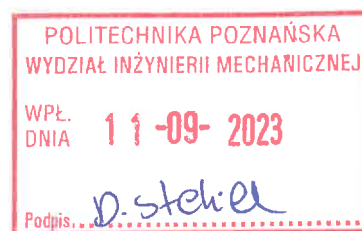


Dr hab. inż. Marek Jaśkiewicz Prof. PŚk.
Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce
m.jaskiewicz@tu.kielce.pl

Kielce 04.09.2023r.



Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. **Zbyszka Klockiewicza** zatytułowana "**Wpływ wymuszeń kinematycznych i obciążeń zawieszonych pojazdów na ich trwałość oraz komfort i bezpieczeństwo jazdy**".

Podstawa wykonania recenzji: Pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej z dnia 4 lipca 2023 roku działającego w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Poznańskiej Nr 16/III/07/2023 z dnia 03 lipca 2023 roku.

1. Ocena przedmiotu rozprawy - uwagi wstępne

Przedmiot opiniowanej pracy wybrano z dużą znajomością rzeczy. Obserwowany w ostatnich latach wzrost liczby pojazdów skłania do zajęcia się dynamiką pojazdów samochodowych, a konkretniej badanie i modelowanie dynamiki pionowej ich zawieszonych. Badania dynamiki pionowej pojazdów samochodowych stanowią obecnie rozległą i mocno ugruntowaną gałąź inżynierii mechanicznej. Wraz z rozwojem pojazdów drogowych i ich silników, dzięki którym możliwe było rozwijanie większych prędkości, szybko niemożliwym stało się ignorowanie wpływu systemu zawieszenia nie tylko na komfort, ale także bezpieczeństwo jazdy. Zmieniał się przy tym jednocześnie system produkcji pojazdów – budowanie ich w przypominających manufaktury warsztatach, gdzie każdy pojazd był na swój sposób unikalny, odchodziło powoli do lamusa ustępując miejsca produkcji seryjnej. W obszarze symulacyjnych badań odpowiedzi dynamicznych pojazdów samochodowych na przestrzeni dekad poruszano wiele istotnych tematów dla rozwoju całej branży motoryzacyjnej. W tym czasie badania przeprowadzano na różnych, z upływem lat coraz bardziej skomplikowanych modelach symulacyjnych, przybliżających je do rzeczywistych obiektów; dla wielu różnych typów pojazdów poruszających się po różnych typach dróg z różnymi prędkościami. Wszystko to tworzy bardzo rozbudowaną, choć także rozproszoną i niepełną sieć wyników i potwierdza, jak istotna do dziś pozostaje ta tematyka. To, czego jednak brakuje to pewnego usystematyzowanego i bardziej holistycznego spojrzenia na zagadnienia symulacji dynamiki pionowej pojazdów, w którym uwzględniono by jednocześnie efekty oddziaływania warunków eksploatacji pojazdu oraz typu zastosowanego modelu symulacyjnego dla oceny

zarówno komfortu i bezpieczeństwa jazdy, wykorzystania przestrzeni roboczej zawieszenia jak i efektów zmęzeniowych z nim związanych.

Z tego punktu widzenia podjęte przez Autora ocenianej rozprawy badań w celu oceny jaki jest wpływ na główne kryteria oceny zawieszenia zróżnicowanych warunków eksploatacji wydaje się zrozumiałe i w pełni uzasadnione.

Opracowanie kompleksowej metodyki 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 można uznać za wysoce oryginalne, a przez to bardzo istotne z naukowego punktu widzenia.

Doktorant sformułował problem badawczy, który można scharakteryzować w następujących punktach:

- brak jest jednoznacznych wskazań kiedy ich stosowanie jest uzasadnione i jaki ma jakościowy i ilościowy wpływ na wartości wskaźników oceny pracy zawieszenia,
- brak jednoznacznego wskazania w jaki sposób uwzględniać rzeczywiste eksploatacyjne wymuszenia kinematyczne w realizowanych badaniach symulacyjnych dynamiki pionowej zawieszenia.,
- brakuje jednoznacznych wytycznych, w jaki sposób za pomocą liniowych współczynników tłumienia modelować rzeczywistą nieliniową charakterystykę amortyzatorów.

