

Dr hab. inż. Jarosław Korzeb, prof. PW
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
Zakład Budowy i Eksploatacji Środków Transportu
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
e-mail: jaroslaw.korzeb@pw.edu.pl

Warszawa, 25 lutego 2026 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
autorstwa mgr inż. Adriana Szeszyckiego
pt.

„ANALIZA I OCENA WPŁYWU WYBRANYCH PARAMETRÓW KONTAKTU KOŁA Z SZYNĄ
NA STABILNOŚĆ POJAZDU SZYNOWEGO”

Promotor rozprawy: Dr hab. inż. Bartosz Firlik, prof. PP
Opiekun pomocniczy: mgr inż. Adam Sienicki
Dziedzina nauki: Nauki Inżynieryjno-Techniczne
Dyscyplina naukowa: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

I. Podstawy opracowania recenzji

Podstawy formalne opracowania recenzji:

- zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy (pismo nr RD/d/53/03/2025, z dnia 17.12.2025) i umowa nr 0410/2025/136;
- uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 16.12.2025;
- egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr inż. Adriana Szeszyckiego w wersji drukowanej oraz elektronicznej.

Uwzględnione podstawy prawne podczas opracowania recenzji rozprawy doktorskiej:

- Ustawa z dnia 20.07.2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.),
- Obwieszczenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 12.02.2025 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz.U. 2025 poz. 211).

W toku opracowywania niniejszej recenzji szczególny nacisk położono na ocenę poziomu merytorycznego treści zaprezentowanych w pracy. Przeanalizowano zarówno strukturę rozprawy i jej układ logiczny, jak również adekwatność oraz poprawność zastosowanej terminologii naukowej w odniesieniu do przyjętego zakresu tematycznego. Ocenie poddano spójność i trafność wyводу w kontekście celów badawczych, a także zgodność sformułowanych wniosków z uzyskanymi wynikami.

Ważnym kryterium oceny była dysertabilność podjętej problematyki oraz naukowy potencjał tematu, a także oryginalność ujęcia tematu i jego znaczenie dla rozwoju dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. W tym zakresie przeanalizowano również dobór

i aktualność wykorzystanych źródeł literaturowych, poprawność cytowań oraz sposób powiązania odniesień bibliograficznych z treścią pracy.

Ponadto oceniono przejrzystość prowadzenia wywodu, poziom języka techniczno-naukowego oraz staranność strony formalnej opracowania, obejmującą m.in. poprawność zapisów liczbowych, symboli, wykresów i tabel. Zweryfikowano również konsekwencję stosowania międzynarodowego układu jednostek (SI) oraz zgodność użytych oznaczeń z obowiązującymi normami i przyjętymi konwencjami edytorskimi.

II. Ogólny układ rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 142 strony, na które składają się: strona tytułowa (2 strony), streszczenia i wykaz oznaczeń (3 strony), spis treści (2 strony), siedem rozdziałów autorskich (115 stron), wnioski (7 stron) oraz bibliografia (6 stron). Odpowiednie zestawienia liczbowe charakteryzujące przedstawiony do recenzji materiał z podziałem na rozdziały zamieszczono w poniższej tabeli.

Rozdział	Liczba			
	rysunków	tabel	równań	stron
Str. tytułowa				2
Spis treści				2
Streszczenie				1
Wykaz oznaczeń				1
Modelowanie kontaktu koła z ...	11		27	29
Zagadnienie stabilności poj. ...	2		1	9
Cel i teza pracy, zakres				3
Metodyka badań	29	14		42
Wyniki analiz symulacyjnych ...	21	4		22
Zaproponowana metoda ...	1		5	7
Weryfikacja zaproponowanej ...	6		6	10
Wnioski i kierunki dalszych prac				7
Literatura (83 pozycje)				6
Summary				1
Razem	70	18	39	142

W spisie bibliografii ujęto 83 pozycje wydawnicze, w tym 61 artykułów naukowych, 8 monografii, 10 raportów naukowo-badawczych i instrukcji oraz 4 normy (w tym karta UIC). Treść pracy obejmuje ponadto bogaty materiał ilustracyjny, na który składa się 70 rysunków i fotografii oraz 18 tabel.

II.1. Tematyka i zakres rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska podejmuje podstawowe dla współczesnej inżynierii kolejowej zagadnienie interakcji zachodzących w obszarze styku koła z szyną, koncentrując się na złożonej analizie oraz ocenie stabilności ruchu, która w świetle nieliniowej natury zjawisk dynamicznych stanowi jeden z najbardziej krytycznych czynników determinujących bezpieczeństwo oraz komfort eksploatacji nowoczesnego taboru. Uwaga Autora została skierowana na grupę pojazdów dwuosioowych, których specyficzna charakterystyka zawieszenia wieszakowego oraz relatywnie krótka baza podwozia czynią je obiektami podatnymi na występowanie oscylacji (wężykowania), co w kontekście dążenia do optymalizacji procesów homologacyjnych wymaga pogłębionego zrozumienia mechanizmów utraty stateczności przy prędkościach zbliżonych do granicy stabilności liniowej i nieliniowej.

