

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Tymoteusza **RASIŃSKIEGO**
pt. **Badanie wybranych czynników wpływających na trwałość
obręczy kół tramwajowych**

1. Informacje ogólne

Recenzja opracowana została na zlecenie Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej pismo nr M.00-520-82/2024 z dnia 20.06.2024 r. na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej pod wyżej wymienionym tytułem.

2 Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego liczy 182 strony zwartego opracowania wraz ze spisem literatury w liczbie 125 pozycji. Rozprawa jest podzielona na trzy rozdziały zasadnicze (merytoryczne), wstęp, cel i zakres pracy, podsumowanie ze wskazanymi kierunkami dalszych prac oraz bibliografię. W pracy zamieszczono także wykaz ważniejszych oznaczeń oraz streszczenie w języku polskim i angielskim.

Praca ma charakter doświadczalny i dotyczy zagadnień związanych z analizą struktur geometrycznych śladów wytarcia i badaniem substancji smarujących o odpowiednich właściwościach tribologicznych, które w znaczący sposób wpływają na zmniejszenie intensywności procesu zużycia obręczy kół tramwajowych. Rozprawa napisana jest z dużą starannością poprawnym i precyzyjnym językiem. Układ pracy jest przejrzysty, podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały poprawny. Terminologia i pojęcia stosowane w pracy nie budzą większych zastrzeżeń. Materiały ilustracyjne oraz tabele z wynikami badań zamieszczone w pracy, w sposób właściwy przedstawiają studia Pana Doktoranta dotyczących zagadnień związanych z badaniem różnych substancji smarujących, które wpływają na zmniejszenie intensywności procesu zużycia kół tramwajowych. Ponadto w konsekwencji prowadzonych prac zaproponowano nową innowacyjną substancję smarującą, która mogłaby zostać zastosowana do smarowania obrzeży kół tramwajów celem ich mniejszego zużycia.

at

3 Ocena podjętego tematu

Komunikacja tramwajowa odgrywa obecnie bardzo ważną rolę w kształtowaniu systemów transportowych dużych aglomeracji miejskich. Zarówno pod kątem ekologicznym jak i funkcjonalnym. Szacuje się, że w miastach, w których występuje duża mobilność ludzi zanieczyszczenia pochodzenia motoryzacyjnego (zanieczyszczenia powietrza i hałas) stanowią około 75% wszystkich zanieczyszczeń. Rozkład tych zanieczyszczeń jest zmienny w czasie i przestrzeni i w dużej mierze zależy od natężenia i charakteru ruchu drogowego oraz sprawności technicznej pojazdów. Konkurencyjność transportu tramwajowego wobec transportu indywidualnego wiąże się z zapewnieniem odpowiedniej niezawodności i efektywności ekonomicznej, o której decyduje stan techniczny taboru oraz jakość nawierzchni torowej. W trakcie eksploatacji wagonów tramwajowych istnieje wiele cech które należy diagnozować ze względów bezpieczeństwa i niezawodności. Stąd też temat podjętej pracy doktorskiej bardzo dobrze wpisuje się w te zagadnienia.

