

Warszawa, 24.08.2023 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](mailto:dariusz.wieckowski@pw.edu.pl)



Recenzja do rozprawy doktorskiej n.t.

**„Wpływ wymuszeń kinematycznych i obciążeń zawieszonych pojazdów  
na ich trwałość oraz komfort i bezpieczeństwo jazdy”**

Autor: mgr inż. **Zbyszko Klockiewicz**

Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej

**A. Ogólna ocena rozprawy doktorskiej.**

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 184 stron, w tym 173 stron to tekst rozprawy, 11 stron stanowią załączniki: (dwa skrypty programu symulacyjnego oraz dwie tabele wyników), na 6 stronach zamieszczono spis literatury, zawierający 102 pozycje. W pracy zamieszczono streszczenie w języku polskim, spis skrótów oraz około 110 rysunków i 34 tabele.

Rozprawę podzielono na 9 głównych rozdziałów, oprócz tego streszczenie, spis literatury, oraz 3 różne załączniki. Rozdziały główne dzielone są na różną liczbę podrozdziałów drugiego i trzeciego (te wyodrębnione w spisie treści) oraz czwartego stopnia.

Przedstawiona do recenzji praca dotyczy, w sensie ogólnym dynamiki pojazdów samochodowych, a konkretnie badań i modelowania dynamiki pionowej zawieszonych kół jezdnych. Szczegółowa tematyka to symulacyjne badania dynamiki zawieszonych z uwzględnieniem rzeczywistych wymuszeń kinematycznych oraz interpretacja ich wpływu, wraz z uwzględnieniem zmienności obciążenia ładunkiem, na istotne kryteria oceny zawieszonych - komfort, bezpieczeństwo jazdy oraz trwałość.

Problem badawczy sformułowano jako poszukiwanie odpowiedzi na pytanie jaki jest wpływ na główne kryteria oceny zawieszenia zróżnicowanych warunków eksploatacji wyrażających się różnymi typami nawierzchni, prędkościami jazdy oraz obciążeniem ładunkiem i jak można go ocenić metodami symulacyjnymi.

Doktorant w wyniku przeprowadzonej analizy stanu wiedzy stwierdził, że pomimo, iż istnieje wiele opracowań z zakresu dynamiki pionowej to brakuje usystematyzowanej wiedzy na temat wpływu różnych warunków eksploatacji (rodzajów wymuszeń kinematycznych - zależnych od profili nierówności i prędkości jazdy oraz wartości statycznego obciążenia ładunkiem) jednocześnie na kryteria komfortu, bezpieczeństwa jazdy oraz trwałości zmęczeniowej konstrukcji pojazdu.

Jako główny cel pracy Autor przyjął określenie jakościowego i ilościowego wpływu warunków eksploatacji pojazdu na wskaźniki komfortu, bezpieczeństwa i trwałości na wstępnych etapach procesu jego projektowania z uwzględnieniem rodzaju zastosowanego modelu pojazdu.

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

- I. rozdziały 1, 2 - do części wstępnej,
- II. rozdziały 3, 4, 5, 6, 7 i 8 – do części zasadniczej (właściwej) pracy.

W części wstępnej omówiono stosowane zawieszania kół jezdnych pojazdów samochodowych ich budowę i funkcje. Opisano stan wiedzy, cele pracy i program badawczy. Po części wstępnej w rozdziale 3 określono Zadania eksperymentalne zakresów odpowiedzi dynamicznych pojazdu na eksploatacyjne wymuszenia drogowe, opisano metodykę pomiarów.

