

Kielce, 21.03.2025 r.

dr hab. inż. Rafał Jurecki, prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce

RECENZJA

pracy doktorskiej **mgr inż. Michała Brzozowskiego**

pt.: „**Planowanie ruchu samochodu autonomicznego z zastosowaniem modeli dynamiki**”

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej jest pismo nr W-1/24/2025 z dnia 14 stycznia 2025 r. dostarczone pocztą 29 stycznia 2025 r. z jakim zwróciła się Przewodnicząca Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Uniwersytetu Bielsko - Bialskiego dr hab. inż. Dorota Pawlus, prof. UBB. Związane jest ono z Uchwałą nr 2/1/2024/2025 Komisji Doktorskiej z dnia 14 stycznia 2025 r., dotyczące wyznaczenia dr hab. inż. Rafała Jureckiego, prof. PŚk na recenzenta pracy doktorskiej w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

Promotorem pracy doktorskiej jest dr hab. inż. Krzysztof Parczewski, prof. UBB, zaś promotorem pomocniczym rozprawy jest dr hab. inż. Łukasz Dąg, prof. UBB

1. **Ogólna charakterystyka pracy**

Rozprawa doktorska pod wymienionym tytułem została przedstawiona do oceny w formie zwartej opracowania. Opiniowana praca zawiera 176 stron i składa się z 9 numerowanych rozdziałów. Na początku pracy zamieszczono wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, na końcu pracy doktorant zamieścił spis literatury, która zawiera 121 pozycji, streszczenia po polsku i angielsku oraz załączniki.

Wybór tematu rozprawy został trafnie dobrany z zarówno teoretycznego, jak i utylitarnego punktu widzenia. Zagadnienia związane z pojazdami autonomicznymi oraz sterowaniem ich ruchu, stanowią bardzo ważny element podejmowanych na całym świecie badań. Pojazdy i systemy wspomagania działania kierowcy, w jakie są one wyposażane, są bardzo często analizowane za pomocą symulacji. Z tego też powodu bardzo ważne są w tym zakresie zagadnienia związane z jakością symulacji i informatyczną „sprawnością” całego procesu analizowania danych oraz późniejszym działaniem układów regulacji w rzeczywistych obiektach. Ponieważ w nowoczesnych pojazdach wyposażonych w dużą gamę różnych czujników, systemów analizujących dane i elementów wykonawczych, występuje potrzeba analizy dużej ilości danych w jak najkrótszym czasie w celu zapewnienia ewentualnej szybkiej odpowiedzi systemu, więc podejmowanie takiej tematyki jest w pełni uzasadnione. Szczególnie jest to ważne w pojazdach autonomicznych, których ruch zależy od skomplikowanych algorytmów i zaawansowanych systemów sterowania.

Rozprawa doktorska poświęcona jest ważnym i bardzo ciekawym, zagadnieniom związanym z bezpieczeństwem w ruchu drogowym, szczególnie w aspekcie modelowania i sterowania ruchu nowoczesnych pojazdów wyposażonych w systemy wspomagające pracę kierowców, pojazdami autonomicznymi.

W związku z podejmowanymi działaniami zmierzającymi do znaczącej redukcji wypadków i liczby zabitych, wprowadzania inteligentnych pojazdów, realizujących określone zadania w sytuacjach awaryjnych zamiast kierowcy, konieczna jest świadomość w zakresie poprawności ich działania, ograniczeń technicznych systemów akwizycji danych, sposobów analizowania i modelowania danych oraz działania systemów wykonawczych.

Z tego powodu podjęcie przez doktoranta tematyki rozprawy związanej z pojazdami autonomicznymi, w zakresie planowania można uznać za w pełni trafne i interesujące. Możliwość dokonania oceny efektywności różnych matematycznych modeli pojazdów do celu sterowania ruchu pojazdu autonomicznego w oparciu o wybrane parametry jest poważnym zagadnieniem badawczym.

