

Warszawa, 30.01.2024 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.

**„Opracowanie i badania symulacyjne algorytmu
sterowania skrętem kół w samochodzie 4WS”**

Autor: mgr inż. **Jakub Jan FARYŃSKI**

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA im. Jarosława Dąbrowskiego,
Wydział Inżynierii Mechanicznej

A. Ogólna ocena rozprawy doktorskiej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 188 stron, w tym 141 stron to tekst rozprawy, 39 stron stanowią załączniki, na 17 stronach zamieszczono spis literatury, zawierający 205 pozycji. W pracy zamieszczono streszczenie w języku polskim i angielskim, a także spisy: wybranych oznaczeń i skrótów, rysunków oraz tabel.

Rozprawę podzielono na 5 głównych rozdziałów, oprócz tego streszczenie, spis literatury, oraz 7 załączników. Rozdziały główne dzielone są na różną liczbę podrozdziałów drugiego i trzeciego (wyodrębnione w spisie treści) stopnia.

Przedstawiona do recenzji praca dotyczy, w sensie ogólnym, opracowania algorytmu sterownika układu wspomagania kierowcy oraz pojazdu autonomicznego 4WS w procesie zmiany pasa ruchu i związanych z tym badaniami symulacyjnymi.

Problem badawczy sformułowano jako opracowanie algorytmu dotyczącego sterowania w fazie wykonawczej manewru zmiany pasa ruchu. Doktorant postawił hipotezę: „Algorytm sterowania opracowany dla sterownika pojazdu autonomicznego może być również wykorzystany, po pewnych jego modyfikacjach, w sterowniku wspomagającym kierowcę pojazdu klasycznego”. Doktorant zaproponował metodologię obejmującą kwestie dotyczące syntezy algorytmu sterowania oraz jego badań.

Doktorant w wyniku przeprowadzonej analizy stanu wiedzy przyjął takie rozwiązanie postawionego problemu sterowania, aby uzyskane algorytmy były efektywne, realizowalne w czasie rzeczywistym i dawały możliwość ich aplikacji. W związku z powyższym z góry założył, że realizowany algorytm dotyczyć będzie klasycznej koncepcji samochodów 4WS, czyli takiej, że skręt kół tylnych wyznaczany jest na podstawie skrętu kół przednich z wykorzystaniem odpowiedniej charakterystyki przełożenia zależnej od prędkości. Charakterystyka ta zostanie przyjęta jako stała, opracowana przez producenta samochodu, a algorytm będzie się odnosił do konkretnego pojazdu (również autonomicznego) i w swojej

wersji podstawowej będzie uwzględniał parametry techniczne konkretnego samochodu. Dla zapewnienia działania algorytmu w czasie rzeczywistym, algorytm ma wykorzystywać formuły analityczne.

Jako główny cel pracy Autor przyjął: opracowanie i badanie metodami symulacyjnymi efektywnego, i opartego na formułach analitycznych algorytmu automatycznego sterowania skrętem kół pojazdu 4WS funkcjonującego w klasycznej strukturze sterowania samochodem 4WS, który zapewniałby proces zmiany pasa ruchu i stabilizację ruchu w szerokim zakresie prędkości.

Wymienione wcześniej poszczególne rozdziały pracy można przypisać do dwóch głównych części pracy:

- I. rozdziały 1 – do części wstępnej,
- II. rozdziały 2, 3, 4 i 5 – do części zasadniczej (właściwej) pracy.

W części wstępnej dokonano wprowadzenia do problematyki samochodów 4WS, przedstawiona została geneza rozprawy. W rozprawie zamieszone jest studium literaturowe dotyczące sterowania samochodów 4WS oraz wnioski z przeprowadzonej analizy pozycji literaturowych. Następnie Dyplomant opisał koncepcję rozprawy.

W części zasadniczej w kolejnych rozdziałach przedstawiono:

- Model matematyczny samochodu 4WS ze sterownikiem zmiany pasa ruchu, koncepcję układu sterowania. Dyplomant przedstawił wprowadzenie do modelowania ruchu pojazdu, przedstawił propozycję modelu rowerowy samochodu 4WS, zaproponował transmitancyjną postać modelu i dokonał analizy przyjętego modelu. Następnie zaproponował model sterownika z algorytmem 4WS uwzględniający: koncepcję sterownika, model generatora sygnałów referencyjnych, model regulatorów, algorytm funkcjonowania sterownika, model układu pomiarowego i model sterowanego pojazdu 4WS.
- Identyfikację charakterystyk i parametrów modelu matematycznego obejmującą: koncepcję identyfikacji, identyfikację *online* i *offline*.
- Badania symulacyjne zawierające: koncepcję badań symulacyjnych, wstępne badania symulacyjne dotyczące modelu 4WS ze sterownikiem zmiany pasa ruchu, badania symulacyjne związane z analizą wrażliwości.

