

Warszawa, 21 lipca 2025

Prof. dr hab. inż. Andrzej Chudzikiewicz
Uniwersytet Radomski
Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dariusza Kalinowskiego
**pt.: *Badanie warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu nowoczesnych
pojazdów tramwajowych metodą symulacji komputerowej***

Promotor: prof. dr hab. inż. Tomasz Szolc

1. Informacje ogólne

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Dariusza Kalinowskiego opracowana została na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk (pismo nr RN-D.0002.9.2024 z dnia 30 maja 2025 r.) oraz na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej pod wyżej wymienionym tytułem.

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa Pana mgr inż. Dariusza Kalinowskiego liczy 174 stron wraz ze spisem załączników, spisem literatury liczącym 76 pozycji oraz streszczeniami pracy w języku polskim i angielskim. Do pracy został dołączony, w postaci dodatkowej, materiał zawierający 14 Załączników (zestawienia wyników symulacji numerycznych). Rozprawa składa się ze Wstępu, 8 rozdziałów merytorycznych, spisu załączników oraz wykazu literatury.

Praca ma charakter teoretyczno-analityczny i dotyczy opracowania metody oceny poziomu bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu, w przypadku pojazdów tramwajowych, z wykorzystaniem metod symulacji komputerowych oraz badań doświadczalnych wykonywanych w warunkach eksploatacyjnych z użyciem rzeczywistego obiektu. Autor podjął się nietatwego zadania, opracowania metody badań bezpieczeństwa w przypadku pojazdów tramwajowych, mając świadomość, że taka metoda posiadająca cechy uniwersalności nie istnieje oraz przyjmując za cel możliwość jej wdrożenia przez producentów takich pojazdów.

Rozprawa została napisana poprawnym językiem a używana terminologia nie budzi zastrzeżeń. Układ pracy przejrzysty, podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały poprawny. Praca zawiera bogaty materiał ilustracyjny zamieszczony w pracy oraz w dodatkowym materiale w postaci 14 załączników a wyniki zamieszczone w tabelach oraz na rysunkach w sposób właściwy przedstawiają otrzymane rezultaty z badań symulacyjnych oraz doświadczalnych.

3. Ocena podjętego tematu rozprawy

Obserwując dynamiczny rozwój obszarów aglomeracji miejskich dużych i średnich miast w Polsce i mając na uwadze spełnienie jednego z podstawowych warunków zapewniających komfort życia ich mieszkańców a mianowicie warunku mobilności, konieczność rozwoju transportu publicznego w tych aglomeracjach nie budzi żadnych zastrzeżeń. Dynamicznie wzrastająca liczba samochodów osobowych i ograniczona przepustowość miejskich dróg publicznych powoduje, że poprzez rozwój miejskiej komunikacji autobusowej nie jesteśmy już w stanie rozwiązywać problemów transportowych w tych aglomeracjach i dlatego też w wielu krajach europejskich, w tym również w Polsce, powraca się do istniejących w przeszłości i zlikwidowanych lub zapomnianych w miastach linii tramwajowych, przeprowadzając ich rewitalizację lub budując od początku. Przykładem mogą być takie miasta w Polsce jak Olsztyn, Bydgoszcz lub Warszawa. Wzrasta też liczba, produkowanych przez koncerny zachodnie i polskich producentów, nowoczesnych pojazdów tramwajowych mogących poruszać się z maksymalną prędkością 80 km/h. W przypadku pojazdów tramwajowych, które nie są objęte ustawą o transporcie kolejowym, brak jest jednolitych zapisów dotyczących badań i warunków technicznych jakie muszą być spełnione mając na uwadze bezpieczeństwo jazdy a w szczególności bezpieczeństwo przeciw wykolejeniu. Autor rozprawy założył, że opracowana i przedstawiona w pracy metoda przyniesie wymierne korzyści w zakresie poprawy bezpieczeństwa w przypadku publicznego transportu tramwajowego.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia uważam, że wybór tematu rozprawy jest aktualny i istotny mając na uwadze bezpieczeństwo w transporcie publicznym – tramwaj jest jednym z uczestników ruchu w miejskim transporcie, a stąd zwiększenie przez samorządy miejskie, zainteresowania tym środkiem transportu.