W części zasadniczej w kolejnych rozdziałach przedstawiono:

- Opracowanie (w tym implementacja programowa) generatora wymuszeń kinematycznych na podstawie gęstości widmowej mocy nierówności, opisano profile nierówności dróg ich podział, zaproponowano modelowanie właściwości filtrujących opony.
- Odtwarzanie wymuszeń kinematycznych na podstawie odpowiedzi zawieszenia uzyskiwanych w badaniach drogowych, doktorant zaproponował komputerowy model odtwarzania wymuszeń dla badań eksperymentalnych na wzbudnikach drgań Virtual Remote Parameter Control (VRPC).
- Modelowanie pojazdu badawczego w tym: modelowanie sztywności elementów sprężystych i elementów tłumiących, opracowanie metodyki wyznaczania parametrów tłumienia amortyzatora na podstawie funkcji odpowiedzi częstotliwościowych, eksperymentalne wyznaczanie parametrów zawieszenia, porównanie charakterystyk zawieszenia dla modelu liniowego i nieliniowego, model do obliczeń MES.
- Kryteria oceny zawieszenia w tym: komfort, bezpieczeństwo, trwałość zmęczeniowa elementów zawieszenia i konstrukcji nośnej.
- Badanie wpływu jakościowego i ilościowego warunków eksploatacji i typu modelu pojazdu na wskaźniki oceny zawieszenia, które zawierały: metodykę i plan badań, wyniki badań symulacyjnych, wskaźniki: dyskomfortu, bezpieczeństwa, trwałości zmęczeniowej oraz ocenę zakresu ugięć zawieszenia i wnioski z eksperymentów.

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

## **B. Charakterystyka treści pracy**

### **B1. Rozdziały**

**Rozdział 1** („*Zawieszania pojazdów samochodowych – budowa i funkcje*”). Autor dokonuje prezentacji budowy i funkcji stosowanych zawiesznień kół jezdnych pojazdów samochodowych. Zwraca uwagę na kinematykę, przenoszenie sił wzdłużnych, poprzecznych i pionowych oraz zagadnienie odpowiedzi zawieszenia, jako przetwornika wymuszenia kinematycznego.

**Rozdział 2** („*Ocena stanu wiedzy i cele pracy*”). Autor przedstawił problem badawczy, cel pracy i metodykę realizacji pracy w kontekście obecnego stanu wiedzy w tym temacie. Autor wprowadza czytelnika w problematykę, której dotyczy praca. Cel główny pracy Autor sformułował w postaci: „określenie jakościowego i ilościowego wpływu warunków eksploatacji pojazdu na wskaźniki komfortu, bezpieczeństwa i trwałości na wstępnych

etapach procesu jego projektowania z uwzględnieniem rodzaju zastosowanego modelu pojazdu". Cele pośrednie zdefiniował następująco:

a) cele metodyczne:

- implementacja generatora wymuszeń kinematycznych pozwalającego wygenerować/odtworzyć wymuszenie odpowiadające danym warunkom eksploatacji,
- opracowanie liniowych i nieliniowych modeli pojazdu, w tym modelu amortyzatora z tarciami i histerezą oraz modelu do obliczeń wytrzymałościowych MES,
- opracowanie metody doboru charakterystyk elementów zawieszenia w modelu symulacyjnym pozwalających osiągnąć zadowalający poziom odtworzenia własności dynamicznych pojazdu,

b) cele merytoryczne:

- opracowanie metodyki budowy oraz zasad doboru typu modelu dostosowanego do analizowanego zakresu warunków eksploatacji,
- opracowanie metodyki odtwarzania wymuszeń kinematycznych od rzeczywistych nierówności dróg pozwalającej na generowanie symulacyjnych wymuszeń kinematycznych odzwierciedlających rzeczywiste warunki eksploatacyjne,
- opracowanie szczegółowej interpretacji uzyskiwanych odpowiedzi dynamicznych w celu oceny komfortu i bezpieczeństwa jazdy oraz trwałości zmęczeniowej metodami symulacyjnymi (w tym analizy MES).

**Rozdział 3** („*Zadania eksperymentalne zakresów odpowiedzi dynamicznych pojazdu na eksploatacyjne wymuszenia drogowe*”). Autor prezentuje metodykę pomiarów, zamieszcza wyniki pomiarów i krótko je omawia.