W ostatnim rozdziale – szóstym – podsumowano pracę i przedstawiono perspektywy dalszych prac badawczych.

B. Charakterystyka treści pracy

B1. Rozdziały

Rozdział 1 („WSTĘP”). Autor podkreśla, że samochód jest skomplikowanym układem dynamicznym, funkcjonującym w strukturze systemu Kierowca-Pojazd-Droga. Doktorant przedstawia genezę, określa obszary badawcze oraz przeprowadza analizę literatury. Umożliwiło to wprowadzenie w treści rozprawy i ułatwiło sformułowanie: celu, hipotezy, metodologii i zakresu realizacji rozprawy doktorskiej.

Rozdział 2 („Model matematyczny samochodu 4ws ze sterownikiem zmiany pasa ruchu”). Autor zaproponował układ sterowania samochodem autonomicznym składający się z trzech głównych członów: sterownik, układ pomiarowy oraz pojazd 4WS. Zdefiniował cele pośrednie:

- a) modelowania ruchu pojazdu:
 - model matematyczny pojazdu umożliwiający opisanie trajektorii ruchu przy wykorzystaniu równań. Modele dynamiki ruchu samochodu pozwalające na przeprowadzenie symulacji w konkretnych warunkach.
 - zagadnienie transmitancji,
- b) model sterownika:
 - koncepcja sterownika,

- algorytm funkcjonowania sterownika,
- modele: generatora sygnałów referencyjnych, regulatorów, układu pomiarowego, sterowanego pojazdu 4WS.

Rozdział 3 („Identyfikacja charakterystyk i parametrów modelu matematycznego”). Autor prezentuje koncepcję identyfikacji, wyróżniając jej dwa typy: identyfikacja *online* i identyfikacja *offline*. Omawia ich cechy i przeznaczenie. Precyzyjnie przedstawia identyfikację poszczególnych parametrów.

Rozdział 4 („Badania symulacyjne”). Autor przedstawił koncepcje badań symulacyjnych. Podzielił je na badania podstawowe mające pokazać, że struktura sterownika, jest odpowiednia oraz badania wrażliwości: ze względu na dynamikę układu kierowniczego i ze względu na zakłócenia sygnałów mierzonych w układzie (czujnikach). Doktorant zrealizował wstępne badania symulacyjne dotyczące modelu 4WS ze sterownikiem zmiany pasa ruchu i badania symulacyjne służące analizie wrażliwości.

Rozdział 5 („Podsumowanie i uwagi końcowe”). Autor rozprawy ocenił uzyskane wyniki i podsumował pracę z punktu widzenia przyjętych założeń. Realizacja tematu pracy pozwoliła na osiągnięcie zakładanego celu pracy, którym było opracowanie i badanie metodami symulacyjnymi efektywnego, i opartego na formułach analitycznych algorytmu automatycznego sterowania skrętem kół pojazdu 4WS funkcjonującego w klasycznej strukturze sterowania samochodem 4WS, który zapewniałby proces zmiany pasa ruchu i stabilizację ruchu w szerokim zakresie prędkości oraz na potwierdzenie hipotezy, że algorytm sterowania opracowany dla sterownika pojazdu autonomicznego może być również wykorzystany, po pewnych jego modyfikacjach, w sterowniku wspomagającym kierowcę pojazdu klasycznego. Doktorant potwierdza, że przeprowadzone badania pokazują, iż opracowany algorytm działa poprawnie jako element wspomaganie kierowcy i w sterowniku pojazdu autonomicznego. Badania wrażliwości wykazały, że przy pewnych występujących niedokładnościach modeli jest on w stanie poprawnie funkcjonować, a przy niektórych wymaga udoskonalenia. Kompilacja poszczególnych wariantów badań wrażliwości pozwoliła Doktorantowi na stwierdzenie, że nawet w przypadku zaistnienia kilku czynników mogących zaburzać funkcjonowanie algorytmu jest on w stanie sobie poradzić. Z zastrzeżeniem, że nie będą one zbyt rozległe (z wyjątkiem offsetu). Innymi słowy nie jest on mocno wrażliwy na jednoczesne występowanie poszczególnych niedokładności w danym zakresie (dotyczy bardzo niewielkich odchyleń).