2. Struktura i zakres rozprawy

Jak już wcześniej wspomniano praca została podzielona na przejrzyste, dobrze podzielone pod względem treści rozdziały.

Na początku przedstawiono wykaz najważniejszych oznaczeń i skrótów oraz dość szczegółowy **Spis treści**. Następnie zaprezentowano w pracy rozdział pierwszy zatytułowany **Wprowadzenie do problematyki ruchu pojazdów autonomicznych**, w którym autor w oparciu o wybrane dane literaturowe scharakteryzował szczegółowo etapy procesu planowania ruchu samochodu z uwzględnieniem modelu dynamiki pojazdu. Wskazano krótko na stosowane w pojazdach czujniki dostarczające informacji do systemu oraz dokonano ich podziału. Rozdział drugi **Przegląd literatury dotyczącej modelowania dynamiki pojazdów** obejmuje charakterystykę różnych modeli pojazdów wykorzystywanych w symulacjach komputerowych. Autor krytycznie odniósł się do możliwości ich stosowania w różnych zagadnieniach związanych z dynamiką ruchu pojazdów biorąc pod uwagę zarówno poziom szczegółowości modelu, jak i ich efektywność numeryczną. Rozdział trzeci **Cel i zakres pracy** wskazuje na cele pracy oraz określa tezę pracy. Autor wskazuje na różne modele pojazdu jakie będą analizowane w pracy oraz szczegółowy zakres prowadzonych symulacji i analiz. Rozdział 4 zatytułowany **Sformułowanie modeli dynamiki pojazdu** zawiera opis założeń modeli rozpatrywanych w pracy. W pracy bardzo szczegółowo omówiono procedurę opracowywania modeli o różnej liczbie stopni swobody i szczegółowo opisano równania matematyczne. W rozdziale wskazano na opracowaną w środowisku Delphi aplikację Vehicle Dynamics wykorzystaną do oceny modeli. umożliwiającą modelowanie dynamiki pojazdu z użyciem wszystkich sformułowanych w pracy modeli. W rozdziale piątym pracy **Badania wpływu warunków atmosferycznych na widoczność opisano przeprowadzone z użyciem lidar** opisano zrealizowane badania eksperymentalne mające na celu określenie ograniczeń tych czujników wynikających z ich stosowania w różnych warunkach atmosferycznych. W rozdziale przedstawiono autorskie stanowisko do badania ewentualnego wpływu opadu atmosferycznego deszczu i śniegu na uzyskiwane wyniki detekcji. Rozdział szósty **Weryfikacja i validacja modeli dynamiki** obejmuje bardzo ważne zagadnienie związane z oceną przydatności i poprawności sformułowanych modeli dynamiki pojazdu na podstawie porównania wyników własnych symulacji odniesionych do symulacji zrealizowanych w oparciu o oprogramowanie CarSim. Zdefiniowano parametry pojazdu i otoczenia użyte w symulacji oraz określono szczegółowo kryteria określające ewentualne błędy wyników. Rozdział siódmy zatytułowany „Wybór modelu dynamiki” zawiera opis sposobu oceny omawianych wcześniej modeli pod względem ich efektywności numerycznej oraz zgodności