Pomimo, że tramwaje są eksploatowane w wielu polskich miastach to problemy z jakimi spotykają się operatorzy i eksploatatorzy tego środka transportu wymagają rozwiązania wielu kwestii. Przewoźnicy tramwajowi muszą polegać na własnych praktykach i doświadczeniach często bez wsparcia narzędzi naukowych. W powszechnej opinii mogłoby się wygadać, że pojazdy kolejowe i tramwajowe to podobne pojazdy i można by stosować w ich eksploatacji te same przepisy. W praktyce okazuje się że w wielu przypadkach jest to nie możliwe. Niektóre kwestie wymagają przeprowadzenia wielu jeszcze badań i analiz. Autor pracy wskazał wiele takich obszarów z zakresu układu biegowego. Na przykład w pojazdach komunikacji miejskiej ze względu na odmienność konstrukcyjną układu biegowego a w szczególności zestawów kołowych i zarysów wieńców kół konieczne jest indywidualne podejście do analizy cech diagnostycznych monitorowanych w trakcie eksploatacji. Koła kolejowych pojazdów szynowych, podlegają ścisłym przepisom międzynarodowym a także opracowywanym na ich podstawie normom kolejowym. Koła wykorzystywane w wagonach tramwajowych nie są objęte praktycznie żadnymi przepisami międzynarodowymi w tym normami a także żadnymi krajowymi obligatoryjnymi wytycznymi w zakresie eksploatacji. Podobnie kształt profilu zewnętrznego obręczy kół jezdnych stosowanych w wagonach tramwajowych nie jest znormalizowany. W praktyce wykorzystuje się różne profile bardzo często powstałe w wyniku doświadczeń eksploatacyjnych dostosowane do specyfiki eksploatacji (wliczając to infrastrukturę, konkretne typy pojazdów a także inne warunki ruchu). Jednym z rozwiązań pozwalającym wydłużyć trwałość obręczy kół stosowanych w wagonach tramwajowych jest wprowadzenie odpowiednich systemów smarowania. Ze względu na fakt istnienia rozbieżnych wymagań odnośnie wartości współczynnika tarcia w różnych obszarach punktów styku koło-

szyna na obecną chwilę nie wprowadzono do systemów smarujących stosowanych w szynowych pojazdach komunikacji miejskiej uniwersalnej substancji smarującej.

Autor pracy podjął się bardzo ważnego zadania związanego z rozpoznaniem i analizą zjawisk tarcia występujących w układzie koło-szyna wagonów tramwajowych ze szczególnym uwzględnieniem substancji smarujących, które w znaczący sposób mogą wpływać na obniżenie zużycia obręczy kół tramwajowych.

Na podstawie przeprowadzonej bardzo szczegółowej analizy literatury wskazano zasadność wykonania badań związanych z określeniem zmian mikrostruktury powierzchni tarcia oraz analizą struktur geometrycznych śladów wytarcia powstałych na kulkach pomiarowych różnych modyfikatorów tarcia. Następnie opracowano i przeprowadzono eksperyment badawczy (badania tribologiczne oraz analizy struktury geometrycznej śladów wytarcia), których głównym celem była analiza i ocena wpływu wybranych modyfikatorów tarcia na intensywność zużycia i wartość współczynnika tarcia z wykorzystaniem modelowych kompozycji badawczych oraz określenie wpływu tych modyfikatorów na stan badanych powierzchni, poprzez identyfikację zmian mikrostruktury oraz wyznaczenie charakterystycznych parametrów chropowatości profilu powierzchni 2D i 3D. Ponadto przed wykonaniem badań laboratoryjnych wyznaczono także trwałość umową obręczy kół tramwajowych wyznaczając funkcję niezawodności $R(t)$ przy określonych warunkach eksploatacji. Wyniki uzyskanych prac posłużyły do oceny zastosowanych modyfikatorów tarcia dla wybranych warunków eksploatacji ze szczególnym uwzględnieniem oceny Autorskiego środka smarującego z innymi aktualnie stosowanymi środkami.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że wybór tematu jest bardzo aktualny i istotny z punktu widzenia naukowego (poznawczego) jak i praktycznego zastosowania w pojazdach tramwajowych. Wynikami uzyskanych badań może być zainteresowanych wiele podmiotów naukowych i przemysłowych (operatorów komunikacji tramwajowej). Dodatkowo także opracowana Autorska substancja smarująca z uwagi na otrzymane najlepsze rezultaty odnośnie średniego zużycia oraz średniego współczynnika tarcia na obrzeżu koła jezdnego może być wdrożona do eksploatacji.

4 Analiza treści rozprawy

W przedstawionej do recenzji pracy Autor podjął się zadania związanego z określeniem zmian mikrostruktury powierzchni tarcia oraz analizą struktur geometrycznych śladów wytarcia powstałych na kulkach pomiarowych różnych modyfikatorów tarcia, które wpływają na zmniejszenie procesu zużywania się obręczy kół tramwajowych. Konsekwencją takiego podejścia do rozwiązania problemu badawczego, zdefiniowanego przez Autora rozprawy jest przyjęty układ pracy, oraz jej zawartość merytoryczna.

