

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. **Michała KLUZIEWICZA**
„NOWA METODA POMIARU OBCIĄŻENIA KOŁA JEZDNEGO PODCZAS RUCHU POJAZDU”

(promotor: prof. dr hab inż. Witold Grzeżożek, promotor pomocniczy: dr inż. Michał Maniowski)

Podstawa opracowania:

Zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej
Nr M.00-520-47/2021 z dnia 23.02.2021 r.

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

2.1. Charakterystyka redakcji pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 136 stron z czego 120 stron stanowi tekst rozprawy, 4 strony spis literatury zawierający 57 pozycji a 4 strony streszczenia w j. polskim i angielskim. Praca zawiera także spis treści – 2 strony, spis oznaczeń – 1 strona oraz oświadczenie o samodzielnym wykonaniu pracy. W pracy zamieszczono 122 ponumerowane rysunki (numerowane oddzielenie w każdym z rozdziałów). Treść rozprawy została podzielona na 6 rozdziałów i podrozdziały 2 i 3 stopnia (nie numerowane).

2.1. Charakterystyka treści pracy

Celem pracy było opracowanie metody pomiaru przestrzennego zewnętrznego obciążenia koła jezdnego podczas ruchu samochodu, przy założeniu, że dane jest obciążenie wewnętrzne oraz wymiary mechanizmu zawieszenia i stan kinematyczny ruchu koła. Zaproponowana metodyka i jej techniczna realizacja umożliwią wyznaczenie charakterystyk sił stycznych opony (wzdłużnych i poprzecznych), co pozwala na estymację parametrów modelu opony.

Pracę podzielono na 6 rozdziałów.

Rozdział 1 jest wprowadzeniem, które wskazuje czytelnikowi możliwości praktycznego zastosowania wyników pracy Autora w obszarze systemów wspomagających pracę kierowcy bądź będących elementami składowymi systemów sterowania pojazdami autonomicznymi poprzez umożliwienie w czasie rzeczywistym estymowania charakterystyk sił stycznych opony. W tym rozdziale Autor także przybliży zagadnienie modelowania opon i badania ich charakterystyk przedstawiając metody badawcze na pojeździe jak i na stanowiskach badawczych. Omawia także swoje wcześniejsze prace w obszarze badania i modelowania dynamiki samochodu w jeździe sportowej, które zdają się być oryginalną genezą prac podjętych w pracy doktorskiej. Dokładnie wskazana jest potrzeba uzyskania charakterystyk przyczepności opony w ekstremalnych warunkach eksploatacji przy braku takich informacji w literaturze.

Rozdział 2 poświęcony został przeglądowi literatury oraz stanowi techniki ze wskazaniem jako głównego problemu modelowania współpracy opon pneumatycznych z nawierzchnią odkształcalną w odniesieniu do pojazdów samochodowych (w szczególności sportowych). Autor przedstawił różne metody badań sił generowanych przez opony - stanowiska, przyczepy dynamometryczne, piasty pomiarowe czy też mobilne laboratoria. Wskazał też wiodące trendy: konstrukcje inteligentnych opon (z czujnikami) oraz pośrednie oszacowanie na podstawie czujników dynamiki samochodu z istniejących systemów sterowania dynamiką samochodu. Na tym tle Autor umiejscowił swoją pracę jako rozszerzenie stosowanych już

pomiarów sił w mechanizmach zwrotniczym i zawieszenia o pomiar parametrów ruchu pojazdu i pozycji układu zawieszenia i łączne wykorzystanie tych informacji do szacowania obciążeń zewnętrznych koła .

Rozdział 3 pracy - 1 stronicowy - Autor przeznaczył na omówienie celu naukowo-badawczego pracy i sformułował w nim tezę pracy "Istnieje możliwość estymacji sześciu składowych obciążenia koła w punkcie styku opony z nawierzchnią wykorzystując pomiary reakcji wewnętrznych w wahaczach, drążku kierowniczym i górnym mocowaniu kolumny prowadzącej oraz parametry ruchu pojazdu i pozycję układu zawieszenia". Opisał także strukturę pracy odnosząc się w ten sposób do jej zakresu.

