

prof. dr hab. inż. Andrzej Chudzikiewicz
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny
w Radomiu
Wydział Elektrotechniki, Transportu i Informatyki

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Staśkiewicza
nt. " Kształtowanie profilu koła tramwajowego w aspekcie
oddziaływania dynamicznego z szyną"

Podstawa prawna: Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Poznańskiej, Prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy z dnia 12 stycznia 2021 r.

1. Wstęp.

Dążenie do zwiększenia zainteresowania mieszkańców aglomeracji miejskich transportem publicznym i zachęcenia ich do zamiany indywidualnego środka transportu na pojazd tramwajowy w miastach, gdzie taka komunikacja funkcjonuje, spowodowało w ostatnich latach renesans tego środka transportu i podjęcie prac badawczych w tym obszarze. Prace te mają na celu poprawę stanu technicznego infrastruktury i taboru poruszającego się po niej. Newralgicznym punktem układu pojazd tramwajowy – infrastruktura torowa jest obszar kontaktu koła z szyną decydujący o bezpieczeństwie i komforcie jazdy oraz o możliwości zwiększania prędkości jazdy. Elementy te decydują o wyborze, przez mieszkańców aglomeracji miejskich, tego środka transportu w podejmowaniu decyzji o odbywaniu podróży miejskich. Jak pokazały liczne badania zarówno teoretyczne jak i eksperymentalne, o wielkości generowanych sił w układzie koło – szyna, decydujących także o zużyciu profilu koła i szyny, czyli o kosztach ponoszonych przez operatora realizującego w miastach tego typu przewozy, decyduje w dużej mierze kształt profilu koła tramwajowego. Dlatego też prowadzenie badań w zakresie współpracy koła tramwajowego z szyną, w szczególności kształtowaniu profilu tego koła, czemu poświęcona jest opiniowana praca doktorska, należy uznać za celowe i uzasadnione.

Opiniowana praca składa się z Wstępu, 8 rozdziałów oraz Bibliografii.

Rozdział 1 – Słownik pojęć zawiera wykaz i opis najważniejszych pojęć związanych z dynamiką i eksploatacją pojazdów szynowych, które są używane w rozprawie. Mając na uwadze poprawność metodologiczną rozprawy oraz jej wartość użytkową, takie podejście należy uznać za uzasadnione.

Rozdział 2 pracy dotyczy problematyki współpracy koła tramwajowego z szyną. W przypadku kolei istnieją uregulowania krajowe i międzynarodowe określające standardy dotyczące typów kół i szyn oraz profili. Natomiast w przypadku systemów tramwajowych brak jest takich uregulowań. Dlatego też w przypadku zamawiania taboru tramwajowego, praktyką stosowaną w Polsce jest określenie typu profilu koła mając na uwadze istniejącą w danym mieście infrastrukturę torową. Doktorant w rozdziale tym przedstawił stosowane w Europie profile kół tramwajowych zaznaczając, że przedmiotem zainteresowania w pracy będą zagadnienia wynikające z warunków eksploatacji tramwajów w Polsce a w szczególności w Poznaniu. Biorąc po uwagę różnice wynikające z konstrukcji tramwajowych układów torowych oraz rozwiązań konstrukcyjnych układów biegowych pojazdów tramwajowych doktorant omówił takie zagadnienia jak: zużywanie się obręczy kół i związane z tym zjawiskiem bezpieczeństwo przed wykolejeniem. Następnie przedstawił, bazując na literaturze, problematykę modelowania zjawiska kontaktu koła z szyną zwracając uwagę na procedury numeryczne powszechnie używane w modelach symulacyjnych używanych w badaniach dynamiki pojazdów szynowych. W dalszej części tego rozdziału przedstawił wyniki analizy obecnego stanu literatury mając na uwadze kształtowanie profilu koła tramwajowego oraz wpływ parametrów profilu koła na wzajemne oddziaływania dynamiczne pomiędzy kołem a szyną w tym przypadku. Kończąc ten rozdział doktorant przedstawił genezę tematu pracy.

W rozdziale 3 przedstawiono cel naukowy i użyteczny pracy, tezę pracy oraz zakres pracy. Cel naukowy zawiera cele szczegółowe dotyczące analizy wpływu, różnych parametrów charakteryzujących geometrię profilu koła oraz zmian tych parametrów w wyniku eksploatacji, na dynamikę pojazdu. Natomiast cel użyteczny to opracowanie metodyki doboru parametrów i weryfikacji nowych profili kół tramwajowych na przykładzie wybranego typu pojazdu. Udowodnienie tezy doktorant uzależnił od spełnienia szeregu warunków możliwych do oceny w sposób jakościowy lub ilościowy. Przedstawiając zakres pracy doktorant zastrzegł, że część wyników przedstawionych w rozprawie jest dziełem zespołu badawczego pracującego w ramach projektu MODTRAM.

