

Dr hab. inż. Grzegorz WOJNAR, prof. PŚ.

Katowice, 23.05.2023r.

Katedra Transportu Drogowego

Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej

Politechnika Śląska

Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza CZAUDERNY pt.
„Analiza i optymalizacja układu sprzęgieł stosowanego w napędzie
tramwaju niskopodłogowego” opracowana na zlecenie Pana Dziekana
Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej
prof. dra hab. inż. Jerzego A. SŁADKA.**

1. Uwagi wstępne.

Obecnie, w szczególności w dużych aglomeracjach, bardzo dużą wagę przywiązuje się do rozwoju transportu zbiorowego, a jednym z powodów jest ograniczona liczba miejsc parkingowych, wymaganych np. przez indywidualny transport samochodowy. W miastach, w których od lat była doskonała infrastruktura tramwajowa to właśnie tramwaje są zaliczane do grupy bardzo ważnych środków transportu. Natomiast wraz z obserwowanym powszechnie rozwojem techniki i tworzeniem coraz bardziej ergonomicznych przedmiotów również tramwaje muszą spełniać rosnące wymagania organizatorów transportu miejskiego, a także użytkowników. Jednym z istotnych kierunków jest doskonalenie tramwajów niskopodłogowych, do których wsiadanie i wysiadanie z niech jest stosunkowo łatwe oraz nie jest wymaga tworzenia na przystankach dodatkowych elementów infrastruktury. W przypadku takich tramwajów konstruktorzy muszą jednak rozwiązywać wiele problemów technicznych dotyczących układów napędowych, z których ważniejsze to minimalizacja wymiarów i masy ich elementów oraz odpowiednie tłumienie drgań występujących w ruchu obrotowym. Zagadnienia te, są na tyle skomplikowane, że są przedmiotem zainteresowania badaczy reprezentujących różne ośrodki naukowe. Publikacje potwierdzające to, Autor recenzowanej rozprawy zawarł w spisie literatury. **Z powyższych powodów recenzowana rozprawa doktorska zawierająca analizę i optymalizację układu sprzęgieł stosowanego w napędzie tramwaju niskopodłogowego bez wątpienia doskonale wpisuje się**

w przedstawiony kierunek badań naukowych i dlatego podjętą tematykę uważam za aktualną oraz ważną ze względów naukowych, poznawczych i użytkowych.

2. Ocena rozprawy.

Recenzowana rozprawa jest nadmiernie obszerna i została przedstawiona na 108 stronach, wraz ze streszczeniami, spisem literatury i krótkim załącznikiem. Układ treści, podział na rozdziały oraz sformułowanie celu, tezy i wniosków końcowych są czytelne i logiczne. Literatura przywołana w pracy również nie jest nadmiernie obszerna i liczy 89 pozycji opublikowanych w językach: angielskim, niemieckim i polskim. Bibliografię można podzielić na dwie grupy: pozycje starsze stanowiące niejako kanon literatury dotyczącej tramwajów i ich układów napędowych oraz sprzęgieł, których pominięcie przez Doktoranta oznaczałoby pewne niedociągnięcie, a także pozycje nowsze prezentujące wyniki badań innych autorów i własne Autora niniejszej pracy. W rozprawie doktorskiej zastosowano prawidłowe słownictwo techniczne. Liczba błędów literowych i interpunkcyjnych jest na średnim poziomie występującym przed recenzją w różnego rodzaju rozprawach i monografiach. Pewne, dosyć istotne niedociągnięcia dotyczące przeglądu literatury, spisu literatury oraz błędów literowych i interpunkcyjnych zostaną przedstawione w punkcie uwagi krytyczne i formalne. Jakość ilustracji zamieszczonych w rozprawie oceniam wysoko.

