

Dęblin 21.10.2023

Prof. dr hab. inż. Jerzy Bajkowski
Lotnicza Akademia Wojskowa
08-521 Dęblin
Ul. Dywizjonu 303 Nr 35

RECENZJA

rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Szymona Żymełki

p.t.

DEVELOPMENT OF SEMI-ACTIVE SHOCK ABSORBER DYNAMIC MODEL AND PARAMETERS IDENTIFICATION METHODOLOGY

opracowana na zlecenie
Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej
„Inżynieria Mechaniczna”
Prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak
(Pismo RD_(IM) 229/51/2023 z dn.27. 09.2023)

1. Uwagi dotyczące wymogów formalnych, genezy i tematu rozprawy, sformułowanego celu i zakresu pracy oraz jej tezy

Przedstawiona mi do oceny, napisana w języku angielskim dysertacja, została zrealizowana jako praca powstała w formule łączącej naukę z sektorem przemysłowym, a więc jako tzw. „doktorat wdrożeniowy”. Zgodnie z obowiązującymi zasadami, które dotyczą tego rodzaju prac, wykonana została pod okiem dwóch promotorów, którymi byli: jako opiekun naukowy Pan prof. dr hab. inż. Marek Fideli z Politechniki Śląskiej oraz Pan dr inż. Damian Sławik jako opiekun reprezentujący sektor przemysłowy, którym jest firma Tenneco Automotive Eastern Europe Sp. z o.o.. Praca ma charakter naukowo-badawczy, a jej przedmiotem jest oryginalne rozwiązanie problemu technicznego podbudowane dobrym materiałem naukowym. Ponieważ w zakresie określonym w odpowiednich dokumentach Ministerstwa Edukacji i Nauki spełnione są wszystkie niezbędne wymagania dotyczące tego rodzaju prac uważam, że nazwisko drugiego promotora powinno znaleźć się nie tylko w części, która poświęcona jest podziękowaniom.

Genezę podjętego opracowania Autor przedstawił, w stopniu wystarczającym, w podrozdziale 1.1. Skupił się na wskazaniu problemów eksploatacyjnych amortyzatorów zwłaszcza, gdy zakres ich pracy ma w satysfakcjonującym stopniu eliminować także drgania o wyższych częstotliwościach, których źródłem mogą być, np. ich elementy konstrukcyjne. Wskazał też na trudności eliminacji takich zjawisk, gdy realizacja konstrukcji jest zaawansowana oraz na brak możliwości odpowiedniego ich

- 1 -

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 24.10.2023.
RD 51el 259/51/2023
nr zał.

rozpoznawania w fazie projektowania, wobec braku przyjaznego modelu dynamicznego amortyzatora oraz metodyki identyfikacji uwzględniającej jednoznacznie opisane zjawiska.

Wobec powyższego, temat opiniowanej pracy dobrze wpisuje się w aktualny trend takich poszukiwań inżynierskich, które zmierzają do opracowywania modeli spełniających zaawansowane wymagania techniczne i eksploatacyjne konstrukcji i są wykorzystywane już na etapie ich projektowania. Zawartość merytoryczna pracy pozwala jednoznacznie stwierdzić, że jej tytuł jest zgodny z opracowaną treścią rozprawy.

Sformułowanie zasadniczego celu pracy zostało przez Doktoranta zaprezentowane poprawnie w pierwszej części podrozdziału (1.2). Jest nim opracowanie implementacji technik modelowania amortyzatorów samochodowych i ich praktycznego wykorzystania w środowisku przemysłowym już na etapie prac projektowych opracowywanej konstrukcji. Autor słusznie stwierdza, że takie sformułowanie spełnia wymóg „doktoratu wdrożeniowego”. Jego realizacja wymaga starannego opracowania zarówno modelu, jak i projektu inżynierskiego oraz zrealizowania wielu zaawansowanych i wszechstronnych prac badawczych pozwalających m. in. na prawidłową identyfikację parametrów. W moim przekonaniu wszystkie te elementy, w dalszej części omawianego podrozdziału zostały przedstawione przez Doktoranta zbyt drobiazgowo.

Głównym, naukowym i szeroko rozumianym celem opiniowanej dysertacji jest *„opracowanie modelu dynamicznego i metodyki identyfikacji parametrów półaktywnego amortyzatora”*. Jeśli to ma być dobry model i jak to sformułowano w genezie pracy, przydatny i dobrze sprawdzający się w projektowaniu amortyzatorów, to poza prawidłową budową i oprogramowaniem, musi być wielokrotnie i wszechstronnie sprawdzony pod każdym względem: matematycznym, numerycznym, inżynierskim, badawczym i eksploatacyjnym. Uważam zatem, że wymienianie wszystkich działań jakie są niezbędne do realizacji sformułowanego w temacie, naukowego celu pracy jest zbędne, a znaczna część wymienionych działań określa zakres pracy.

