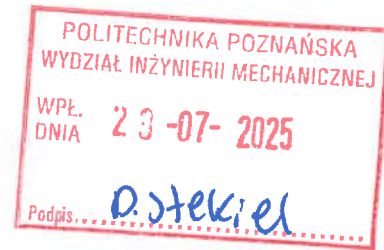


Warszawa, 17.07.2025 r.

Dr hab. inż. Dariusz WIĘCKOWSKI
Instytut Pojazdów i Maszyn Roboczych
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Politechnika Warszawska
Ul. Ludwika Narbutta 84, 02-524 Warszawa.
Mobile: 608 678 928.
E-mail: dariusz.wieckowski@pw.edu.pl



Recenzja do rozprawy doktorskiej n.t.

„Kinematyka i dynamika automatycznego pociągu logistycznego”

Autor: mgr inż. Wojciech PASZKOWIAK

Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej

A. Ogólna ocena rozprawy doktorskiej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 217 stron, w tym 202 strony to tekst rozprawy, 15 stron stanowi Dodatek, na 12 stronach zamieszczono spis literatury, zawierający 186 pozycji. W pracy zamieszczono streszczenie w języku polskim, spis skrótów oraz 141 rysunków i 12 tabel.

Rozprawę podzielono na 8 głównych rozdziałów, oprócz tego streszczenie, spis literatury, oraz jeden dodatek. Rozdziały główne dzielone są na różną liczbę podrozdziałów drugiego (wyodrębnione w spisie treści) i trzeciego stopnia.

Rozprawa dotyczy modelowania kinematycznego i dynamicznego automatycznego pociągu logistycznego, stanowiącego wieloczołowy pojazd przegubowy składający się z ciągnika ciągnącego przyczepy, przy różnych konfiguracjach układów skrętnych holownika i przyczep.

Szczegółowa tematyka rozprawy to sformułowane przez Doktoranta trzy główne cele badawcze, obejmujące opracowanie modeli matematycznych pociągu logistycznego, zaprojektowanie algorytmu sterowania bazującego na ograniczonym zakresie informacji sensorycznej oraz stworzenie podstaw do wdrożenia automatycznego sterowania w środowisku przemysłowym. Cele te miały charakter zarówno teoretyczny, jak i aplikacyjny.

Problem badawczy sformułowano jako opracowanie, potwierdzonego wynikami badań eksperymentalnych, modelu matematycznego pociągu logistycznego uwzględniającego zjawiska dynamiczne i kinematyczne występujące podczas jazdy.

Doktorant w celu pracy uwzględnił również opracowanie algorytmu sterowania zapewniającego bezkolizyjny przejazd pociągu logistycznego przez zamknięty korytarz transportowy przy wykorzystaniu wyłącznie danych pomiarowych ze skanera typu LiDAR zamontowanego na jednostce prowadzącej.

Cel użytkowy pracy Doktorant określił, jako zastąpienie manualnego sterowania pociągiem logistycznym systemem sterowania umożliwiającym jego automatyczną jazdę w korytarzach transportowych.