Rozdział 4 pracy jest jej najobszerniejszą częścią (liczy 70 stron) i został poświęcony opisowi metody pomiaru przestrzennego obciążenia koła jeźdźnego samochodu i opisowi prac prowadzących do jej opracowania i praktycznej implementacji. W kolejnych częściach tego rozdziału (nie numerowanych, ale wyodrębnionych) Autor przedstawił działania prowadzące do przygotowania do prób drogowych opracowanej metody (opracowania i weryfikacji symulacyjnej i stanowiskowej algorytmu obliczeniowego wraz z doбором czujników):

1. opis techniczny samochodu będącego obiektem badawczym oraz analizę budowy, model i analizę kinematyczną mechanizmu prowadzenia koła (zawieszenia McPherson),
2. opis koncepcji i algorytmu metody pośredniego pomiaru obciążenia koła oraz weryfikację modelu obliczeniowego dla wybranych przypadków obciążenia zewnętrznego koła (siła pionowa, siła napędowa, siła i moment hamowania, jazda po łuku),
3. analizę niepewności pomiarowej układu,
4. projekt układu pomiarowego z opisem doboru aparatury i modyfikacji podzespołów samochodu niezbędnej do zamontowania czujników oraz ich kalibrację stanowiskową,
5. weryfikację stanowiskową metody - opracowanego algorytmu obliczeniowego wraz z całym układem pomiarowym zabudowanym w samochodzie dla wybranych przypadków obciążenia - poprzecznego, wzdłużnego oraz normalnego.

Rozdział 5 pracy Autor poświęcił przedstawieniu zastosowania opracowanej metody do estymacji obciążenia koła samochodu w testach drogowych. Rozpoczął od przedstawienia wejść i wyjść modelu opony, którego parametry miały podlegać identyfikacji z wykorzystaniem opracowanej metody. Następnie opisał plan i realizację testów drogowych (statycznych prób kalibracyjnych, prostych manewrów - rozpędzania, hamowania, jazdy po łuku ze stałą prędkością, testów typowych dla badania kierowności, złożonych manewrów i przejazdów przez przeszkody). W dalszej części rozdziału zamieszczono i omówiono wykresy sił wewnętrznych mechanizmu zawieszenia oraz estymowanych zewnętrznych sił w punkcie styku opony z nawierzchnią dla kilku prób drogowych - łagodnego i intensywnego przyspieszania kończonego hamowaniem, jazdy po łuku w prawo i w lewo (odciążania i dociążania koła dla którego estymowano siły kontaktu z nawierzchnią). Dokonano interpretacji wyników.

Rozdział 6 to przedstawienie wniosków w postaci podsumowania wykonanych zadań, omówienia zmian konstrukcyjnych w mechanizmie zawieszenia, przedstawienie wniosków poznawczych. Przedstawiono także proponowane zmiany w układzie pomiarowym oraz usprawnienia metody obliczeniowej. Omówiono obszary potencjalnego zastosowania zaproponowanej metody i wskazano kierunki dalszych prac badawczych.

2. OCENA ROZPRAWY

2.1. Wartość naukowa i użyteczna pracy

Podjęte przez Autora rozprawy zagadnienie jest istotne naukowo oraz użyteczne co wynika z trudności realizacji pomiarów sił na styku opony z nawierzchnią drogi, a w szczególności w warunkach rzeczywistej eksploatacji a jednocześnie konieczności posiadania takiej wiedzy w procesie formułowania modeli matematycznych opon będących kluczowym elementem modeli dynamiki pojazdów drogowych. Pomimo iż problematyka badania opon i sił przez nie generowanych nie jest nowa - prace takie prowadzi się od lat 30 XX wieku, to jednak publikowane dane częściej dotyczą badań laboratoryjnych aniżeli badań w warunkach eksploatacyjnych. Stosowane metody badawcze są drogie i dostosowane najlepiej do badań stanowiskowych lub drogowych ale w warunkach nawierzchni utwardzonych.

