

Poznań, 4.08.2025 r.

dr hab. inż. Bartosz Firlik, prof. PP
Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu
pl. M. Skłodowskie-Curie 5
60-965 Poznań

RECENZJA

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

Podstawa prawna: Pismo Sekretarza Rady Naukowej Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk z dnia 30 maja 2025.

1. Wprowadzenie

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dariusza Kalinowskiego jest opracowanie metodyki oceny bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu nowoczesnych pojazdów tramwajowych z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi symulacji komputerowej. Autor podejmuje się próby wypełnienia luki w obowiązujących normach, które – w odróżnieniu od pojazdów kolejowych – nie regulują w sposób wystarczający wymagań dotyczących bezpieczeństwa tramwajów przeciw wykolejeniu. Problematyka pracy ma wyraźnie interdyscyplinarny charakter i mieści się w obszarze dyscypliny *inżynierii mechanicznej*, ze szczególnym uwzględnieniem dynamiki układów mechanicznych, symulacji numerycznych oraz konstrukcji pojazdów szynowych.

Rozprawa dotyczy zagadnienia ważnego zarówno z punktu widzenia teorii, jak i zastosowań praktycznych. Wzrost popularności systemów tramwajowych w Europie, różnorodność konstrukcyjna taboru oraz specyfika warunków miejskich (łuki o niewielkich promieniach, przejazdy przez skrzyżowania, różne profile szyn) powodują, że potrzeba opracowania spójnej metody oceny bezpieczeństwa tych pojazdów staje się szczególnie istotna.

Rozprawa została przygotowana w ramach doktoratu wdrożeniowego, co dodatkowo podnosi jej wartość praktyczną.

2. Struktura rozprawy

Rozprawa liczy łącznie 166 stron głównego tekstu (bez załączników i spisu literatury) i składa się z siedmiu rozdziałów.

W rozdziale 1 przedstawiono wstęp do problematyki, cel pracy oraz tezę badawczą. Autor stara się uzasadnić potrzebę podjęcia tematu, wskazując na brak jednoznacznych wytycznych dotyczących oceny bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu tramwajów. W rozdziale tym zaprezentowano również ogólną strukturę pracy oraz założone metody badawcze, choć brakuje wyraźnego podziału między genezę a celem pracy oraz odniesień do literatury.

W rozdziale 2 omówiono zagadnienia teoretyczne związane z kontaktem koła z szyną. Autor przywołuje wybrane modele kontaktowe oraz teorie styku, w tym teorię Hertz'a i uproszczoną teorię

Kalkera. Zarysowano również problematykę styku koła z szyną oraz wskazano na znaczenie właściwości materiałów i profili współpracujących powierzchni. Częściowo przedstawiono także podstawy modelowania komputerowego. Autor wykazał się znajomością zagadnień tribologicznych i dynamiki kontaktu, choć sposób prezentacji wiedzy w tym rozdziale wymaga uporządkowania.

W rozdziale 3 zebrano aktualne normy i metody badawcze wykorzystywane w ocenie bezpieczeństwa pojazdów szynowych przeciw wykołaceniu. Autor zestawiał podejścia znane z kolei klasycznej (w szczególności normę EN 14363) z praktykami przemysłowymi, jakie funkcjonują w przypadku tramwajów. Rozdział ten ma charakter przeglądowy i stanowi uzasadnienie dla konieczności opracowania alternatywnej metody oceny. W rozdziale tym ujawnia się też kompetencja doktoranta w zakresie interpretacji przepisów branżowych oraz ich krytycznej analizy.

Rozdział 4 poświęcono przeglądowi konstrukcji tramwajowych różnych producentów, ze szczególnym uwzględnieniem układów biegowych i sposobów obniżania podłogi. Autor porusza kwestie historyczne oraz współczesne trendy konstrukcyjne, ilustrując je wybranymi przykładami pojazdów. Choć rozdział ten zawiera szereg cennych informacji, nie wszystkie treści zostały wystarczająco zsyntetyzowane i niekiedy przyjmują formę katalogową. Niemniej stanowi on wartościowy materiał źródłowy do dalszych analiz.