W pierwszym rozdziale pracy Doktorant przedstawił charakterystykę oraz ideę stosowania pociągów logistycznych w logistyce wewnętrznej oraz metody modelowania i sterowania wielocłonowymi pojazdami przegubowymi. W kolejnym rozdziale zaprezentował genezę podjęcia tematu, cele i zakres pracy. Następnie, w rozdziałach trzecim i czwartym, przedstawił opracowane modele pociągu logistycznego: model kinematyczny, model dynamiczny z więzami nieholonomicznymi, model dynamiczny uwzględniający poślizg poprzeczny oraz model dynamiczny uwzględniający poślizg wzdłużny, poprzeczny oraz opory toczenia. Każdy z tych modeli został opracowany przez Doktoranta dla dwóch wariantów układów skrętnych holownika: układu z różnicowo napędzaną tylną osią oraz układu ze sterowanym, napędzanym przednim kołem skrętnym, a także dla dwóch wariantów układów skrętnych przyczep: układu stałego dyszla i układu podwójnego Ackermanna. Dla wszystkich tych modeli Autor opracował algorytm śledzenia trajektorii w środowisku symulacyjnym oparty na regulatorze PID – rozdział piąty. Przygotował neuroewolucyjny algorytm sterowania pociągiem logistycznym, którego celem było „wytrenowanie” sztucznych sieci neuronowych do sterowania pojazdem w taki sposób, aby zapewnić bezkolizyjny przejazd w zamkniętych korytarzach transportowych. W algorytmie Doktorant zastosował sztuczne sieci neuronowe, których wagi były globalnie optymalizowane przez algorytmy ewolucyjne. W rozdziale szóstym opisał przeprowadzone badania symulacje dla opracowanych modeli kinematycznych i dynamicznych, uwzględniających różne konfiguracje układów skrętnych holownika i przyczep. Dodatkowo, za pomocą opracowanego algorytmu sterowania, przeprowadził proces „uczenia” sieci neuronowej na podstawie przejazdów pociągu logistycznego przez mapę tunelową, stosując model dynamiczny uwzględniający poślizg poprzeczny. W rozdziale siódmym Doktorant przedstawił wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych na rzeczywistym obiekcie - pociągu logistycznym z przyczepami wyposażonymi w układ stałego dyszla. Celem tych badań eksperymentalnych była weryfikacja opracowanych modeli.

W ostatnim rozdziale – ósmym – Doktorant zawarł podsumowanie pracy i przedstawił kierunki dalszych prac badawczych.

B. Charakterystyka treści pracy

B1. Rozdziały

Rozdział 1 („Przegląd aktualnego stanu wiedzy”). Doktorant rozpoczyna od opisu cech charakterystycznych i wyzwań związanych z zastosowaniem pociągów logistycznych. Autor dokonuje prezentacji koncepcji Milk Run w intralogistyce. Następnie przedstawia istotę, cel i budowę pociągów logistycznych, szczególnie zwraca uwagę na układy skrętne wózków logistycznych. Odnosi się do modelowania kinematycznego i dynamicznego wielocłonowych pojazdów przegubowych. Wskazuje również na interakcję koła z podłożem w modelach dynamicznych pojazdów oraz układów sterowania wielocłonowych pojazdów przegubowych.

Rozdział 2 („Geneza, cel i zakres pracy”). Doktorant przedstawia problem badawczy, genezę podjęcia tematu pracy. Opisuje cel i zakres pracy. Jako główny cel pracy wskazał opracowanie, potwierdzonego wynikami badań eksperymentalnych, modelu matematycznego pociągu logistycznego uwzględniającego zjawiska dynamiczne występujące podczas jazdy. Również opracowanie algorytmu sterowania, który zapewnia bezkolizyjny przejazd pociągu logistycznego przez zamknięty korytarz transportowy, przy wykorzystaniu wyłącznie danych pomiarowych ze skanera typu LiDAR zamontowanego na jednostce prowadzącej. Autor wprowadza czytelnika w problematykę, której merytorycznie dotyczy praca. Wskazuje na cel użyteczny pracy jakim jest zastąpienie manualnego sterowania pociągiem logistycznym systemem sterowania umożliwiającym jego automatyczną jazdę w korytarzach transportowych. Szczegółowo przedstawia zakres rozprawy doktorskiej.

Rozdział 3 („Model kinematyczny pociągu logistycznego”). Doktorant zaczyna od wprowadzenia do modelowania kinematycznego. Następnie przedstawia model kinematyczny ciągnika oraz warianty: z przyczepami z układem stałego dyszla (FDSS) oraz z przyczepami z układem podwójnego Ackermanna (DASS). Celem modelu jest umożliwienie przeprowadzenia symulacji ruchu pociągu logistycznego w środowisku wirtualnym. Analiza kinematyczna umożliwi wyznaczenie trajektorii wybranych punktów układu oraz dobór odpowiednich parametrów geometrycznych pociągu logistycznego spełniającego określone założenia. Modele matematyczne bazują na dwuwymiarowym układzie współrzędnych, w którym kąty dodatnie odmierzone są od poziomu w kierunku zgodnym do ruchu wskazówek zegara. Położenia i prędkości poszczególnych punktów opisywane są za pomocą macierzy obrotu.