W sferze teoretycznej i metodycznej praca wykracza poza tradycyjne, nieco uproszczone ujęcie mechaniki kontaktu, stawiając sobie za cel rzetelną weryfikację wpływu parametrów geometrycznych i materiałowych na siły powstające w małym obszarze styku koła z szyną, gdzie deformacje i zjawiska mikropoślizgów bezpośrednio determinują globalne zachowanie całego układu.

Integralnym elementem pracy jest proces rygorystycznej walidacji zbudowanych modeli numerycznych trzech reprezentatywnych pojazdów, realizowany poprzez innowacyjne w tym kontekście zastosowanie operacyjnej analizy modalnej (OMA), która pozwala na precyzyjną identyfikację parametrów strukturalnych układu wyłącznie na podstawie sygnałów odpowiedzi drganiowej zarejestrowanych podczas rzeczywistych prób poligonowych. Dzięki wykorzystaniu zaawansowanego algorytmu PolyMAX oraz matematycznego kryterium zgodności (wskaźnik zgodności modalnej MAC), Autorowi udało się obiektywnie potwierdzić wiarygodność odwzorowania kluczowych form ruchu, takich jak galopowanie, podskakiwanie czy wężykowanie, co stanowiło niezbędny fundament dla dalszych, szeroko zakrojonych analiz symulacyjnych prowadzonych dla zróżnicowanych profili kół i szyn o zmiennej stożkowatości ekwiwalentnej. Zakres badawczy obejmuje również kompleksową ocenę wpływu geometrii styku na charakterystykę stabilności, ze szczególnym uwzględnieniem teorii bifurkacji, która pozwala na naukowy opis gwałtownego przejścia układu ze stanu stabilnego do ruchu po cyklu granicznym w funkcji prędkości jazdy oraz amplitudy wymuszenia początkowego.

Bardzo ważnym punktem pracy jest propozycja autorskiej metody FasTang, stanowiącej oryginalny wkład w rozwój mechaniki kontaktu tocznego poprzez umiejętne połączenie precyzji Metody Elementów Brzegowych w strefie adhezji z wydajnością algorytmu FASTSIM w strefie poślizgu, co pozwala na eliminację kosztownych obliczeniowo układów nieliniowych przy zachowaniu wysokiej dokładności wyników. To hybrydowe podejście, wykorzystujące iteracyjne wyznaczanie podziału obszaru styku, oferuje narzędzie o wysokim potencjale aplikacyjnym w zaawansowanych symulacjach stabilności, umożliwiając skuteczne wypełnienie luki między dokładnymi, ale jednocześnie wolnymi metodami, a metodami szybkimi, wykorzystującymi modele uproszczone, co w ostatecznym rozrachunku znacząco podnosi jakość, przy zachowaniu wysokiej wiarygodności analiz numerycznych dynamiki pojazdów szynowych.

Zakres przedmiotowej rozprawy doktorskiej ma charakter kompleksowy, łącząc pogłębioną warstwę teoretyczno-analityczną z rozbudowaną częścią empiryczno-aplikacyjną, co czyni ją opracowaniem o wysokim stopniu użyteczności wdrożeniowej w przemyśle taboru szynowego. Autor nie ogranicza się jedynie do teoretycznych rozważań nad mechaniką ciał odkształcalnych, lecz buduje na ich podstawie narzędzia numeryczne, które po przeprowadzeniu walidacji z wynikami pochodzącymi z metod dokładnych (CONTACT, Manchester Wheel–Rail Contact Benchmark, analizy offline w ruchu wężykowym), stają się gotową metodologią wspierającą procesy projektowe i certyfikacyjne.

Całość rozprawy charakteryzuje się spójnym i konsekwentnie zaprojektowanym układem logicznym, który w sposób uporządkowany przeprowadza czytelnika przez wszystkie etapy procesu badawczego: od głębokiej analizy podstaw teoretycznych, przez walidację narzędzi, aż po sformułowanie nowatorskich rozwiązań aplikacyjnych i wniosków o charakterze decyzyjnym.