Zaproponowana przez Autora oryginalna metoda pośredniego pomiaru sił generowanych na styku koła z nawierzchnią umożliwia realizację pomiarów w dowolnych warunkach eksploatacji pojazdu z wykorzystaniem stosunkowo taniego wyposażenia pomiarowego. Opracowanie wspomnianej metody zarówno w obszarze metodyki przygotowania jej implementacji, algorytmu obliczeniowego pośredniego szacowania obciążeń koła, doboru aparatury pomiarowej oraz kalibracji i weryfikacji całego układu pomiarowego stanowią oryginalną i nową wiedzę w obszarze eksperymentalnych badań dynamiki pojazdów samochodowych.

Jej wartość naukowa wynika z przeprowadzenia procesu opracowania metody oraz jej weryfikacji z wykorzystaniem bogatego warsztatu naukowego - analizy literatury, badań symulacyjnych opracowanego algorytmu, badań identyfikacyjnych i weryfikacyjnych całościowej metody zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i w warunkach prób drogowych. Przeprowadzone eksperymenty badawcze zostały przez Autora szczegółowo udokumentowane i opisane co umożliwia weryfikację przyjętej metodyki przez czytelnika pracy oraz pozwala na ocenę przeprowadzonej przez Autora interpretacji uzyskanych wyników. W opinii Recenzenta dodatkowo o wartości naukowej wyników pracy świadczy także to, że otwiera ona przed Autorem nowe perspektywy zarówno w zakresie naukowym jak i użytkowym w obszarze opracowywania modeli generowania sił stycznych przez opony w warunkach jazdy sportowej. Metoda, poza umożliwieniem estymacji sił stycznych, pozwala także na pozyskiwanie informacji o relacjach pomiędzy wielkościami obciążeń zewnętrznych koła a obciążeniami wewnętrznymi mechanizmu zawieszenia koła, co jest istotnym elementem w procesie projektowania elementów tego mechanizmu jak i struktury nośnej pojazdu.

2.2. Oryginalność rozprawy

Zaproponowana przez Autora metoda pośredniego pomiaru (szacowania) sił opony w kontakcie z nawierzchnią drogi jest opracowaniem oryginalnym i nowatorskim. Jest ona oryginalnym połączeniem wielu złożonych metod obliczeniowych i badawczych w celu uzyskania nowej funkcjonalności badawczej, otwierającej nowe perspektywy w obszarze badań dynamiki pojazdów, w szczególności pojazdów sportowych prowadzonych w odmienny sposób od zwykłych pojazdów drogowych. Wskazaną przez Autora genezą pracy były właśnie badania dynamiki samochodu w manewrach sportowych, realizowane wspólnie z promotorem pomocniczym rozprawy dr inż. Michałem Maniowskim.

Przeprowadzone w pracy badania - szeroko opisane i udokumentowane są oryginalne i autorskie i dodatkowo dowodzą oryginalności pracy oraz dostarczają nowej, ciekawej wiedzy dla osób zajmujących się dynamiką pojazdów.

2.3. Poprawność metodologiczna rozprawy

Rozprawa zrealizowana została wg metodyki przedstawionej na schemacie zamieszczonym na stronie 27 rozprawy, który przedstawia rozwiązywany problem jako zagadnienie składające się z dwóch głównych wyzwań:

1. opracowania metody wyznaczania zewnętrznego obciążenia koła ogumionego na podstawie znanych (mierzonych) obciążeń wewnętrznych mechanizmu zawieszenia,
2. doboru narzędzi pomiarowych (czujników, zmodyfikowanych elementów pojazdu współpracujących z czujnikami).