Rozdział 4 („Model dynamiczny pociągu logistycznego”). Tutaj Doktorant również zaczyna od wprowadzenia do modelowania, ale dynamicznego. Odnosi się do modeli dynamicznych z więzami nieholonomicznymi (DM-NHC) oraz modeli dynamicznych z uwzględnieniem tarcia poprzecznego. Każdy z tych modeli został opracowany dla dwóch różnych układów skrętnych przyczep (FDSS i DASS) oraz dwóch układów skrętnych ciągnika (DDT i TTFS). Łącznie Autor opracował 12 modeli dynamicznych.

Rozdział 5 („Algorytmy sterowania pociągiem logistycznym”). Doktorant opisuje algorytm śledzenia trajektorii przez holownik pociągu logistycznego oraz neuroewolucyjny algorytm sterowania pociągiem logistycznym (EANN - *Evolutionary Algorithm-Neural Network*). Zastosowanie przez Autora neuroewolucyjnego algorytmu sterowania EANN umożliwiło wytrenowanie sztucznej sieci neuronowej wielocłonowego pojazdu przegubowego do samodzielnego, bezkolizyjnego i skutecznego poruszania się w złożonym środowisku symulacyjnym. Zaimplementowany algorytm sterowania wykazuje odporność na zmienność warunków początkowych. Algorytm sterowania został opracowany w taki sposób, aby odwzorowywał rzeczywiste warunki działania pojazdu, m.in. poprzez symulację pomiaru odległości realizowaną przez ciągnik wyposażony w czujnik typu LiDAR. Takie podejście sprawia, że opracowany system sterowania nadaje się do implementacji na rzeczywistym obiekcie.

Rozdział 6 („Badania symulacyjne pociągu logistycznego”). Doktorant na początku dokonuje wprowadzenia w specyfikę badań symulacyjnych. Następnie opisuje:

- badania symulacyjne modelu kinematycznego,
- badania symulacyjne wpływu kół swobodnie skrętnych,
- badania symulacyjne poślizgu poprzecznego,
- badania symulacyjne neuroewolucyjnego algorytmu sterowania EANN.

Autor dokonuje analizy porównawczej metod wyznaczania macierzy transformacji prędkości.

Rozdział 7 („Badania eksperymentalne pociągu logistycznego”). W celu przeprowadzenia weryfikacji eksperymentalnej modeli symulacyjnych, Doktorant zaprojektował, a następnie zbudował pociąg logistyczny. Założył, że pociąg będzie składał się z holownika trójkołowego (DDT), w którym kołami napędzanymi będą dwa koła stałe na tylnej osi. Przednie koło pełni funkcję koła podporowego i jest swobodnie skrętne. Do badań eksperymentalnych użył przyczep z układem skrętnym stałego dyszla, który umożliwi łatwą rekonfigurację z dyszla z przodu na odwrócony dyszel. Holownik również został zaprojektowany z możliwością współpracy z obiema konfiguracjami układu dyszla. Badania Doktorant wykonał dla obu konfiguracji układu skrętnego: z dyszlem z przodu oraz z odwróconym dyszlem. Testy przeprowadził w pomieszczeniu z „gładką” nawierzchnią. Autor uzyskał zbieżność wyników pomiędzy modelami co potwierdza ich wiarygodność.

Jako główne źródłem obserwowanych odchyłek Doktorant wskazuje niedokładności związane z pomiarem oraz dokładnością odtworzenia przejazdu w środowisku symulacyjnym, a nie jakość opracowanych modeli. Wskazuje na czynniki jakie mogły mieć wpływ na wartość odchyłek.