zakładanych trajektorii ruchu z prowadzonymi symulacjami. W szczegółowy sposób zaprezentowano wyniki prowadzonych analiz w zakresie szybkości analiz, ich poprawności, wpływu różnych czynników np. dodatkowej masy skupionej, przyczepności kół. Rozdział ósmy opisuje podejmowane zagadnienie dotyczące **Planowania ruchu samochodu autonomicznego**. Autor prezentuje wyniki obliczeń dotyczących: manewru intensywnego hamowania (hamowanie awaryjne) z zastosowaniem modelu o 5 stopniach swobody oraz realizacji trasy przejazdu z zastosowaniem modelu o 3 stopniach swobody. W pracy analizowana jest bezpieczna prędkość, której wartość może się zmieniać w zależności od współczynnika przyczepności oraz efektywnego zasięgu czujników. W zakresie aproksymacji trasy do ścieżki wykorzystano modele 3 DoF i 5 DoF. Wyznaczono kąt skrętu kół, który był określany kilkoma metodami. Oprócz szczegółowego zapisu matematycznego zastosowanych metod, przedstawiono wizualizację aproksymacji trasy, określono błędy względne aproksymacji. W pracy opisano próby zwiększenia jakości aproksymacji, dla których dokonano krytycznej oceny zastosowanej metody. Opisano i zweryfikowano algorytmy geometryczne stosowane do wyznaczania przebiegu kąta skrętu kół przednich wskazano na zakładanych trasach na różnice dla poszczególnych metod. Rozdział dziewiąty zawiera **Podsumowanie i wnioski**, zawiera syntetyczne przedstawienie pracy z podziałem na rozdziały, będące w początkowej części niejako streszczeniem zakresu pracy doktorskiej. W dalszej części podsumowania przedstawiono wnioski wynikające z realizowanej pracy dotyczące Wskazano również na końcowe wnioski będące zwieńczeniem opisywanych w dysertacji symulacji i analiz. Określono prace jakie powinny być prowadzone w tej tematyce w przyszłości.

3. Komentarze i inne uwagi dotyczące tekstu pracy

Recenzowana praca jest przemyślana pod względem strukturalnym. W trakcie czytania pracy można było napotkać nieliczne błędy literowe, stylistyczne, skróty myślowe, których z reguły nie da się uniknąć w tak dużym opracowaniu, które jednak nie wpływają na ocenę merytoryczną pracy doktoranta.

„**Spis treści**” jest czytelny i przedstawia poprawnie dość rozbudowaną strukturę rozprawy. Dalej zaprezentowano spis skrótów, akronimów i oznaczeń, wraz z jednostkami oraz zakresem ich stosowania. We **Wstępie** przedstawiono dość krótko zagadnienia związane z poziomami autonomiczności pojazdów, wskazano na problemy pojawiające się we wdrażaniu nowoczesnych technologii w tym zakresie oraz w skrótovej formie przedstawiono zagadnienia podejmowane w dysertacji. Rozdział pierwszy „**Wprowadzenie do problematyki ruchu pojazdów autonomicznych**” zawiera omówienie etapów określania trajektorii ruchu. Na stronie 14₁₆ autor użył niezręcznego stwierdzenia „Jak wskazano powyżej (punkt 3)...”. Powinno się raczej użyć słowa „wcześniej”, gdyż omówienie tego punktu zawarto na stronie poprzedniej. Dane zawarte w tabeli 1.2 wymagają komentarza. W zakresie zasięgu działania podawanie takiej klasyfikacji, bez określenia w sposób ilościowy co znaczy „średni, długi czy krótki” jest nie do końca miarodajne. Podobna uwaga dotyczy wskazania odporności czujników na niesprzyjające warunki atmosferyczne. Dopiero na następnych stronach doktoratu można uzyskać pewne ilościowe wartości charakterystyczne dla różnych czujników i omówienie różnych zagrożeń wynikających z ich wykorzystania w różnych warunkach pogodowych.

Rozdział drugi „**Przegląd literatury dotyczącej modelowania dynamiki pojazdów**” zawiera bogaty opis modeli matematycznych opisujących dynamikę ruchu pojazdu od

najprostszych po bardziej rozbudowane. Na początku omówiono w sposób bardzo szczegółowy model płaski pojazdu tzw. rowerowy o 3 stopniach swobody. Rozpisano równania ruchu, wyjaśniono oznaczenia, zbieżne z zamieszczonym schematem modelu. W podrozdziale 2.2 „**Modele o większej złożoności**” scharakteryzowano dość ogólnie inne, bardziej złożone modele opisywane w literaturze o 5, 9 czy 10 stopniach swobody, wskazując jednocześnie na ich zalety i wady. Szkoda, że w tym zakresie pracy doktorant nie przedstawił niektórych struktury modeli za pomocą czytelnych schematów. Biorąc pod uwagę ich większe skomplikowanie, mogło to być znacznie czytelniejsze dla czytelnika i uzupełniało dostępny opis tekstowy.

