

Warszawa, 22.05.2023

Wydział Transportu
Politechnika Warszawska

dr hab. inż. Jacek Kukulski, profesor uczelni

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgra inż. Tomasza Czauderny pt.: „Analiza i optymalizacja układu sprzęgieł stosowanego w napędzie tramwaju niskopodłogowego”

Podstawą wykonania recenzji jest pismo prof. dr hab. inż. Jerzego A. Składka, Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej z dnia 22.03.2023 (pismo nr M 00-55/2023).

1. Syntetyczna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Tomasza Czauderny została napisana na 108 stronach. Składa się ze spisu symboli i oznaczeń, a następnie z 12 rozdziałów uzupełnionych o spis bibliografii oraz streszczenia w języku polskim, angielskim, niemieckim i czeskim. Rozprawę kończy dodatek w formie zdjęć obejmujących przegląd tramwajów niskopodłogowych eksploatowanych w Krakowie i innych miastach. Rozprawa dotyczy optymalizacji układu sprzęgieł mających zastosowanie w napędzie pojazdu tramwajowego niskopodłogowego. Należy podkreślić oryginalność i złożoność podjętej tematyki.

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Henryk Sanecki, a promotorem pomocniczym dr inż. Michał Maniowski.

2. Ocena doboru tematu rozprawy

Pojazdy tramwajowe niskopodłogowe są szczególnie pożądane przez pasażerów korzystających z tego środka transportu. Łatwiejszy jest dostęp z poziomu peronu nie tylko osobom pełnosprawnym, ale głównie osobom o ograniczonej mobilności ruchowej. Jednak



takie rozwiązanie stanowi duże wyzwanie dla producentów taboru jak też powoduje utrudnienia w eksploatacji dla służb zajmujących się utrzymaniem tych pojazdów. Pomimo znacznego postępu w rozwoju techniki, technologii produkcji taboru szynowego oraz stosowania zaawansowanych systemów diagnostycznych nadal w eksploatacji pojawiają się problemy z utrzymaniem. Jednym z elementów układu napędowego pojazdów niskopodłogowych jest jakość zastosowanych sprzęgieł wykorzystywanych do przeniesienia napędu. Często jakość pracy tych sprzęgieł wpływa na drgania w samym pojeździe jak i w układzie biegowym tramwaju, obniżając tym samym komfort podróży jak i trwałość tych podzespołów. Autor rozprawy doktorskiej podjął wyzwanie, aby zmierzyć się z tym problemem optymalizując układ sprzęgieł 4-cięgłowych w celu poprawy właściwości kinematycznych oraz dynamicznych rozważanego układu napędowego wózka tramwaju.

W tym kontekście zagadnienia poruszone w rozprawie mgra inż. Tomasza Czauderny wpisują się w aktualne problemy i wyzwania badawcze, a opracowane wnioski i rekomendacje mogą posłużyć do skutecznego wdrożenia mającego na celu poprawę właściwości układu napędowego wybranego tramwaju. Zagadnienia omawiane w rozprawie mają bowiem charakter zarówno teoretyczno-badawczy, jak i praktyczny z możliwością ich wykorzystania do celów wdrożeniowych. Można zatem stwierdzić, że rozprawa jest przykładem dobrze zidentyfikowanych badań stosowanych obejmujących swym zakresem kinematykę, dynamikę ruchu, a także sterowanie napędem. Temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest tematem trudnym, rzadko podejmowanym jednocześnie aktualnym i odpowiadającym na zapotrzebowanie w obszarze transportu szynowego szczególnie tramwajowego. Problem badawczy podjęty przez Doktoranta jest w pełni uzasadniony, a sformułowanie tematu właściwe.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy i jej ocena merytoryczna

Treść rozprawy została przedstawiona w dwunastu rozdziałach poprzedzonym spisem treści. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie, w którym przedstawiono informacje o układach napędowych wybranych tramwajów niskopodłogowych. Dla zachowania przejrzystości tekstu w kolejnych rozdziałach przed pierwszym rozdziałem przygotowano spis symboli i oznaczeń stosowanych w kolejnych rozdziałach. W podrozdziale 1.2 Doktorant przedstawił cel oraz tezę pracy. Teza i cel pracy postawione przez doktoranta są poprawnie sformułowane. Rozdział 2 dotyczy przeglądu literatury, w którym zacytowano