Rozdział pierwszy pracy to **Wstęp** jest on wprowadzeniem do problematyki zagadnień poruszanych w rozprawie.

Rozdział drugi **Problem badawczy** składa się z kilku podrozdziałów, w których w pierwszej kolejności omówiono budowę i rodzaje zestawów kołowych stosowanych w wagonach tramwajowych. Następnie uwagę skupiono na obręczach kół wskazując gatunki i własności stali z których one są wykonane oraz omówiono podstawowe elementy z jakich składa się ich profil. Jest to ważny element obręczy ponieważ jego odpowiednie wyprofilowanie wpływa na właściwe prowadzenie pojazdów szynowych zarówno po torze prostym oraz w łukach. W przeciwieństwie do pojazdów kolejowych kształt profilu zewnętrznego obręczy w wagonach tramwajowych nie jest znormalizowany dlatego w praktyce wykorzystuje się różne profile, które powstawały w wyniku różnych doświadczeń eksploatacyjnych mówi się o profilu typu T, PST czy TW. W Polsce zamawia się wagony tramwajowe z profilem koła jezdnego dostosowanym do istniejącej infrastruktury. Infrastruktura ta również musi cechować się odpowiednimi własnościami jeżeli chodzi o stosowane szerokości toru, rodzaje szyn i charakterystykę. Niezwykle ważnymi zagadnieniami, na które w tym rozdziale zwrócił również uwagę i omówił Autor pracy były kwestie związane ze współpracą w układzie koło-szyna, dynamicznych i kinematycznych aspektów poruszania się pojazdów szynowych względem toru oraz procesów zużycia występujących na obręczach kół tramwajowych. Dużo uwagi poświęcono także na omówienie zjawiska tarcia pomiędzy kołem i szyną, które zależy od jakości współpracujących powierzchni, prędkości poruszania się pojazdu szynowego a także obecności w obszarze styku różnego rodzaju zanieczyszczeń (piasku, wody, śniegu, liści) lub modyfikatorów tarcia. Modyfikatory te mogą być o niskim, wysokim i bardzo wysokim współczynniku tarcia. Wpływają one na redukcję zużycia zarówno obręczy kół jak i szyn a także zmniejszają zużycie energii ze względu na mniejszy opór toczenia oraz obniżają emisję generowanego hałasu. Do ich aplikacji w układzie koło-szyna mogą być wykorzystane systemy mobilne, systemy przytorowe oraz pokładowe – każde z tych systemów zostało szczegółowo omówione. W rozdziale drugim dokonano także analizy stanu wiedzy z zakresu oddziaływania zjawisk, które zachodzą w obszarze koło-szyna jeżeli chodzi o opracowanie optymalnych profili kół i szyn, ograniczenie zjawiska zużycia jak również występowania pęknięć zmęczeniowych a także tworzenia algorytmów obliczeniowych do wyznaczania sił kontaktowych.

Na podstawie zgromadzonej wiedzy i analizy literaturowej w rozdziale trzecim **Cel i zakres pracy** sformułowano następujący cel: **Celem pracy jest zbadanie wpływu wybranych cech konstrukcyjnych układu biegowego na niezawodność i trwałość obręczy kół tramwajowych.** Autor pracy wyznaczył także cztery cele cząstkowe:

1. Analiza porównawcza wpływu typu konstrukcji układu biegowego na niezawodność i trwałość obręczy kół wybranych typów wagonów tramwajowych.

2. Opracowanie modelowych kompozycji badawczych (15 zestawów badawczych) z wybranych modyfikatorów tarcia, mogących występować w układzie koło-szyna i odzwierciedlających rzeczywiste warunki eksploatacyjne.
3. Analiza i ocena wpływu wybranych modyfikatorów tarcia na intensywność zużycia i wartość współczynnika tarcia z wykorzystaniem modelowych kompozycji badawczych.
4. Analiza i ocena struktur geometrycznych powierzchni zaobserwowanych podczas badań modyfikatorów tarcia na modelowym skojarzeniu badawczym.