Podsumowując uważam, że poza oczywistym celem promocyjnym na pierwszy stopień naukowy, celem prezentowanej pracy jest opracowanie tytułowego modelu amortyzatora i metodyki identyfikacji jego parametrów oraz inżynierska aplikacja potwierdzająca prawidłowość działania zarówno modelu jak i zrealizowanej konstrukcji, co zostanie w pracy potwierdzone wszechstronnymi badaniami.

Podrozdział 1.3 dotyczy zakresu pracy i moim zdaniem, nie jest dobrze opracowany. Zaprezentowany w tym podrozdziale materiał jest streszczeniem zrealizowanych w pracy kolejnych zadań i działań związanych z pracą. Na tym etapie opracowania pracy, materiał dotyczący jej zakresu, powinien wyznaczać tylko zasadnicze problemy do zrealizowania i niezbędne do ich rozwiązania zadania. Wspomniałem wyżej, że materiał przedstawiony przez Autora, w drugiej części poprzedniego podrozdziału (1.2), określa w znacznej części jej zakres.

Nie dezawuuując jednak cennego materiału jaki znajduje się w podrozdziale 1.3 stwierdzam, że gdyby został on przedstawiony w czasie przyszłym i w nieco zmienionej formule, byłby dobrym materiałem opisującym zamierzoną i zrealizowaną metodykę badawczą pracy.

W kolejnym podrozdziale (1.4), w zwartej formie, Doktorant przedstawił zasadnicze oczekiwania partnera przemysłowego, które dotyczą pracy. Mimo że zostały one , chociaż w innej formie wyszczególnione wcześniej, uważam, że podkreślenie badawczego aspektu pracy w oddzielnym, chociaż krótkim podrozdziale jest ważne.

W głównych założeniach praca dotyczy badania oraz modelowania komputerowego właściwości drgań amortyzatorów hydraulicznych stosowanych w pojazdach samochodowych. Została przygotowana w ramach Programu Wdrożenia Przemysłowego realizowanego we współpracy z partnerem przemysłowym Tenneco Automotive Eastern Europe Sp. z o.o., w związku z czym, Autor kładzie duży nacisk na praktyczne zastosowanie wiedzy i metod opracowanych w trakcie projektu. Jednym z zadań było opracowanie implementacji technik modelowania amortyzatorów celem ich praktycznego wykorzystania w środowisku przemysłowym.

W końcowej części 1. rozdziału pracy sformułowana została jej teza. Została ona dobrze doprecyzowana i mówi o tym, że dzięki opracowanemu na podstawie studium literaturowego, modelowi komputerowemu, poprzez zidentyfikowanie jego parametrów oraz dzięki szeregowi opracowanych procedur eksperymentalnych, możliwe jest jednoznaczne określenie parametrów niezbędnych do symulacji odpowiedzi dynamicznej półaktywnego amortyzatora samochodowego z wymaganą dokładnością. Co więcej, opracowana metodologia powinna być możliwa do wdrożenia w standardowe, uproszczone procedury przemysłowe.

2. Struktura i ogólna charakterystyka pracy

Opiniowana praca składa się z ośmiu merytorycznych rozdziałów, które są poprzedzone spisem treści, streszczeniami w języku angielskim i polskim oraz podziękowaniami. Uzupełnieniem są zamieszczone w końcowej części pracy: obejmujący pięć stron spis rysunków, zamieszczony na jednej stronie spis tablic, na pięciu stronach wykaz oznaczeń i używanych symboli oraz spis literatury zajmujący aż dwanaście stron. Całość pracy zaprezentowano na 145. stronach. Wykaz literatury obejmuje 133 pozycje z czego dominującą część stanowią książki i artykuły naukowe, a jedynie kilka z nich to źródła internetowe, katalogi oraz dokumentacje.

W większości uczelni na pierwszych stronach dysertacji wymagane jest zamieszczenie informacji, iż praca nie zawiera elementów plagiatu, a także, że tworząc ją nie naruszono praw autorskich innych twórców. W przekazanym do recenzji egzemplarzu pracy takiego dokumentu nie ma. Bardzo możliwe, że w Politechnice Śląskiej taki wymóg nie musi być obligatoryjnie dołączany do pracy.