W rozdziałach od pierwszego do piątego Autor: przedstawił wprowadzenie do tematu rozprawy, dokonał przeglądu literatury, opisał budowę konstrukcyjną tramwajów, zaprezentował analizowany układ napędowy i opracowany model dynamiczny, oraz co istotne na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych wyznaczył masowe momenty bezwładności elementów układu napędowego, które nie były znane na podstawie dostępnej dokumentacji technicznej. Momenty te były niezbędne do przeprowadzenia poprawnych badań symulacyjnych. W rozdziałach 6-8 przedstawiono nieliniowy i przestrzenny model kinematyczny układu. Przyjęto następujące główne założenia: sztywne ogniwa, idealne przeguby kulowe w miejscach rzeczywistych połączeń oraz możliwość dużych wychyleń wałów sprzęgieł. Na podstawie badań symulacyjnych wyznaczono charakterystyki kinematyczne pojedynczego sprzęgła czterocięglowego oraz układu szeregowo połączonych dwóch sprzęgieł. W rozdziale dziewiątym rozbudowano model kinematyczny uwzględniając podatność przestrzenną przegubów w ciągłach sprzęgła, ale co najważniejsze na podstawie badań doświadczalnych wyznaczono charakterystyki sztywności liniowej i kątowej tulei metalowo-gumowych zastosowanych w analizowanym układzie. W rozdziale dziesiątym

przeanalizowano na podstawie modelu zmiany drgań kątowych układu napędowego o dwóch stopniach swobody. W rozdziale 11, w ostatnim etapie pracy rozwiązano bardzo interesujące zadanie wielokryterialnej optymalizacji modelu układu napędowego pod względem minimalizacji jego drgań kątowych w zależności od zmian parametrów konstrukcyjnych. Rozprawa klasycznie kończy się podsumowaniem potwierdzającym tezę pracy i wnioskami. Na uwagę zasługuje również fakt, że Autor nakreślił kierunki dalszych badań dotyczących poprawy działania układu poprzez zmianę właściwości gumy w tulejach podatnych. Uważam, że cele pracy zostały zrealizowane, a teza udowodniona.

Do najważniejszych osiągnięć Autora zaliczam:

- Doktorant wykazał się umiejętnością poprawnego posługiwania się zaawansowanym aparatem matematycznym do opisu zjawisk zachodzących w układach napędowych tramwajów. Nie oznacza to jednak, że dysertacja ma jedynie charakter teoretyczny dlatego, że Autor na podstawie badań doświadczalnych wyznaczył wiele parametrów niezbędnych do prawidłowego prowadzenia badań symulacyjnych. Przykładowo jeżeli chodzi o masowe momenty bezwładności, to w analizowanym układzie występowały części o skomplikowanym kształcie i dodatkowo składające się z elementów wykonanych z materiałów o różnej gęstości, dlatego Autor nie zdecydował się na modelowanie ich w systemach CAD tylko wyznaczył te parametry na przeprowadzenie czasochłonnych badań doświadczalnych. Badania doświadczalne Kandydat do stopnia doktora przeprowadził również w celu wyznaczenia charakterystyk sztywności: osiowej, promieniowej, skrętnej i kątowej tulei metalowo-gumowych występujących w badanym obiekcie.

Dodatkowo na uznanie zasługuje to, że:

- Autor rozprawy wykazał się wysokim poziomem wiedzy teoretycznej w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej czego dowiódł chociażby na przykładzie bardzo starannego i przemyślanego gromadzenia doświadczalnych danych niezbędnych do prawidłowego prowadzenia badań modelowych (rozdziały 3 i 9), modelowania (przede wszystkim rozdziały 4, 5, 8 i 10) oraz przeprowadzonej optymalizacji (rozdział 11).
- Częstkowe wyniki prac Autora były przedstawiane i dyskutowane na specjalistycznych branżowych konferencjach naukowych, a nie ogólnych konferencjach naukowych,

na których uczestnicy znacząco rzadziej wnikliwie pytają o każdą kwestię dotyczącą np. modelowania układu napędowego. W spisie literatury przywołano, aż 4 referaty, których Doktorant był autorem lub współautorem i zostały one wygłoszone na Konferencji Naukowo – Technicznej Nowoczesne Technologie w Transporcie Szynowym oraz jeden wygłoszony na Konferencji Naukowo – Technicznej Infraszyn.

- Autor rozprawy jest również współautorem artykułów w czasopismach: „Archive of Mechanical Engineering” (tj. czasopiśmie Polskiej Akademii Nauk) i „Acta Mechanica et Automatica”.