Głównym celem pracy jest: **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.**

Doktorant sformował również cele metodyczne oraz cele merytoryczne.

Cele metodyczne polegały na:

1. opracowaniu i implementacji programowej generatora wymuszeń kinematycznych o parametrach symulujących analizowane warunki drogowe, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości odtwarzania wymuszenia dającego odpowiedzi dynamiczne jak dla wcześniej zarejestrowanych przejazdów drogowych oraz dobór metody filtracji nierówności przez oponę i uwzględnienie tej filtracji przy generowaniu sygnału wymuszenia,
2. opracowanie modeli liniowych i nieliniowych pojazdu, z uwzględnieniem histerezy i tarcia wewnętrznego amortyzatora, a także modelu do obliczeń wytrzymałości zmęczeniowej,

3. opracowanie i wybór metody doboru charakterystyk elementów w modelu symulacyjnym pozwalającej osiągnąć dobry poziom odtworzenia odpowiedzi dynamicznych pojazdu.

Celami merytorycznymi było:

1. opracowanie metodyki budowy liniowych i nieliniowych modeli zawieszenia pojazdu wraz z metodyką definiowania parametrów tych modeli (w tym odwzorowywania nieliniowej charakterystyki amortyzatorów) i zasadami doboru typu modelu do analizowanego zakresu warunków eksploatacji,
2. opracowanie lub adaptacja metodyki badań profili nierówności dróg i ich opisu pozwalającego na generowanie wymuszeń kinematycznych dla badań symulacyjnych, odzwierciedlających odpowiedzi dynamiczne uzyskiwane w pomiarach eksperymentalnych,
3. opracowanie szczegółowej metodyki oceny i interpretacji uzyskiwanych odpowiedzi dynamicznych w celu oceny komfortu i bezpieczeństwa jazdy oraz trwałości zmęczeniowej metodami symulacyjnymi (w tym analizy MES).

Cele te nawiązują do wspomnianego problemu badawczego. Uważam, że cele te zostały poprawnie sformułowane i w pełni odpowiadają ustawowym i zwyczajowym wymaganiom, jakie stawiane są rozprawom doktorskim. Aczkolwiek jestem zdania, że doktorant powinien sformułować jeden cel główny i 2-3 cele pomocnicze. Moim zdaniem jest to zbyt rozdrobnione.

Z przyjemnością mogę stwierdzić, że problem badawczy został dobrze sformułowany, postawiono poprawne cele, a rozwiązanie problemu badawczego może stanowić podstawę do nadania stopnia naukowego, są więc zagadnienie stawiane w pracy jest dysertabilne.

Podsumowując tę część recenzji stwierdzam, że podjęty przez mgr. inż. Zbyszka Klockiewicza temat jest tematem interesującym naukowo, odpowiadającym wymaganiom, jakie stawiane są pracom aspirującym do tego, by być rozprawami na stopień doktora nauk technicznych. Problem badawczy pracy sformułowane są w taki sposób, że możliwa jest jego naukowa weryfikacja, co ma miejsce w dalszej części pracy. W związku z powyższym stwierdzam, że wybrany temat rozprawy oceniam zdecydowanie pozytywnie.

2. Charakterystyka i rozważania dotyczące rozprawy

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Zbyszek Klockiewicz podjął próbę 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. W tym celu przeprowadził szerokie studia literaturowe, wykonał szereg badań własnych oraz dokonał analizy wyników tych badań.

Rozprawa doktorska pt. " Wpływ wymuszeń kinematycznych i obciążeń zawieszonych pojazdów na ich trwałość oraz komfort i bezpieczeństwo jazdy " została napisana w języku polskim na 184 stronach. Spis pozycji literatury zawiera 102 pozycje (z czego 5 jest współautorstwa Doktoranta). Rozprawa zawiera streszczenie w języku polskim. Rozprawa zawiera również spis skrótów oraz załączniki. Praca zawiera osiem rozdziałów oraz podsumowanie i wnioski.

Rozdział 1 (8 stron) zawiera ogólną charakterystykę przedstawiającą budowę i funkcje zawieszenia pojazdów samochodowych. Wyszczególniono w nim między innymi budowę zawieszonych pojazdów, funkcje zawieszonych oraz charakterystykę zawieszonych w dynamice pionowej jako przetwornik wymuszenia kinematycznego. Rozdział ten jest poprawnie opisany.