4. Analiza treści rozprawy

Wstęp (rozdział nienumerowany pracy) zawiera krótkie omówienie zawartości każdego z rozdziałów pracy.

W rozdziale pierwszym pracy (*Cel i teza pracy*) Autor przedstawił cele pracy (naukowy i użytkowy), tezę pracy oraz uzasadnienie podjęcia tematu. Główny cel pracy, jaki zdefiniował Autor jest następujący: „*stworzenie nowej metodyki badań przeprowadzanych przy użyciu symulacji numerycznej w celu badania warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu pojazdów tramwajowych z uwzględnieniem różnorodności konfiguracji wagonów oraz wózków, a także wzięciem pod uwagę zarysów zewnętrznych wieńców kół oraz główek szyny.*” Dla tak sformułowanego celu głównego pracy, Autor zdefiniował 9 zadań częściowych niezbędnych do osiągnięcia tego celu. Zadania te pokazały obszerność i złożoność zagadnienia, rozwiązania którego podjął się Autor pracy. Mając świadomość możliwości różnych rozwiązań, które mogą wystąpić w konstrukcjach produkowanych współcześnie tramwajów, Autor sformułował następującą tezę pracy: „*Konfiguracja wagonów oraz wózków pojazdu tramwajowego ma istotny wpływ na poziom bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu*”. Teza pracy sformułowana przez Autora jest poprawna i wynika z analizy literatury oraz własnych, badawczych doświadczeń Autora, że bezpieczeństwo przeciw wykolejeniu w przypadku

pojazdów tramwajowych nie zależy tylko od własności konstrukcyjnych pojedynczego wagonu tramwajowego. Dodatkowym argumentem przemawiającym za podjęciem tego tematu, wg Autora, jest fakt braku krajowych jak i międzynarodowych uregulowań prawnych dotyczących badania pojazdów tramwajowych, między innymi, w zakresie bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu.

Rozdział drugi pracy (*Podstawy teoretyczne kontaktu koło – szyna*) zawiera omówienie podstawowych teorii kontaktu, istotnych w przypadku współpracy koła z szyną. Autor przedstawił teorię Hertza, Cartera i Kalkera. Oczywiście lista nazwisk badaczy, którzy wnieśli znaczący wkład w rozwój teorii kontaktu, teorii kontaktu tocznego i ostatecznie teorii kontaktu tocznego w przypadku koła i szyny jest bardzo obszerna, ale na potrzeby pracy można przyjąć, że te trzy przedstawione i dokładnie omówione teorie mogą wystarczyć do dalszych analiz prowadzonych przez Autora w pracy. Podstawowe znaczenie dla rozwoju symulacyjnych metod badania zjawisk występujących w układzie koło – szyna mają prace Kalkera. Jego teorie, liniowa, uproszczona oraz pełna i opracowane do tych teorii algorytmy i programy numeryczne, stanowią dzisiaj podstawę wszelkich analiz dotyczących dynamiki pojazdu szynowego, uwzględniających siły generowane w układzie koło – szyna. Należy zaznaczyć, że wybór tych trzech teorii jest wystarczający mając na uwadze dalsze analizy prowadzone w pracy i świadczy o dobrym wyczuciu badawczym Autora. W rozdziale tym zostały zawarte również rozważania dotyczące prowadzenia badań ruchu pojazdu tramwajowego z wykorzystaniem metod symulacji komputerowej, mając szczególnie na uwadze zagrożenie wykolejenia i ocenę poziomu bezpieczeństwa w tym przypadku.