W stosunku do powszechnie przyjętych zasad prezentowanych prac doktorskich, w opiniowanej pracy spis używanych symboli został umieszczony w końcowej jej części. Uważam to za niezręczność, gdyż czytelnik już na początku powinien poznać znaki, skróty i symbole z jakimi będzie się spotykał studiując pracę.

Moje uwagi dotyczące materiału, który zamieszczony został w 1. jej rozdziale będącym *wprowadzeniem* do pracy zamieściłem w 1. części mojej opinii.

Materiał zgromadzony w rozdziale 2. to, w początkowej jego części, historyczne przedstawienie rozwoju tłumików i amortyzatorów, a w częściach dalszych, skrótowy ale staranny przegląd różnych zasad eliminacji niepożądanych drgań zawiesznień

samochodowych oraz ogólne przybliżenie aktualnych konstrukcji amortyzatorów. Kolejno przedstawiono krótką klasyfikację i podstawowe wiadomości dotyczące aktualnego stanu rozwoju półaktywnych zawiesznień (podrozdział 2.2) oraz zasadnicze funkcje, jakie spełniają amortyzatory samochodowe (podr. 2.3). Podrozdział 2.4, w całości został poświęcony opisowi zasad działania amortyzatorów jednorurowych (podr.2.4.1) i dwururowych (podr. 2.4.2) oraz amortyzatora półaktywnego z elektrozaworem (podr.2.4.3). Kolejny podrozdział (podr. 2.5) Autor poświęcił studium literaturowemu technik modelowania absorberów drgań. Obejmuje ono zarówno modele empiryczne, jak i fizyczne. Autor prezentuje zarówno zalety, jak i krytyczne spojrzenie na wady oraz możliwości zastosowań niektórych procedur w przemyśle, uwzględniając możliwość ich aktualizacji i ekstrapolacji do nowych rozwiązań tłumików drgań. Autor podsumowuje ten rozdział, ustalając ogólne wytyczne dla opracowywanego modelu proponując konkretny sposób modelowania. Celem jest więc stworzenie modelu, który skutecznie odwzorowuje dynamiczne zachowanie amortyzatora, istotne dla osiągnięcia dynamicznych cech pojazdu oraz problemów związanych z hałasem, przy zachowaniu praktycznej użyteczności w przemyśle motoryzacyjnym.

W podrozdziale 2.6 Autor wskazuje na możliwość powstawania w samochodzie niekorzystnych z punktu widzenia pasażera zjawisk akustycznych, których źródłem mogą być bezpośrednio niewłaściwie dobrane amortyzatory lub ich niewłaściwa współpraca z nadwoziem. Materiał zgromadzony w podrozdziale 2.7 to przypomnienie standardowych metod pomiarowych amortyzatorów. Najważniejsze z nich to wyznaczanie charakterystyki odwzorowującej siłę działającą na tłoczyisko (podr.2.7.1), w funkcji jego przemieszczenia (praca amortyzatora) oraz w funkcji prędkości (pętla histerezy – charakterystyka amortyzatora). W kolejności (podr.2.7.2) przedstawiono metodę pozyskiwania sygnałów do oceny stosowanych zaworów na zaprezentowanym stanowisku (Rys.2.13). W ostatnim podrozdziale (2.7.3) rozdziału 2. Autor zamieścił materiał dotyczący bardzo ważnych zagadnień, które dotyczą amortyzatorów, gdy są one narażone, bądź są źródłem drgań o wysokich częstotliwościach prezentując m. in. wyniki jednego z testów (Rys.2.14).

Podsumowując materiał zgromadzony w pierwszym i drugim rozdziale pracy stwierdzam, że zostały on zaprezentowany w uporządkowany i przemyślany, przydatny w realizacji pracy, sposób.

Charakteryzując oba rozdziały stwierdzam, że została przeprowadzona analiza istniejącej wiedzy na temat zawiesznień pojazdów samochodowych oraz modelowania komputerowego amortyzatorów. Przegląd literatury jest wystarczająco rozbudowany i kompletny, a zawarty materiał graficzny dobrze wzbogaca informacje tekstowe. Autor rozpoczyna od krótkiego rysu historycznego, przywołującego pierwsze zastosowania tłumików drgań w przemyśle motoryzacyjnym. Następnie omawia aktualne rozwiązania tłumików drgań i przedstawia studium literaturowe zawiesznień samochodów, ich modelowanie oraz możliwości ograniczania występujących drgań analizując różnorodne rozwiązania konstrukcyjne, poczynając od pasywnych, a skończywszy na półaktywnych, które są głównym tematem pracy.