Rozdział 2 (10 stron) zawiera ocenę stanu wiedzy i cele pracy. W rozdziale tym dokonano obszernego przeglądu literatury z odniesieniem do aktualnego stanu wiedzy w tym zagadnieniu. Ponadto przedstawiono problem badawczy. Określono cel główny pracy oraz cele metodyczne i cele merytoryczne. Określono i dobrze opisano metodykę realizacji pracy. Ciekawym rozwiązaniem jest przedstawienie pełnego schematu działań w postaci diagramu (rys. 2.1). Daje to ogólny pogląd na realizację pracy.

Rozdział 3 (6stron) zawiera zadania eksperymentalne zakresów odpowiedzi dynamicznych pojazdu na eksploatacyjne wymuszenia drogowe. Doktorant przedstawia w tym rozdziale wyniki badań szeregu pomiarów poziomów odpowiedzi dynamicznych, które pozwoliły na ustalenie, jakich ich wartości można się spodziewać przy jeździe po określonych rodzajach dróg. Zmierzone zostały przyspieszenia masy resorowanej, przyspieszenia masy nieresorowanej i ugięcia zawieszenia. Przyspieszenia masy nieresorowanej potraktowano jako wskaźnik bezpieczeństwa, ze względu na istotne trudności w pomiarze wartości sił między oponą a nawierzchnią w warunkach drogowych, dla toczącego się koła. Zarejestrowano przejazd po trzech rodzajach nawierzchni – po autostradzie, drodze szybkiego ruchu i drodze brukowanej. Uważam, że opis użytej aparatury do badań jest zbyt ogólny. Użycie stwierdzenia że : „w samochodzie zamontowano akcelerometry mierzące przyspieszenie masy nieresorowanej na wszystkich kołach w pobliżu ich osi, a także nad każdym kołem z osobna, które mierzące przyspieszenie masy resorowanej. Dodatkowy czujnik przyspieszenia został zamontowany w środku masy samochodu, rejestrując przyspieszenia we wszystkich trzech kierunkach. Za pomocą czujnika odległości rejestrowano ugięcie zawieszenia każdego koła”. Jest niewystarczające. Należy podać informacje o typie i dokładności użytej aparatury.

Rozdział 4 (16 stron) przedstawione jest opracowanie i implementacja programowa generatora wymuszeń kinematycznych na podstawie gęstości widmowej mocy nierówności. W ramach pracy w tym zakresie dokonano: implementacji programistycznej istniejących metod opisu nierówności nawierzchni dróg, implementacji programistycznej istniejącego modelu właściwości filtrujących opon oraz przeprowadzenia prac badawczych i zaproponowania autorskiej metody odtwarzania wymuszeń kinematycznych na podstawie rejestrowanych odpowiedzi dynamicznych z rzeczywistych przejazdów drogowych wraz z implementacją programistyczną.

Zwrócono szczególną uwagę na podstawy teoretyczne opisu i modelowania wymuszeń kinematycznych, syntezę i implementację metody generowania wymuszenia kinematycznego na podstawie gęstości widmowych mocy nierówności, modelowanie właściwości filtrujących opony, przeliczanie profilu wysokości nierówności drogi do wymuszenia kinematycznego oraz przedstawiono podsumowanie metody generowania wymuszenia kinematycznego na podstawie gęstości widmowej mocy nierówności.

Rozdział 5 (25 stron) zawiera odtwarzanie wymuszeń kinematycznych na podstawie odpowiedzi zawieszenia uzyskiwanych w badaniach drogowych. Analizując zagadnienie zauważono że w porównaniu do innych metod pomiarowych, metody dynamiczne badania profilu wymuszeń charakteryzują się dużą szybkością pomiarów kosztem dokładności otrzymywanych wyników. Wynika to głównie z faktu, że czujniki odległości zamocowane na pojeździe nie są izolowane od efektów działania wymuszeń. Z tego powodu jakikolwiek pomiar profilu skazany będzie na przekłamania spowodowane dynamiką samego pojazdu. Jednocześnie pamiętać należy, że do symulowania dynamiki pojazdu nie potrzebujemy profilu nawierzchni, a wymuszenie kinematyczne, zależne od właściwości filtracyjnych opony.