76 pozycji bibliograficznych. Część z tych pozycji została omówiona, a pozostałe jedynie przywołane w tekście. **Brakuje zatem wniosków z przeglądu literatury, które wskazywałyby jednoznacznie lukę naukową pozwalającą na uzasadnienie podjęcia tej tematyki i celu rozprawy.** W przedstawionym przeglądzie brakuje również publikacji z zakresu metod i narzędzi optymalizacji, która to stanowi część tytułu rozprawy. Kolejne rozdziały stanowią już oryginalne osiągnięcie Autora rozprawy. W rozdziale 3 przedstawiono model układu napędowego poprzedzone analitycznym wyznaczeniem momentu bezwładności poszczególnych elementów układu napędowego. Istotnym elementem i walorem tej części pracy jest doświadczalne wyznaczenie masowych momentów bezwładności omówione w rozdziale 3.3. wymagało to odpowiedniego doboru wymiarów struny celem zawieszenia na niej badanego obiektu. Wyniki badań doświadczalnych zostały przedstawione w formie tabelarycznej.

Rozdział 4 stanowi model dynamiczny układu napędowego, w którym doktorant przedstawił:

- badania oporów ruchu tramwaju podczas jazdy;
- analityczne metody określania oporów ruchu tramwaju;
- wyznaczania momentu napędowego od silnika trakcyjnego.

Istotnym elementem tej części pracy jest metoda rozwiązania problemu, w którym doktorant rozwiązał równania ruchu układu napędowego stosując metodę Runge-Kutty. Rozdział 5 to wyniki symulacji ruchu układu napędowego, w którym to uwzględniono sterowanie momentem napędowym silnika. Dodatkowo przeanalizowany został przypadek sterowania silnika napędowego z zastosowaniem charakterystyk cząstkowych, a także przedstawiono analizę wrażliwości obejmującej wpływ zmiany współczynnika tłumienia przegubu kulistego na wartości prędkości kątowych. W kolejnych symulacjach zakładano również zmianę sztywności tego przegubu. Dodatkowo w ramach badań symulacyjnych uwzględniono wpływ masy pojazdu jak też średnicę koła tramwajowego. Przedstawiono liczne wyniki badań symulacyjnych jednak brak krótkiego podsumowania i oceny uzyskanych wyników. **Brakuje również informacji w jakiej formie zostały przeprowadzone te symulacje? Czy była to aplikacja komputerowa, czy własne narzędzie stworzone na potrzebę rozprawy. Brak również informacji czy wykonane zostały obliczenia dla granicznego zużycia średnicy koła tramwajowego.**

W rozdziale 6 autor rozprawy doktorskiej przedstawił model matematyczny układu sprzęgieł 4-cięgłowych podając jego parametry na podstawie badań eksperymentalnych. Zdefiniowane zostały parametry analizy kinematycznej pojedynczego sprzęgła 4-cięgłowego oraz układu 2 takich sprzęgieł, a następnie autor opracował równania więzów kinematycznych modelu sprzęgła. Istotną część rozprawy stanowi rozdział 7, w którym przeprowadzone zostały symulacje na bazie stworzonego modelu kinematycznego układu sprzęgieł. Jako narzędzie wspomagające obliczenia wykorzystano oprogramowanie Matlab. W ramach symulacji autor zmieniał parametry konstrukcyjne celem weryfikacji różnych założeń. Zdaniem autora rozprawy przeprowadzone symulacje mają charakter rozważań teoretycznych ze względu na przyjęte założenia (zmienione proporcje podzespołów) nie mogłyby być wykonane w rzeczywistości. Kolejne rozdziały pracy stanowią rozszerzanie badań o kolejne elementy sprzęgła jak też zmiany parametrów konstrukcyjnych, a także wyznaczanie charakterystyk sztywności poszczególnych elementów. W przypadku badania układu napędowego ze sprzęgłami 4 – cięgłowymi Doktorant przeprowadził analizę numeryczną układu obejmująca zmiany odchylenia standardowego prędkości kątowych silnika i tulei pośredniej w funkcji prędkości liniowej pojazdu. Oceniona została również wpływ sztywności kątowej, tłumienia sprzęgła na drgania kątowe silnika i tulei sprzęgła. Celowa byłaby krótka interpretacja uzyskanych wyników. Rozdział 11 stanowi istotny element pracy, ponieważ dotyczy optymalizacji parametrów układu napędowego tramwaju. Jako metodę optymalizacji Doktorant zastosował metodykę wielokryterialną Pareto. Przyjęte zostały zmienne decyzyjne jak też ograniczenia związane z badanym obiektem. Uzyskane wyniki optymalizacji dla poszczególnych kryteriów i elementów przedstawiono na rysunkach 11.3-11.6 oraz podano krótkiej interpretacji. Ostatnią część pracy stanowi podsumowanie i wnioski w tym plan dalszych badań. **Niestety brakuje informacji o dalszych kierunkach prac Doktoranta, jedynie stwierdzenie o potrzebie udoskonalenia układu napędowego poprzez optymalizację.**

Recenzowana rozprawa została przygotowana starannie, aczkolwiek Doktorant nie ustrzegł się typowych błędów edytorskich czy stylistycznych. Szczegółowe zestawienie zostało przedstawione w rozdziale uwagi szczegółowe i pytania.