**Rozdział 4** („*Opracowanie i implementacja programowa generatora wymuszeń kinematycznych na podstawie gęstości widmowej mocy nierówności*”). Autor przedstawił podstawy teoretyczne opisu i modelowania wymuszeń kinematycznych, w tym: profile nierówności dróg ich podział, zaproponowano modelowanie właściwości filtrujących opony. Doktorant zbudował sygnał wymuszenia kinematycznego realizowany na podstawie gęstości widmowej mocy nierówności drogi w oparciu o parametry definiowane dla różnych rodzajów (klas) dróg w normie ISO 8608. Generowane profile nierówności w funkcji długości są następnie filtrowane przez odtwarzający działanie opony model stałego śladu kontaktu opony z drogą. W ten sposób Autor otrzymał sygnał wymuszenia jako funkcji przebytej drogi.

**Rozdział 5** („*Odtwarzanie wymuszeń kinematycznych na podstawie odpowiedzi zawieszenia uzyskiwanych w badaniach drogowych*”). Autor zaproponował komputerowy model odtwarzania wymuszeń dla badań eksperymentalnych na wzbudnikach drgań Virtual Remote Parameter Control (VRPC). Doktorant przeprowadził dyskusję wyboru sposobu generowania wymuszenia. Wykazał, że Metoda VRPC okazała się dobrze oddawać niektóre z odpowiedzi dynamicznych, jednakże rozbieżność pomiędzy rzeczywistym pojazdem, a jego modelem symulacyjnym okazała się być na tyle duża, że bez przygotowania specjalnej konstrukcji pojazdu do realizacji przejazdów badawczych z pełną identyfikacją jego parametrów nie można mówić o pełnym sukcesie generowania sygnału wymuszenia. Z tego względu zdecydowano się na używanie w dalszej części pracy wymuszeń wygenerowanych na podstawie gęstości widmowej mocy.

**Rozdział 6** („*Modelowanie pojazdu badawczego*”). Autor poświęcił wykonanym dwóm rodzajom takich modeli:

1. model wielobryłowy dynamiki pionowej zbudowany w Simulinku - model „ćwiartkow” dynamiki pionowej pojazdu (ang. *quarter car*), opracowany

i zaimplementowany w środowisku Matlab/Simulink w dwóch wersjach – liniowej i nieliniowej.

2. model MES do analiz wytrzymałościowych, opracowany w programie NX Siemens – w tym przypadku był to model do trójwymiarowej analizy dynamiki strukturalnej.

W przypadku modelu pierwszego konieczne było wyznaczenie charakterystyk elementów zawieszenia pojazdu badawczego, co osiągnięto przeprowadzając szereg pomiarów mas resorowanej i nieresorowanej, charakterystyk tłumienia zawieszenia oraz opony a także charakterystyk sprężystości zawieszenia i opony. Pomiary te pozwoliły na zbudowanie modelu ćwiartki pojazdu o dwóch stopniach swobody symulującego jego dynamikę pionową. Model opracowano w dwóch wersjach – liniowej i nieliniowej, gdzie pierwsza z nich jako charakterystyk używała jedynie liniowych współczynników tłumienia bądź sprężystości, podczas gdy druga brała pod uwagę takie kwestie jak asymetryczność charakterystyki amortyzatora, zmiany sprężystości spowodowane działaniem gumowego odbojnika, możliwość oderwania się kół przyczepki od nawierzchni oraz histerezę działania sił tłumienia w amortyzatorze i występujące w nim tarcie wewnętrzne.

Podjęto się także opracowania pośredniej metody symulowania charakterystyki amortyzatora, nazwanej charakterystyką biliniową, która na podstawie analizy funkcji przejścia pozwalała na przybliżenie efektów użycia charakterystyki nieliniowej bez konieczności eksperymentalnego jej wyznaczenia, operując jedynie na zarejestrowanych sygnałach odpowiedzi. W ramach eksperymentów weryfikacyjnych wykazano dobrą jakość odtworzenia wybranych odpowiedzi dynamicznych, jednakże ze względu na posiadane dokładniejsze charakterystyki w pełni nieliniowe ostatecznie to one zostały użyte w dalszych badaniach. Warto także zaznaczyć, że ograniczeniem biliniowej charakterystyki jest fakt, że pozostaje ona symetryczna, przez co różni się od realnych nieliniowych charakterystyk amortyzatorów.