W rozdziale 5 scharakteryzowano pojazdy z niezależnie obracającymi się kołami (IRW – Independent Rotating Wheels). Autor omawia ich rozwój konstrukcyjny i prezentuje wybrane przypadki zastosowania takich rozwiązań w praktyce. W kontekście dalszych analiz symulacyjnych rozdział ten ma znaczenie pomocnicze, ponieważ doktorant wykorzystuje te konfiguracje w modelach opracowanych w kolejnych etapach pracy. Wskazuje to na jego dobre rozeznanie w trendach konstrukcyjnych i potencjale innowacyjnym rozwiązań.

Rozdział 6 stanowi zasadniczą część rozprawy i zawiera autorską propozycję metodyki oceny poziomu bezpieczeństwa przeciw wykołaceniu pojazdów tramwajowych. Autor przedstawia założenia przyjęte do modelowania numerycznego, w tym definicję konfiguracji taboru, warunków geometrycznych toru, sztywności elementów zawieszenia oraz warunków kontaktu koła z szyną. Opracowana przez doktoranta metoda bazuje na analizie sił kontaktowych i parametrów geometrycznych, z wykorzystaniem środowiska SIMPACK oraz interfejsów z MATLAB-em (moduł SIMAT). W tym rozdziale zaprezentowano wyniki szeregu symulacji przeprowadzonych dla różnych wariantów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, a także próby analizy ich wpływu na bezpieczeństwo prowadzenia tramwaju. To właśnie w tej części pracy widoczny jest największy, oryginalny wkład doktoranta w rozwój wiedzy z zakresu inżynierii mechanicznej.

W rozdziale 7 przedstawiono weryfikację wybranych wyników symulacji z danymi pomiarowymi uzyskanymi z prób terenowych tramwaju z niezależnie obracającymi się kołami. W rozdziale tym doktorant wykazuje, że jego model wykazuje zgodność z rzeczywistymi obserwacjami – przynajmniej w zakresie podstawowych wielkości mechanicznych. Pomimo że analiza weryfikacyjna mogłaby być bardziej rozbudowana, stanowi ona ważny dowód poprawności zastosowanej metodyki i kompetencji autora w zakresie korelacji symulacji z eksperymentem.

Rozprawę kończy bibliografia zawierająca 77 pozycji literaturowych. Około 34% z nich (26 pozycji) pochodzi z ostatnich pięciu lat, co świadczy o względnej aktualności wykorzystanych źródeł. W zestawieniu obecne są zarówno publikacje naukowe, jak i dokumenty normalizacyjne oraz techniczne specyfikacje branżowe. Zarówno pod względem objętości, jak i zakresu źródeł, praca spełnia wymogi stawiane rozprawie doktorskiej w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

3. Oryginalność i wartość naukowa rozprawy

Rozprawa wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie oceny bezpieczeństwa pojazdów szynowych, a w szczególności tramwajów. Na uwagę zasługuje fakt, że autor nie tylko dokonał przeglądu aktualnych rozwiązań, lecz zaproponował własną metodykę, opartą o symulacje numeryczne, w której uwzględnił:

- geometrię toru i pojazdu,
- oddziaływanie dynamiczne układu biegowego podczas,
- różnorodne konfiguracje tramwajów,
- a także oddziaływanie czynników środowiskowych (np. niskich temperatur).

Metodyka została zaimplementowana przy użyciu oprogramowania SIMPACK i MATLAB/Simulink, a jej rezultaty częściowo zweryfikowano na drodze pomiarów rzeczywistych. Na uwagę zasługuje fakt, że w niniejszej rozprawie opracowano alternatywny algorytm sterowania wartościami momentów napędowych silników oraz prędkością obrotową kół jezdnych wózków napędowych tramwajów z portalowymi zestawami kołowymi. Algorytmy sterowania wykonano przy wykorzystaniu oprogramowania MATLAB z modułem SIMAT

Na szczególne uznanie zasługuje próba sformułowania procedury uniwersalnej, która może być stosowana do tramwajów o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Zastosowana metodologia badawcza, szeroki kontekst praktyczny, a także udział przemysłu (PESA) wzmacniają zarówno naukową, jak i wdrożeniową wartość rozprawy.