II.2. Charakterystyka rozprawy

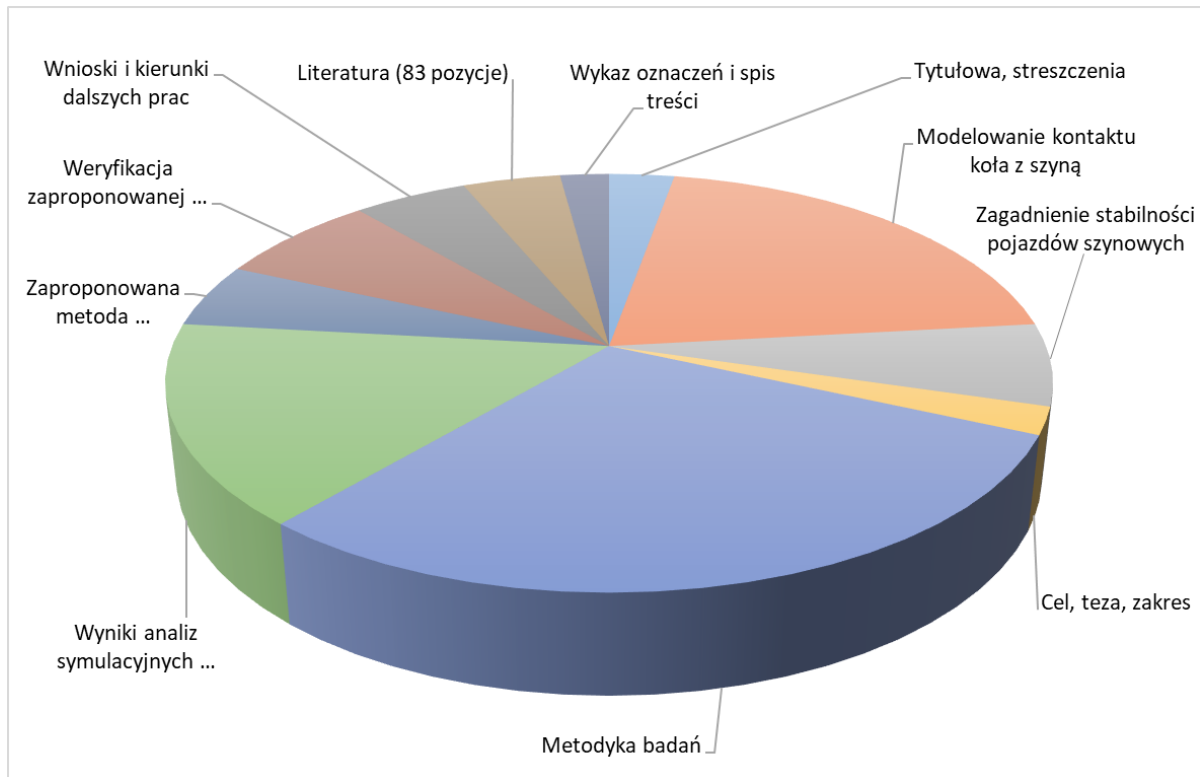
Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona rozprawa charakteryzuje się liniowym układem logicznym, który w sposób uporządkowany prowadzi czytelnika od uniwersalnych fundamentów mechaniki kontaktu ciał odkształcalnych, poprzez specjalistyczne zagadnienia stabilności ruchu nieliniowego, aż po sformułowanie i weryfikację autorskiego rozwiązania inżynierskiego. Struktura pracy została zaprojektowana jako spójny ciąg przyczynowo-skutkowy: autor najpierw identyfikuje lukę badawczą między precyzyjnymi, ale powolnymi metodami dokładnymi, a szybkimi lecz obciążonymi błędem algorytmami uproszczonymi, a następnie buduje podstawy do dalszych analiz poprzez walidację modeli numerycznych. Ciężar treści został świadomie ulokowany w części metodyczno-aplikacyjnej, gdzie szczegółowe studia przypadków trzech rzeczywistych pojazdów szynowych stanowią podstawę do udowodnienia tez badawczych.

Fundament merytoryczny dysertacji stanowi bardzo krytyczny i niezbyt szeroki zakres źródeł bibliograficznych, obejmujący tylko 83 pozycje. Pomimo tego wymienione źródła dokumentują ponad 65-letnią ewolucję dziedziny – od pionierskich prac Johnsona i Kalkera z drugiej połowy XX wieku, po najnowsze doniesienia naukowe z lat 2024–2025. Ta przestrzeń teoretyczna jest konsekwentnie zintegrowana z aktualnym systemem przepisów i norm technicznych obowiązujących w kolejnictwie, ze szczególnym uwzględnieniem normy PN-EN 14363 w zakresie homologacji oraz PN-EN 15302 w obszarze parametrów geometrii styku. Autor nie traktuje regulacji wyłącznie jako tła, lecz czyni z nich nadrzędne kryterium oceny wiarygodności wyników symulacyjnych, co nadaje pracy charakter użyteczny.

Struktura podziału treści rozprawy

Autor rozprawy dokonał prawidłowej alokacji materiału przedstawionego w pracy, a rozkład proporcji istotnych elementów przedłożonego materiału pokazano dalej na rysunku.



Taki podział treści pracy nie budzi większych zastrzeżeń i świadczy o przemyślanym podejściu do wieloetapowego rozwiązania postawionego problemu badawczego.

Rozdział 1 rozprawy stanowi teoretyczny fundament pracy, w którym Autor omawia mechanikę kontaktu ciał odkształcalnych, przywołując klasyczne teorie Hertza oraz zagadnienia Boussinesqa i Ceruttiego. Przedstawiono w nim ewolucję metod modelowania, od uproszczonych podejść Johnsona-Vermeulena, poprzez liniową i uproszczoną teorię Kalkera z powszechnie stosowanym algorytmem FASTSIM, aż po dokładną teorię wariacyjną zaimplementowaną w programie CONTACT. Rozważania te pozwalają na precyzyjną identyfikację luki badawczej między szybkimi, lecz obciążonymi błędem metodami uproszczonymi, a wydłużonymi obliczeniowo algorytmami dokładnymi.