Ponadto celem utylitarnym pracy było **opracowanie innowacyjnej substancji smarującej, która mogłaby być zastosowana do smarowania obrzeży kół tramwajowych umożliwiając w ten sposób zmniejszenie intensywności procesów zużywania się kół przy zachowaniu właściwych cech użytkowych wagonu tramwajowego.**

W czwartym rozdziale rozprawy **Badania probabilistyczne w zakresie trwałości obręczy eksploatowanych w wagonach tramwajowych** Autor skupił się na zagadnieniach związanych z diagnostyką wymiarów geometrycznych układów biegowych tramwaju (obręczy, kół, wózków napędnych i tocznych), które są kluczowym zespołem wpływającym na prawidłowe prowadzenie pojazdu w torze. Ponadto dla trzech typów wagonów tramwajowych (wagon typu NGT6, NGT8 i 2014N) na podstawie rzeczywistych danych eksploatacyjnych przy użyciu oprogramowania Weibull ++ Autor wyznaczył funkcje niezawodności dla obręczy kół jezdnych zabudowanych w wózkach napędnych i tocznych. Dzięki temu w trakcie badań laboratoryjnych przyjęto kryterium pewności $R(t) = 0,95$ dzięki czemu wyznaczono wartości przebiegu przy którym nastąpi konieczność wymiany obręczy na nową.

Kolejny rozdział rozprawy – piąty **Badania laboratoryjne wybranych modyfikatorów tarcia występujących w układzie koło-szyna** to Autorski rozdział pracy. W rozdziale tym opisano metodykę według której wykonano badania w pracy doktorskiej. Do badań laboratoryjnych wytypowano kilka modyfikatorów tarcia które mogą występować w warunkach eksploatacyjnych w układzie koło-szyna. Były to:

- piasek kwarcowy pochodzący z piasecznic wagonów tramwajowych,
- liście, które zwłaszcza w porze jesiennej zalegają w szynach tworząc tzw. madę,
- zalecane przez producentów taboru tramwajowego substancje smarujące wykorzystywane do smarowania obrzeży kół wagonów tramwajowych – 3 środki smarujące oraz autorski środek smarujący składający się ze składników neutralnych dla środowiska.

Ponadto celem odzwierciedlenia rzeczywistych warunków eksploatacyjnych pozyskano próbkę materiału badawczego z torowiska tramwajowego stanowiącą mieszaninę zanieczyszczeń środowiskowych w tym środków smarnych stosowanych w pojazdach oraz wykorzystywanych w smarownicach torowych. Z wybranych modyfikatorów tarcia

przygotowano modelowe kompozycje badawcze – 15 (piasek, liście, substancje smarujące (S1 – S4), Piasek+liście, Piasek+(S1 do S4), Piasek+Real+(S1 do S4) z czego S4 to Autorski płynny środek smarujący). Zestawy badawcze ich kompozycje jak również stosunki wagowe zostały przygotowane na podstawie informacji uzyskanych od operatorów komunikacji tramwajowej a także w oparciu o wiedzę i doświadczenie eksploatacyjne Autora pracy. W pracy jako bazowy pojazd do wyznaczania sił działających na koła tramwajowe wykorzystano wagon tramwajowy typu NGT8 produkcji Bombardier o masie własnej 42 t, masie całkowitej 62,4 t posiadający cztery wózki jezdne, w których zabudowane są po dwa zestawy kołowe. W tym przypadku obciążenie $P = 2\ 625\ \text{kg}$ co odpowiada sile o wartości 25,74 kN (dla masy własnej pojazdu) oraz 3 900 kg co odpowiada sile 28,25 kN (dla masy całkowitej pojazdu). Zrealizowane w pracy badania podzielono na dwa etapy.