W rozdziale trzecim (*Badania warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu*) przedstawione zostały, bazujące na normie EN14363, trzy metody badania pojazdów kolejowych w zakresie spełniania warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu. Badania te przeprowadza się jako pierwsze w cyklu badań w procesie homologacji nowych typów pojazdów szynowych. Korzystając z przedstawionych metod można uzyskać, w wyniku pomiarów, takie parametry charakteryzujące badany pojazd jak: współczynnik bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu Y/Q , uniesienie koła prowadzącego, wartość siły poprzecznej w kontakcie koło-szyna podczas przejazdu przez łuk o promieniu 150 m na torze badawczym czy wartość momentu oporowego wózka względem nadwozia. Wartości tych parametrów w sposób jednoznaczny charakteryzują własności badanego pojazdu mając na uwadze bezpieczeństwo przeciw wykolejeniu. W rozdziale tym Autor zawarł również opisy metod i wymagań w zakresie bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu, używane w krajach europejskich, w Japonii, w USA oraz w Rosji. Brak jest w tym rozdziale podsumowania, w którym Autor by porównał metody opisane w normie EN14363 z metodami stosowanymi w innych krajach oraz uzasadniłby celowość prowadzonych w tym miejscu rozważań odnoszących się do pojazdów kolejowych w przypadku, gdy praca dotyczy pojazdów tramwajowych.

Rozdział czwarty (*Rozwiązania techniczne układów jezdnych tramwajów*) wprowadza do problematyki rozwiązań konstrukcyjnych pojazdów tramwajowych, w tym układów jezdnych, pozwalających na różne konfiguracje poszczególnych wagonów w pojazdy. Jedną z możliwości klasyfikacji pojazdów tramwajowych jest podział uwzględniający wysokość podłogi w

pojeździe. Mając na uwadze dostępność tego środka transportu dla osób starszych, niepełnosprawnych czy też z wózkami dziecięcymi, organizatorzy transportu publicznego zaczęli wprowadzać do eksploatacji tramwaje niskopodłogowe, tj. takie w których podłoga znajduje się na poziomie 350 mm względem główki szyny. W przypadku tramwajów niskopodłogowych rozwiązania układów jezdnych różnią się znacznie od rozwiązań układów jezdnych konwencjonalnych (wysokopodłogowych) pojazdów tramwajowych. Podstawowa różnica dotyczy konstrukcji wózka i umiejscowionego w nim zestawu kołowego, który w takim przypadku posiada niezależnie obracające się koła. Autor w tej części pracy omawia sposoby realizacji obniżonej podłogi w pojazdach tramwajowych oraz podaje przykłady stosowanych w tym przypadku, przez różnych producentów, rozwiązań konstrukcyjnych wózka wraz z układem napędowym i niezależnie obracającymi się kołami.

W rozdziale piątym (*Pojazdy tramwajowe z niezależnie obracającymi się kołami*) przedstawione zostały przykłady zastosowania niezależnie obracających się kół w pojazdach tramwajowych różnych producentów, posiadające różne rozwiązania układów napędowych i w związku z tym różną konfigurację. Omówione zostało również zagadnienia wpływu niezależnie obracających się kół na współpracę zestawu z torem. Jak słusznie zauważył Autor w przypadku pojazdów tramwajowych z niezależnie obracającymi się kołami warunkiem koniecznym zachowania wskaźnika Y/Q na akceptowalnym poziomie jest zastosowanie niezależnych napędów kół w poszczególnych zestawach kołowych.