Rozdział trzeci „**Cel i zakres pracy**” wskazuje na cele główny i użytkowy pracy oraz określa tezę pracy. Teza jest dość ogólna. Autor w niniejszym rozdziale prezentuje zawartość pracy. Wskazuje na „sformułowanie” różnych modeli pojazdu jakie będą analizowane w pracy oraz implementowane komputerowo. Wskazywane są szczegółowe założenia. Doktorant wskazuje zakres realizowanych i opisywanych dalej w dysertacji działań, opisując je w tym miejscu jako dokonane. Ten sposób zapisu powinien być raczej stosowany w podsumowaniu lub końcowych wnioskach. W rozdziale tym zawarto szczegółowy zakres prowadzonych symulacji i analiz.

Rozdział 4 zatytułowany „**Sformułowanie modeli dynamiki pojazdu**” obejmuje prezentacji założeń i charakterystykę analizowanych modeli. Autor przedstawia dokonywane do potrzeb dysertacji przekształcenia matematyczne. Na stronie 37⁵ autor użył nieprecyzyjnego określenia cyt.: „W modelach nieuwzględniających kół...”- najprawdopodobniej zastosował skrót myślowy, powinno być raczej „nie uwzględniający ruchu obrotowego kół”. Warto wskazać powód stosowania modelu opony „brush model”. Skoro sam autor pisze, że cyt.: „Jest to analityczny model umożliwiający wyznaczenie reakcji jezdni na koła pojazdu z uwzględnieniem dużych kątów znoszenia” warto byłoby wskazać, powód założenia, że rzeczywiście tak duże kąty znoszenia są przewidywane. Sentencja ze strony 39⁵ wymaga wyjaśnienia i rozszerzenia cyt.: „Sposób ich wyznaczania jest inny niż w pracach (Grzegorzek i inni, 2003; Wnęk, 2005).” Autor powinien w tym miejscu wskazać autorowi rozpatrywane różnice. Sentencja ze strony 40² wymaga wyjaśnienia cyt.: „Przeprowadzona w pracy weryfikacja i walidacja modeli wskazują, że sposób sformułowania modeli jest prawidłowy”. W tym miejscu pracy takie sformułowanie jest niejasne, gdyż dopiero w dalszej części pracy wiadomo będzie w jaki sposób weryfikowano poprawność działania opracowanych modeli. Na rysunku 4.2 brakuje pełnych oznaczeń układów „{ }”. W rozdziale bardzo szczegółowo opisano matematycznie wszystkie modele o 10, 7, 5 i 3 stopniach swobody. Sposób prezentacji jest czytelny, pomimo że obfituje w bardzo dużą liczbę równań i przekształceń. W rozdziale przedstawiono również wykorzystywaną do analizy modeli aplikację *Vehicle Dynamics* napisaną w środowisku Delphi umożliwiającą modelowanie dynamiki pojazdu z użyciem wszystkich sformułowanych w pracy modeli. Autor oprócz prezentacji możliwości programu, jego interfejsu graficznego oraz przykładowych wyników, wskazał osoby współpracujące przy opracowaniu aplikacji i wskazał konkretnie zakres swojego udziału.

W rozdziale piątym pracy ***Badania wpływu warunków atmosferycznych na widoczność opisano przeprowadzone z użyciem lidar*** opisano własne badania eksperymentalne doktoranta. W rozdziale opisano dostępne w literaturze informacje dotyczące lidarów oraz przedstawiono autorskie stanowisko do badania wpływu opadu atmosferycznego deszczu i śniegu na uzyskiwane wyniki detekcji. W ciekawy sposób analizowano wynik detekcji widoczności znaku drogowego poprzez porównywanie liczby wykrytych pikseli, dla określonej intensywności opadu. Przedstawione wyniki są

interesujące, aczkolwiek skoro stanowisko ma możliwość symulacji opadu deszczu jak pisze autor, w zakresie $6 \div 240$ mm/h, szkoda że w tabeli 5.2 nie zaprezentowano wyników analiz dla szerszego zakresu intensywności opadów. Wskazano wykorzystanie tych wyników w dalszej części pracy.