4. Uwagi szczegółowe i pytania

Poniżej zestawiono uwagi szczegółowe które zostały zauważone w trakcie czytania rozprawy:



- brak przyjętych jednostek w spisie symboli i oznaczeń;
- brak źródeł rysunków 1.1-1.4;
- błędne formatowanie tekstu na stronie nr 11;
- brak podsumowania przeglądu literatury i wynikające z tego wnioski związane z luką naukową w obszarze podjętym przez Doktoranta;
- co zdaniem Doktoranta oznacza błąd 7,6 %?
- brak jest opisanych osi na wykresach 4.1, 4,2; 4.3;
- brak źródła rysunku nr 5.1;
- celowe byłoby lepsze opisanie rys. 5.2;
- mało czytelny jest rys. 5.2 oraz brak interpretacji uzyskanych wyników;
- mało czytelny jest rys. 5.8;
- czy przyjęta średnica koła była dla koła nowego czy granicznego zużycia?
- na jakiej podstawie przyjęto masę pasażerów w obliczeniach;
- brak źródła rysunku nr 6.2;
- brak krótkiego wprowadzenia do rozdziału 6.2 brak wprowadzenia do rozdziału, od razu jest tytuł tabeli;
- z czego wynikają różnice w tabeli nr. 9.2;
- brak źródła rysunku nr 10.1;
- na stronie nr 74 występują drobne błędy gramatyczne;
- brak w przeglądzie literatury odwołań do publikacji dotyczących optymalizacji;
- brak potwierdzenia udowodnienie tezy;
- brak informacji o dalszych kierunkach prac Doktoranta.

Analizując treść rozprawy można dostrzec kilka wątpliwości, które nie umniejszają istotnie jej wartości i pozytywnego odbioru, niemniej warte są wyjaśnienia:

- jeżeli w tytule rozprawy znalazło się określenie optymalizacja, to wskazane byłoby przywołanie kilku pozycji w przeglądzie literatury. Z czego wynikało przyjęcie metody optymalizacji metodą Pareto oraz jaki zostały przyjęte wagi, jeżeli jest to metoda wielokryterialna?
- czy do zaproponowanych rozwiązań w rozprawie można zastosować komputerowe narzędzia symulacyjne autorskie lub komercyjne?



- jakie czynności powinny zostać podjęta po przeprowadzonej optymalizacji, zmiany w konstrukcji itp.?
- proszę przedstawić jakie są dalsze kierunki prac i czy można zaproponowane rozwiązanie w rozprawie udoskonalać i rozwijać?

5. Podsumowanie i konkluzja oceny rozprawy

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską Pana mgra inż. Tomasz Czauderny oceniam pozytywnie. Została ona wykonana na dobrym poziomie naukowym i merytorycznym. Wyznaczony przez Doktoranta cel rozprawy został osiągnięty, a teza naukowa udowodniona mimo nie podkreślenia tego faktu.

Ujawnione w pracy niedociągnięcia nie umniejszają wartości merytorycznej pracy, ponieważ przewaga nad nimi wartości poznawczych jak i naukowych pozwala na pozytywną ocenę recenzowanej przeze mnie rozprawy doktorskiej. Na taką ocenę pracy wpływa również stopień złożoności i trudności podejmowanych zagadnień przez Autora, które moim zdaniem były trudne do zrealizowania nie tylko od strony teoretycznej, ale i badawczej. Praca ma również wymiar praktyczny, bo dotyczy rzeczywistych obiektów jakimi są eksploatowane pojazdy tramwajowe. Biorąc pod uwagę powyższe rozważania stwierdzam, że rozprawa doktorska pt.: „Analiza i optymalizacja układu sprzęgieł stosowanego w napędzie tramwaju niskopodłogowego” mgra inż. Tomasza Czauderny przygotowana pod opieką promotora oraz promotora pomocniczego stanowi w myśl ustawy art. 13 ust. 1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 (Dz.U. z 2016 r. poz. 882 z późniejszymi zmianami) oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna spełniając jednocześnie wymogi stawiane rozprawie doktorskiej.

W związku z powyższym rekomenduję Radzie Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej o **dopuszczenie rozprawy doktorskiej do dalszych etapów postępowania** we wnioskowanej dyscyplinie.