Rozdział 8 („Podsumowanie, wnioski i kierunki dalszych badań”). Doktorant ocenił uzyskane wyniki i podsumował pracę z punktu widzenia osiągniętych celów naukowych i utylitarnych. Potwierdził zrealizowanie, przedstawionego w rozdziale drugim celu pracy.

Autor rozprawy podsumowuje swoje dokonania, a mianowicie:

- 1) Opracowane modele matematyczne pociągu logistycznego, w tym dynamiczne modele uwzględniające poślizgi i dynamikę kół. Ich poprawność potwierdzia wynikami badań eksperymentalnych; w których odchyłki orientacji i położenia przyczep były niewielkie.
- 2) Zaprojektowanie skutecznego algorytmu (EANN) umożliwiającego bezkolizyjny przejazd w zamkniętym korytarzu transportowym, przy wykorzystaniu wyłącznie danych z czujnika LiDAR zamontowanego na holowniku. Algorytm ten wykazał się dużą skutecznością i odpornością na zmienność warunków początkowych.
- 3) Opracowanie rozwiązania stanowiącego podstawę do zastąpienia manualnego sterowania pociągiem logistycznym automatycznym systemem sterowania, co może znaleźć zastosowanie w rzeczywistych układach transportu wewnętrznego.

Osiągnięte rezultaty nie tylko potwierdzają poprawność zaproponowanych rozwiązań, lecz także otwierają możliwości dalszego rozwoju w kierunku implementacji systemów sterowania w rzeczywistych warunkach przemysłowych.

Doktorant zaproponował kierunki dalszych badań, takie jak:

- 1) Zaprojektowanie skutecznego algorytmu sterowania umożliwiającego bezpieczne i stabilne cofanie wielocłonowego pojazdu przegubowego w korytarzach transportowych.
- 2) Implementacja algorytmu sterowania EANN na rzeczywistym obiekcie. Pozwoli to ocenić jego efektywność w warunkach rzeczywistych, uwzględniających opóźnienia, ograniczenia sensoryczne oraz możliwe niedokładności pomiarowe, a tym samym potwierdzić praktyczną użyteczność opracowanego rozwiązania.
- 3) Zastosowanie zoptymalizowanych kół swobodnie skrętnych, które mogą wpływać na poprawę właściwości jezdnych i zwiększać powtarzalność trajektorii, szczególnie podczas zawracania, gdzie ich wpływ jest najbardziej zauważalny.
- 4) Realizacja badań eksperymentalnych dotyczących wyznaczenia właściwości poślizgu kół przemysłowych, zarówno w kierunku poprzecznym, jak i wzdłużnym. Celem tych badań byłoby zwiększenie precyzji odwzorowania oddziaływania koła z podłożem i dalsze doskonalenie modeli dynamicznych.

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych i eksperymentalnych można jednoznacznie stwierdzić, że wszystkie założone cele zostały zrealizowane.

Ostatni, nienumerowany rozdział („Bibliografia”) stanowi wykaz pozycji literaturowych, na które Autor powołuje się w pracy. Jest wystarczająco szeroki i aktualny dla tematyki rozprawy, merytorycznie odpowiada treści pracy.

Szczegółowy opis opracowanego w ramach pracy i dla potrzeby jej realizacji modelu dynamicznego Autor zamieścił w załączniku do pracy: Dodatek A. Rozszerzony model dynamiczny (DM-EXT).

Uważam, że tematyka pracy jest bardzo ciekawa i aktualna, a możliwe zastosowania uzasadniają celowość jej wykonania na uczelni technicznej.

B2. Układ pracy, opracowanie edytorskie.

Układ rozprawy oraz jej edycja zasługują na pozytywną ocenę. Generalnie Autor posługuje się poprawnym językiem. Treść poszczególnych rozdziałów jest ilustrowana schematami, tabelami i rysunkami. Bogaty materiał ilustracyjny – w zasadniczej części pracy jest to oryginalny materiał autorski, wzbogacający treść rozprawy i ułatwiający jej odbiór i zrozumienie.