Rozdział 2 koncentruje się na stabilności ruchu, przybliżając historyczny rozwój myśli technicznej od pierwszych modeli kinematycznych Klingela po zaawansowane analizy dynamiczne Cartera i Matsudairy. Autor analizuje różnice między liniową a nieliniową stabilnością, wprowadzając kluczowe pojęcie prędkości krytycznej oraz teorię bifurkacji, która determinuje przejście układu ze stanu równowagi w stan wężykowania, zwłaszcza w odniesieniu do badania stateczności pojazdów dwuosiowych oraz ograniczeń wynikających ze stosowania rutynowych procedur normatywnych w procesie certyfikacji taboru.

W Rozdziale 3 Autor przedstawił cel naukowy i użyteczny oraz tezę pracy, wskazując na konieczność stosowania zaawansowanych modeli kontaktu w celu uzyskania wiarygodnej oceny stabilności pojazdów szynowych. Autor stawia tezy pomocnicze, według których

nadmierne uproszczenia modeli prowadzą do niewłaściwych wyników analiz, co uzasadnia potrzebę uwzględniania rzeczywistej geometrii profili kół i szyn.

Rozdział czwarty opisuje kompleksową metodykę badawczą, obejmującą budowę nieliniowych modeli symulacyjnych trzech rzeczywistych pojazdów szynowych w środowisku Simpack oraz ich rygorystyczną walidację. Rozdział ten przedstawia obiekty badań dwuosioowy wózek motorowy typu WM-15C, platforma typu CA-26.12 i zgarniarka tłucznia typu ZTU-300.02. Dodatkowo autor posiłkuje się Metodą Elementów Skończonych do precyzyjnego wyznaczenia sztywności komponentów zawieszenia, co zapewnia wysoką wiarygodność modeli w dziedzinie czasu. Dalej odnaleźć można profile koła i szyny, proces walidacji modeli symulacyjnych, i program badań symulacyjnych.

Rozdział 5 zawiera syntezę wyników szeroko zakrojonych analiz numerycznych, w których oceniono wpływ różnych modeli kontaktu oraz parametrów geometrycznych profili na stabilność ruchu badanych pojazdów. Autor dowodzi, że powszechnie stosowane wskaźniki punktowe, takie jak stożkowatość ekwiwalentna, są często niewystarczające do wiarygodnego prognozowania momentu utraty stateczności w warunkach niehertzowskich. Przeprowadzone badania wykazały rozbieżności między metodami uproszczonymi a referencyjnym programem CONTACT, co stanowi empiryczne potwierdzenie sformułowanych wcześniej tez pomocniczych.

W rozdziale szóstym zaprezentowano autorski algorytm FasTang, stanowiący oryginalne rozwiązanie zagadnienia stycznego poprzez hybrydowe połączenie precyzji Metody Elementów Brzegowych w strefie adhezji z wydajnością algorytmu FASTSIM w strefie poślizgu. Metoda ta wykorzystuje iteracyjną procedurę wyznaczania podziału obszaru styku, co pozwala na eliminację nieliniowych układów równań przy zachowaniu wysokiej dokładności wyników, co w efekcie umożliwia wierne oddanie fizyki zjawisk zachodzących w styku.

Rozdział 7 poświęcono weryfikacji algorytmu FasTang, realizowanej poprzez analizę porównawczą z wynikami referencyjnymi programu CONTACT oraz tradycyjną metodą FASTSIM. Autor wykorzystał przypadki testowe (Manchester Wheel–Rail Contact Benchmark) oraz dane z własnych symulacji, przeprowadzając obliczenia sił stycznych. Uzyskana zbieżność wyników w zakresie rozkładu naprężeń i całkowitych sił kontaktowych, potwierdziła słuszność przyjętych założeń oraz wysoki potencjał wdrożeniowy nowej metody.

Ostatni rozdział stanowi podsumowanie całego procesu badawczego, w którym autor ostatecznie udowadnia tezy rozprawy oraz formułuje wnioski o charakterze poznawczym, metodycznym i użytkowym. Wskazano na kluczowe znaczenie poprawnego filtrowania profili oraz modelowania efektów tarcia w zawieszeniu dla wiarygodności nieliniowych analiz stabilności. Praca kończy się czteropunktowym zarysowaniem kierunków rozwoju algorytmu FasTang, obejmujących predykcję zużycia oraz analizę zmęczenia tocznego, co otwiera nowe możliwości w diagnostyce i utrzymaniu taboru.

Pracę dopełnia bibliografia (83 pozycje) świadczące o stopniu dopracowania analitycznego i metodycznego rozprawy.