Poza modelem dynamiki pionowej potrzebne było także stworzenie modelu MES, który posłużył do badania wytrzymałości zmęczeniowej. Model ten wykonano w programie NX Siemens na podstawie pomiarów geometrii pojazdu badawczego (jednoosiowej przyczepy bagażowej), używając prawie wyłącznie elementów powierzchniowych.

**Rozdział 7 („Kryteria oceny zawieszenia”).** Autor zaprezentował określenie wskaźników spełnienia kryteriów oceny zawieszenia. Jako wskaźnik bezpieczeństwa wybrał tzw. *Dynamic Load Coefficient*, czyli wskaźnik obciążenia dynamicznego, definiowany jako stosunek wartości średniokwadratowej z przebiegu sumarycznej siły w oponie dla danego przejazdu do jego wartości statycznej. Wskaźniki komfortu obliczył na podstawie zmodyfikowanej metody oceny komfortu zapisanej w normie ISO 2631. Pozwala ona na obliczenie wskaźnika komfortu dla szeregu różnych częstotliwości, uwzględniając różną podatność ludzkiego ciała na drgania z różnych zakresów częstotliwości. Dla prostszej interpretacji częstotliwości te pogrupował do czterech zakresów, odpowiadających częstotliwościom w pobliżu częstotliwości rezonansowych masy resorowanej i nieresorowanej, zakresu pomiędzy tymi częstotliwościami rezonansowymi oraz zakresowi od powyżej drugiej częstotliwości rezonansowej do 25 Hz, jako że wartość tę uznano za graniczną dla której występują istotne odpowiedzi zawieszenia.

Do oceny wytrzymałości zmęczeniowej Doktorant zastosował analizę uszkodzeń skumulowanych obliczanych na podstawie hipotezy Palmgren-Millera, do obliczenia których konieczna jest znajomość naprężeń średnich i amplitudowych poszczególnych cykli. Te otrzymał poprzez zastosowanie metody zliczania cykli *Rainflow* na przebiegach czasowych naprężeń otrzymanych z symulacji w NX Siemens. Wskaźnik wytrzymałości zmęczeniowej stanowiło skumulowane uszkodzenie dla kilku wybranych węzłów konstrukcji obliczane na podstawie przebiegów naprężeń otrzymanych wg hipotezy Palmgren-Millera. Metoda ta jest powszechnie znana i stosowana i została zaadoptowana do użycia w rozprawie doktorskiej bez wprowadzania zmian. Węzły do analizy wybrano na

podstawie analizy naprężeń przy obciążeniu statycznym, tj. pod wpływem ciężaru własnego przyczepki, skupiając się na tych punktach, gdzie wartości naprężeń były największe.

**Rozdział 8** („*Badanie wpływu jakościowego i ilościowego warunków eksploatacji i typu modelu pojazdu na wskaźniki oceny zawieszenia*”). Do oceny kryterium wykorzystania przestrzeni roboczej Doktorant użył pełnych zakresów pracy zawieszenia dla poszczególnych warunków eksploatacji (od minimum do maksimum) oraz zakres dziewięćdziesięciu środkowych decyli. Macierz przeprowadzonych badań zawiera:

- 2 typy charakterystyk elementów zawieszenia: liniowe i nieliniowe,
- 3 klasy dróg: A, B i C, wygenerowane na podstawie gęstości widmowych mocy wymuszenia,
- po 3 prędkości jazdy dla każdej z klas dróg,
- 3 poziomy obciążenia: przyczepa pusta, załadowana w połowie i załadowana do osiągnięcia dopuszczalnej masy całkowitej (DMC). Poziomy te odpowiadały wartościom masy resorowanej 60 kg, 205 kg, 350 kg przypadającej na połowę przyczepy (model ćwiartkowy zbudowano dla połowy przyczepy