Układ rozprawy metodologicznie jest poprawny. W rozdziałach początkowych przedstawiono rozważania wstępne dotyczące dynamiki i kinematyki pociągów logistycznych.

Uwagi o charakterze redakcyjnym (zamieszczone w dalszej części recenzji) nie wpływają na końcową ocenę pracy. Wskazują jednak Autorowi na pewne niekonsekwencje w redagowaniu tekstu oraz zwracają uwagę na mieszanie sformułowań kolokwialnych z naukowymi, co jest niedopuszczalne w publikacji naukowej, chociażby ze względu na ich różne znaczenie.

C. Ocena rozprawy - wartość naukowa i użyteczna pracy.

C1. Zalety pracy

O wartości naukowej prac przeprowadzonych w ramach recenzowanej rozprawy świadczy kilka jej cech. Problem badawczy, oprócz opracowania modelu matematycznego pociągu logistycznego uwzględniającego zjawiska dynamiczne i kinematyczne występujące podczas jazdy, sformułowano jako poszukiwanie odpowiedzi na pytanie czy możliwe jest opracowanie algorytmu sterowania, który zapewni bezkolizyjny przejazd pociągu logistycznego przez zamknięty korytarz transportowy.

Aby przeprowadzić odpowiednią analizę problemu badawczego Doktorant opracował kompleksową metodykę badań symulacyjnych poczynając od budowy modeli uwzględniających zagadnienia kinematyki i dynamiki przy uwzględnieniu zagadnień więzów nieholonomicznych i tarcia.

Następnie Doktorant przygotował autorską wersję algorytmu sterowania pociągiem logistycznym umożliwiającą śledzenie zadanej trajektorii. W modelu kinematycznym Autor opracował sterowanie pojazdem poprzez zadanie prędkości kątowych. Dzięki temu mógł zastosować regulatora PD (proporcjonalno-różniczkującego) wbudowany bezpośrednio w model kinematyczny. W przypadku modeli dynamicznych algorytm śledzenia trajektorii Doktorant opracował na podstawie dwustopniowego regulatora PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkującego) w ujemnej pętli sprzężenia zwrotnego.

W dalszej kolejności Doktorant zrealizował badania symulacyjne pociągu logistycznego składającego się z holownika oraz czterech przyczep dla różnych scenariuszy.

Aby zweryfikować poprawność modeli Autor przeprowadził badania eksperymentalne pociągu logistycznego. W tym celu zaprojektował, a następnie zbudował pociąg logistyczny. Badania wykonał dla obu konfiguracji układu skrętnego: z dyszlem z przodu oraz z odwróconym dyszlem. Testy zrealizował w pomieszczeniu z „gładką” nawierzchnią, a więc w warunkach, które odpowiadają rzeczywistej eksploatacji tego typu zespołu pojazdów.

Tematyka rozprawy i zrealizowane badania symulacyjne z zakresu kinematyki i dynamiki poparte eksperymentem wpisują się w szerzej obecnie występującą tendencją łączenia tych badań (badania poszukiwawcze) na poziomie przygotowywania założeń konstrukcyjnych oraz przygotowania pojazdów, czy zespołów pojazdów do ruchu zautomatyzowanego.

Praca zawiera usystematyzowaną wiedzę na temat: opracowanie modeli matematycznych pociągu logistycznego, zaprojektowania algorytmu sterowania bazującego na ograniczonym zakresie informacji sensorycznej oraz przygotowania podstaw do wdrożenia automatycznego sterowania w środowisku przemysłowym. Cele te miały charakter zarówno teoretyczny, jak i aplikacyjny.

Autor podczas realizacji pracy wykazał się umiejętnościami przygotowania i realizacji badań modelowych oraz przygotowania i wykonania eksperymentu w celu weryfikacji modeli. Wykazał się umiejętnością budowy modeli, które uwzględniają zagadnienia kinematyki i dynamiki z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi. Również wykazał się wiedzą w zakresie badania wpływu jakościowego i ilościowego twego typu modeli zespołu pojazdów.