Trzeci dość krótki rozdział pracy poświęcony został literaturowemu przeglądowi metod modelowania układów technicznych. W podrozdziale 3.1 Autor przypomniał podstawowe zalety i wady modeli empirycznych wskazując jednocześnie, że modele fizyczne (podr. 3.2), choć trudniejsze do opanowania i aplikacyjnego wykorzystania, przyczyniają się do bardziej pełnego zrozumienia zjawisk związanych z procesem modelowania urządzeń. Potwierdzają to m.in. dane dotyczące 15 opracowań literaturowych dotyczące różnych rodzajów tłumików, które zamieszczone zostały w tablicy 3.1 i opatrzone stosownym autorskim komentarzem. Podsumowując własną analizę kolejno rozpatrzonych zagadnień dotyczących wybranych literaturowych zagadnień modelowania, także po przeprowadzeniu konsultacji inżynierskich, Doktorant, w podsumowaniu tego rozdziału pracy, sformułował wytyczne dotyczące struktury modelu, który może współpracować z wieloma podsystemami wybierając odpowiednie środowisko modelowania.

W 4. rozdziale dysertacji przedstawiona została propozycja modelu amortyzatora półaktywnego, która po uzgodnieniach ze środowiskiem inżynierskim partnerskiej firmy, została zaakceptowana jako przemysłowa. Ta wersja stanowi podstawę badań symulacyjnych, a po przyjęciu odpowiedniej strategii oceny parametrów, także rozbudowanych badań eksperymentalnych. W kolejności analiza dotyczyła: wyznaczenia siły działającej na tłoczysko (podr. 4.1), roli układu hydraulicznego (podr. 4.2 i 4.3) oraz zaworów (podr. 4.4). W podrozdziale 4.5, opisane zostało zagadnienie dotyczące modelowania gumowego elementu zamocowania amortyzatora za pomocą pakietu symulacyjnego „AutoBushFD” wykorzystującego m. in. reologiczny model Bouca-Wena. W dalszej kolejności (podr. 4.6) rozważania dotyczyły trzech źródeł sił tarcia na powierzchniach par ciernych, które tworzą tłok i tuleja, tłoczysko z gumowym uszczelniaczem oraz tłoczysko z łożyskiem ślizgowym. W podrozdziale 4.7 Autor analizuje możliwe inne od przedstawionych wcześniej, możliwości modelowania zaworów.

W 5. rozdziale pracy sformułowano główne wytyczne i założenia dotyczące planowanych do wykorzystania technik symulacji i opracowano model teoretyczny. Autor wprowadza model ze 105. parametrami wejściowymi, co oznaczałoby konieczność identyfikacji tych parametrów przy projektowaniu każdego nowego tłumika. Z uwagi na wysoki poziom skomplikowania modelu, szczególnie istotnym zadaniem stała się estymacja parametrów. Aby wyniki badań symulacyjnych były efektywne i rzetelne muszą bazować na rzeczywistych wartościach parametrów wejściowych i często muszą być wprowadzane do programu z odpowiednimi ograniczeniami. Autor słusznie podkreślił szereg problemów, które dotyczą wyznaczenia wartości i oceny wrażliwości parametrów zwłaszcza, gdy ich liczba jest znaczna i jednocześnie nie zawsze możliwa do jednoznacznego określenia. W opiniowanej dysertacji Doktorant starał się je zdefiniować jednoznacznie bazując na dokumentacji konstrukcyjnej amortyzatora, przeprowadzając bezpośrednie pomiary oraz wykorzystując wyniki zaawansowanych obliczeń numerycznych lub badań symulacyjnych zrealizowanych podczas aplikacji innych programów. Zostały one zestawione w obszernej tablicy 5.1 jako niezbędne parametry do obliczeń symulacyjnych modelu amortyzatora.

W dwóch kolejnych rozdziałach 6. i 7, Autor zaprezentował obszerny materiał dotyczący poziomu kalibracji rezultatów badań zaproponowanego modelu proponując dwie metody badawcze.

Pierwsze podejście pozwalało na określenie wartości parametrów wejściowych, na podstawie dokumentacji technicznej oraz zindywidualizowanych eksperymentów dla wybranych elementów składowych i podzespołów. Analizował m.in. parametry stosowanych zaworów, charakterystykę cieczy roboczej oraz parametry modelu dynamicznego górnego mocowania. Zaletą takiego podejścia jest możliwość identyfikacji parametrów poszczególnych podzespołów przed powstaniem finalnego urządzenia, a więc możliwość oszacowania jego parametrów przed przystąpieniem do produkcji. Jednak jak zauważa autor, identyfikacja tak wielu parametrów jest niepraktyczna zarówno w warunkach przemysłowych, jak i laboratoryjnych, a niedokładności metod pomiarowych mogą wpłynąć na wyniki w sposób zniekształcający. W związku z tym autor zaproponował kolejne podejście, alternatywne.