Najważniejsze wnioski otrzymane z badań:

1. Z warunków eksploatacji największy wpływ na uzyskiwane wyniki ma klasa drogi, po jakiej porusza się pojazd. Kolejnym pod względem wielkości wpływu czynnikiem jest obciążenie statyczne, które obniża wskaźnik dyskomfortu i podobnie wpływa na wskaźnik bezpieczeństwa. Relatywnie najmniejszy wpływ dla większości analizowanych przypadków miała prędkość jazdy.

2. Kluczowe znaczenie na osiągane wartości odpowiedzi dynamicznych ma typ zastosowanego modelu, którego pominięcie powoduje niedoszacowanie wskaźników komfortu o średnio 30-40% i przynajmniej dziesięcio- do ponad osiemsetkrotnego przeszacowania wytrzymałości zmęczeniowej elementów konstrukcji. Znaczenie typu modelu rośnie przy tym wraz ze wzrostem obciążenia statycznego. Wskazuje to jednoznacznie na konieczność uwzględnienia nieliniowości charakterystyk przy modelowaniu dynamiki pojazdu.

3. Na podstawie analizy wszystkich czterech kryteriów Doktorant stwierdził, że jeżeli celem badaczy jest określenie wytrzymałości zmęczeniowej elementów projektowanego pojazdu to zastosowanie modelu nieliniowego jest konieczne dla dowolnej kombinacji klasy drogi, prędkości jazdy i obciążenia statycznego. Dla pozostałych kryteriów oceny, zakres stosowalności modelu nieliniowego i liniowego są zbliżone.

**Rozdział 9** („*Podsumowanie pracy*”). Autor rozprawy ocenił uzyskane wyniki i podsumował pracę z punktu widzenia osiągniętych celów naukowych i użytkarnych. Potwierdził przedstawiony w rozdziale drugim cel pracy. Reasumując, w przedstawionej do recenzji rozprawie, przedstawiono rozwiązanie problemu badawczego dotyczącego braku kompleksowych informacji nt. wpływu warunków eksploatacji i typu modelu symulacyjnego na otrzymywane odpowiedzi dynamiczne. Doktorant użył połączenia ogólnie dostępnych metod jak i autorskich opracowań, które przystosowano do użycia w symulacjach odpowiedzi dynamicznych pojazdu. Opracował i zbudował szereg modeli pojazdu, wliczając w to liniowy i nieliniowy model dynamiki pionowej pojazdu oraz model MES. W ten sposób uwzględnił wszystkie kryteria oceny zawieszenia oraz zmienne opisujące warunki eksploatacji wymienione w problemie badawczym. Dzięki temu mógł wykonać badania symulacyjne odpowiedzi dynamicznych zawieszenia, w tym także symulacje wytrzymałościowe przeprowadzone autorskim tokiem.

Otrzymane wyniki pozwoliły na dokonanie analizy i sformułowanie najważniejszych wytycznych dotyczących prowadzenia badań symulacyjnych wybranych odpowiedzi dynamicznych pojazdu dla zróżnicowanych warunków eksploatacji i sformułowanie wynikających z tych badań wniosków merytorycznych. Opracowane metody i wnioski

istotnych są szczególnie dla oceny projektowanego zawieszenia na wczesnych etapach jego projektowania, gdy dostępne jest wnioskowanie tylko na bazie modeli symulacyjnych nieistniejącego jeszcze zawieszenia.

Doktorant przedstawił perspektywy dalszych prac badawczych. Autorska metoda VRPC wymaga dalszego udoskonalenia, aby mogła być użyta do miarodajnego estymowania wymuszeń kinematycznych w przejazdach drogowych. W szczególności obiektu badawczego do zbierania danych z rzeczywistych dróg tak aby odpowiadał on bardziej modelom wielobryłowym niż ciągłym (wymagana większa sztywność konstrukcji nośnej przyczepki).