Rozdział 6 (*Badania warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu tramwajów*), wg opiniującego najważniejszy w rozprawie, zawiera rozważania dotyczące badań warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu w przypadku pojazdów tramwajowych. Bazując na wykonanym przeglądzie literatury Autor opisał aktualny stan badań symulacyjnych wykonywanych przez projektantów i producentów tramwajów, zwracając uwagę na brak jednoznaczności pomiędzy zapisami dotyczącymi metod opisanych w normie EN14363 a rzeczywistymi warunkami panującymi w eksploatacji pojazdów, mając na uwadze przyjmowane wartości wichrowatości oraz maksymalne dopuszczalne obciążenia. Ponadto w polskich przepisach dotyczących wymagań konstrukcyjnych w stosunku do eksploatowanego w przyszłości pojazdu tramwajowego oraz odnośnie do zakresu badań homologacyjnych, temat bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu nie jest podejmowany. Mając na uwadze warunki prowadzenia tramwajowego zestawu kołowego w specyficznej tramwajowej infrastrukturze torowej (łuki o małych promieniach, różne typy szyn oraz kół, specyfika rozjazdów) Autor doszedł do wniosku, że istniejące metody opracowane dla pojazdów kolejowych i kolejowej infrastruktury torowej nie mogą być bezpośrednio zastosowane w przypadku pojazdów tramwajowych i zaproponował nową metodę wykorzystania symulacji komputerowej do określania poziomu bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu pojazdów tramwajowych. Sformułowane zostały założenia nowej metody określające warunki jej zastosowania odnośnie wichrowatości tylko toru, łuków na liniach oraz profili główki szyny i koła jezdnego. Określony został podstawowy parametr, który charakteryzuje spełnienie warunków decydujących o bezpieczeństwie przeciw wykolejeniu tramwaju. Przyjęto graniczną wartość uniesienia koła tramwajowego na poziomie 8,5 mm. Dla tak przyjętych założeń Autor

przeprowadził serię symulacji komputerowych dla zdefiniowanych 7 konfiguracji wagonów i wózków pojazdów tramwajowych. Przyjęcie każdej z konfiguracji zostało uzasadnione. Modele fizyczne i matematyczne pojazdów tramwajowych oraz ich wózków przygotowano przy wykorzystaniu oprogramowania SIMPACK, uwzględniając specyfikę ich rozwiązań konstrukcyjnych. W przypadku symulacji ruchu pojazdu tramwajowego z niezależnie obracającymi się kołami opracowano alternatywny algorytm sterowania wartościami momentów napędowych silników oraz prędkością obrotową kół jezdnych wózków napędowych, który został zaimplementowany w środowisku programu MATLAB z modułem SIMAT oraz połączony z programem SIMPACK. Wyniki wielowariantowych symulacji uwzględniają: tor o różnych promieniach łuku, cztery wartości rozstawu szyn w przypadku rozstawu normalnego (1435 mm) oraz w przypadku rozstawu wąskiego (1000 mm) a także różne konfiguracje pojazdu złożonego z wagonów/członów posadowionych na wózkach lub bez wózków. W przypadku każdego z kół rejestrowano maksymalny, osiągnięty w trakcie przejazdu wskaźnik bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu Y/Q oraz wartość uniesienia koła. Wyniki symulacji komputerowych zebrano w Załącznikach Z1 – Z14 zawierających w sumie 112 tablic i 893 rysunków bez żadnego komentarza. Otrzymane wyniki zostały przez Autora poddane szczegółowej analizie, której wyniki zawarto w rozdziale 6.4 (*Wnioski*) (23 tablice i 65 rysunków). Przy tak dużej liczbie rysunków i tabel zawartych w załącznikach oraz rozdziale *Wnioski*, brak generalnej konkluzji, która powinna się zmieścić na jednej stronie formatu A4, należy uznać za mankament pracy. Oczywiście można, na użytek własny, wyłować z analiz zawartych w tym podrozdziale pojedyncze wnioski zawierające informacje charakteryzujące bezpieczeństwo przeciw wykolejeniu danej konfiguracji pojazdu tramwajowego. Natomiast ilość wykonanych symulacji oraz nakład pracy poświęconej na graficzną (rysunki) i ilościową (tabele) prezentację otrzymanych wyników są godne podziwu.