Rozdział szósty **Weryfikacja i walidacja modeli dynamiki** obejmuje bardzo ważne zagadnienie związane z oceną przydatności do stosowania i poprawności wyników sformułowanych modeli dynamiki pojazdu. Wyniki własnych symulacji sformułowanych modeli porównano z wynikami symulacji zrealizowanych w oparciu o oprogramowania CarSim. Czytelnie zdefiniowano parametry pojazdu i otoczenia użyte w symulacji oraz określono szczegółowo kryteria określające ewentualne błędy wyników. Brak wyjaśnienia wszystkich oznaczeń stosowanych we wzorach 6.1- 6.2.

Przedstawiono na ilustracjach wyniki parametrów ruchu pojazdu dla różnych modeli dla wybranych manewrów drogowych: manewru podwójnej zmiany pasa ruchu przy prędkości pojazdu 80 km/h oraz ruchu pojazdu z uwzględnieniem zmiennego wymuszenia kąta skrętu kół przednich dla prędkości ruchu pojazdu wynoszącej 60 km/h. Na ilustracjach kolorami przedstawiono wyniki dla różnych modeli, przy czym ponieważ prezentowane charakterystyki się pokrywają trudno je odróżnić, tym bardziej, że doktorant stosuje np. kolor czerwony i bordowy. Tak jest np. na rysunkach 6.2, 6.3, 6.5 i dalej. Może warto byłoby w takim przypadku oprócz samych linii zastosować również różne znaczniki. Dopiero po zmniejszeniu zakresu osi y przez autora np. rysunki 6.4, 6.6 i dalej widoczne są różnice pomiędzy przebiegami, co ułatwia poprawną interpretację prezentowanych charakterystyk. Parametr ε_i ze strony nie zostało do końca poprawnie zdefiniowane. Można się domyślać, że wyniki różnych symulacji z użyciem modeli Autora odnoszą się do rezultatów uzyskanych podczas symulacji CarSim. Oznaczenia na osiach y rysunków 6.4, 6.6, 6.8 powinny zawierać indeksy dolne. Autor powinien się zdecydować, jaki zapis jest poprawny „ ε_i ” czy „ ε_i ” bowiem w tym samym podpisie np. na rysunkach 6.6, 6.8 można zauważyć niekonsekwencje. Zamiast np. „Rys. 6.6 Zestawienie obliczonych ε_i różnic a) kąta odchylenia $\varepsilon\psi$ pojazdu b) prędkości kątowej odchylenia $\varepsilon\dot{\psi}$ pojazdu” (strona 80), powinno być albo „Zestawienie obliczonych ε_i różnic a) kąta odchylenia ψ pojazdu b) prędkości kątowej odchylenia $\dot{\psi}$ pojazdu” albo „Zestawienie obliczonych a) różnic kąta odchylenia pojazdu $\varepsilon\psi$ b) różnic prędkości kątowej odchylenia pojazdu $\varepsilon\dot{\psi}$ ”. W tym zakresie należy wskazać jeszcze jedną niekonsekwencję związaną ze stosowaniem pojęcia „różnica”. Na stronie 74 te oznaczenia już definiowano i trudno znaleźć powód zmiany przez autora stosowanego nazewnictwa. Podobnie, opisy tabel 6.1 i 6.2 i dalej, nie są zbieżne ze zdefiniowanymi parametrami na stronie 74, gdzie definiowano błędy (a nie różnice). Autor sam zresztą w tekście pod wspomnianą tabelą str. 83¹⁵ używa pojęcia „błędy”. Podobne uwagi dotyczą też opisów wykresów w rozdziale 6.1.2. W odniesieniu do prezentowanych ilustracji wskazane byłyby trochę szersze opisy i komentarze. W odniesieniu do rysunku 6.14b wskazany byłby komentarz z jakiego powodu uzyskana w symulacjach charakterystyka nie ma równomiernego przebiegu? W rozdziale 6.2 opisano sposób walidowania wyników symulacji uzyskanych z użyciem własnych modeli z rzeczywistymi wynikami pomiarów opisanymi w literaturze. Wskazano na warunki próby i zaprezentowano uzyskane wyniki. Końcowe podsumowanie wyznaczonych błędów zestawiono w czytelnych tabelach.