4. Wartość merytoryczna rozprawy

Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością zagadnień związanych z konstrukcją i eksploatacją tramwajów, modelowaniem kontaktu koła z szyną, jak również praktyczną znajomością środowiska symulacyjnego do analizy dynamiki metodą układów wielomasowych (MBS). Wartość merytoryczna pracy jest wysoka, co potwierdzają zarówno jakość wykonanych modeli, jak i próba ich weryfikacji doświadczalnej. Bardzo pozytywnie należy ocenić:

- bardzo dobre rozeznanie autora w zakresie aktualnych rozwiązań konstrukcyjnych tramwajów,
- próbę sformułowania uogólnionej metody oceny bezpieczeństwa przeciw wykołeniu,
- krytyczną analizę istniejących metod badania bezpieczeństwa przeciw wykołeniu,
- szerokie zastosowanie narzędzi symulacyjnych (SIMPACK, MATLAB) do analizy zjawisk trudnych do zbadania eksperymentalnie,
- analizę wpływu wielu parametrów konstrukcyjnych, w tym rodzaju napędu w przypadku tramwajów z niezależnie obracającymi się kołami
- świadome podejście do ograniczeń metod obliczeniowych,
- samodzielność w opracowaniu algorytmu sterowania napędem,
- umiejętność wyciągania praktycznych wniosków na podstawie złożonych modeli dynamicznych,
- integrację wiedzy teoretycznej z analizami numerycznymi i praktyką przemysłową.

Jednocześnie należy zauważyć pewne ograniczenia:

- Opis metodyki zaproponowanej przez autora jest niekompletny – przedstawiono tylko założenia, bez ich formalnego rozwinięcia.

- Część rozdziałów (zwłaszcza 4 i 5) ma charakter przeglądowy i powinna być skrócona lub lepiej zintegrowana z częścią analityczną.
- Brakuje jednoznacznego zestawienia zalet i ograniczeń proponowanej metody.

5. Poprawność redakcyjna rozprawy

Rozprawa posiada wyraźny układ, zawiera wykresy, rysunki, tabele i załączniki. Część graficzna jest obszerna, lecz niekiedy niewystarczająco opisana w tekście lub zbyt dominująca objętościowo. W pracy zauważalne są:

- Styl miejscami ma charakter potoczny, co nie przystaje do charakteru rozprawy doktorskiej.
- Rozdziały nie zawsze są logicznie powiązane – w pracy pojawiają się powtórzenia, niektóre treści są rozproszone w kilku rozdziałach.
- Rysunki bywają zbyt duże, czasem zbyt ogólnie opisane w tekście pracy.
- Występują pojedyncze błędy redakcyjne (np. podwójne spacje), a czcionka wydaje się większa niż standardowa, co wpływa na sztuczne zwiększenie objętości pracy.

Układ treści w kilku miejscach wymagałby uporządkowania – np. rozdziały 4 i 5 mogłyby zostać scalone, część opisowa rozdziału 3 przeniesiona do rozdziału 6

6. Uwagi szczegółowe

Rozprawa jest obszerna, zawiera wiele szczegółowych analiz i prób syntezy, jednak niektóre elementy wymagałyby uzupełnienia, uporządkowania i dopracowania redakcyjnego. Nie umniejszając one wartości pracy, należy potraktować je jako wskazówki do uwzględnienia w kolejnych pracach. Nie jest konieczna korekta bieżącej pracy, proszę tylko ewentualnie o odniesienie się do pytań wyróżnionych podkreśleniem.

Wstęp:

- Wstęp ma charakter bardziej streszczenia pracy (opisana zawartość poszczególnych rozdziałów), a z kolei streszczenie bardziej charakter wprowadzenia do pracy.
- Autor pisze: „*Przedstawiono różne metody badań obowiązujące we Wspólnocie Europejskiej*” – czy Wspólnota Europejska na pewno nadal funkcjonuje?