Ocena użytecznej wartości pracy wskazuje także na szereg jej zalet. Opracowana metoda i jej egzemplifikacja wraz z weryfikacją dowodzą poprawności i możliwości praktycznego zastosowania, to jest do zastąpienia manualnego sterowania pociągiem logistycznym automatycznym systemem sterowania, co może znaleźć zastosowanie w rzeczywistych układach transportu wewnętrznego – cel użyteczny.

Opracowana metoda pozwala na dokonanie analizy i sformułowanie najważniejszych wytycznych dotyczących prowadzenia badań symulacyjnych, uzyskania wybranych odpowiedzi kinematycznych i dynamicznych zespołu pojazdów dla zróżnicowanych warunków eksploatacji oraz sformułowanie wynikających z tych badań wniosków merytorycznych.

C2. Uwagi krytyczne.

Uwagi te mają różny ciężar gatunkowy. Poniżej przedstawiam te wątpliwości i uwagi krytyczne, które moim zdaniem wymagają ustosunkowania się do nich Autora. W zakresie poprawności naukowej wskazać można wymienione uwagi krytyczne o charakterze ogólnym.

Oprócz rys. 13 (str. 17) dla lepszego odbioru pracy przydatny byłby rysunek przedstawiający dodatkowe pasywne koła podporowe (swobodnie skrętne) wg opisu: „W przypadku trójkołowych układów, w przedniej części pojazdu często znajdują się dodatkowe pasywne koła podporowe (swobodnie skrętne), o niewielkich rozmiarach, których zadaniem jest zwiększenie stabilności ciągnika bez istotnego wpływu na jego kinematykę.”

Używanie w pracy nazwy równań w przypadku „Równań Lagrangea”. Powinna to być liczba mnoga, a nie pojedyncza. Np.: zdanie przed równaniem 1.5 (str. 30): „Głównym równaniem ...”. Powinna być liczba mnoga. Rowanie 1.5 to są Równania Lagrangea. Podobnie na innych stronach, np.: 75, 87.

Cel pracy jest opisany dopiero na stronie 50. Ja, jako recenzent jestem w stanie zrozumieć Autora, że wynika to z układu pracy. Ale dla postronnego czytelnika może to utrudniać odbiór treści pracy. Strona 51 „Cel i zakres pracy”. „Celem rozprawy doktorskiej jest opracowanie „wiarygodnego”, potwierdzonego wynikami badań eksperymentalnych modelu matematycznego pociągu logistycznego uwzględniającego zjawiska dynamiczne występujące podczas jazdy.” – dwie uwagi:

- 1) Określenie: „wiarygodnego”. Jeśli byłby niewiarygodny, to po co go opracowywać?
- 2) Określenie: „zjawiska dynamiczne”. W pracy Autor odnosić się również do zjawisk kinematycznych. Należało to ująć w celu pracy. Na stronie 52 jest to przywołane w zakresie rozprawy doktorskiej. Podobnie na stronie 53.

W rozdziale 7 (**Badania eksperymentalne pociągu logistycznego**) Doktorant używa określenia: „... w pomieszczeniu z gładką nawierzchnią.” Według mnie gładką powinno być w cudzysłowie - „gładką”.

Odnosnie do podsumowania, to Doktorant powinien „pochwalić się” również wykonaniem badań eksperymentalnych, jako weryfikacji modeli symulacyjnych.

Odnosnie do podrozdziału: „Kierunki dalszych badań” (str. 190):

– punkt III: „Zastosowania zoptymalizowanych kół swobodnie skrętnych, które mogą poprawić właściwości jezdne i zwiększyć powtarzalność trajektorii, szczególnie podczas zawracania, gdzie ich wpływ jest najbardziej zauważalny.” Co znaczy: „zoptymalizowanych kół”, „poprawić właściwości jezdne”.

– punkt IV: zamiast „właściwości poślizgowych kół” powinno być „właściwości poślizgu kół”.