Okres	Liczba	Udział (%)
1950-1959	2	2%
1960-1969	3	4%
1970-1979	1	1%
1980-1989	4	5%
1990-1999	5	6%
2000-2009	18	22%
2010-2019	25	30%
2020-2025	25	30%
1950-2025	83	100%

Bibliografia ma wyraźnie zarysowaną oś chronologiczną i merytoryczną. Najstarsze przywołania otwierają klasyczne prace K.L. Johnsona z 1958 r. dotyczące sił stycznych w kontakcie tocącym, stanowiące punkt odniesienia dla dalszych rozważań. Fundamenty teorii kontaktu i modeli tarciovych reprezentują następnie kluczowe publikacje J.J. Kalkera, w tym rozprawa doktorska z 1967 r. oraz wprowadzenie algorytmu FASTSIM w 1982 r. Jednocześnie w zestawieniu dominuje literatura nowoczesna: około 60% wszystkich źródeł (50 pozycji) pochodzi z ostatnich 15 lat (2010–2025), co wskazuje na aktualność opracowania i oparcie go na najnowszych osiągnięciach w obszarze dynamiki wielobryłowej oraz współczesnych solverach programu CONTACT. Na uwagę zasługuje również aktualność normatywna – uwzględniono najnowsze wersje norm, w tym PN-EN 14363:2023 oraz PN-EN 15302:2022. Ponadto okres 2024–2025 reprezentowany jest przez łącznie osiem pozycji, w tym 2 publikacje własne autora wprowadzające algorytm FasTang.

III. Ocena rozprawy

Przedstawiona rozprawa stanowi interdyscyplinarne studium o wysokim stopniu zaawansowania, którego fundamentem jest głęboka wiedza z zakresu mechaniki kontaktu ciał odkształcalnych. Znalazły się w niej mechanika kontaktu i teoria sprężystości w zakresie klasycznej mechaniki ciał odkształcalnych, zastosowanie teorii bifurkacji do opisu gwałtownych przejść układu mechanicznego ze stanu stabilnego w ruch po cyklu granicznym (wężykowanie), wykorzystanie oprogramowania (Simpack, Abaqus), opracowanie autorskiego algorytmu FasTang (zakres Metody Elementów Brzegowych z optymalizacją algorytmiczną), Operacyjna Analiza Modalna oraz algorytm PolyMAX, wykorzystanie Metody Elementów Skończonych do wyznaczania parametrów fizycznych komponentów zawieszenia (np. resorów piórowych i wieszaków) oraz do oceny drgań strukturalnych elementów nadwozi, oraz powiązanie rozważań teoretycznych z wymogami prawnymi i technicznymi obowiązującymi w kolejnictwie (PN-EN 14363, PN-EN 15302). Praca łączy więc czystą naukę z procesami certyfikacji i homologacji taboru szynowego.

Autor wykracza poza standardowe ramy inżynierii, integrując klasyczną teorię Hertza z zaawansowanymi zagadnieniami Boussinesq'a i Ceruttiego oraz wariacyjnym podejściem Kalkera, co pozwala na szczegółowe modelowanie sił w warunkach niehertzowskich.

W obszarze dynamiki nieliniowej praca podejmuje skomplikowaną tematykę stabilności układów wielomasowych, wykorzystując teorię bifurkacji do precyzyjnego rozróżnienia progów stateczności liniowej i nieliniowej. Systematyczne badania on-line w dziedzinie czasu dowiodły, że zachowanie pojazdów dwuosiowych z zawieszeniem wieszakowym jest determinowane przez interakcje geometrii styku i sił tarcia suchego, co wymagało od autora biegłości w modelowaniu zjawisk histerezy oraz efektu przetaczania.

Interdyscyplinarność rozprawy przejawia się w spójnym połączeniu mechaniki teoretycznej z zaawansowaną analizą sygnałów, a zastosowanie OMA oraz algorytmu PolyMAX umożliwiło autorowi identyfikację parametrów modalnych wyłącznie na podstawie odpowiedzi drganiowej z prób poligonowych. Stanowi to pomost między teorią drgań a praktyką inżynierską w warunkach niepełnej znajomości wymuszeń torowych.

W warstwie konstrukcyjno-materiałowej autor umiejętnie posiłkuje się MES do wyznaczania sztywności węzłów zawieszenia oraz weryfikacji drgań strukturalnych nadwozi. Takie podejście gwarantuje, że nowatorski algorytm FasTang jest osadzony w realistycznym kontekście fizycznym, uwzględniającym elastyczność komponentów i skomplikowaną tribologię styku.

Zwieńczeniem pracy jest jej wymiar aplikacyjny, odnoszący wiedzę teoretyczną do procedur normatywnych. Autor formułuje wnioski o charakterze decyzyjnym, wykazując niewystarczalność standardowych parametrów punktowych i tworząc kompletną, wysokiej jakości metodologię badawczą dla przemysłu kolejowego.

W mojej opinii zaproponowana metoda ma duży potencjał aplikacyjny oraz jest bardzo rozwojowa. Wysoko oceniam uzyskane efekty poznawcze i bardzo wysoko stawiam użyteczną wartość przedstawionej do recenzji dysertacji.

III.1. Uwagi ogólne

Praca napisana jest w przeważającej części językiem technicznym, z bardzo dużą dbałością o szczegóły edycyjne, niemniej jednak nasuwa się kilka niżej przedstawionych uwag.