Doktorant przedstawił perspektywy dalszych prac badawczych:

- przedstawiony algorytm całościowo powinien rozwiązywać rozpatrywany w rozprawie problem, zarówno dla fazy wykonawczej, jak i przygotowawczej,
- opracowanie algorytmu dostosowującego wartość parametrów nastaw regulatorów do sygnału sterującego zadawanego przez kierowcę,
- opracowanie elementu filtrującego, niedopuszczającego do występowania przesunięć względem zera (offsetu) w układzie pomiarowym,
- rozszerzenie badań w zakresie wariantów badań wrażliwości,
- poszerzenie badań w zakresie współczynników odporności na znoszenie kół przednich i tylnych w modelu rowerowym – dokładne ich określenie dla danego pojazdu i opon w szerokim zakresie prędkości, i różnym rozkładzie mas, aby można było określić ich stałą charakterystykę zmian w modelu rowerowym.

Doktorant zwraca uwagę, że należy rozważyć czy zastosowana koncepcja sterowania będzie również dobrze funkcjonowała, gdy samochód jedzie ruchem nieustalonym.

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

Opracowane w ramach pracy i dla potrzeby jej realizacji procedury Autor zamieścił w załącznikach do pracy. Zawarte są tam m. in.: wyprowadzenie równań ruchu modelu rowerowego 4WS i jego postaci transmitancyjnej, opisy aparatury pomiarowej czy też testowanie procedur numerycznych (pozwolą na zobrazowanie dlaczego z danej procedury numerycznej autor korzysta podczas wykonywania symulacji w programie Matlab&Simulink).

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. Autor posługuje się poprawnym językiem. Treść poszczególnych rozdziałów jest ilustrowana schematami, tabelami i rysunkami. Bogaty materiał ilustracyjny w zasadniczej części pracy to oryginalny materiał autorski wzbogacający treść rozprawy i ułatwiający jej zrozumienie.

Układ rozprawy metodologicznie jest poprawny.

Uwagi o charakterze redakcyjnym 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 sformułowano jako rozwiązanie postawionego problemu sterowania, aby uzyskane algorytmy były efektywne, realizowalne *online* (w czasie rzeczywistym) i dawały możliwość ich aplikacji przy obecnym poziomie techniki.

Pracę rozpoczyna ogólny wstęp wprowadzający czytelnika w problematykę dynamiki ruchu pojazdów drogowych z czterema kołami sterowanymi (4WS – *Four Wheel Steering*). Na podstawie studium literaturowego sformułowano zostają cel i zakres pracy oraz hipoteza badawcza. Podstawę syntezy algorytmu sterowania stanowi tzw. model rowerowy opisujący dynamikę poprzeczną kierowanego samochodu. W pracy dokonano linearyzacji i odpowiednio przekształcono w formę transmitancyjną. Zredukowane postacie transmitancji pozwoliły opracować analityczne formuły generatora sygnałów referencyjnych oraz regulatorów występujących w algorytmie sterownika.

Charakter pracy i przyjęta metodologia badawcza wymagały opracowania wirtualnego modelu obiektu sterowania służącego do badania algorytmu w testach symulacyjnych. Model ten obejmuje opis dynamiki układu kierowniczego i układu jezdnego. Parametry niezbędne do modelu mechanizmu układu kierowniczego zaczerpnięto z literatury, natomiast parametry dotyczące układu jezdnego poddano identyfikacji (stosując w próbach drogowych typowy samochód 2WS /*Two Wheel Steering*/ z uwagi na brak rzeczywistego pojazdu 4WS).