Te zauważone wady spowodowały, że autor niniejszej rozprawy, zaproponował wykorzystanie rejestrowanych w przejazdach przyspieszeń masy nieresorowanej do obliczenia wymuszeń kinematycznych. W opracowanej metodzie nie prowadzi się jednak procesu iteracyjnego, a realizuje się go w „jednym przejściu” procedury obliczeniowej z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego z wykorzystaniem regulatora PID. Rozdział ten zawiera wyjaśnienie działania tej metody oraz wyniki jej testowania.

Rozdział 6 (34 strony) zawiera modelowanie pojazdu badawczego. Przedmiotem symulacyjnych badań dynamiki pionowej była dynamika pionowa pojazdu badawczego jakim była przyczepa bagażowa jednoosiowa TEMA-MARTZ PREMIUM model PRO 2012W. Prowadzenie badań symulacyjnych wpływu różnych wymuszeń kinematycznych oraz obciążeń zawieszenia na podstawowe kryteria oceny zawieszenia wymagało od doktoranta przygotowania odpowiedniego modelu pojazdu, który pozwoli przekształcić wymuszenia kinematyczne w odpowiedzi dynamiczne takie jak przyspieszenia mas pojazdu czy siły w elementach zawieszenia. W badaniach symulacyjnych wykorzystano dwa modele pojazdów – jeden w wariacie liniowym, drugi – nieliniowym. Zamodelowano między innymi: sztywności elementów sprężystych i elementów tłumiących. Opracowano metodykę wyznaczania parametrów tłumienia amortyzatora na podstawie funkcji odpowiedzi częstotliwościowych. Ponadto wykonano porównawcze obliczenia wytrzymałościowe z zastosowaniem metody elementów skończonych i wybranych modeli trwałościowych. Opracowany w ten sposób model do obliczeń wytrzymałościowych MES posłużył następnie do szacowania trwałości zmęczeniowej.

Rozdział 7 (23 strony) zawiera omówienie kryteriów oceny zawiesznień. Zawieszenie pojazdu w zakresie dynamiki pionowej spełniać musi kilka zadań jednocześnie. To powoduje konieczność określenia kilku kryteriów ich oceny, a w każdym z nich znalezienie wskaźników ich spełnienia. Są to między innymi takie kryteria jak: komfort jazdy,

bezpieczeństwo jazdy, zakres ugięć zawieszenia, trwałość zmęczeniowa elementów zawieszenia i konstrukcji nośnej w obszarach współpracy z zawieszeniem. Aby ocenić stopień spełnienia kryteriów, konieczne było ustalenie wskaźników, które pozwolą na porównanie poziomów bezpieczeństwa, komfortu i zakresu ugięć oraz trwałości w różnych warunkach eksploatacji. Doktorant bardzo dobrze poradził sobie z tymi zadaniami. Zostały wyznaczone przedziały i parametry określające spełnienie danego kryterium.

Rozdział 8 (33 strony) przedstawiono badanie wpływu jakościowego i ilościowego warunków eksploatacji i typu modelu pojazdu na wskaźniki oceny zawieszenia. Eksperymenty mające na celu ustalenie jakościowego i ilościowego wpływu warunków eksploatacji zrealizowano w formie badań symulacyjnych przeprowadzonych w środowisku Matlab/Simulink oraz NX Siemens. Na podstawie badań przeprowadzonych przez Doktoranta wynika, że spośród trzech rozpatrywanych warunków eksploatacji (klasa drogi, prędkość jazdy, obciążenie statyczne) największy wpływ na otrzymywane wyniki dla znakomitej większości przypadków miała klasa drogi – wpływała ona najistotniej na wskaźniki dyskomfortu, bezpieczeństwa i wytrzymałości zmęczeniowej, odpowiadała także za największe przyrosty zakresów ugięć zawieszenia. Drugim pod wpływem istotności czynnikiem było obciążenie statyczne pojazdu, które dla niektórych wskaźników (wskaźnik bezpieczeństwa czy dyskomfortu) miało podobną rolę, jak klasa drogi, w innych (wytrzymałość zmęczeniowa) odgrywało rolę mniejszą. W porównaniu do zarówno klasy drogi jak i obciążenia statycznego prędkość jazdy nie ma tak dużego wpływu na ocenę kryteriów analizowanych w pracy. Jej wpływ jest widoczny i nie może zostać zignorowany całkowicie, jednakże często są to wpływy o połowę lub nawet więcej mniej istotne niż wymienione wcześniej klasa drogi i wartość masy resorowanej.