- 1) W rozprawie brakuje wyodrębnionego rozdziału Wstęp, który w sposób syntetyczny wprowadzałby czytelnika w problematykę pracy oraz porządkował jej osnowę merytoryczną. Choć cel, zakres i teza zostały przedstawione w odrębnym rozdziale, nie zastępuje to funkcji wprowadzenia obejmującego zarys tła naukowo-wdrożeniowego, uzasadnienie wyboru tematu, wskazanie kontekstu i motywacji oraz krótkie omówienie struktury pracy. Skutkiem jest słabsze „zakotwiczenie” dalszych rozdziałów i mniej czytelna narracja na etapie otwarcia dysertacji.
- 2) Wykaz literatury opracowano w systemie numerycznym według kolejności cytowań, charakterystycznym m.in. dla stylów Vancouver/IEEE. Należy jednak podkreślić, że mimo poprawności samej zasady, jest to układ szczególnie podatny na pomyłki redakcyjne: każda

późniejsza ingerencja w treść (dodanie, usunięcie lub przestawienie cytowań) może powodować rozbieżności w numeracji i kolejności pozycji, co skutkuje błędami (np. w pozycjach 5–6 na początku spisu). Z tego względu uszeregowanie Literatury zestawionej w układzie alfabetycznym według nazwisk autorów wydaje się łatwiejsze do opanowania przy konsekwentnym korzystaniu z automatycznej aktualizacji odwołań (menedżer bibliografii).

- 3) Bibliografia – zakres przeglądu powinien uwzględniać większą liczbę pozycji. W rozdziale 2, poświęconym fenomenowi stabilności i prędkości krytycznej, autor przywołuje liczne prace zagraniczne (K.Knothe, A.Wickens, O.Palach, H.True) oraz krajowe (J.Piotrowski, czy A.Chudzikiewicz – tylko 1 pozycja), jednak pominięcie dorobku reprezentowanego przez K.Zboińskiego i M.Duszę, stanowi lukę w przeglądzie krajowego stanu wiedzy w tym specyficznym obszarze badania stateczności pojazdów dwuosiowych. R. Bogacz - jeden z czołowych polskich autorytetów w dziedzinie dynamiki układów mechanicznych i badania oddziaływań, którego prace dotyczące modelowania kontaktu toczonego, falowych zjawisk w szynach oraz stabilności ruchu stanowią fundament teoretyczny - idealnie korespondowałby z rozdziałem 2 rozprawy. R. Konowrocki, który zajmuje się nieliniową dynamiką pojazdów szynowych, mechatroniką układów biegowych oraz zaawansowanym modelowaniem kontaktu, którego dorobek w zakresie analizy drgań i stabilności pojazdów szynowych w warunkach rzeczywistych mógłby wzbogacić część metodyczną pracy, zwłaszcza w obszarze walidacji modeli MBS. Prace S. Hartmanna (TU Clausthal) często cytowane w literaturze światowej w kontekście numerycznych metod rozwiązywania zagadnień kontaktu niehertzowskiego i tribologii styku. W pracy skupiającej się na opracowaniu nowego algorytmu (FasTang), który ma wypełnić lukę między modelem FASTSIM a CONTACT, odwołanie się do dorobku Hartmanna w zakresie precyzyjnego opisu pól naprężeń byłoby cenne merytorycznie. J. Drożdziel - specjalista od dynamiki wagonów towarowych i modelowania nieliniowości w układach zawieszenia, co jest kluczowym elementem opisu pojazdów takich jak WM-15C czy CA-26.12. B.Sowiński, który jest jednym z wybitnych polskich ekspertów w dziedzinie dynamiki pojazdów szynowych i modelowania kontaktu koło-szyna. Brak odniesienia do dorobku W.Sumelki w warstwie teoretycznej dotyczącej mechaniki kontaktu lub zaawansowanego modelowania materiałowego (rozdział 1.2) może być postrzegany jako luka w przeglądzie lokalnego środowiska naukowego. Brak cytowań wybranych publikacji wymienionych osób jest wart odnotowania w ocenie krytycznej, gdyż ich publikacje mogłyby stanowić istotne uzupełnienie fundamentów teoretycznych oraz krajowego tła badawczego dla opracowanego algorytmu FasTang i przeprowadzonych analiz stabilności.

III.2. Uwagi szczegółowe

Poniżej przedstawiono listę uwag szczegółowych.

- 1) Brak spisu rysunków oraz tabel utrudnia nawigację w bogatym materiale ilustrującym wyniki osiągnięte w pracy.
- 2) Błąd edytorski w rozplanowaniu treści – zakończenie rozdziału 6 na stronie 119, po którym z pojedynczą interlinią rozpoczyna się rozdział 7. W przypadku zakończenia rozdziału 7 w identycznej sytuacji rozdział 9 rozpoczęto od nowej strony.