Pozyskane i zidentyfikowane parametry modelu wprowadzono do opracowanego algorytmu układu sterowania oraz modelu dynamiki ruchu wirtualnego samochodu 4WS. Symulacje dotyczące procesu zmiany pasa ruchu przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania Matlab&Simulink. Opracowany układ sterowania funkcjonował

poprawnie o czym świadczyły niewielkie różnice pomiędzy sygnałami referencyjnymi i mierzonymi w wirtualnym obiekcie. Tym samym można było wstępnie stwierdzić poprawność opracowania algorytmu. Algorytm sterowania poddano następnie badaniom wrażliwości realizowanych poprzez rozległe symulacje porównawcze. Przeprowadzono je z uwagi na występowanie: niedokładności parametrycznych (pomiędzy danymi przyjmowanymi w modelu, na którym bazował algorytm sterownika, a danymi wirtualnego obiektu), luzu i tarcia w układzie kierowniczym (pomijanych przy syntezy algorytmu sterowania) oraz zakłóceń w sygnałach mierzonych i dostarczanych do sterownika. Przeprowadzone badania pokazały w jakich zakresach błędów algorytm jest w stanie sobie poradzić, a w jakich wymaga udoskonalenia w ramach przyszłych prac. W ostatnim etapie sformułowano podsumowanie i wnioski oraz kierunki dalszych działań.

Autor podczas realizacji pracy wykazał się umiejętnościami przygotowania i realizacji badań modelowych oraz przygotowania eksperymentu w celu weryfikacji modelu, a także umiejętnością analizy wyników i ich przetwarzania. Wykazał się umiejętnością budowy modeli dynamiki z wykorzystaniem narzędzia Matlab-Simulink. Również wykazał się wiedzą w zakresie identyfikacji charakterystyk i parametrów modelu matematycznego.

Ocena użyteczności pracy wskazuje także na szereg jej zalet. Opracowana metoda i jej egzemplifikacja wraz z weryfikacją dowodzą poprawności i możliwości praktycznego zastosowania uzyskanego narzędzia algorytm sterowania dla sterownika pojazdu autonomicznego jak również, po pewnych jego modyfikacjach, w sterowniku wspomagającym kierowcę pojazdu klasycznego.

Opracowana metoda pozwala na dokonanie analizy i sformułowanie najważniejszych wytycznych dotyczących prowadzenia badań symulacyjnych wybranych odpowiedzi dynamicznych pojazdu i sformułowanie wynikających z tych badań wniosków merytorycznych.

Do zalet użytecznych zaliczyć należy także to, że Doktorant zbudował narzędzia, które posłużyły do oceny projektowanego algorytmu sterowania opracowanego dla sterownika pojazdu autonomicznego. Może być również wykorzystany, po pewnych jego modyfikacjach, w sterowniku wspomagającym kierowcę pojazdu klasycznego.

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.

Doktorant określa cel pracy. „Cel pracy: Opracowanie i badanie metodami symulacyjnymi efektywnego i opartego na formułach analitycznych algorytmu automatycznego sterowania skrętem kół pojazdu 4WS funkcjonującego w klasycznej strukturze sterowania samochodem 4WS, który zapewniłby proces zmiany pasa ruchu i stabilizację ruchu w szerokim zakresie prędkości.” Co to znaczy „efektywnego”. W określeniu celu pracy nie musi być ten przymiotnik, albo powinno być to wyjaśnione. Według Recenzenta „efektywność” powinna być scharakteryzowana w treści pracy.

Na stronie 42 Autor pisze „Jak pokazuje analiza literaturowa, w przypadku modelowania dynamiki ruchu pojazdu pod kątem syntezy i analizy sterowania, w modelowaniu współpracy koła z jezdnią stosuje się bardzo uproszczone modele oparte na charakterystykach liniowych.” Według mnie zbyt śmiało uogólnienie. Czy charakterystyki stosowane w modelach są liniowe, czy nie liniowe wynika z tego: jaki model budujemy, do czego ma być wykorzystywany, co chcemy osiągnąć przy pomocy modelowania itd.

Na stronie 54 i dalej Autor przedstawia zagadnienie: „Forma transmitancyjna modelu rowerowego 4WS wyraźnie pokazuje możliwość redukcji poprzez „wycięcie” członów odpowiadających za przebiegi przejściowe, a pozostawienie członów z całkowaniami.” Następnie przeprowadza proces redukcji modelu, a wyniki symulacji zamieszcza

w Załączniku 4. Proszę ustosunkowanie się jakie są lub mogą być skutki, nie od strony transmitancji, ale zachowania pojazdu na drodze w ruchu rzeczywistym, a nie symulacyjnym.

Na stronie 76 Doktorant pisze: „Zakładając, że pojazd skręca w lewo podczas zmiany pasa ruchu należy **umieścić punkt P bliżej tylnej osi pojazdu**. Dla ułatwienia obliczeń umiejscowienie środka nacisku przyjęto w odległości $0,5LB$ od środka masy.” Z czego to wynika?