Rozwiązanie problemu zostało zrealizowane wg metodyki obejmującej studia literaturowe, opracowanie modelu matematycznego kinematyki zawieszenia, zaproponowane algorytmów obliczeniowych przekształcających siły wewnętrzne mechanizmu zawieszenia na siły zewnętrzne w płaszczyźnie kontaktu koła z drogą i symulacyjną weryfikację ich działania, a następnie budowę układu zmodyfikowanego zawieszenia i wyposażenie go w dobrane czujniki dla celów pomiaru sił wewnętrznych zawieszenia a następnie weryfikację stanowiskową i drogową opracowanej metody wraz z jej fizyczną realizacją. Przyjęta metodyka pozwoliła na opracowanie kompletnej metody wyznaczania sił obciążających koło w sposób najbardziej efektywny pod kątem ilości czasu jak i łatwości interpretacji wyników uzyskiwanych w poszczególnych krokach opracowywania metody. Badania symulacyjne w początkowym etapie opracowywania algorytmu obliczeniowego pozwoliły uniknąć wpływu różnorodnych zakłóceń

i niedokładności na jednoznaczność oceny proponowanej metody. Z kolei badania stanowiskowe i drogowe kompletnego układu pomiarowego pozwoliły na weryfikację eksperymentalną opracowanej w ramach pracy kompletnej metody.

Warto podkreślić, że złożoność zaproponowanej metody powoduje, że obszar pracy jest dosyć rozległy. W efekcie Doktorant zastosował wiele skomplikowanych i pracochłonnych metod badawczych, uzyskując wartościowe osiągnięcia na poszczególnych etapach realizacji pracy jak i w jej podsumowaniu w postaci rzeczywistej realizacji systemu pomiarowego i zaimplementowania całościowego opracowanej metody. Do istotnych osiągnięć na poszczególnych etapach pracy zaliczyć należy:

1. opracowanie metody obliczeniowej (oraz jej implementację w systemie Matlab) pozwalającej na estymację sił obciążających koło na podstawie mierzonych wewnętrznych obciążeń mechanizmu zawieszenia koła i przeprowadzenie jej weryfikacji z uzyskaniem pozytywnego wyniku na podstawie analiz obliczeniowych i zmierzonych na rzeczywistym mechanizmie zawieszenia charakterystyk kinematycznych,
2. zaprojektowanie układu pomiarowego (wraz z doбором i kalibracją czujników) pozwalającego w czasie rzeczywistym rejestrować reakcje wewnętrzne w mechanizmie zawieszenia, sygnały sterujące dynamiką pojazdu oraz podstawowe zmienne opisujące ruch pojazdu,
3. oszacowanie niepewności końcowego wyniku estymacji sił na styku koła z drogą na podstawie wyników przeprowadzonej analizy czynników mających wpływ na dokładność cząstkowych pomiarów,
4. skonstruowanie i wykonanie elementów zmodyfikowanego mechanizmu zawieszenia pozwalającego na montaż czujników,
5. opracowanie adaptacji stanowisk badawczych do kalibracji pojedynczych czujników oraz kompletnego układu,
6. przeprowadzenie ewaluacji opracowanej metody w warunkach ruchu pojazdu w warunkach eksploatacyjnych.

Wyniki końcowej ewaluacji kompletnej metody pośredniego pomiaru obciążenia koła jezdnego podczas ruchu pojazdu dowodzą słuszności przyjętej w 3 rozdziale pracy tezy pracy. Choć warto zwrócić uwagę, że nie zdefiniowano precyzyjnie jakie przyjęto warunki potwierdzenia tezy (co jest pewnie wynikiem braku sprecyzowania tych warunków), a także nie zdefiniowano hipotez cząstkowych czy też zadań szczegółowych koniecznych do potwierdzenia tezy. Zadania te dałyby się wyróżnić w treści merytorycznej pracy i odpowiadają one wymienionym wyżej istotnym osiągnięciom pracy.

2.4. Poprawność formalna rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska spełnia szczegółowe wymagania art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki - w szczególności:

1. została przygotowana pod opieką promotora prof. dr hab inż. Witolda Grzegożka oraz promotora pomocniczego dr inż. Michała Maniowskiego,
2. stanowi autorskie i oryginalne rozwiązanie problemu naukowego jakim było opracowanie metody pośredniego pomiaru obciążeń koła jezdnego podczas ruchu samochodu z wykorzystaniem pomiaru obciążeń wewnętrznych mechanizmu zawieszenia oraz zmiennych ruchu pojazdu i pozycji mechanizmu zawieszenia ale jednocześnie stanowi także oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie konstrukcyjne układu pomiarowego,
3. rozprawa ma formę maszynopisu (wydruku komputerowego),
4. rozprawa jest opatrzona streszczeniem w języku angielskim(str. 133, 134 rozprawy).