- 3) Nie definiując wyraźnie u_n występuje błąd w formule 1. Powinno być $e=h-u_{1n}-u_{2n}=h-u_n$ (zakładając u_n jako sumę przemieszczeń) lub należy skorygować znak zgodnie z definicją u_n .
- 4) Strona 17. Jest „Wiąże się to się to ..” należałoby usunąć powtarzające się wyrazy.
- 5) Strona 6. Literówka. Występuje dwukrotnie wyraz „powierzani” - powinno być „powierzchni”.
- 6) Strona 53: Literówka. Jest „Coulumbowskie”, powinno być „Coulombowskie”
- 7) W wykazie ważniejszych oznaczeń widnieje δ - maksymalna wartość penetracji ciał w kontakcie jako brył sztywnych. Czy w zależności 25 (strona 32) występuje ten sam parametr w obliczaniu dystansu przebytego w rozważanym kroku czasowym? Poproszę o doprecyzowanie.
- 8) Strony: 18, 39, 41, 43. Występują braki jest znaku interpunkcyjnego (przecinek przed kombinacjami wyrazu „które”).
- 9) Strona 68. Autor pisze: *„Zadaniem zbudowanego modelu MES było wyznaczenie charakterystyk zawieszenia w postaci ... W pierwszym etapie postanowiono porównać wyniki obliczeń dla modelu wahadła technicznego o parametrach odpowiadających pojedynczemu wieszakowi ... z obliczeniami analitycznymi zgodnie z [70]. Model fenomenologiczny takiego układu ... występują parametry: siła graniczna tarcia T_0 związana z danym współczynnikiem tarcia, sztywność w stanie poślizgu k oraz sztywność w stanie przetaczania z połączenia równoległego sztywności k oraz k_1 .”* Przywołano tu model Piotrowskiego, który świadomie używa określenia „phenomenological models” dla uproszczonych modeli zawieszenia, które jedynie reprodukuje charakterystyki dynamiczne, ale nie są pełnymi modelami mechanistycznymi całego układu, opisując za to jego zachowanie przez parametry dopasowane do charakterystyk statycznych i dynamicznych. Cytowanie tego terminu jest zgodne z intencją autora, niemniej jednak, warto było doprecyzować w tekście tego akapitu, że termin ten oznacza model zastępczy o charakterze efektywnym, a nie dogłębną, mechanistyczną reprezentację całego systemu, a takie właśnie wrażenie odniosłem czytając akapit. Stąd wydaje się słuszna zmiana podpisu pod Rys. 28, ponieważ model odnosi się do cech zjawiska, a nie do klasycznego „wahadła fizycznego” w sensie podręcznikowym, którego klasycznych elementów na rysunku brak.

Przedstawione uwagi nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy Pana mgr inż. Adriana Szeszyckiego. Rozprawę oceniam wysoko, ponieważ została przygotowana z należytą dbałością o szczegóły i starannością, a zastrzyk zaprezentowanej w niej „twardej” merytoryki jest godny podkreślenia. Treść rozprawy przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu badawczego, z wykorzystaniem współcześnie nowych - również w tych obszarach metod badawczych, a podjęte zagadnienie zostało rozwiązane w mojej opinii w sposób adekwatny do obecnego stanu wiedzy.

IV. Osiągnięcia pracy

W mojej ocenie oceniana rozprawa posiada walory poznawcze i praktyczne, a podjęta w niej problematyka ma charakter w pełni dysertabilny. Tematyka pracy pozostaje w ścisłym związku z realnym i aktualnym problemem badawczym, którego rozwiązanie przyczynia się do usprawnienia działań homologacyjnych w transporcie kolejowym. Autor wykazał się zdolnością do samodzielnego prowadzenia badań naukowych, właściwie dobierając i łącząc metody analizy, obserwacji oraz modelowania w celu rozwiązania zidentyfikowanego problemu i opisu towarzyszących mu zjawisk. Najważniejsze osiągnięcia przedstawionej rozprawy doktorskiej obejmują sformułowanie nowych narzędzi obliczeniowych, rozwój metodyki badawczej oraz dostarczenie nowej wiedzy o dynamice nieliniowej pojazdów dwuosiowych, w tym:

- Opracowanie autorskiego algorytmu FasTang. Autor stworzył nowatorską metodę rozwiązywania zagadnienia stycznego kontaktu koła z szyną, która skutecznie wypełnia lukę badawczą między bardzo precyzyjnym programem CONTACT, a szybkimi metodami uproszczonymi. Metoda ta wykorzystuje iteracyjną procedurę wyznaczania podziału na strefy adhezji i poślizgu, co pozwala na eliminację kosztownych obliczeniowo nieliniowych układów równań przy zachowaniu wysokiej zbieżności z wynikami referencyjnymi.

- Innowacyjna walidacja modeli MBS. Do weryfikacji modeli numerycznych trzech rzeczywistych pojazdów (WM-15C, CA-26.12, ZTU-300.02) zastosowano operacyjną analizę modalną i algorytm PolyMAX. Pozwoliło to na obiektywne porównanie parametrów modalnych (częstotliwości i tłumienia) wyłącznie na podstawie sygnałów odpowiedzi drganiowej z prób poligonowych, bez konieczności pomiaru nierówności toru.