Opracowana metodyka wymaga także praktycznego przetestowania na większej liczbie przypadków. Jednak jest ona na obecnym etapie zarówno kompleksowa jak i całościowa i pozwala na wszechstronną analizę projektowanego zawieszenia.

W zakresie trwałości polepszyć wyniki, pod względem ich pewności i powtarzalności, może także modyfikacja hybrydowej metody symulacji wytrzymałości zmęczeniowej przez uwzględnienie w niej większej liczby węzłów.

**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.

**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 jest to oryginalny materiał autorski wzbogacający treść rozprawy i ułatwiający jej zrozumienie.

Układ rozprawy metodologicznie jest poprawny. W rozdziałach początkowych przedstawiono rozważania wstępne dotyczące dynamika pojazdów samochodowych, a w szczególności badanie i modelowanie dynamiki pionowej zawieszonych kół jezdnych pojazdów.

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 poszukiwanie odpowiedzi na pytanie jaki jest wpływ na główne kryteria oceny zawieszenia zróżnicowanych warunków eksploatacji wyrażających się różnymi typami nawierzchni, prędkościami jazdy oraz obciążeniem ładunkiem i jak można go ocenić metodami symulacyjnymi.

Aby przeprowadzić odpowiednią analizę problemu badawczego Autor opracował kompleksową metodykę badań symulacyjnych poczynając od opracowania generatora wymuszeń kinematycznych odpowiadających rzeczywistym profilom nierówności, poprzez opracowanie modeli symulacyjnych dynamiki pionowej pojazdu o różnych stopniach złożoności z uwzględnieniem ich nieliniowości i wskazaniem warunków wymagających ich uwzględnienia, kończąc na opracowaniu metodyki analizy wyników symulacji dla oceny

zawieszenia pod względem zasadniczych kryteriów jego jakości - kryterium komfortu, bezpieczeństwa, zakresu ugięć zawieszenia i trwałości zmęczeniowej.

Następnie odnośnie do interpretacji wyników Doktorant przygotował autorską metodykę przetwarzania danych do przeprowadzania uproszczonej analizy wytrzymałości zmęczeniowej konstrukcji pojazdu z wykorzystaniem wirtualnego modelu korzystającego z metody elementów skończonych (MES). Analiza trwałości zmęczeniowej została przeprowadzona metodą elementów skończonych na podstawie widm obciążeń wygenerowanych w wyniku symulowanego przejazdu po nawierzchni wygenerowanej za pomocą generatora wymuszeń kinematycznych przekształconej przez opracowany model pojazdu. Zaimplementowane metody służące do generowania sygnałów wymuszeń kinematycznych Autor przygotował na podstawie aktualnych metod z uwzględnieniem modelu filtracji opony. Doktorant zaproponował autorską metodę odtwarzania wymuszenia kinematycznego w oparciu o pomiary przyspieszeń masy nieresorowanej

Tematyka rozprawy i zrealizowane badania z zakresu dynamiki i wytrzymałości wpisują się w szerzej obecnie występującą tendencją łączenia tych badań (badania poszukiwawcze) na poziomie przygotowywania założeń konstrukcyjnych.

Praca zawiera usystematyzowaną wiedzę na temat wpływu różnych warunków eksploatacji (rodzajów wymuszeń kinematycznych - zależnych od profili nierówności i prędkości jazdy oraz wartości statycznego obciążenia ładunkiem) jednocześnie na kryteria komfortu, bezpieczeństwa jazdy oraz trwałości zmęczeniowej konstrukcji pojazdu oraz metodyki uwzględnienia tych wpływów na początkowych etapach projektowania zawieszenia.