Rozdział 4 rozprawy, zatytułowany *Metodyka badań*, zawiera opis sposobów – metod użytych w badaniach symulacyjnych z użyciem modeli pojazdu i toru. Doktorant, po przyjęciu założeń upraszczających proces budowy struktury modelu obiektu rzeczywistego, wybrał jako obiekty do badań dwa typy tramwajów eksploatowanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Poznaniu: pięcioczołowy, niskopodłogowy tramwaj zbliżony konstrukcją do tramwaju typu Moderus Gamma LF 01 AC i trójczłonowy, częściowo niskopodłogowy tramwaj zbliżony konstrukcją do tramwaju typu Moderus Beta MF 02 AC. Następnie opracował scenariusze badań symulacyjnych, przyjmując różne układy tras przejazdów złożonych z odcinków prostych i łuków, uwzględniając rzeczywiste, geometryczne nierówności toru, zmierzone na

wybranych odcinkach infrastruktury torowej w Poznaniu oraz różne profile kół (nominalne, zużyte i wygenerowane w procesie optymalizacji) a także uwzględniając możliwość użycia w symulacjach dwóch różnych modeli toru (tor sztywny oraz podatny). Następnie zamieścił modele nominalne, nazywane w literaturze też fizycznymi, przyjętych do symulacji dwóch rodzajów pojazdów oraz tabele z wykazem parametrów i ich wartościami. Przyjął, że symulacje będą wykonywane z użyciem pakietu SIMPACK oraz procedury FASTSIM. Na zakończenie tego rozdziału doktorant odniósł się do zagadnienia walidacji zbudowanych modeli symulacyjnych odwzorowujących układ rzeczywisty pojazd tramwajowy – tor, przedstawiając opis przeprowadzonego procesu walidacji i przykładowe wyniki. Zaproponowane, w tym zakresie badania i przedstawione wyniki, trudno jest nazwać walidacją a była to raczej próba jakościowej, szacunkowej oceny zgodności obiektu rzeczywistego z przyjętym modelem symulacyjnym mając na uwadze tylko niektóre przebiegi wielkości fizycznych charakteryzujących badany obiekt.

W rozdziale 5 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych mających na celu analizę wpływu wybranych parametrów profilu koła i odchyłek promienia tocznego koła od wartości nominalnych, na dynamiczne oddziaływanie z torem. Doktorant przyjął, że profil poprzeczny koła będzie charakteryzowany przez takie wielkości jak: powierzchnia kontaktu koła z szyną zależna od rodzaju kontaktu (kontakt jedno i wielo-punktowy), luz między kołem a szyną, kąt pochylenie obrzeża, promień łuku przejściowego profilu oraz ekwiwalentna stożkowatość. Ocena wpływu tych wielkości w analizach symulacyjnych była dokonywana poprzez obliczanie takich wskaźników jak: współczynnik intensywności zużywania i współczynnik bezpieczeństwa przed wykolejeniem.

W przypadku odchyłek promienia tocznego koła od wartości nominalnych, w praktyce eksploatacyjnej możemy mieć do czynienia z płaskimi miejscami, poligonizacją oraz z kołem o nieregularnym kształcie. Zmierzone na rzeczywistym kole odchyłki promienia tocznego obręczy koła (*OOR*), doktorant zidentyfikowała jako poligonizację zarysu obręczy i użył otrzymane wyniki w analizie symulacyjnej dynamiki jednego z modeli pojazdów tramwajowych. W otrzymanych wynikach (przebiegi czasowe siły pionowej Q w obszarze kontaktu) można zidentyfikować jako wpływ efektu poligonizacji na dynamikę pojazdu. W dalszej części tego rozdziału został przedstawiony problem płaskich miejsc na obwodzie koła i ich wpływ na przebiegi wybranych wielkości charakteryzujących dynamikę zestawu kołowego. Doktorant używając opracowanego modelu płaskiego miejsca przeprowadził analizy symulacyjne starając się zgłębić wiedzę dotyczącą utraty kontaktu koła z szyną i zachowania się siły pionowej w tym obszarze, w takich przypadkach. Rozdział kończy przedstawienie wyników analiz symulacyjnych pokazujących: zmiany przebiegu ekwiwalentnej stożkowatości w funkcji przemieszczenia poprzecznego środka masy zestawu kołowego, przebiegi współczynników Y/Q i przebiegi współczynników intensywności zużywania oraz współczynników predykcji zużywania zmęczeniowego powierzchni materiałowej

w funkcji czasu jazdy pojazdu. W tym przypadku symulacje wykonywane były dla różnych konfiguracji rodzajów par kół i szyn.