Podsumowanie i wnioski (7 stron) zawiera podsumowanie wykonanych badań. Głównym problemem badawczym, którego rozwiązania podjęto się w ramach badań opisanych w niniejszej dysertacji było usystematyzowanie 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 oraz metodyki uwzględnienia tych wpływów na początkowych etapach projektowania zawieszenia. Rozwiązanie tego problemu zrealizowano realizując badania symulacyjne wykorzystujące metodykę, która zawierała oryginalne rozwiązania cząstkowych problemów badawczych składających się na rozwiązanie problemu całościowego i realizację celu głównego pracy. Doktorant w swojej pracy pokazał proces rozwiązania problemu badawczego poprzez syntezę obecnie istniejącej wiedzy w obszarze badań dynamiki pionowej pojazdu oraz własne oryginalne rozwiązania w zakresie opracowania metod symulowania wymuszenia kinematycznego odpowiadającego różnorodnym warunkom eksploatacji, budowę modeli liniowych i nieliniowych dynamiki pionowej pojazdu a także modelu MES do badań wytrzymałościowych i poddanie go obciążeniom uzyskanym z wykorzystaniem nieliniowego modelu zawieszenia poddawanego wymuszeniom eksploatacyjnym, a wreszcie zaprojektowanie i przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych dla ponad pięćdziesięciu kombinacji zmiennych wejściowych opisujących zróżnicowane warunki eksploatacji.

Należy również podkreślić co jest bardzo istotne w pracach naukowych użyteczne walory tej pracy. Narzędzia zbudowane przy działaniach nad rozprawą posłużyły do oceny projektowanego zawieszenia lekkiego elektrycznego pojazdu opracowywanego przez firmę Messor. Doktorant przedstawił również perspektywy dalszych prac badawczych.

3. Uwagi dyskusyjne

1. W pracy doktorant przedstawił autorskie opracowania. Czy doktorant może wskazać najważniejszą metodę, która według jego oceny przyczyni się do dalszych prac i rozwoju naukowego doktoranta?
2. W rozdziale 7 doktorant do określenia współczynnika oceny bezpieczeństwa posługuje się między innymi współczynnikiem EUSAMA i w konsekwencji przechodząc do wskaźnika DLC (zwanego współczynnikiem obciążenia dynamicznego). Czy Doktorant próbował innych metod niż metoda EUSAMA. Np. zmodyfikowana metoda BOGE, metoda „konta fazowego” czy metoda „THETA”?

4. Wniosek Końcowy

Podsumowując moją opinie stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Zbyszka Klockiewicza pt. " Wpływ wymuszeń kinematycznych i obciążeń zawieszonych pojazdów na ich trwałość oraz komfort i bezpieczeństwo jazdy" podejmuje istotne problemy poznawcze o znacznym potencjale aplikacyjnym i została wykonana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Przyjęte przez Doktoranta tezy rozprawy zostały udowodnione a wyznaczony cel konsekwentnie osiągnięty.

Uwagi zawarte w mojej recenzji mają charakter redakcyjny i nie wpływają na poziom opiniowanej pracy.

Zaprezentowane w pracy podejście do nowatorskiej metody badań oraz wyniki tych badań są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta.

Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy **mgr. inż. Zbyszka Klockiewicza** pt. " **Wpływ wymuszeń kinematycznych i obciążeń zawieszonych pojazdów na ich trwałość oraz komfort i bezpieczeństwo jazdy** " jestem przekonany, że spełnione zostały wymagania określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) w brzmieniu po wejściu w życie ustawy z dnia 23 czerwca 2016 roku o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym oraz niektórych innych ustaw.

W związku z tym wnioskuję o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę użyteczne walory i olbrzymi wkład pracy Autora recenzowanej rozprawy oraz dobry dorobek naukowo-badawczy Doktoranta (12 publikacji w dobrych czasopiśmie, 9 wystąpień na konferencjach) wnioskuję do Komisji Doktorskiej o wyróżnienie pracy.