Rozdział siódmy (*Weryfikacja doświadczalna rezultatów teoretycznych*) jest spinającym całą pracę a rezultaty w nim zawarte potwierdzają słuszność przyjętej tezy na początku rozprawy. Jako obiekt, który posłużył do weryfikacji, został użyty tramwaj typu 128NG, w pełni niskopodłogowy, wyprodukowany przez firmę PESA Bydgoszcz SA. Badania doświadczalne zostały przeprowadzone na wytypowanych trasach aglomeracji Gdańsk – Gdynia. Jako metodę badawczą w procesie weryfikacji uzyskanych rezultatów, Autor przyjął metodę analizy porównawczej w dziedzinie przemieszczeń, podstawowych parametrów charakteryzujących bezpieczeństwo przeciw wykolejeniu pojazdu tramwajowego, uzyskanych w obliczeniach symulacyjnych i w badaniach tramwaju w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Tymi parametrami są: poprzeczne przemieszczenie wybranych punktów zestawu kołowego, siła poprzeczna Y , siła pionowa Q oraz wskaźnik Y/Q charakteryzujące zdolność do wykolejenia zestawu kołowego a także wartość uniesienia koła. Uzyskane wyniki analiz zostały dobrze zilustrowane na rysunkach oraz skomentowane potwierdzając skuteczność przyjętej metody analizy.

Rozprawa została zakończona *Podsumowaniem* zawierającym omówienie otrzymanych w pracy rezultatów, zwracając szczególną uwagę na zalety zaproponowanej, symulacyjnej

metody badania bezpieczeństwa jazdy w przypadku wielocłonowych pojazdów tramwajowych różnie skonfigurowanych.

5. Merytoryczna ocena pracy

Analiza treści rozprawy dowodzi, że mgr inż. Dariusz Kalinowski podjął się z powodzeniem, realizacji zdefiniowanego w pracy celu, złożonego zadania polegającego na opracowaniu metody badania bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu w przypadku pojazdów tramwajowych. Aby osiągnąć założony cel Autor wykorzystał metody teoretyczne, utylitarne oraz doświadczalne integrując modelowanie matematyczne z metodami symulacji komputerowej oraz z metodami badań doświadczalnych, polegających na wykonaniu eksperymentów z wykorzystaniem pojazdu tramwajowego, w warunkach rzeczywistej eksploatacji. W tym kontekście najważniejszą częścią rozprawy, wg opiniującego, są rozdziały 6 i 7, w których Autor sformułował założenia, przedstawił autorską metodę wykorzystania symulacji komputerowej do określenia poziomu bezpieczeństwa a następnie przeprowadził rozbudowaną analizę metodą symulacji, obejmującą 7 konfiguracji pojazdów tramwajowych użytych do porównawczej symulacji komputerowej. Dla każdej z konfiguracji opracowane zostały scenariusze uwzględniające zmienność takich parametrów jak: promień łuków toru, zmienną wartość szerokości toru w przypadku toru normalnego jak i wąskiego oraz możliwość zabudowy wózków zestawami konwencjonalnymi czy też zestawami z niezależnie obracającymi się kołami. Opracowanie modeli matematycznych a później symulacyjnych odwzorowujących własności dynamiczne układu pojazd szynowy – tor oraz modeli układów sterujących kołami w zestawach z niezależnie obracającymi się kołami a następnie integracja tych modeli w jeden model symulacyjny, świadczą o dużej wiedzy i doświadczeniu badawczym Doktoranta z zakresu znajomości budowy pojazdów szynowych i ich modelowania oraz metod badań symulacyjnych.

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Dariusza Kalinowskiego stanowi oryginalne, autorskie ujęcie zagadnienia badania bezpieczeństwa przed wykolejeniem w przypadku pojazdów tramwajowych. Doktorant wypełnia istotną lukę badawczą, proponując całościowe podejście do zagadnienia oceny bezpieczeństwa pojazdów tramwajowych, który to problem do tej pory nie znalazł jednoznacznego rozwiązania w normach i przepisach, nie tylko krajowych jak i europejskich.