W ocenie strony formalnej warto zwrócić uwagę na fakt, że w rozprawie wyodrębniono rozdział cel i zakres pracy i zdefiniowano w nim tezę pracy, jednak wcześniej nie zdefiniowano w sposób wyraźny i jednoznaczny problemu naukowego. Rozdział 2 wskazuje problem modelowania współpracy opon pneumatycznych z nawierzchnią drogi (w szczególności okształcalną) a w zasadzie problem pomiaru sił i parametrów pracy opony z nawierzchnią umożliwiających wyznaczenie charakterystyk opon w celu opracowania takich modeli. W rozdziale tym wskazano istniejące rozwiązania stanowisk i przyrządów

badawczych, opisując ich wady i zalety, nie podsumowano go jednak jednoznacznym sformulowaniem problemu badawczego. Problem ten sformułowany został dopiero w początku rozdziału 4 na rys 4.1. opisanym "Schemat blokowy rozwiązania problemu naukowego pomiaru obciążenia koła w czasie jazdy" jednak ze względu na formę schematu jego dokładnego brzmienia trzeba się domyślać. Mimo tej usterki w redakcji tekstu pracy, nie ma wątpliwości, że problem naukowy w pracy został dobrze zdiagnozowany a następnie w oryginalny sposób rozwiązany.

2.1. Ogólne uwagi merytoryczne

Ogólne uwagi merytoryczne do treści pracy nie mają charakteru krytycznego wobec uzyskanych wyników - wskazują na możliwość lepszej konstrukcji treści rozprawy we wstępnej jej części - analizie stanu wiedzy oraz zdefiniowaniu problemu badawczego i są następujące:

1. Rozdział 1 i 2 pracy powinny wprowadzić czytelnika w podjęte w rozprawie zagadnienie, wskazać genezę podjętych prac oraz zdefiniować problem naukowy. W tym zakresie w opinii recenzenta rozdziały te mogłyby być dopracowane lepiej. Już w rozdziale 1 można było precyzyjniej omówić strukturę modeli opon (może już tutaj warto było zamieścić i omówić *Rys. 5.1. Schemat blokowy wejść i wyjść dla modelu opony*) i wskazać zadania konieczne do wyznaczenia ich charakterystyk. Rozdział 2 mógłby wtedy być bardziej zrozumiały i zredagowany pod kątem porównania metod rozwiązywania zadań koniecznych do wyznaczania charakterystyk opon i ich modeli. Na tej podstawie należało jednoznacznie zdefiniować problem naukowy do rozwiązania w pracy przed sformulowaniem w rozdziale 3 celu i zakresu pracy.
2. W rozdziale 3 Autor opisuje zakres pracy pisząc, że została ona podzielona na 4 części. Część opisana jako pierwsza obejmuje rozdziały 1,2 oraz fragment 4. Opis "ostatniego" rozdziału pracy odnosi się do treści zawartych w rozdziale zarówno 4 jak i 5. Część 2 i 3 zawarta została w rozdziale 4. Pojawia się więc pytanie z czego wynika to całkowicie inne podzielenie pracy w opisie jej zakresu a inne w podziale na rozdziały i podrozdziały. Dlaczego nie zdecydowano się na numerowanie podrozdziałów w rozdziałach?
3. W rozdziale 4 do projektu układu pomiarowego przyjęto szereg założeń (de facto współdefiniujących problem naukowy) nie podając jednak uzasadnienia ich wyboru - w szczególności dotyczy to kosztu układu pomiarowego oraz niepewności estymacji sił - dlaczego przyjęto koszt na poziomie 10% ceny piasty pomiarowej a niepewność estymacji sił na poziomie 5%? Jest to o tyle istotne, że uznano zmieszczenie się w tych granicach za kryterium rozwiązania problemu.