Na stronie 84 i 85 Autor bardzo szczegółowo opisuje wyznaczenie położenia środka masy samochodu. Jest to podstawowa, oczywista wiedza z zakresu mechaniki ruchu samochodu czy budowy samochodu. W pracy doktorskiej o takiej tematyce nie trzeba tak szczegółowo opisywać tego zagadnienia. Wystarczyło podać wartości parametrów położenia środka masy samochodu.

Na stronie 88 Doktorant pisze: „... nie istnieje norma dla badania pojedynczej zmiany pasa ruchu ...”. Jest to zbyt kategorię sformułowanie, wprowadzające w błąd. Taka norma istnieje: „ISO 14791 Road vehicles — Heavy commercial vehicle combinations and articulated buses — Lateral stability test methods”. Można natomiast przyjąć, że ta norma nie ma zastosowania w przypadku zagadnień będących przedmiotem rozprawy.

Na stronie 89 Doktorant pisze: „Niestety w kilku przypadkach realizowane próby były nieudane.” Dlaczego niestety. W badaniach eksperymentalnych, szczególnie poligonowych, drogowych, należy wykonywać wiele powtórzeń testów (nawet dziesiątki czy setki w zależności od stopnia komplikacji testu), tak aby dojść do powtarzalności prób i wyników testu. Często bywa tak, że większość prób jest nieudana lub traktowana jako swoisty „trening” dla zespołu badawczego. Ale rozumiem, co Autor napisał na stronie 90, że chodziło o ograniczony czas badań.

Na stronie 123 Doktorant pisze: „Proponowane kierunki dalszych prac:

- Przedstawiony algorytm nie jest wystarczający na ten moment do tego żeby móc go zastosować w samochodzie. Chcąc całościowo rozwiązać rozpatrywany w rozprawie problem, należy go rozwiązać zarówno dla fazy wykonawczej, jak i przygotowawczej. Należałoby rozwiązać wówczas fundamentalne dla rozwoju pojazdów autonomicznych zagadnienie **podejmowania decyzji o manewrze przez pojazd autonomiczny**.”

Recenzent należy do tej grupy inżynierów, którzy uważają, że określenie „**podejmowanie decyzji**” przez pojazd autonomiczny nie jest właściwe. Decyzje może podejmować człowiek żywy, jako istota inteligentna ze zdolnością do abstrakcyjnego myślenia i mogąca tłumaczyć się ze swojego zachowania, w tym i podejmowanych decyzji. Określenie „pojazd autonomiczny podejmuje decyzję” zostało wymyślone przez dziennikarzy i marketingowców, a nie inżynierów. Niestety określenie te funkcjonuje w mediach i powszechnym obiegu. Według recenzenta właściwym określeniem jest „realizacja działania” i/lub „realizacja algorytmu”. Tę kwestię zostawiam do rozstrzygnięcia przez Autora. Natomiast dzielę się swoim stanowiskiem.

Kolejna kwestia. Skoro rozprawa dotyczy samochodów 4WS, to w proponowanych kierunkach dalszych prac powinno być coś na temat prac badawczych odnośnie do 4WS.

Poniżej zamieszczam także istotniejsze krytyczne uwagi szczegółowe dotyczące poprawności treści rozprawy:

1. Str. 13.

Zdania: „W procesie hamowania przy gwałtownym oraz silnym **naciśnięciu na pedał hamulca** (duże wymuszenie) kierowca i pasażerowie mocno odczuwają w pojeździe **efekt tego nacisku**. Natomiast przy **lekkim naciśnięciu na pedał hamulca** (małe wymuszenie) to oddziaływanie prawie w ogóle nie będzie odczuwalne.” Merytorycznie powinno się używać określeń: „intensywność hamowania (mała, duża)”, „skuteczność hamowania”, „siła nacisku na pedał” itp.