W etapie pierwszym przygotowane próbki przebadano na testerze tribologicznym T-02U z wykorzystaniem metody polegającej na oznaczeniu obciążenia zacierającego P_t wg normy PN-76/C-04147 Przetwory naftowe. Badanie właściwości smarnych olejów i smarów. i granicznego nacisku zatarcia p_{oz} wg metody opracowanej przez Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu. Badania te pozwoliły wyznaczyć wartość współczynnika tarcia w zależności od obciążenia dla wytypowanych 15 kompozycji badawczych co w konsekwencji umożliwiło pośrednie określenie wpływu modyfikatorów tarcia na współpracę elementów skojarzonych w układzie koło-szyna. Przeprowadzono także analizę przebiegu zmiany współczynnika tarcia oraz momentu tarcia w funkcji obciążenia. Otrzymane wyniki poddano także analizie statystycznej wyznaczając średnią arytmetyczną oraz odchylenie standardowe. Na podstawie wykonanych w tym etapie badań stwierdzono:

Badania środków smarujących stosowanych do smarowania obrzeży kół jezdnych (S1 do S4) potwierdzają zasadność ich stosowania ze względu na ograniczenie zużycia występującego pomiędzy elementami współpracującymi. Najlepsze wyniki uzyskano w przypadku autorskiego środka smarującego S4, przy którym w porównaniu do komercyjnych substancji smarujących osiągnięto najmniejsze średnice śladów wytarcia (2,6-krotnie w stosunku do substancji S2, 2,9-krotnie w stosunku do substancji S1 oraz 3,4-krotnie w stosunku do substancji S3).

Dodanie piasku kwarcowego do kompozycji badawczych zawierających substancje smarujące skutkowało we wszystkich przypadkach zwiększeniem jednostkowego zużycia. Średnice śladów wytarcia na kulkach pomiarowych dla komercyjnych środków smarujących wzrosły o około 5% natomiast w przypadku autorskiego środka smarującego aż o 45%.

Podczas badań środków smarujących z udziałem piasku kwarcowego i mieszaniny zanieczyszczeń środowiskowych odzwierciedlających poligonowe warunki eksploatacji również zaobserwowano wzrost jednostkowego zużycia. Średnice śladów wytarcia na kulkach pomiarowych dla kompozycji badawczej Piasek+Real+S1 wzrosły o 50% w stosunku do

kompozycji badawczej S1, dla kompozycji badawczej Piasek+Real+S2 wzrosły o 12% w stosunku do kompozycji S2, natomiast dla kompozycji Piasek+Real+S3 wzrosły o 23% w stosunku do kompozycji badawczej S3. W przypadku autorskiego środka smarującego Piasek+Real+S4 średnice wytarcia na kulkach pomiarowych wzrosły aż o 60%. Mimo to środek ten nadal charakteryzuje się zużyciem mniejszym aż o 45% w stosunku do najlepszego komercyjnego środka smarującego.

Po wykonaniu badań tribologicznych określające zmiany mikrostruktury powierzchni tarcia przystąpiono do drugiego etapu badań związanego z analizą struktury geometrycznej śladów wytarcia powstałych na kulkach pomiarowych. W tym celu wykorzystano mikroskop cyfrowy Keyence serii VHX-700 wraz z zintegrowanym oprogramowaniem VHX-H5M do pomiaru chropowatości. Pozwoliło to określić wpływ modyfikatorów tarcia na powierzchnię jednorodnych kulek pomiarowych oraz dokonać oceny śladów wytarcia wraz z identyfikacją profilu chropowatości. W wyniku uzyskanej analizy uzyskano zbiór wartości charakterystycznych cech śladów wytarcia między innymi: R_a – średnią arytmetyczną rzędnych profilu chropowatości, R_z – maksymalną wysokość profilu chropowatości, S_a – średnie arytmetyczne odchylenie wysokości nierówności powierzchni od płaszczyzny odniesienia, S_z – maksymalną wysokość profilu 3D, S_{ku} – współczynnik skupienia rozkładu wysokości topografii powierzchni.