Rozdziały 6 i 7 pracy dotyczą sformułowanych przez doktoranta celów użytecznych pracy, tj. projektowania nowego profilu koła tramwajowego i weryfikacji nowego rozwiązania mając na uwadze bezpieczeństwo przed wykolejeniem i eksploatację, w tym przypadku zwiększenie przebiegów między okresami przetaczania kół poprzez zmniejszenie zużycia profili kół. Doktorant sformułował założenia dla procesu projektowania profilu koła a następnie zdefiniował trójskładnikową funkcję celu w procesie optymalizacji, uwzględniającą: bezpieczeństwo, intensywność zużywania ściernego i zmęczeniowego. Dla każdego zdefiniowanego składnika funkcji celu przyjął, arbitralnie, współczynniki wag. Brak jest jednak informacji o ograniczeniach dla tak przyjętych zmiennych w funkcji celu (ograniczenia wartości Y/Q , ograniczenia powierzchni styku A_{min} i ograniczenia dla wartości I_{wm}) co jest podstawą w sformułowaniu każdego zadania optymalizacji. Wynikiem przeprowadzonych analiz symulacyjnych było otrzymanie wielu rozwiązań tak sformułowanego zadania optymalizacji z których doktorant wybrał jedno (profil PP7), uzasadniając wybór argumentacją o charakterze jakościowym. Dla wybranego profilu PP7, w rozdziale 7 pracy, przeprowadzono weryfikację otrzymanego rozwiązania poprzez wykonanie symulacyjnych analiz porównawczych z użyciem profilu PP7 i PST. Symulacje wykonano wg opracowanych scenariuszy, wykorzystując model pojazdu pięcioczołowego, niskopodłogowego z tradycyjnymi zestawami kołowymi. Porównaniu poddano: położenie obszarów kontaktu, wartości powierzchni kontaktu, przebiegi czasowe liczby punktów kontaktu, przebiegi czasowe wartości współczynnika bezpieczeństwa przed wykolejeniem oraz histogramy współczynników predykcji zużywania zmęczeniowego powierzchni materiału koła. Otrzymane wyniki zostały przez doktoranta skomentowane i wg doktoranta potwierdziły przewagę profilu PP7 w porównaniu z profilem PST mając na uwadze przyjęte kryteria. Przeprowadzone również zostały badania w trybie eksploatacji nadzorowanej z użyciem dwóch pojazdów tego samego typu, z zestawami kołowymi pierwszego wózka w którym, w przypadku pierwszego pojazdu koła posiadały profil PP7 a w drugim pojeździe profil PST. Przebiegi obydwu pojazdów w tej eksploatacji były podobne, z dokładnością do 250 km, a porównaniu poddano podstawowe parametry geometryczne profilu koła: grubość g i wysokość h obrzeża koła oraz położenie obszarów kontaktu.

Rozprawę kończy Rozdział 8 w którym zawarto: opis głównych osiągnięć pracy, wnioski poznawcze, wnioski użyteczne oraz kierunki dalszych badań.

2. Uwagi ogólne i szczegółowe

Praca dotyczy istotnego, z punktu widzenia szeroko pojętej problematyki realizacji publicznych pasażerskich przewozów miejskich z użyciem pojazdów

tramwajowych, zagadnienia dotyczące eksploatacji tego środka transportu oraz bezpieczeństwa realizacji tych przewozów. W obszarze eksploatacji podstawową sprawą są koszty eksploatacji taboru i infrastruktury torowej a w szczególności problem zużycia kół i szyn, natomiast w zakresie bezpieczeństwa przewozów istotnym zagadnieniem są wykolejenia pojazdów będące często następstwem nadmiernego zużycia profili kół i szyn.

Mając na uwadze zdarzające się wypadki typu wykolejenie czy też konieczność wyłączenia pojazdów tramwajowych z ruchu, z powodu przekroczenia wartości krytycznych parametrów charakteryzujących profil koła i szyny, decydujących o bezpieczeństwie jazdy, konieczność prowadzenia badań i prac o charakterze podstawowym i użytecznym, dotyczących współpracy układu koło tramwajowe – szyna, wydaje się konieczna i bezdyskusyjna.