Przytoczone fakty wskazują, że Doktorant zrealizowała cel rozprawy i udowodnił założoną tezę. Na szczególną uwagę w pracy zasługują następujące elementy:

1. Opracowanie modelu badania bezpieczeństwa przed wykolejeniem w przypadku pojazdów tramwajowych. Zdefiniowanie wskaźników oceny bezpieczeństwa.
2. Opracowanie modelu symulacyjnego uwzględniającego model dynamiki pojazdu, model kontaktu oraz model sterowania kołami dla przypadku pojazdu tramwajowego z niezależnie obracającymi się kołami.
3. Opracowanie konfiguracji pojazdów oraz scenariuszy symulacji i przeprowadzenie symulacji.
4. Zweryfikowanie opracowanej symulacyjnej metody badania bezpieczeństwa w oparciu o badania w warunkach eksploatacyjnych.

Należy zaznaczyć, że opracowana metoda jest uniwersalna i pozwala na jej zastosowanie w przypadku pojazdów tramwajowych o dowolnej konfiguracji złożonej z wagonów czy członów pośredniczących, niezależnie od liczby wózków oraz zastosowanych rozwiązań odnośnie konwencjonalnych zestawów kołowych, zestawów z osią portalową (IRW) lub zestawów z pełną niezależnością kół (FIRW).

Podsumowując, uważam że omówiona konstrukcja rozprawy, sposób opracowania wyników analiz symulacyjnych oraz wyników badań prowadzonych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych, a także forma przeprowadzonych symulacji i analiz, w tym przyjęta metodyka badawcza są właściwe dla tego rodzaju prac. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod badań eksperymentalnych stosowanych w dyscyplinie Inżynieria mechaniczna.

6. Uwagi krytyczne i szczegółowe

1. W rozdziale 2 pracy, strona 21, Autor wprowadza nas w zagadnienie budowy modelu matematycznego pojazdu szynowego, mając na uwadze jego późniejsze wykorzystanie w badaniach symulacyjnych. Odnosząc się do liczby brył, dyskretnego modelu pojazdu szynowego, Doktorant używa znanego w mechanice analitycznej pojęcia *liczba stopni swobody* pisząc, że *Ruch każdego ze stopni swobody jest opisany odpowiednim równaniem różniczkowym ...*. Prosiłbym o wyjaśnienie, czy analizując ruch danego obiektu opisanego modelem matematycznym interesuje nas ruch stopni swobody czy też zachowanie się i ruch współrzędnych zdefiniowanych do opisu zachowania się danej bryły w modelu i jaki jest związek liczby stopni swobody ze współrzędnymi opisującymi ruch układu?
2. W rozdziale 4 pracy Autor zamieszcza rysunki widoków wózków różnych typów, zaczerpnięte z opisów patentowych rozwiązań konstrukcyjnych (np. rys. 4.10, 4.30, 4.31). Rysunki zawierają kilkadziesiąt oznaczeń odnoszących się do poszczególnych elementów wózka. Odnosząc się do ciekawostek konstrukcyjnych danego rozwiązania, np. strona 61, 7wg, Autor nie wykorzystuje tych oznaczeń. Obniża to znacznie wartość poznawczą pracy. Prosiłbym o rozszerzony komentarz dotyczący rozwiązania pokazanego na rys. 4.30 i 4.31.
3. W rozdziale 6 pracy, na stronie 82, Autor przedstawia model fizyczny jednego z członów pojazdu tramwajowego posadowionego na jednym wózku. O rozmiarze i złożoności zagadnienia, w przypadku analizy dynamiki układu dynamicznego, pojazdu szynowego w szczególności, można się zorientować mając informacje o ilości współrzędnych opisujących dynamikę modelowanego pojazdu lub liczbie stopni swobody. Proszę o podanie tej informacji, przykładowo dla kilku konfiguracji pokazanych na rys. 6.3
4. W stosowanych powszechnie pakietach używanych do analiz symulacyjnych modeli pojazdów szynowych, podstawowym założeniem jest stały kontakt koła z szyną powodujący określoność zagadnienia kontaktowego. W przypadku „oderwania” się koła od szyny zagadnienie kontaktowe z wiadomych powodów przestaje być rozwiązywalne i siły występujące po prawej stronie układu równań różniczkowych

opisujących dynamikę danego modelu, będące efektem kontaktu koła z szyną i wyników uzyskanych z procedury FASTSIM są nieokreślone. Jak w tym przypadku radzi sobie program symulacyjny z taką nieokreślonością?