Analizy wykonane w tym etapie badań wykazały, że maksymalna wysokość chropowatość powierzchni S_z w przypadku autorskiej substancji smarującej S4 w porównaniu do komercyjnych środków smarujących jest mniejsza 1,8-krotnie w stosunku do substancji S1, 2-krotnie w stosunku do substancji S2 oraz 2,5-krotnie w stosunku do substancji S3. Zanieczyszczenie kompozycji badawczych zawierających środki smarujące od S1 do S4 zarówno piaskiem kwarcowym (Piasek) jak również piaskiem kwarcowym i mieszaniną zanieczyszczeń środowiskowych (Real) spowodował we wszystkich wariantach wzrost wartości maksymalnej chropowatości powierzchni S_z . W przypadku autorskiego środka smarującego S4 zidentyfikowano wzrost wartości parametru S_z o około 4% w stosunku do zestawu badawczego zawierającego piasek kwarcowy i mieszaninę zanieczyszczeń środowiskowych (Piasek+Real+S4) a także o około 14% w stosunku do kompozycji badawczej (Piasek+S4).

W ostatnim rozdziale pracy **Podsumowanie i wnioski** sformułowano wnioski poznawcze i użytkarne wynikające z przeprowadzonych badań oraz wskazano kierunki dalszych prac.

5. Merytoryczna ocena pracy

Autor pracy skoncentrował się na bardzo istotnej kwestii związanej z rozpoznaniem zjawisk tarcia występujących w układzie koło-szyna w wagonach tramwajowych. Zjawisko tarcia

w układzie koło-szyna jest bardzo istotne gdyż odgrywa kluczową rolę w punkcie styku elementów współpracujących. Wpływa na procesy takie jak: zużycie, przyczepność, zmęczenie w obszarze styku tocznego oraz emisję hałasu.

Współpraca w układzie koło-szyna to interdyscyplinarne zagadnienie łączące wiele dziedzin nauki między innymi: metaloznawstwo, tribologia, wytrzymałość materiałów, podstawy niezawodności oraz dynamika pojazdów. Duża złożoność zjawisk w tym skojarzeniu ciernym wynika z jego otwartego charakteru oraz stale zmieniających się warunków środowiskowych. Miejsce kontaktu koła z szyną stanowi otwarty węzeł tribologiczny, na który istotny wpływ mają również modyfikatory tarcia takie jak środki smarujące (stosowane na obrzeża oraz główki szyn), a także występujące na tramwajowej infrastrukturze torowej zanieczyszczenia zewnętrzne (m. in. woda, piasek, liście). Dlatego też istotnym jest dobór substancji smarujących o odpowiednich właściwościach tribologicznych, które w znaczący sposób wpłyną na zmniejszenie intensywności procesu zużycia co przedłoży się na wydłużenie czasu eksploatacji obręczy kół tramwajowych pozwalając na obniżenie kosztów obsługi i jednocześnie będzie nie szkodliwe dla środowiska naturalnego.

Analiza wykonanych w pracy badań wykazała, że stosowanie do smarowania obrzeży kół jezdnych środków smarujących potwierdza zasadność ich stosowania ze względu na ograniczenie zużycia występującego pomiędzy elementami współpracującymi w układzie koło-szyna. Potwierdzają to także wykonane analizy struktur geometrycznych śladów wytarcia. Autorska propozycja substancji smarującej we wszystkich wariantach przeprowadzonych badań oscylowała w granicach zalecanej przez opracowania naukowe wartości współczynnika tarcia która powinna wynosić 0,1. Utrzymywanie tej wartości w odpowiednim zakresie ogranicza występowanie niekorzystnego zjawiska jakim jest wspinanie się obrzeża koła tramwajowego na główkę szyny co skutkuje ograniczeniem nadmiernego zużycia współpracujących elementów w układzie koło-szyna.

Ponadto wykonane badania mają także aspekt rozwojowy i wdrożeniowy. Ponieważ pomyślnie przeprowadzenie szeroko zakrojonych badań poligonowych może spowodować, że opracowany środek zostanie wdrożony w eksploatacji. Dodatkowym atutem opracowanego środka jest także jego aspekt ekologiczny, który nie zanieczyszcza środowiska.