Dlatego też podjęcie tej tematyki, dotyczącej kształtowania profilu koła tramwajowego a konkretnie opracowanie metodyki doboru profilu koła tramwajowego dla określonych warunków eksploatacyjnych oraz jej implementację można uznać za celowe i dysertabilne.

W literaturze tematu znane są liczne prace dotyczące współpracy koła pojazdu kolejowego z szyną i dynamiki układu pojazd szynowy – tor. Natomiast, w przypadku pojazdu tramwajowego oraz specyficznego w tym przypadku systemu torowego a także warunków eksploatacji pojazdów tramwajowych, różnych w przypadku miast w Polsce posiadających tego typu transport, brak jest prac w których do zagadnienia doboru profilu koła byłoby zaprezentowane podejście tak kompleksowe jak w opiniowanej pracy. Podejście to zawiera: badania teoretyczne i eksperymentalne, analizy symulacyjne, wdrożenie w postaci wyprodukowania kół z nowym profilem oraz badania w ramach eksploatacji nadzorowanej.

Zaprezentowana metodyka badawcza zawiera nowe elementy w zakresie metod badawczych, jest oryginalna i może mieć zastosowanie w procesie doboru profili kół tramwajowych w przypadku miast, gdzie tego typu transportu odgrywa jedną z decydujących ról w realizacji przewozów w transporcie publicznym.

Autor starał się jasno, szczegółowo i dokładnie wyjaśniać sposób postępowania opisując metody badawcze a następnie realizując badania symulacyjne oraz analizy porównawcze na etapie realizacji celu użytecznego. Ważnym jest też umiejętność pokazywania w pracy tego co jest osiągnięciem indywidualnym doktoranta a co zostało zapożyczone z literatury lub z pracy realizowanej w ramach uczestnictwa w projekcie badawczym.

Dobrze zostały opracowane wyniki symulacyjnych analiz i badań eksperymentalnych oraz wnioski mówiące również o mankamentach metody.

Opiniowana praca doktorska została przygotowana zgodnie z obowiązującymi w tym zakresie kanonami. Zawiera wykonany dobrze przegląd literatury, tezę, cel, jest proces modelowania matematycznego, są symulacje komputerowe oraz analizy uzyskanych w ten sposób wyników a także część zawierająca odniesienie

do badań eksperymentalnych związana z próbą walidacji modelu oraz z eksploatacją nadzorowaną.

W każdej pracy można dopatrzeć się niedociągnięć czy też braków. W przypadku opiniowanej pracy można sformułować następujące uwagi:

Uwagi natury ogólnej

1. Dążąc do ponoszenia jak najmniejszych kosztów eksploatacji, w procesie realizacji przewozów, towarowych czy pasażerskich, operatorzy starają się aby dysponować jak najmniejszą liczbą różnych typów pojazdów, z uwagi na późniejszą różnorodność aparatów, części zamiennych czy typów kół i profili. W przypadku miast posiadających rozległą sieć tramwajową dobór jednolitego profilu koła tramwajowego, dla wszystkich tras i linii tramwajowych może okazać się niemożliwy. Czy wtedy powinniśmy opracowywać profile kół dedykowane tylko dla określonych tras/linii tramwajowych. Czy to by było rozwiązaniem optymalnym mając na uwadze koszty eksploatacji?
2. Oprócz bezpieczeństwa i kosztów eksploatacji w przewozach pasażerskich istotnym jest dla pasażera komfort jazdy i czas podróży. Co w tym przypadku ma do zaoferowania, zaproponowana przez doktoranta metodologia?
3. Czy w przypadku reprofilacji, po odpowiednim przebiegu pojazdu tramwajowego, doktorant proponował by taki sam dokładnie profil czy też zmianę/modyfikację tego profilu uwzględniając warunki eksploatacji?