Autor podczas realizacji pracy wykazał się umiejętnościami przygotowania i realizacji badań modelowych oraz przygotowania eksperymentu w celu wyznaczenia parametrów zawieszenia a także umiejętnością ich analizy wyników i ich przetwarzania. Wykazał się umiejętnością budowy modeli dynamiki z wykorzystaniem narzędzia Matlab-Simulink oraz modelowania symulacji obciążeń wytrzymałości zmęczeniowej metodą MES. Również wykazał się wiedzą w zakresie badania wpływu jakościowego i ilościowego warunków eksploatacji i typu modelu pojazdu na wskaźniki oceny zawiesznień

Ocena użytecznej wartości pracy wskazuje także na szereg jej zalet. Opracowana metoda i jej egzemplifikacja wraz z weryfikacją dowodzą poprawności i możliwości praktycznego zastosowania uzyskanego narzędzia w przyspieszonej, szacunkowej ocenie wpływu warunków eksploatacji na wskaźniki oceny zawieszenia oraz wytrzymałości elementów zawieszenia i konstrukcji nośnej pojazdu.

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

Do zalet użytecznych zaliczyć należy także to, że Doktorant zbudował narzędzia, które posłużyły do oceny projektowanego zawieszenia lekkiego pojazdu elektrycznego.

## **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.

W pracy brakuje bardziej szczegółowego przedstawienia problemu filtracji opony. Brak szczegółowego jednoznacznego wyjaśnienia na czym polega „filtracja stałym śladem”: Czy jeden profil jest odejmowany od drugiego? Czy inaczej? Dla czytelnika nie jest to jasno sformułowane. Można się domyślać, ale powinno być jednoznacznie jasno opisane.

Poniżej zamieszczam także istotniejsze krytyczne uwagi szczegółowe dotyczące poprawności naukowej:

1. Str. 12.  
Zdanie: „W zależności od tego, czy dane wymuszenie ma charakter losowy czy dyskretny, analizę odpowiedzi przeprowadza się odpowiednio w dziedzinie częstotliwości bądź czasu.” Zdanie jest ułożone nie fortunnie. Analizy odpowiedzi można przeprowadzać w dziedzinie czasu i częstotliwości niezależnie od charakteru losowego czy dyskretnego.
2. Str. 13.  
Akapit: „Model symulacyjny dynamiki pionowej zawieszenia, z punktu widzenia **zastosowanych narzędzi** matematyki, jest układem równań różniczkowych. Ilość tych równań zależna jest **od** zakresu modelowanych zjawisk (tylko drgania pionowe, drgania pionowe i kątowe w jednej lub dwóch płaszczyznach) i wynikającej z tego ilości stopni swobody.”  
Na czerwono poprawiony styl.  
Zdanie: „Wszystkie badania stanowiskowe obarczone są pewnymi uproszczeniami względem rzeczywistego przejazdu pojazdu, z których najczęstszym jest poddawanie drganiom pojazdu z nieobracającymi się kołami oraz stosowanie uproszczonych wymuszeń kinematycznych – najczęściej w postaci funkcji okresowych.” W XXI wieku upowszechniły się stanowiska, które umożliwiają nie tylko obracanie się kół, ale również wymuszenie skrętu kół kierowanych. Oczywiście są to bardzo drogie stanowiska.
3. Str. 14.  
Zdanie: „W sensie poznawczym badania z tym typem wymuszenia mają jednak oczywiste wady, jak np. idealnie sinusoidalny przebieg wymuszenia czy oddziaływanie jedynie na jedną z osi pojazdu.” Idealnie sinusoidalny przebieg wymuszenia, to nie jest wada. To jest cecha charakterystyczna i zaleta, ponieważ umożliwia bardzo proste zdefiniowanie za pomocą wartości amplitudy i częstotliwości.
4. Str. 17.  
Wiersz 17: „w rozdziale 0”.
5. Str. 20.  
Wiersz 4: „... pozwoli zaproponowanie ...” powinno być: „... pozwoli na zaproponowanie ...”.
6. Str. 27.  
Przydatne dla czytelnika byłoby przytoczenie formuły wyznaczania dystrybuanty.
7. Str. 28.  
Wiersz 9: „Dla komfortu najważniejsze są przyspieszenia większe niż 1 g, (czyli większe niż około 10 m/s<sup>2</sup>) ...”. Sformułowanie jest co najmniej niefortunne, ponieważ odnośnie do komfortu oprócz wartości przyspieszeń istotne są również zakresy częstotliwości.
8. Str. 30.  
Pierwsze odniesienie do rysunku 3.5 powinno być przed rysunkiem i jeszcze pogrubienie „**Rys. 3.5**”.
9. Str. 31.  
Wiersz 14: „Nadają się do tego dobrze z racji łatwości ich generowania oraz, dla tych pierwszych, możliwości sprawdzenia zachowania układu dla różnych częstotliwości.”  
Poprawniej byłoby wykorzystać w zdaniu sformułowania „... łatwo je zdefiniować poprzez wartości amplitud i częstotliwości.”  
Cały drugi akapit. W badaniach stanowiskowych stosowanie wymuszeń o charakterze sinusoidalnym bądź impulsowym nie wyklucza się. A przeciwnie jedno i drugie są wykorzystywane.
10. Str. 38.  
Wiersz 8: „Pod względem matematycznym ...”. Poprawniej byłoby: „Pod względem opisu matematycznego ...”.