Rozdział 1:

- Rozdział 1.1 Cel pracy jest obszerny i przedstawia przede wszystkim genezę, która mogłaby być przedstawiona w osobnym podrozdziale.
- W całym rozdziale 1 brakuje odniesień do literatury, mimo że wspomniane są akty prawne, a także pewne uwarunkowania konstrukcji i eksploatacji pojazdów.
- Autor pisze: „*Wobec powyższego, oprogramowanie komputerowe do symulacji ruchu wydaje się idealnym narzędziem do oceny poziomu bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu pojazdów tramwajowych [...] Jedynym ograniczeniem jest czas, którego każda firma projektowa chce zaoszczędzić jak najwięcej.*” Autor nie wspomina o drugim ograniczeniu jakim jest wysoki koszt zakupu oprogramowania, który powoduje, że tylko duże firmy produkcyjne mogą sobie na niego pozwolić.
- „*Kwerenda literaturowa dotycząca aktualnego stanu wiedzy na temat badań rzeczywistych pojazdów tramwajowych*” – co to są badania rzeczywiste, a może chodzi o rzeczywiste pojazdy? Sformułowanie nie jest precyzyjne, a pojawia się często w pracy. Może lepiej pisać o

badaniach poligonowych, badaniach w warunkach rzeczywistych lub badaniach w warunkach w rzeczywistej eksploatacji?

- Autor pisze: „*Współczesne normy określają również warunki walidacji modeli symulacyjnych, aby w najwyższym stopniu u odpowiadały rzeczywistym warunkom badawczym i w przyszłości mogły służyć wprowadzaniu zmian w danym podzespole pojazdu kolejowego przy wykorzystaniu wyłącznie symulacji numerycznych.*” – znów brakuje odniesień do tych norm, a są one ważne w kontekście pracy
- W genezie brakuje ważnej informacji – jeśli nie ma wytycznych dot. bezpieczeństwa i komfortu dla pojazdów tramwajowych, to producenci nie muszą spełniać żadnych norm w tym zakresie. Na skutek tego tramwaje w Polsce są często zbyt sztywne, lub charakteryzują się niestabilną jazdą przy większych prędkościach. Operatorzy nie mają narzędzi, żeby wymóc na producentach spełnianie określonych standardów.

Rozdział 2:

- Zamiast KONTAKTU KOŁO – SZYNA lepiej pisać kontaktu koła z szyną. To jest zapożyczenie z angielskiego (wheel-rail contact), ale w języku polskim źle brzmi.
- „*Mnogość publikacji naukowych dotyczących tego tematu dowodzi jednak jego złożoności.*” – w tym miejscu przydałoby się wskazać choć kilka źródeł literaturowych!
- Cały rozdział 2.2 oparty jest na jednej publikacji (24),
- „*Na podstawie własności materiałów (zazwyczaj identycznych w przypadku materiału koła i szyny)*” – czy materiały te są na pewno identyczne? Czy może tylko podobne?
- W rozdziale 2 przedstawione są raczej teorie kontaktu, niż sposób współpracy koła i szyny. Najpierw należało przedstawić profile kół i szyn i zasady współpracy zestawu kołowego z torem, a następnie koła z szyną (nabieganie, wspinanie, wykolejenie itp.). Dobrym podejściem byłoby od ogółu do szczegółu, od budowy zestawu kołowego i jego współpracy z torem na prostej i w łuku, po zarys stożkowy powierzchni toczonej kół i wynikające z niego zjawiska kontaktowe, aż do szczegółowych teorii kontaktu.
- Z rysunku 2.5 nie wynika, dla jakich warunków została wyznaczona ta powierzchnia styku, nie ma legendy dla lewego rysunku, nie wiadomo co oznaczają kolory.
- Podrozdział 2.5. Badanie ruchu pojazdu tramwajowego przy wykorzystaniu symulacji komputerowej nie do końca pasuje do rozdziału 2. PODSTAWY TEORETYCZNE KONTAKTU KOŁO – SZYNA – powinien być w innym miejscu.
- Rozdział 2.6. Siły kontaktu między kołem jezdnym a szyną mocno skrótowy, rozważono tylko jeden przypadek kontaktu, brak wejścia w szczegóły i odwołania do licznych pozycji literatury
- „*Rzeczywiste kształty profili kół jezdnych pojazdów szynowych odbiegają od czystej stożkowatości*” – potocznie i mało precyzyjnie, lepiej napisać, że rzeczywiste profile kół nie są stożkowe, tylko mają profil nieliniowy.
- Rozdział o stożkowatości bardzo ogólny, nie ma dyskusji jaki jest wpływ stożkowatości na bezpieczeństwo jazdy, co jest kluczowe dla tematu pracy.