Z ważniejszych uwag szczegółowych mogę wymienić:

1. Strona 17, rys. 2.4; jeśli rozpatrujemy zestaw kołowy przesunięty poprzecznie o wartość y , to na rysunku powinien on być obrócony o pewien kąt wokół osi wzdłużnej, wynikający z różnicy aktualnych promieni tocznych r_1 i r_2
2. Strona 17 ; wzory opisujące promienie toczne r_1 i r_2 (4 wg) należy poprawić.
3. Autor używa niekiedy niepoprawnych określeń i „skrótów myślowych”, np. strona 67 – *po wyprowadzeniu z równowagi zamiast – po wyprowadzeniu z położenia równowagi*. W przypadku wózka z niezależnie obracającym się kołami zmiana momentu napędowego powinna dotyczyć każdego z kół lub pary kół oddzielnie.
4. Strona 81 ; niezrozumiałe jest stwierdzenie (3 wd): ... *składają się z reprezentujących bezwładności nadwozi ...* .

Dostrzeżone uwagi szczegółowe i drobne niedociągnięcia edytorskie nie wpływają na wartość merytoryczną pracy a ich pokazanie ma na celu zwrócenie Autorowi uwagi na jeszcze większą dbałość w przyszłości, o tą stronę opracowywanych prac.

7. Podsumowanie i konkluzja

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam pozytywnie, została ona wykonana na dobrym poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów związanych z bezpieczeństwem pojazdów tramwajowych, a w szczególności pojazdów z niezależnie obracającymi się kołami. Badania tego zagadnienia wymagają znajomości takich obszarów wiedzy jak: budowa i konstrukcja pojazdów szynowych i modelowanie dynamiki tych obiektów, zagadnienia kontaktowe, metody symulacji dynamiki pojazdów, badania eksperymentalne. Doktorant bardzo dobrze orientuje się w problematyce związanej z badaniami w zakresie bezpieczeństwa pojazdów szynowych, zasadami, metodami oraz przepisami w tym zakresie oraz stanem infrastruktury tramwajowej w miastach prowadzących tego rodzaju transport publiczny. Treści merytoryczne zawarte w pracy świadczą o dużej dojrzałości naukowej, wiedzy merytorycznej i praktycznej Doktoranta oraz o Jego umiejętności prowadzenia pracy naukowej, dotyczącej złożonych zagadnień technicznych.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań, opracowana metoda badań warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu pojazdów tramwajowych z wykorzystaniem symulacji komputerowej oraz badania eksperymentalne wykonywane w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych, są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta. Kandydat potrafi poprawnie zdefiniować i rozwiązać zadanie badawcze i dobrać warsztat naukowy, interpretować wyniki uzyskane z badań oraz posiada też umiejętność krytycznej oceny własnych dokonań. Opracowana i zweryfikowana przez Autora metoda może być wykorzystana do oceny stanu pojazdów tramwajowych w procesie ich homologacji co niewątpliwie przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa w systemie miejskiego transportu

publicznego. Zakres rozprawy mieści się w obszarze badań właściwym dla dyscypliny naukowej Inżynieria mechaniczna.

Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Dariusza Kalinowskiego pt. „Badania warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu nowoczesnych pojazdów tramwajowych metodą symulacji komputerowej” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zawartym w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2020 r., poz. 85, z późn. zm.) oraz mieści się w dyscyplinie Inżynieria mechaniczna.

Wnoszę o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Dariusza Kalinowskiego.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'D. Kalinowski', is located in the lower right quadrant of the page.