Poniżej zamieszczam istotniejsze krytyczne uwagi szczegółowe dotyczące poprawności naukowej i nie tylko:

1. Str. 7.

Pierwsze zdanie: „Niniejsza rozprawa dotyczy modelowania kinematycznego i dynamicznego automatycznego pociągu logistycznego, stanowiącego wieloczłonowy pojazd przegubowy składający się z ciągnika **holującego** liczbę n przyczep, przy różnych konfiguracjach układów skrętnych holownika i przyczep.” Holowanie odnosi się do pojazdu uszkodzonego. Natomiast przyczepy są ciągnięte.

2. Str. 15.

Drugie zdanie: „Wraz z rozwojem koncepcji Przemysłu 4.0 rośnie zainteresowanie implementacją automatycznych i autonomicznych pociągów logistycznych w systemach Milk Run.” Czy określenia: „automatyczny”, „autonomiczny” to synonimy, czy nie? Jeśli nie to powinny być zdefiniowane.

3. Str. 18.

Pierwsze zdanie: „Na rynku dostępne są różne typy holowników dostosowane do specyfiki środowiska pracy..” W tym zdaniu powinien być podany numer rysunku.

4. Str. 19.

Zdanie w ostatnim akapicie: „W układach z dyszlem zamocowanym z przodu przyczepy lub w konfiguracji z podwójnym Ackermannem stosuje się zaczep zlokalizowany w tylnej części holownika.” Określenie „podwójny Ackermann” wyjaśnione jest dopiero na stronie 24, a na stronie 19 jest przywołane bez wyjaśnienia.

5. Str. 27.

Zdanie po równaniu 1.1: „Pojedynczy pojazd może być zdefiniowany za pomocą trzech współrzędnych.” W zdaniu należało by określić, że jest to prosta forma modelowania, ponieważ w zasadzie standardem jest 6 stopni swobody.

6. Str. 30.

Wiersze 5 i 6: „Jeśli pojazd porusza się na nawierzchni o **dużej przyczepności oraz jego jazda nie jest agresywna...**”. Sformułowanie „... o dużej przyczepności oraz jego jazda nie jest agresywna ...” jest niefortunne. Można zaproponować np.: „o wysokim współczynniku przyczepności”, a słowo „agresywna” powinno być w cudzysłowie lub zastąpione np. „dynamiczna”.

7. Str. 33.

Wiersz 1: „[141]Powodem ...”. Brak kropki i spacji.

8. Str. 44.

Drugi akapit od dołu. Opis „Statycznego momentu oporu skrętu” jest „skomplikowany” (trudny do zrozumienia) dla osób, które nie są specjalistami od mechaniki ruchu samochodu. Można skorzystać z innych opisów oporu skrętu również zamieścić rysunek, np.: Manfred Mitschke „Dynamika samochodu” WKiŁ Warszawa 1997

W tym samym akapicie sformułowanie: „Wysoki opór skrętu ...”. Powinno być sprecyzowane, czy chodzi o „wysoką wartość siły oporu skrętu.” czy o „wysoką wartość momentu oporu skrętu.” - to jest język inżynierski.

9. Str. 151.

Wiersz 8, zdanie: „Przejazd pociągu podczas przejazdu przedstawiono na rysunku 7.5.” Zdanie stylistycznie niepoprawne.

10. Str. 6 i 191.

tytuł: „**Bibliografia**” - literówka

Generalne uwagi do tekstu pracy.

Używanie sformułowania „walidacja”, „weryfikacja” (rozdział „7.2 Walidacja modeli symulacyjnych pociągu logistycznego”). Osobiście należę do grupy inżynierów dla których właściwym jest określenie „weryfikacja”. Tu nie oczekuje ustosunkowania się Autora, zostawiam do rozstrzygnięcia przez Doktoranta, przedstawiam tylko swoje stanowisko w tej kwestii, aby zasygnalizować tę kwestię.