Rozdział siódmy zatytułowany **Wybór modelu dynamiki** zawiera opis sposobu oceny omawianych wcześniej modeli pod względem ich efektywności numerycznej oraz odwzorowania rzeczywistych właściwości kinematycznych i dynamicznych pojazdu. W tabelach przedstawiono uzyskane czasy symulacji z wykorzystaniem

modeli, przy zakładanym kroku całkowania. Interesujące wyniki dotyczą oceny długości drogi pokonywanej w czasie realizowanych obliczeń, co ma stosunkowo niewielkie znaczenie podczas prostych symulacji realizowanych na komputerze, ale szczególnie istotne może być w zagadnieniach sterowania pojazdów autonomicznych. Innym ważnym analizowanym zagadnieniem jest odwzorowanie rzeczywistych właściwości kinematycznych i dynamicznych pojazdu. Jest to w pewnym stopniu kontynuacja tematyki związanej z określaniem błędów modeli. W tym przypadku założono jako znane pewne parametry ruchu pojazdu, tor ruchu bazujący na normach ISO odwzorowujący manewry: podwójnej zmiany pasa ruchu przy różnych prędkościach jazdy oraz ruchu po okręgu ze stałą i zmienną prędkością. Dokonano ciekawej oceny stosowanych modeli ze względu na dodatkową masę skupioną umieszczoną w pojeździe, analizowano wpływ współczynnika przyczepności na działanie modelu 5 DoF i 10DoF. Na rysunku 7.5 ze strony 103 oznaczenia liczbowe na lewej osi y powinny mieć dodatkową wartość po przecinku, w innym przypadku trudno określić konkretną wartość liczbową. Przedstawiono ciekawą analizę porównawczą różnych modeli, przedstawiono wiele ilustracji wskazujących na różnice w trajektorii ruchu symulowanych pojazdów. Na końcu rozdziału autor w oparciu o uzyskane wcześniej wyniki, wybrał do dalszych prac 2 modele. W tym miejscu należy zwrócić uwagę na bardzo zaawansowaną, konsekwentnie prowadzoną analizę co dobrze świadczy o dobrym przygotowaniu naukowym doktoranta. Wyniki analiz zaprezentowano na czytelnych wykresach, w przypadku gdy różnice dla stosowanych modeli były niewielkie, na wykresach stosowano miejscowe powiększenia. Ostatecznie w tabeli 7.4 przedstawiono końcowe, czytelne porównanie analizowanych modeli, wskazując na ich pozytywne i negatywne cechy.

Rozdział ósmy opisuje zagadnienie związane z **Planowaniem ruchu samochodu autonomicznego**. Rozdział obejmuje wyniki obliczeń symulacyjnych dotyczących: manewru intensywnego hamowania (hamowanie awaryjne) z zastosowaniem modelu o 5 stopniach swobody oraz realizacji trasy przejazdu z zastosowaniem modelu o 3 stopniach swobody. Realizację trasy, które jest dość złożonym zagadnieniem podzielono na zadania. W analizie manewru intensywnego hamowania stosowano model o 5 stopniach swobody uzupełniony o możliwość uwzględniania współczynnika rozdziału sił hamowania. W pracy analizowana jest bezpieczna prędkość, której wartość może się zmieniać w zależności od współczynnika przyczepności oraz efektywnego zasięgu czujników. Wykazano możliwość stosowania modelu 5 DoF w sterowaniu procesem hamowaniem, przy czym bezpieczna prędkość określona została na poziomie 55 km/h.