Ostatnie uwagi merytoryczne odnoszą się do doprecyzowania informacji o algorytmie przetwarzania danych pomiarowych.

4. W pracy nie przedstawiono (ani w treści ani w formie załączników, może warto to zrobić podczas prezentacji na obronie) żadnego schematu blokowego algorytmu przetwarzania sygnałów z czujników do uzyskania wartości sił na styku opony z nawierzchnią drogi.

Ze względu na powyższy brak pojawia się kolejne pytanie:

5. Czy w torze pomiarowym zastosowano względem sygnałów pomiarowych filtrację lub uśrednianie (charakter sygnałów przedstawianych na wykresach zdaje się wskazywać na taki fakt)? Jeśli tak, to jakie były parametry tych filtrów i jak wpływają one na charakterystyki dynamiczne uzyskiwanych sygnałów?

Ostatnie pytanie dotyczy zakresu prowadzonych badań:

6. Czy cały układ pomiarowy i metoda były badane pod kątem charakterystyk dynamicznych (pasmo przenoszenia, opóźnienie odpowiedzi)?

Na nasuwające się po przeczytaniu treści pracy pytanie o inne metody weryfikacji, Autor rozprawy w ostatnim rozdziale pracy w podrozdziale "Wnioski dotyczące dalszych prac" sam wskazał zasadność przeprowadzenia testów porównawczych z wykorzystaniem czujnika wzorcowego - np. piasty pomiarowej Kistler lub poprzez porównanie charakterystyk opon uzyskanych w badaniach stanowiskowych z charakterystykami uzyskanymi przy pomocy opracowanej metody.

2.2. Drobne uwagi merytoryczne i redakcyjne

Pomimo pozytywnej oceny treści rozprawy we wszystkich istotnych aspektach Autor nie ustrzegł się drobnych błędów bądź niejasności rodzących następujące pytania/uwagi szczegółowe:

1. Str. 26 - 27 - schemat na rys. 4.1 w tekście pracy przywołany jest bez wyraźnego wskazania, że definiuje on problem naukowy pracy i metodykę jego rozwiązania - wydaje się to być dużą stratą dla czytelności pracy?
2. Str. 28 - Tabela 4.1 przedstawia "wybrane" dane techniczne samochodu testowego - Autor nie wyjaśnił czym się kierował wybierając dane do przedstawienia, a wydaje się, że z punktu widzenia treści pracy wiele z nich jest zbędnych dla dalszego tekstu pracy i jego rozumienia?
3. Str. 34 - 6 wiersz od dołu - odwołanie do równania (1) - powinno być do (4.1)?
4. Str. 44 - 2 wiersz od góry - brak wskazania numeru tabeli, o której mowa.
5. Str 46 - czy sformułowanie "normalnej dystrybucji" oznacza "rozkładowi normalnemu" i pochodzi z dosłownego tłumaczenia "normal distribution"?
6. Str 48 do 53 - rysunki 4.10 do 4.15 powinny być na wykresach opisane w języku treści rozprawy czyli w j. polskim,
7. Str 63 - w treści tabeli zamieszczono sformułowania "z preloadem" oraz "bez preloadu" - czy mogą one być zastąpione sformułowaniami "z napięciem/obciążeniem wstępnym" i "bez napięcia/obciążenia wstępnego"?
8. Str 82 - na rys.4.56 zaznaczono utwierdzenie nadwozia ale nie pokazano jak to technicznie zrealizowano. Czy można to wyjaśnić?
9. Str 88 - zapisano "Duża zgodność w przebiegach funkcji świadczy...." O jaką zgodność (z czym) chodzi?
10. Str 102 - na rys. 5.3 w legendzie zapisano "skok zawieszenia i "obrót kierownicy" a widać tylko obrót kierownicy - na czym polega błąd?
11. Str 103 - z czego wynika utrzymywanie się sił w drążkach po wykonaniu skrętu podczas oczekiwania na dalszy skręt?
12. Str 113 - czy próbowano zweryfikować wyznaczone siły poprzez porównanie z osiąganymi przyspieszeniami?
13. Str 116 - w tekście pod rysunkiem podano wartości momentu z jednostką [N] zamiast [Nm]. Podobnie na stronie 121 nad rysunkiem.