Uwagi natury szczegółowej

1. Strona 40, czy sformułowanie dotyczące tezy: *Teza pracy może zostać uznana za udowodnioną wyłącznie przy spełnieniu wszystkich wyżej opisanych warunków* zostało w pracy spełnione?
2. Strona 41, rys. 27, model pojazdu jest układem typu MBS. Jakie układy współrzędnych przyjął doktorant do opisu ruchu poszczególnych brył modelu pojazdu?
3. Strona 41, Jak należy rozumieć założenie, „*Poszczególne masy pojazdu były rozłożone symetrycznie*”?
4. Strona 47, czy pojazd pokazany na rys. 36 to pojazd z niezależnie obracającymi się kołami? Tak to wynika ze zdania: „*Koła były połączone osią, zawierającą ...*” Jeśli tak to jaki model opisuje w tym przypadku ruch zestawu kołowego?
5. Wyjaśnić zagadnienie walidacji modelu symulacyjnego w kontekście rozdziału 4.6
6. Proszę wyjaśnić fizyczna interpretację danych przedstawionych na rys. 51 i 52. Wartość współczynnika Y/Q ma znaczenie jako zależność od

poprzecznego przemieszczenia środka masy zestawu kołowego a nie liczby punktów styku.

7. Strona 88, w przypadku utraty kontaktu koła z szyną zadanie kontaktowe nie ma rozwiązania. Jak sobie doktorant poradził w tym przypadku?
8. Strona 101, proszę sformułować ograniczenia w zadaniu optymalizacyjnym. Czy w rozwiązaniu zadania optymalizacji doktorant założył stałą wartość współczynnika tarcia?
9. Strona 102, Tabele 17, nie ma najlepszych wyników optymalizacji, wynik jest tylko jeden lub zadanie optymalizacji nie ma rozwiązania

3. Krótka końcowa ocena pracy

Rozwój publicznego transportu miejskiego realizowanego przez pojazdy tramwajowe jest jednym z elementów strategii zrównoważonego rozwoju i stanowi podstawę mobilnego przemieszczania się społeczeństwa w aglomeracjach miejskich w XXI wieku. Polska jest jednym z krajów, gdzie miejski pasażerski transport tramwajowy jest w niektórych miastach, istotnym elementem wspomagającym system transportu miejskiego. W przypadku miasta Poznania praca transportowa realizowana pojazdami tramwajowymi to ponad 40 % ogólnej pracy transportowej wykonywanej w transporcie miejskim miasta. Dlatego też podejmowanie prac badawczych wspomagających realizację tych zadań należy uznać za uzasadnione. Podjęcie tematu, dotyczącego poprawy warunków eksploatacyjnych tramwajowego systemu transportowego należy uznać za społecznie uzasadnione.

Doktorant, aby zrealizować założony w pracy cel, dotyczący kształtowania profilu koła tramwajowego, musiał opracować metodologię badawczą bazującą na wiedzy interdyscyplinarnej z takich obszarów jak mechanika techniczna, modelowanie i symulacja komputerowa, teoria kontaktu, metody analizy nieliniowych układów dynamicznych i metody analizy wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych układów mechanicznych.

Doktorant zaprezentował i opisał w pracy zrealizowany proces badawczy rozpoczęty od analizy literatury, następnie poprzez przedstawienie podstaw teoretycznych i sformułowanie założeń, opracował modele numeryczne zjawisk występujących w układzie tor - pojazd tramwajowy mając na uwadze przede wszystkim strefę kontaktu koła z szyną i kształt profilu koła. Następnie wykorzystując metody symulacji komputerowej przeprowadził analizę wpływu parametrów charakteryzujących profil na własności dynamiczne pojazdu.

W dalszej części pracy przedstawił wyniki badań przeprowadzonych w czasie trwania eksploatacji nadzorowanej mających na celu potwierdzenie przyjętych założeń i ocenę zużycia nowego profilu koła uzyskanego w wyniku zastosowania opracowanej metodyki kształtowania nowego profilu koła.

Takie kompleksowe podejście do problemu badawczego rzadko spotyka się w pracach doktorskich. Dlatego też oceniam pracę wysoko mimo wymienionych wyżej uwag.

4. Wniosek końcowy.

Podsumowując, uważam, że mgr inż. Tomasz Staśkiewicz w przedłożonej rozprawie poprawnie sformułował, rozwiązał i opisał zadanie naukowo-badawcze, jakim jest opracowanie metodyki doboru parametrów i weryfikacji nowych profili kół tramwajowych na przykładzie wybranego typu pojazdu tramwajowego.

Praca odpowiada warunkom stawianym, w Ustawie o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych z dnia 14 marca 2003 roku, rozprawom doktorskim w zakresie nauk technicznych. Praca mieści się w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport. Wobec powyższego stawiam wniosek o dopuszczenie przedłożonej, przez mgr inż. Tomasza Staśkiewicza, rozprawy do publicznej obrony.