2. Str. 14.
Zdanie: „Wszystkie te elementy sprawiają, że samochód w coraz to większym stopniu staje się autonomiczny, czyli **coraz mniej wymaga realizowania pewnych czynności przez człowieka.**” Stylistycznie część zdania jest niepoprawna, można użyć np. „zastępowanie działania kierowcy ...”, „wspomaganie działania kierowcy ...” itp.
3. Str. 16.
Wiersz 10: „zagadnienie manewrowości”. Nie ma manewrowości (to żargon) jest „zwrotność”.
Wiersz 18: „własności”, powinno być „właściwości” lub „cechy”. Podobnie na stronie 17 wiersz 22.
4. Str. 17.
Zdanie: „Przykładem sterowania ręcznego może być właśnie prowadzenie pojazdu przez kierowcę, a przykładem sterowania w pełni automatycznego **prowadzenie pojazdu przez sterowniki** i układy wykonawcze występujące w pojeździe autonomicznym.” Zbyt duże uproszczenie. Sterowniki służą do sterowania układami wykonawczymi, a nie do prowadzenia pojazdu.
5. Str. 18.
Zdanie: „Powstał wtedy pierwszy prototyp pojazdu 4WS, który składał się **z dwóch złączonych przodów** Hondy Accord”. Raczej powinno być np. „...dwóch połączonych przednich fragmentów nadwozia ...”
6. Str. 21.
Wiersz 11: „... przy **dość małych** prędkościach ...”. Sformułowanie jest co najmniej niefortunne. Powinno być np. „... przy niskich wartościach prędkości ...”
7. Str. 33.
Wniosek „Problematyka sterowania samochodów 4WS jest wielowątkowa i bardzo rozległa. Dlatego **należy wybrać fragment**, który można objąć rozprawą doktorską”. Powinno być, np. „wybrać zagadnienie (zagadnienia)” lub „wytypować zagadnienie (zagadnienia)” itp.
8. Str. 41.
Wiersz 1: „...sąsiadujący pas ruchu.” Powinno być „... sąsiedni pas ruchu.”
9. Str. 42.
Zdanie: „**Jak pokazuje analiza literaturowa**, w przypadku modelowania dynamiki ruchu pojazdu pod kątem syntezy i analizy sterowania, w modelowaniu współpracy koła z jezdnią stosuje się bardzo uproszczone modele oparte na charakterystykach liniowych”. Stylistycznie powinno być np. „z analizy publikacji wynika ...” itp.
10. Str. 60.
Wiersz 6 od dołu. Zamiast „Rys. 2.17” powinno być „Rys. 2.19”.
11. Str. 71.
Zdania: „Można do tego wykorzystać czujniki **z zamieszczonego obowiązkowo** w każdym samochodzie układu ESC (Electronic Stability Control), w wielu pojazdach występujący jako ESP (Electronic Stability Program) – według nomenklatury firmy Bosch.”. Zamiast „...**z zamieszczonego obowiązkowo ...**” powinno być np. „**obowiązkowego wyposażenia**”
12. Str. 74.
Zdanie: „Przy procesie nagłego hamowania zwiększa się nacisk na koła przednie, co jest efektem działania hamulców i układu zawieszenia przy tak zwanym „nurkowaniu” pojazdu.” To jest podstawowa wiedza nie tylko dla osób zajmujących się mechaniką ruchu samochodu, ale dla kierowców. Uważam, że w pracy doktorskiej nie należy takich oczywistych kwestii opisywać.
13. Str. 75.
Wiersz 23. „... lekkie **kołysanie** pojazdu ...” to jest żargon. Poprawnie to są „przechyły”. A jeżeli już kołysanie to w cudzysłowie „kołysanie”.

- Wiersz 26. „... bardziej widoczne ...” lepiej jest „... bardziej zauważalne ...”. Podobnie wiersz 29.
14. Str. 76.
Wiersz 5. „... środkiem nacisku ...” raczej „... środkiem naporu ...”.
Wiersz 7. „...przez obszar wiatru bocznego ...” powinno być „...przez obszar działania wiatru bocznego ...”
15. Str. 80.
Zdanie: „Część z tych parametrów jest opisana w książce z danymi technicznymi samochodu jako pewne parametry nominalne.” W jakiej książce lub w jakich materiałach – odniesienie do literatury?
Wiersz 8 od dołu. „... pojazd może być **różnie załadowany**. **Załadowanie** w trakcie jazdy ...”. To jest żargon. Należy używać określeń, jak np.: „rozłożenie masy”, „rozłożenie ładunku”, „umieszczenie ładunku”, „sposób umieszczenia ładunku” itp.
16. Str. 97.
Zamiast: „Na Rys. 3.11 ...”, powinno być „Na Rys. 3.13 ...”
Podpis pod rysunkiem 3.13 – do jakich publikacji? Powinno być odniesienie.
17. Str. 105, 106.
W przypadku wzorów: 4.1 do 4.4 należało podać źródło.

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 1 problem badawczy 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. **Jakub Jan FARYŃSKI** 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.

Dariusz Więckowski