W zakresie aproksymacji trasy do ścieżki również wykorzystano modele 3 DoF i 5 DoF. Wyznaczono kąt skrętu kół, który był określany kilkoma metodami, dla których opisano trzy algorytmy. Jeden wyznaczał kąt skrętu w zależności od krzywizny ścieżki, inny algorytm bazował na opisie kąta odchylenia nadwozia i prędkości pojazdu oraz odległości między najbliższym punktem ścieżki a pojazdem oraz trzeci algorytm dobierał kąt skrętu, tak aby realizował docelowy punkt na ścieżce. Oprócz szczegółowego zapisu matematycznego zastosowanych metod, przedstawiono wizualizację aproksymacji trasy, określono błędy względne aproksymacji. W pracy opisano próby zwiększenia jakości aproksymacji, dla których dokonano krytycznej oceny zastosowanej metody. W bardzo szczegółowy sposób opisano również algorytmy geometryczne stosowane do wyznaczania przebiegu kąta skrętu kół przednich. Dokonano ich weryfikacji na zakładanych trasach oraz wskazano na różnice dla poszczególnych metod.

Rozdział dziewiąty zawiera „**Podsumowanie i wnioski**”, zawiera syntetyczne przedstawienie pracy z podziałem na rozdziały, będące w początkowej części niejako streszczeniem zakresu pracy doktorskiej. W dalszej części podsumowania przedstawiono wnioski wynikające z realizowanej pracy dotyczące oceny sformułowanych modeli dynamiki pojazdu pod kątem zastosowania w planowaniu ruchu samochodu autonomicznego. Wskazano również na końcowe wnioski będące zwięźleniem opisywanych w dysertacji symulacji i analiz. Określono prace, jakie zaplanowano w tej tematyce do realizacji w przyszłej pracy naukowej doktoranta.

Ocena końcowa

Rozprawę doktorską mgr inż. Michała Brzozowskiego pomimo wskazanych uwag, oceniam pozytywnie. Ma ona ważne walory poznawcze i użytkowe. Doktorant nie tylko wykazał się bardzo dobrą znajomością modeli pojazdów o różnym stopniu skomplikowania, lecz również wysokimi umiejętnościami w zakresie realizacji badań symulacyjnych. Na uwagę zasługuje umiejętność krytycznej oceny uzyskanych wyników. Wysoko można ocenić umiejętność prowadzonych analiz komputerowych, i wielokryterialnej oceny uzyskiwanych wyników.

Umiejętności doktoranta świadczą o jego dobrym zaawansowaniu naukowym i jego dojrzałości naukowej. Stanowi to podstawę do stwierdzenia, że mgr inż. Michał Brzozowski ma bardzo dobre przygotowanie merytoryczne i warsztatowe do dalszej pracy naukowej.

Przyjęte przez Doktoranta cele i zakres badań został zrealizowany, a wyznaczona przez niego teza potwierdzona. Pracę uważam za bardzo ciekawą z punktu widzenia poznawczego. Jednocześnie należy wskazać na aspekt praktyczny pracy.

Stwierdzam, że doktorant mgr inż. Michał Brzozowski w rozprawie doktorskiej, zatytułowanej **Planowanie ruchu samochodu autonomicznego z zastosowaniem modeli dynamiki** wykazał się wiedzą i umiejętnościami umożliwiającymi prowadzenie badań naukowych.

Oceniana praca jest samodzielnym rozwiązaniem problemu badawczego, stanowi wkład w postęp wiedzy, dyscypliny Inżynieria Mechaniczna i spełnia wymagania określone przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U z 2017, poz. 1789 ze zm.), Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z 30 stycznia 2018 r., poz. 261 ze zm.) oraz Ustawę z dnia 20 lipca 2018 – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r., poz. 1668).

W związku z tym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, Uniwersytetu Bielsko Bialskiego o przyjęcie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Michała Brzozowskiego i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Recenzent

dr hab. inż. Rafał Jurecki, prof. PŚk