3. PODSUMOWANIE I KONKLUZJA

Na podstawie analizy treści rozprawy stwierdzam, że oceniana praca mieści się w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna. Podjęte przez Autora zagadnienie oceniam jako aktualne dla dziedziny nauki i techniki jaką się zajmuje (badania i modelowanie dynamiki pojazdów) oraz mające duże znaczenie utylitarne.

Podjęty problem badawczy związany z opracowaniem i weryfikacją metody pośredniego szacowania obciążenia koła pojazdu w rzeczywistych warunkach ruchu oraz uzyskane dla jego rozwiązania wyniki prac cząstkowych były ambitne i wymagały od Autora zgromadzenia dużego zasobu wiedzy teoretycznej w zakresie inżynierii mechanicznej i uzyskania biegłości w korzystaniu z narzędzi inżynierskich i naukowych:

- analiz teoretycznych dotyczących kinematyki mechanizmów z wykorzystaniem aparatu matematycznego i środowiska obliczeń numerycznych,
- realizacji prac konstrukcyjnych w zakresie inżynierii mechanicznej i doboru czujników do pomiaru wielkości mechanicznych oraz ich przetwarzania i interpretacji,
- organizacji i realizacji badań eksperymentalnych w zakresie pomiaru sił w mechanizmie zawieszenia zarówno w warunkach eksploatacji i w warunkach badań laboratoryjnych oraz pomiaru parametrów dynamiki pojazdu.

Świadczy to o dobrej znajomości przez Doktoranta obszaru wiedzy dotyczącej inżynierii mechanicznej, w szczególności badań i analiz dynamiki pojazdów samochodowych i ich podzespołów.

Przedstawione w pracy sformułowanie celu, przedstawiona metodyka badawcza i uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że Autor rozprawy wykazał się samodzielnością w formułowaniu oryginalnych problemów naukowych i ich rozwiązywaniu oraz umiejętnością prowadzenia unikalnych i trudnych eksperymentów badawczych.

Pod względem metodologicznym praca jest prawidłowa. Uwagi budzi jedynie jej niezbyt uporządkowana redakcja (brak jednoznacznego zdefiniowania problemu badawczego przed sformułowaniem celu pracy, niezbyt uporządkowana struktura, brak numerowania podrozdziałów). Nie umniejsza to jednak znacząco jej naukowej i użytecznej wartości, które oceniam jako wyróżniające. Na podkreślenie zasługuje również dobry poziom edytorski pracy - w szczególności bardzo dobry poziom merytoryczny i edycyjny autorskich ilustracji o dużej wartości informacyjnej.

Zawarte w opinii ogólne i drobne uwagi merytoryczne i uwagi redakcyjne nie wpływają na ogólną pozytywną ocenę pracy a stanowią wskazówki dla doskonalenia warsztatu badawczego i naukowego oraz pisarskiego wpływającego na precyzyjność wypowiedzi Autora w przyszłych pracach naukowych.

Doceniając oryginalność podjętego problemu badawczego, jego złożoność i dużą pracowitość prac podjętych dla jego teoretycznego oraz praktycznego, potwierdzonego eksperymentalną weryfikacją rozwiązania, które dodatkowo otwiera dalsze perspektywy badawcze, wnoszę o wyróżnienie ocenianej pracy doktorskiej, pomimo jej usterek w warstwie redakcyjnej.

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Michała KLUZIEWICZA „NOWA METODA POMIARU OBCIĄŻENIA KOŁA JEZDNEGO PODCZAS RUCHU POJAZDU” spełnia warunki podane w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o jej przyjęcie a także o dopuszczenie mgr inż. Michał KLUZIEWICZA do publicznej obrony jego dysertacji.



dr hab. inż. Grzegorz Ślaski