Rozdział 3:

- Rozdział 3.1. „*a Q – siły pionowej działających na zestaw kołowy.*” – a nie na koło?
- Ponadto autor naprzemiennie stosuje „*z odcinkiem zwichrowanym*” i „*z odcinkiem wichrowatym*”, są to potoczne określenia, które lepiej zastąpić „*odcinkiem o zadanej wichrowatości toru.*”. W pracy brakuje też definicji wichrowatości toru.

- „Po skasowaniu luzu poprzecznego” – sformułowanie potoczne
- „napieraniu poprzecznym zestawu kołowego na szynę” – również sformułowanie potoczne, może lepiej napisać o nabieganiu?
- „z racji położenia punktu styku na krzywiznie obrzeża koła jezdnego.” – ta krzywizna ma swoje określenia w nazewnictwie (łuk przejściowy obrzeża lub bok czynny obrzeża, w zależności od odcinka)
- Rozdział 3.2: „toru badawczego w poszczególnych sekcjach oklejone są tensometrami.” – również potocznie, lepiej napisać, że na powierzchni bocznej szynki szyny umieszczone są czujniki tensometryczne
- Rozdział 3.5: „wskaźnika wykolejenia Y/Q ” – do tej pory w języku polskim najczęściej mówiło się o współczynniku bezpieczeństwa przed wykolejeniem Y/Q , a nie o wskaźniku. Chociaż w literaturze angielskojęzycznej często występuje Y/Q ratio, a nie coefficient. Podoba mi się zmiana na „wskaźnik” – widzę dużą potrzebę usystematyzowania tej terminologii w Polsce, może ta praca będzie ku temu przyczynkiem?
- Brakuje podsumowanie rozdziału 3, jakiś wniosków płynących z analizy wszystkich przepisów, norm i wytycznych. Na końcu tego rozdziału przydałoby się również wspomnieć wszystkie wytyczne dla tramwajów, wtedy wszystko byłoby w jednym miejscu, łatwe do porównania. – tymczasem pojawiają się one w pracy dużo później.

Rozdział 4:

- Po krótkiej historii, autor od razu przechodzi do sposobów obniżenia podłogi w tramwaju, tu ponownie brakuje płynności w pracy, czytający ma wrażenie, że podrozdziały są oderwane od siebie. Dla zachowania płynności, można było omówić wcześniej jak zmieniały się na przestrzeni lat wymagania w stosunku do nowoczesnego tramwaju i potem przejść płynnie do niskiej podłogi, jako jednego z ważniejszych obecnie kryteriów. Ale oczywiście od strony merytorycznej nie ma tu żadnych błędów.
- W rozdziale 4.3 przedstawiono układy jezdne przykładowych pojazdów tramwajowych, z tym że przyjęto konwencję jednego konkretnego tramwaju (producent, model) na podrozdział, a potem już w zasadzie producenta na podrozdział (4.3.3. *Tramwaje firmy Siemens*). Dużo lepiej byłoby wyodrębnić w podrozdziałach trendy w budowie układów jezdnych i dopiero wtedy ilustrować je przykładami różnych producentów. W obecnym kształcie rozdział 4 bardziej przypomina przegląd tramwajów różnych producentów, mniej pasuje do tak wartościowej rozprawy doktorskiej. Szczególnie podrozdział 4.3.5 jest już po prostu szczegółowym opisem wszystkich wózków produkcji Alstom, bez systematyki stosowanych rozwiązań. Wykorzystano grafiki z rozwiązań patentowych z oznaczeniami liczbowymi, ale bez ich wyjaśnienia w tekście.
- „Maźnica połączona jest z ramą wózka” - zamiast maźnica bardziej elegancko jest napisać „obudowa łożyska osiowego” (ang. Axlebox), choć w polskim języku ta maźnica jest cały czas tak głęboko zakorzeniona, że chyba jej jeszcze długo nie wyprzemy.