Uwagi krytycznie i formalne

Na podstawie lektury rozprawy należy wymienić uwagi formalne i krytyczne:

- W wykazie literatury podano poprawne pozycje natomiast znacząco brakuje w bibliografii nowych pozycji, gdyż w wykazie publikacji zawierającym 89 pozycji zaledwie:
 - dwanaście jest opublikowanych po roku 2012 (ostatnie 10 lat),
 - dwie są opublikowane po roku 2017 (ostatnie 5 lat).

Czytelnik nieznający precyzyjnie tematu mógłby odnieść błędne wrażenie, że temat jest nieaktualny, podczas gdy temat jest jak najbardziej aktualny, jednakże Autor rozprawy podał nieco zbyt mało nowszych publikacji.

- Niestety w przypadku niemałej części pozycji wykazu piśmiennictwa Autor nie podał roku wydania i dotyczyło to 13 z 89 pozycji. Jedna z nich to strona internetowa i również w tym przypadku zapisuje się datę jej wyświetlenia, gdyż strony internetowe zmieniają się z upływem czasu.
- Autor rozprawy formatując literaturę najprawdopodobniej część pozycji skopiował jako tekst z wcześniejszych swoich publikacji, gdzie zastosowano poprawnie znaki dzielenia wyrazów, tylko że w układzie zastosowanym w niniejszej rozprawie wyrazy pierwotnie podzielone na dwa wiersze znalazły się wraz ze znakami ich dzielenia już w jednym wierszu. Niepoprawienie tego wraz z opisanym powyżej brakiem podawania roku wydania publikacji, oraz innymi błędami typu niepotrzebne spacje (pozycje [48], [54] itd.), niepotrzebne kropki i przecinki (pozycje [27], [59] itd.), braki wydawnictwa i jednocześnie roku wydania (pozycje [68] i [72]) uważam za istotny

błąd. Z tego powodu bardzo proszę, aby Doktorant bardzo krótko wypowiedział się na ten temat na obronie rozprawy.

- Również kolejna uwaga dotyczy spraw formalnych, a w szczególności interpunkcji przy opisie symboli i oznaczeń. Na stronach od trzeciej do piątej Autor wyjaśniając oznaczenia nie zastosował przecinków, ale kropkę na końcu spisu już zastosował, natomiast przykładowo w górnej części strony nr 20 po wyjaśnieniu każdego z symboli stosował już przecinki tylko, że dla odmiany po ostatnim nie zastosował kropki, gdyż kropkę zastosował błędnie po przedostatnim z oznaczeń. Konieczne było ujednolicenie tego.
- „Spis symboli i oznaczeń” nie jest sporządzony w kolejności alfabetycznej i dlatego Autor nie dostrzegł przykładowo powtórki oznaczeń: „ v – prędkość jazdy tramwaju”, które występuje w tym spisie zarówno na stronie nr 3 jak i stronie nr 4, natomiast gdyby zastosował kolejność alfabetyczną oznaczeń to sam by to dostrzegł. Wszystko to sprawia wrażenie tworzenia rozprawy w dużym pośpiechu i zupełnie niepotrzebnie obniża jej wartość.
- Na rysunku 1.2 ostoja wózka napędowego oznaczona cyfrą 1 wydaje się być zawieszona „w powietrzu”.
- W tab. 3.1 zastosowano znak dziesiętny w postaci kropki „.”, natomiast w języku polskim znak dziesiętny to przecinek „,”.
- Na stronie nr 19 zapisano zdanie „Ze względu na dużą liczbę elementów składowych analizowanego układu napędowego uzyskanie realnego rozwiązania dla jego dynamiki jest bardzo utrudnione.”. Proszę wyjaśnić co Autor rozumie pod pojęciem „realnego rozwiązania” i czy nie jest to skrót myślowy.
- Opisy osi na rysunku 7.2 powinny zawierać jednostki, a jeżeli jakiś parametr jest bezwymiarowy to powinno się stosować przykładowo zapis [-]. Podobna uwaga dotyczy rys. 8.2.
- Na rysunkach 9.2 - 9.5 w przedstawionych tam równaniach nie powinny występować zmienne x i y tylko oznaczenia zmiennych występujących na osiach odciętych i rzędnych.
- Zdaniem recenzenta zdanie zamieszczone na stronie nr 74: „Na rys. 10.3. przedstawione są zmiany odchylenia standardowego prędkości kątowych silnika (A) i tulei pośredniej (W) przy wychyleniu sprzęgieł o 3deg w funkcji prędkości pojazdu przedstawiono

na rys.5” powinno zostać inaczej zredagowane, a przywołany przez Autora „rys. 5” nie występuje w rozprawie.