11. Str. 41.  
Akapit pod rysunkiem 4.6: dobrze byłoby przytoczyć przykładowe prace związane z tymi badaniami.
12. Str. 42.  
Pierwsze odniesienie do rysunku 4.7 powinno być przed rysunkiem.
13. Str. 43-44.  
Komentarze do rysunków. należało skomentować szerzej wykresy zamieszczone na rys. 4.9 (różnice i podobieństwa jakościowe i ilościowe). Wyjaśnić na czym polega filtracja opony. Czy jeden profil jest odejmowany od drugiego? Czy inaczej?
14. Str. 45.  
Ostatnie zdanie - styl.
15. Str. 51.  
Pierwsze odniesienie do rysunku 5.2 powinno być przed rysunkiem.
16. Str. 59.  
Pierwsze odniesienie do tab. 4 powinno być przed tabelą.
17. Str. 65.  
Wiersz 8: „Po raz kolejny winę za to ...”. Winę to może ponosić człowiek. Można użyć innych sformułowań, np.: „wynika to z ...”
18. Str. 89.  
Chyba powinien być inny numer podrozdziału: zamiast „6.4.3.6.” raczej powinno być: „6.4.4.”
19. Str. 94.  
Dlaczego do wyznaczenia masy nieresorowanej wzięto całą masę: wahaczy, sprężyn amortyzatorów a nie ½ tych mas?
20. Str. 113.  
Akapit 2: zamiast „wzór 24” powinno być „wzór 33”.
21. Str. 152 i 154.  
152. Ostatni akapit Styl: zamiast „jak widać w tab. 31 ...” powinno być, np.: „Jak wynika z danych zawartych w tab. 31 ...”.  
154. Wiersz pod rysunkiem 8.23. Styl: zamiast „Tab. 32 przedstawia ...” powinno być, np.: „W tab.32 zamieszczono ...”.
22. Str. 162 i 168.  
Na stronie 162 zaczyna się rozdział „9 Podsumowanie”, a na stronie 168 ponownie jest „Podsumowanie”.
23. Str. 167.  
Czy w podsumowaniu zamieszcza się wykresy? Do rozważenia przez Doktoranta.
24. Str. 171.  
Pozycje literatury: 54, 59, 60 - nie podano wydawnictwa.

Generalne uwagi do tekstu pracy.

Używane są sformułowania typu: „największe przyspieszenia”, „przyspieszenia nie przekraczały” itp. Powinno być: „największe **wartości** (lub **amplitudy**) przyspieszeń”, „**wartości** (lub **amplitudy**) przyspieszeń nie przekraczały”, itd.

Brak tytułów załączników. Ich zamieszczenie zapewniło by lepszy odbiór pracy przez czytelnika.

#### 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. **Zbyszko Klockiewicz** 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