Rozdział 5:

- Rozdział 5. (POJAZDY TRAMWAJOWE Z NIEZALEŻNIE OBRACAJĄCYMI SIĘ KOŁAMI) mógłby być częścią rozdziału 4, i opisany jako jeden z trendów budowy wózków – zwłaszcza, że praca (zgodnie z celem) nie dotyczy w szczególności tych konstrukcji, żeby je wyodrębnić w osobnym rozdziale.

- W rozdziale tym po raz kolejny pojawia się wzmianka o pierwszym niskopodłogowym tramwaju firmy Alstom dla francuskiego miasta Grenoble, co było już wspomniane w dwóch poprzednich rozdziałach.
- W rozdziale 5 jest przedstawiona cała historia powstawania poszczególnych konstrukcji wózków z niezależnie obracającymi się kołami, moim zdaniem zbyt szczegółowo i nie wnosząca dużo więcej do samej rozprawy doktorskiej.
- W rozdziale 5.3. zaprezentowano wpływ niezależnie obracających się kół na współpracę zestawu z torem. Tymczasem nie poddano jeszcze do tej pory dyskusji innych parametrów konstrukcyjnych pojazdu lub układu biegowego, również wpływających na współpracę pojazdu z torem. Powinny one być wszystkie omówione w osobnym rozdziale/podrozdziale – szczególnie, że zaproponowana metodyka ma być uniwersalna dla wszystkich pojazdów, więc musi uwzględniać ich uwarunkowania konstrukcyjne.

Rozdział 6:

- Rozdział 6.1, jak już wspomniano wcześniej, lepiej pasowałby jako ostatni do rozdziału 3. Wtedy wszystkie informacje byłyby w jednym miejscu i całość byłaby bardziej spójna. Pojawia się w nim rysunek pojazdu o wymaganej wchrowatości, który pochodzi z normy EN 14363, omawianej szczegółowo właśnie w rozdziale 3. Autor ponownie pisze w rozdziale 6.1, że różnicę pomiędzy określoną dla danego pojazdu minimalną wartością wchrowatości a wchrowatością na odcinku badawczym toru kompensuje się podkładkami, umieszczanymi w usprężynowaniu I. oraz II. stopnia. To było już również wspomniane w rozdziale 3. Opis bezpieczeństwa przed wykolejeniem tramwajów powinien więc się znaleźć w rozdziale 3, a w rozdziale 6 jedynie autorskie podejście, żeby oddzielić część teoretyczną od praktycznej.
- *„W odróżnieniu od pojazdów kolejowych, stosunek masy tramwaju obciążonego do masy pojazdu w stanie pustym jest większy. W związku z tym, zarówno I. jak i II. Stopień usprężynowania wózka musi charakteryzować się większą sztywnością niż w pojazdach kolejowych.”* – sformułowanie nieprecyzyjne, chodzi nie tyle o większą sztywność, co o progresywne jej narastanie w funkcji zmiany obciążenia. Czy liczbowo sztywność II stopnia w tramwajach jest rzeczywiście większa niż dla np. kolejowych zespołów trakcyjnych?
- *„W trakcie przejazdu tramwaju na łuku o minimalnym promieniu część kół zaczyna stykać się z rowkiem szyny, przez co większość siły poprzecznej przenoszona jest poprzez zewnętrzną część obrzeża.”* – szyny rowkowe swoją nazwę zawdzięczają rowkowi, który występuje między główką szyny a kierownicą/prowadnicą szyny (nazwy używane w Polsce zamiennie). W łukach o małych promieniach koła nie tyle stykają się jednak z rowkiem, co właśnie z kierownicą szyny rowkowej (tzw. backflange contact). Kontakt koła z rowkiem to bardziej domena przejazdu przez krzyżownice płytkorowkowe.
- W podrozdziale 6.2 autor pisze: *„Do czasu opublikowania tego artykułu nie pojawiły się prace koncentrujące się ściśle na metodyce badań warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu tramwajów.”* – zamiast „artykułu” powinno być „rozprawy doktorskiej”, domyślam się że autor korzystał ze swoich wcześniej opublikowanych prac.
- W założeniu 7 autor pisze: *„Dopuszcza się dwukrotne zwiększenie sztywności wszystkich zastosowanych w układzie jezdnym elementów gumowo-metalowych, odzwierciedlające oddziaływanie niskich temperatur otoczenia.”* – warto podać źródło tego założenia, z którego wynika, że niskie temperatury powodują aż dwukrotny wzrost sztywności gumy.