D. Podsumowanie recenzji i wniosek końcowy.

Uważam, że praca dotyczy ciekawych, aktualnych i istotnych problemów naukowych i technicznych z obszaru budowy i eksploatacji maszyn oraz transportu. **Stanowi realizację większości przyjętych celów, zarówno o charakterze poznawczym jak i aplikacyjnym. Należy stwierdzić, że podany w Rozdziale 2 cel pracy może być uznany za osiągnięty.**

Autor rozprawy, poza własnym dorobkiem (wykazany tekstem rozprawy), korzysta z dorobku zespołu, z którym współpracuje. Wzmacnia to Jego pozycję startową, jako naukowca, inżyniera.

Mgr inż. **Wojciech Paszkowiak** wykazał, że jest przygotowany do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w stosowanej ustawie i może być dopuszczona do publicznej obrony.

E. Wniosek o wyróżnienie rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska nt.: „Kinematyka i dynamika automatycznego pociągu logistycznego” Autor: mgr inż. Wojciech Paszkowiak, według recenzenta spełnia warunki wniosku o wyróżnienie.

Praca odznacza się oryginalnością zastosowanych metod i narzędzi badawczych poprzez sformułowanie problemu badawczego: oprócz opracowania modelu matematycznego pociągu logistycznego uwzględniającego zjawiska dynamiczne i kinematyczne występujące podczas jazdy, sformułowano jako poszukiwanie odpowiedzi na pytanie czy możliwe jest opracowanie algorytmu sterowania, który zapewni bezkolizyjny przejazd pociągu logistycznego przez zamknięty korytarz transportowy.

Praca ma wyjątkowe walory poznawcze, użytkowe i potencjał wdrożeniowy wynikające z podjętej tematyki rozprawy, a w ramach jej zrealizowane przez Doktoranta badania symulacyjne z zakresu kinematyki i dynamiki poparte eksperymentem, wpisujące się w szerszej obecnie występującą tendencją łączenia tych badań (badania poszukiwawcze) na poziomie przygotowywania założeń konstrukcyjnych oraz przegotowania pojazdów, czy zespołów pojazdów do ruchu zautomatyzowanego.

Praca zawiera usystematyzowaną wiedzę na temat: opracowanie modeli matematycznych pociągu logistycznego, zaprojektowania algorytmu sterowania bazującego na ograniczonym zakresie informacji sensorycznej oraz przygotowania podstaw do wdrożenia automatycznego sterowania w środowisku przemysłowym. Cele te miały charakter zarówno teoretyczny, jak i aplikacyjny.

Oryginalność zastosowanych metod badawczych wynika z opracowania modeli matematycznych pociągu logistycznego, zaprojektowania algorytmu sterowania bazującego na ograniczonym zakresie informacji sensorycznej, weryfikacji eksperymentalnej oraz przygotowania podstaw do wdrożenia automatycznego sterowania w środowisku przemysłowym. Cele te miały charakter zarówno teoretyczny, jak i aplikacyjny.

Wysoki poziom merytoryczny rozprawy uzasadniony jest usystematyzowaną wiedzą Doktoranta w zakresie badań symulacyjnych z zakresu kinematyki i dynamiki popartymi eksperymentem. Utylitarna wartość pracy wskazuje także na szereg jej zalet. Opracowana metoda i jej egzemplifikacja wraz z weryfikacją dowodzą poprawności i możliwości praktycznego zastosowania, to jest do zastąpienia manualnego sterowania pociągiem logistycznym automatycznym systemem sterowania, co może znaleźć zastosowanie w rzeczywistych układach transportu wewnętrznego – cel utylitarny. Opracowana metoda pozwala na dokonanie analizy i sformułowanie najważniejszych wytycznych dotyczących prowadzenia badań symulacyjnych, uzyskania wybranych odpowiedzi kinematycznych i dynamicznych zespołu pojazdów dla zróżnicowanych warunków eksploatacji oraz sformułowanie wynikających z tych badań wniosków merytorycznych.

Wnioskuje o wyróżnienie rozprawy doktorskiej nt.: „Kinematyka i dynamika automatycznego pociągu logistycznego” Autor: mgr inż. Wojciech Paszkowiak.



Dariusz Więckowski