- W podpisie rysunku 11.2. zapisano: „Odpowiedzi czasowe prędkości kątowej wału silnika $\dot{\Phi}_A$ i tulei pośredniej $\dot{\Phi}_W$ przy prędkości początkowej 40 rad/s. ...” i $\dot{\Phi}$ oznacza w pracy prędkość kątową ale na rysunku 11.2. zastosowano opis osi rzędnych jako „fi prim” czyli: $\Phi' \neq \dot{\Phi}$ i to również powinno było zostać ujednolicone.
- Na rysunkach 11.3-11.5 zastosowano w opisie osi, legendzie oraz dopiskach wyłącznie język angielski, ale praca pisana w języku polskim powinna zawierać te napisy w języku polskim.
- Na stronie 89 zapisano zdanie: „Uzyskane wyniki optymalizacji układu (fioletowe gwiazdki na rys. 11.5, 11.6 a, b, c) obrazują ...” podczas gdy wspomniane „fioletowe gwiazdki” nie występują na rys. 11.5.
- W „Dodatku” do pracy na stronie 106 w podpisie fotografii D.6 poprawna nazwa wytwórcy tramwaju powinna brzmieć: „Alstom Konstal”, a nie jak zapisano: „ALSTHOM konstal”.

Uwagi polemiczne i zapytania:

Jak wynika z treści recenzji opiniowaną pracę oceniam wysoko pod względem merytorycznym i badawczym natomiast strona formalna mogłoby być znacząco lepsza.

W naturalny sposób lektura każdej rozprawy skłania do pewnych uwag polemicznych i pytań:

- Na podstawie tego co Autor rozprawy sam zapisał: „Zagadnienia optymalizacji wielokryterialnej mogą być rozwiązywane różnymi metodami. W niniejszej pracy zastosowano metodykę Pareto.” bardzo proszę o krótkie przedstawienie w trakcie obrony rozprawy doktorskiej metod optymalizacji i polioptymalizacji, które Autor zna oraz czy na podstawie doświadczeń Autora inne z tych metod mogłyby również być skutecznie zastosowane w analizowanym przypadku.
- W tab. 3.5 podano, że w przypadku wału wirnika błąd δ wynosi aż 69%. Proszę o wyjaśnienie dlaczego uzyskano tak wysoką wartość błędu δ i jak należałoby postąpić, aby uzyskać wartość błędu na takim poziomie jaki uzyskiwano dla innych elementów przedstawionych w tab. 3.5 czyli na poziomie od kilku dziesiątych procenta do kilku procent?



Przedstawione uwagi krytyczne, polemiczne i formalne nie zmniejszają w istotny sposób czytelności oraz zrozumienia recenzowanej rozprawy doktorskiej. Zgłoszone uwagi i zapytania nie wpływają również na ogólną wysoką ocenę naukową niniejszej rozprawy.

3. Wniosek końcowy.

Uważam, że przedstawiona do oceny rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i jest wartościowa zarówno pod względem naukowym, poznawczym oraz użytkowym. Autor rozwiązał samodzielnie zadanie naukowe wymagające w szczególności:

- sformułowania i zbadania modelu dynamicznego układu sprzęgieł 4-cięgłowych stanowiącego mechanizm przestrzenny o strukturze równoległej,
- opracowania przestrzennego modelu kinematycznego mechanizmu wieloczłonowego,
- zebrania danych wejściowych do modelu badanego obiektu,
- wykonania analiz symulacyjnych dotyczących wpływu zmian parametrów konstrukcyjnych sprzęgła,
- optymalizacji drgań kątowych wału silnika, wału pośredniego i obu wałów badanego obiektu.

Na podstawie powyższego stwierdzam, że recenzowana praca doktorska mieszcząca się w obszarze dyscypliny naukowej **inżynieria mechaniczna** spełnia warunki podane w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (wraz z późniejszymi zmianami) i dlatego wnioskuję do Wysokiej Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej o przyjęcie recenzowanej pracy oraz o dopuszczenie mgr. inż. Tomasza CZAUDERNY do jej publicznej obrony.

Grzegorz Wójcik