- W rozdziale 6.3 przedstawiono „Symulacje komputerowe jazdy tramwajów o różnych konfiguracjach wagonów”. W pierwszym akapicie autor pisze, że „W celu sprawdzenia wpływu konfiguracji pojazdu na uniesienie koła podczas jazdy na łuku przeprowadzono serię symulacji komputerowych przy wykorzystaniu nowo opracowanej metody określania poziomu bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu tramwajów.”. Tymczasem do tej pory w pracy metoda nie została opisana, nawet skrótowo – pojawiły się jedynie jej założenia. Warto przedstawić całą metodę na przykład w postaci schematu blokowego, a dopiero potem pokazywać wyniki symulacji uzyskanych z jej wykorzystaniem.
- W rozdziale 6 opisano, że na sprężynach śrubowych opiera się belka bujakowa połączona z nadwoziem tramwaju. Jest to więc w zasadzie belka skrętowa, a nie bujakowa – choć zdaje sobie sprawę, że niestety potocznie w tramwajach zwana jest ona bujakową.
- Czy uproszczona teoria Kalkera nie wprowadza zbyt dużego uproszczenia? Sprawdza się ona dla dynamiki w skali makro, ale tu wchodzimy mocno w zagadnienia styku koła z szyną, gdzie przydatność tej metody dla tramwajów bywa dyskutowana na różnych konferencjach branżowych. Czy było wykonane porównanie chociażby z pełną metodą Kalkera?
- Z opisu modelu nie wynika, czy zostały zastosowane koła sztywne, czy też zamodelowano wkładki elastyczne, stosowane powszechnie w pojazdach tramwajowych? Maja one istotny wpływ na oddziaływanie dynamiczne z torem.
- Autor pisze, że: „W przypadku przeprowadzania wszystkich scenariuszy symulacji jazdy tramwaju w celu oceny jego bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu przyjmowano wspólną zadaną prędkość pojazdu v_n równą 1 m/s,” – czy zwiększenie prędkości na torze zużytym nie będzie zwiększać prawdopodobieństwa wykolejenia? Czy autor zakłada jedynie wykolejenie w warunkach quasistatycznych?
- W rozdziale 6.3 brakuje chociażby kilku najciekawszych wykresów ilustrujących wyniki. Wszystkie są w załączniku, co utrudnia płynne czytanie pracy.
- We wnioskach do rozdziału 6 (opisanych w 6.4) autor pisze, że „pomimo zbliżonych wartości pionowych sił nacisku poszczególnych kół na szynę badanych tramwajów oraz identycznych elementów usprężynowania wózków, poziom bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu analizowanych pojazdów się różni.” Czytelnik jest ciekawy, jak bardzo się różni!
- Na stronach 94-122 znajdują się tylko i wyłącznie wykresy i tabele, bez żadnego komentarza ze strony autora. W takim kształcie nadają się do załącznika pracy. Lepiej byłoby kilka przykładowych dobrze skomentować.
- W tym samym rozdziale autor pisze, że „Przy zwiększonym rozstawie szyn punkt styku przemieścił się z wewnętrznej strony obrzeża na stronę zewnętrzną.” – jak to rozumieć? Co to jest wewnętrzna strona obrzeża i jak punkt styku może się przemieścić na stronę zewnętrzną? Czy chodzi o „backflange contact”? Rysunek wiele by wyjaśnił.
- Dalej autor pisze, że „Dla krajowych torów tramwajowych dopuszczalną tolerancję rozstawu szyn reguluje dokument [75].” – ten dokument został już chyba zastąpiony przez WR-D-43-3 Wytyczne projektowania infrastruktury transportu zbiorowego Część 3: Projektowanie infrastruktury transportu tramwajowego z roku 2023.

