).

Niniejszym wnoszę do Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