Praca pana mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego jest na wysokim poziomie merytorycznym i naukowym. Cechuje się profesjonalizmem w podejściu do modelowania eksperymentów badawczych wykorzystujących aparaturę naukową z zakresu badań tribologicznych i niezawodności. Warsztat naukowy przedstawiony w rozprawie świadczy o dużej dojrzałości naukowej Doktoranta, wiedzy oraz interdyscyplinarnego podejścia do rozwiązywania bardzo trudnych zagadnień. Temat pojęty w rozprawie wychodzi naprzeciw aktualnym tendencjom związanym z rozwojem komunikacji tramwajowej. Na podkreślenie zasługuje także fakt, że Pan mgr inż. Tymoteusz Rasiński opracował oraz przebadął innowacyjną substancję

smarującą, zmniejszającą intensywność procesów zużywania się kół przy zachowaniu właściwych parametrów użytkowych wagonu równocześnie nie zanieczyszczając środowiska.

6. Uwagi szczegółowe

Chciałbym także aby Autor pracy odpowiedział mi na kilka pytań, które nasunęły mi się podczas jej czytania:

1. Jaki był powód, że wyznaczono funkcję niezawodności 3 typów wagonów tramwajowych skoro do dalszych badań wybrano tylko wagon NGT8?
2. Jak duża była próba obręczy kół jezdnych poszczególnych typów wagonów tramwajowych na podstawie których wyznaczono funkcje niezawodności?
3. Jakie przesłanki powodowały że jako pojazd bazowy do wyznaczania sił działających na koła tramwajowe wybrano wagon tramwajowy typu NGT8 firmy Bombardier?
4. Dlaczego w badaniach nie uwzględniono np. wody deszczowej, śniegu lub lodu? Są to substancje które bardzo często występują w praktyce eksploatacyjnej?
5. Co to jest przedział nominalny obciążeń? Dlaczego go wybrano i dlaczego przyjęto do badań właśnie taki zakres?
6. Czym kierowano się przy wyborze do pracy doktorskiej środków smarujących (2 płynne środki smarujące, 1 stały środek smarujący) z którymi porównano środek autorski (płynny środek smarujący)? Dlaczego do badań nie wybrano także środka plastycznego?
7. Jak Pan myśli co mogło być przyczyną, że w niektórych przypadkach (wykresy podrozdział 5.3.3.) występowały odstępstwa współczynników tarcia od obciążenia zestaw badawczy 1 (test 2, str. 81), zestaw badawczy 3 (test 2 str. 85), zestaw badawczy 4 (test 3 str. 88), zestaw badawczy 8 (test 3, str. 97), zestaw badawczy 10 (test 2 str. 102), zestaw badawczy 12 (str. 106), zestaw badawczy 13 (test 2 str. 109)?
8. Na rysunkach w rozdziale 5.4. po prawej stronie czerwoną prostą są zaznaczone jakieś odcinki? co to za odcinki? o czym świadczą?
9. Czy opracowany Autorski środek mógłby być także zastosowany do pojazdów kolejowych?

Uwagi do których Doktorant nie musi udzielać odpowiedzi:

Przydałby się także opis słowny do zamieszczonych rysunków w rozdziale 5.4. oraz zamieszczone w tym rozdziale wykresy są nie czytelne.

7. Podsumowanie i konkluzja

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam bardzo wysoko. Została ona wykonana na bardzo wysokim poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów związanych rozpoznaniem zjawisk tarcia występujących w układzie koło-szyna. Doktorant bardzo dobrze orientuje się w poruszanych kwestiach. Zaprezentowane w pracy treści są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta, a rezultaty pracy mogą zostać wykorzystane i wdrożone w praktyce. Pan mgr inż. Tymoteusz Rasiński potrafił poprawnie zdefiniować, zaprojektować i rozwiązać postawiony za cel pracy problem naukowy.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Tymoteusza RASIŃSKIEGO pt. „*Badanie wybranych czynników wpływających na trwałość obręczy kół tramwajowych*” spełnia warunki przewidziane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. 2017 r., poz. 1789 z późniejszymi zmianami oraz Ustawie z dnia 3 lipca 2018 Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz mieści się w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Stawiam więc wniosek o przyjęcie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Tymoteusza Rasińskiego nt. *Badanie wybranych czynników wpływających na trwałość obręczy kół tramwajowych* na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna i dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Naukową Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej.

Małgorzata Orczyk