- Wykazanie ograniczeń parametrów normatywnych. Praca dowodzi, że uproszczone wskaźniki (np. stożkowatość ekwiwalentna), są niewystarczające do wiarygodnego przewidywania momentu utraty stateczności nieliniowej. Wykazano, że identyczne wartości tych parametrów mogą generować skrajnie różne zachowania dynamiczne w zależności od rzeczywistego zarysu powierzchni toczynek.

- Stworzenie utylitarnej procedury badań. Autor sformułował kompletną metodologię badań symulacyjnych stabilności w dziedzinie czasu, która integruje techniki projektowania eksperymentu (DOE) z wymogami norm PN-EN 14363 i PN-EN 15302.

- Analiza wpływu filtrowania profili. Wykazano, że sposób obróbki i wygładzania zmierzonych laserowo profili kół i szyn w istotny sposób modyfikuje wyniki nieliniowych analiz stabilności, zmieniając kształt obszaru styku w warunkach niehertzowskich.

Na podstawie wyników analiz symulacyjnych oraz weryfikacji algorytmu FasTang, wszystkie postawione w pracy tezy uznać należy za udowodnione, ponieważ:

1. dowiedziono, że wiarygodna ocena stabilności wymaga modeli o ograniczonym stopniu uproszczeń i uwzględniania rzeczywistej geometrii profili;

2. teza pomocnicza nr 1 dotycząca uproszczenia modeli została potwierdzona przez wykazanie, że nadmierne uproszczenia (np. metoda EEC) prowadzą do błędnych wyników w zakresie występowania niestateczności (w 4,3% przypadków) oraz generują błędy sił przekraczające arbitralnie przyjęte kryterium 10%;

3. teza pomocnicza nr 2 dotycząca roli geometrii została udowodniona za pomocą stworzonych map stabilności, które wykazały, że podstawowe parametry punktowe nie niosą pełnej informacji niezbędnej do oceny bezpieczeństwa jazdy, a rzeczywiste zarysy mają kluczowy wpływ na prędkość krytyczną.

IV. Wnioski końcowe

Przedstawiona rozprawa podejmuje niezwykle istotną tematykę bezpieczeństwa i stabilności ruchu pojazdów szynowych, koncentrując się na krytycznym wpływie nieliniowej geometrii kontaktu koła z szyną na zachowanie dynamiczne szczególnie podatnej na wężykowanie grupy pojazdów dwuosiowych. Głównym osiągnięciem poznawczym i technicznym autora jest sformułowanie autorskiego algorytmu FasTang, który dzięki innowacyjnemu, iteracyjnemu podejściu do wyznaczania podziału stref styku skutecznie wypełnia zidentyfikowaną lukę badawczą w dyscyplinie ILGIT, oferując narzędzie o precyzji zbliżonej do metod dokładnych przy zachowaniu wysokiej wydajności obliczeniowej.

Praca cechuje się bardzo wysokim poziomem warsztatu inżynierskiego i naukowego, co przejawia się w biegłym łączeniu zaawansowanego modelowania MBS i MES z techniką operacyjnej analizy modalnej (OMA) do rygorystycznej walidacji modeli numerycznych rzeczywistych pojazdów. Struktura dysertacji jest prawidłowa i logiczna, prowadząc konsekwentnie od fundamentów teoretycznych mechaniki kontaktu po sformułowanie użytecznej procedury badawczej zgodnej z normą PN-EN 14363, a proces wnioskowania jest poprawny merytorycznie i solidnie osadzony w wynikach szeroko zakrojonych analiz symulacyjnych przeprowadzonych zgodnie z techniką DOE. Biorąc pod uwagę oryginalność zaproponowanej metody oraz dojrzałość naukową całego opracowania, rozprawa w pełni spełnia kryteria dysertabilności, stanowiąc wartościowy wkład w rozwój metod projektowania, certyfikacji i wirtualnego prototypowania nowoczesnego taboru szynowego.

Wysoki poziom warsztatu naukowego autora, przejawiający się w dogłębnym przeanalizowaniu złożonych teorii mechaniki kontaktu oraz przeprowadzeniu imponującej liczby symulacji dla rzeczywistych pojazdów, czyni pracę dojrzałym merytorycznie studium, znacząco wykraczającym poza powszechnie stosowane procedury modelowania. Zwieńczeniem tych prac jest sformułowanie nowatorskiego algorytmu FasTang, który skutecznie wypełnia istotną lukę badawczą w dyscyplinie ILGIT, oferując unikatowe połączenie precyzji metod dokładnych z wydajnością obliczeniową, niezbędną w zaawansowanych analizach stabilności. W mojej opinii **całokształt tych osiągnięć w pełni uzasadnia przedłożenie wniosku o wyróżnienie rozprawy.**

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. **Adriana Szeszyckiego pt. „Analiza i ocena wpływu wybranych parametrów kontaktu koła z szyną na stabilność pojazdu szynowego”** spełnia wymagania przewidziane dla rozpraw doktorskich stawiane obowiązującą Ustawą z dn. 20.07.2018 roku *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz.U. z 2024 r., poz. 1571 z późn. zm.) i **wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.**

Z wyrazami szacunku