Rozdział 7:

- Na rys. 7.2 oznaczenia liczbowe powinny być wyjaśnione.
- Na stronie 157 autor napisał, że „należy stwierdzić, że wyniki obliczeń przeprowadzonych za pomocą modelu teoretycznego układu jezdnego tramwaju wykazują stosunkowo duże stopień

korelacji z analogicznymi rezultatami pomiarów dokonywanych na obiekcie rzeczywistym.”

W pracy doktorskiej wypada ten stopień korelacji określić liczbowo, a nie jakościowo.

- Przedstawione wyniki w rozdziale 7 pozostawiają pewien niedosyt: jaki był cel tej weryfikacji? Czy była to weryfikacja metody, czy też walidacja modelu? Bo z opisu wynika raczej to drugie. Jeśli miała to być weryfikacja metody, to z wykresów można odczytać, że wartość graniczna uniesienia koła jest kilkukrotnie wyższa od wartości chwilowych. Albo tramwaj ma duży zapas bezpieczeństwa, albo wartość graniczna jest zbyt wysoka. W symulacji można wymusić wiele nietypowych warunków eksploatacji, związanych zarówno z torem, jak i konstrukcją pojazdu i sprawdzić, gdzie faktycznie jest granica bezpieczeństwa. Czy takie symulacje były wykonywane?

Tak, jak wspomniano, wyżej wymienione uwagi nie umniejszają wartości merytorycznej pracy i są w znacznej większości uwagami stylistycznymi lub redakcyjnymi. Autor jest na początku swojej drogi naukowej i jest rzeczą zupełnie normalną, że w pracy wystąpią pewne nieścisłości. Merytorycznie praca jest napisana na dobrym poziomie i bez błędów w tym obszarze.

7. Ocena końcowa

Po przeczytaniu całości pracy stwierdzam, że wszystkie cele naukowe i użyteczne pracy zdefiniowane w rozdziale 1 zostały zrealizowane. Przedstawiona do recenzji rozprawa reprezentuje wysoki poziom naukowy i edytorski oraz zawiera kompetentny i obszerny opis prowadzonych badań. Język pracy jest poprawny i komunikatywny. Zakres opisanych zagadnień oraz przytoczone pozycje literaturowe, w tym również pozycje, których mgr inż. Dariusz Kalinowski jest autorem lub współautorem, potwierdzają że wykazuje się on dobrym ogólnym poziomem wiedzy teoretycznej w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz szczegółową wiedzą w zakresie dynamiki pojazdów szynowych.

Recenzowana rozprawa doktorska jest obszerną, rzetelną i oryginalną pracą naukową. Autor wykazał się samodzielnością w rozwiązywaniu problemów inżynierskich, znajomością literatury przedmiotu oraz umiejętnością wykorzystania zaawansowanych narzędzi symulacyjnych. Przedstawione wyniki i wnioski mają wartość poznawczą i potencjalne zastosowanie praktyczne.

Pomimo zastrzeżeń dotyczących niektórych aspektów konstrukcyjnych i redakcyjnych, stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w dyscyplinie *inżynierii mechanicznej*.

8. Wniosek końcowy

Na podstawie art. 187 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, oświadczam, że rozprawa doktorska mgr inż. Dariusza Kalinowskiego pt. „Badanie warunków bezpieczeństwa przeciw wykolejeniu nowoczesnych pojazdów tramwajowych metodą symulacji komputerowej” spełnia wymogi określone dla nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie *inżynieria mechaniczna*.

Wobec powyższego wnioskuję o dopuszczenie przedłożonej przez mgr inż. Dariusza Kalinowskiego rozprawy do publicznej obrony.

Barbara Firl.