Główna idea drugiego podejścia polega na tym, że wszystkie nieznane parametry są kalibrowane po wytworzeniu gotowego amortyzatora na podstawie testu całego urządzenia. Może się to wydawać niepraktycznym podejściem w porównaniu z poprzednią metodą, ponieważ aby uzyskać model symulacyjny konkretnego amortyzatora musi zostać on najpierw wytworzony i zbadany. To oznacza utratę możliwości modelowania konkretnych właściwości na etapie projektowania. Jednak w praktyce, w wyniku takiego podejścia do kalibracji modelu, tworzony jest tzw. "cyfrowy bliźniak" (pomysł szerzej wprowadzony w koncepcji Przemysłu 4.0) rozważanego projektu. Estymacja parametrów wykorzystuje serię równoległych algorytmów genetycznych do celów optymalizacji oraz analizę wrażliwości modelu, pozwalającą określić wpływ danego parametru na wybrane wyniki symulacji. Włączenie tych informacji w procedurę kalibracji parametrów ma na celu zmniejszenie ryzyka kalibracji parametrów o niskiej identyfikowalności. Jednakże, bezpośrednie wykorzystanie wskaźników Sobola w procedurze estymacji parametrów jest zadaniem wymagającym, ze względu na koszty obliczeniowe. Pozwala to wykorzystać tylko jeden wynik testu jako źródło wielu funkcji celu, zorientowanych na konkretne podsystemy dla których będą szacowane parametry. Autor podejmuje jednak starania w tym kierunku, segregując parametry na te, które można zidentyfikować na podstawie dokumentacji technicznej oraz na te, które wymagają dalszych działań identyfikacyjnych, wreszcie na takie, których wartość można ustalić jedynie za pomocą pomiarów lub zaawansowanych symulacji numerycznych. Pozostaje jeszcze ostatnia grupa parametrów, które mają znaczący wpływ na charakterystykę odpowiedzi amortyzatora oraz wprowadzenie ostatniej grupy parametrów, których wpływ na ostateczną charakterystykę amortyzatora jest niewielki i można je zredukować. Autor zestawia te pogrupowane parametry w czytelnej tabeli oraz prowadzi systematyczną metodologiczną dokumentację i oznaczenia literowe ułatwiające zrozumienie, do której grupy zaliczyć dany parametr. Ostatecznie autorowi udało się opracować symulacyjną reprezentację

amortyzatora jako cyfrowego bliźniaka (digital-twin) o skalibrowanych eksperymentalnie parametrach.

Jak udowodniono w pracy model taki ułatwia analizę wpływu poszczególnych parametrów na projektowany amortyzator. Każda z metod kalibracji została omówiona szczegółowo, a wyniki każdej procedury zostały ocenione. Jak słusznie zauważył Autor, oba podejścia są do pewnego stopnia skuteczne w rozwiązywaniu problemu, jednak drugie z nich jest bardziej praktyczne i lepiej nadaje się do zautomatyzowania pewnych procedur i ich implementacji w zakładzie produkcyjnym zajmującym się wytwarzaniem amortyzatorów drgań. Razem z badaniem wrażliwości parametrów dostarcza to potwierdzenia, że model jest w stanie poprawnie odtwarzać dynamiczne zachowanie amortyzatora.

Autorskim podsumowaniem pracy jest materiał zaprezentowany w rozdziale 8. dysertacji. Ze względu na wdrożeniowy jej charakter, obok potwierdzenia prawidłowości przeprowadzonych badań, spostrzeżeń i autorskich wniosków, Autor słusznie zdecydował o dołączeniu w tym rozdziale informacji, która dotyczy przemysłowej aplikacji rezultatów pracy.

3. Uwagi merytoryczne dotyczące rozprawy

Sformułowanie problemu badawczego, cel opracowania, zakres badań i teza pracy, nie budzą wątpliwości. To co pozytywnie wyróżnia pracę to silny nacisk na to, aby powstałe narzędzie numeryczne (nazywane przez Autora mylnie interfejsem) było możliwe do praktycznego wdrożenia w zakładzie produkcyjnym, umożliwiając inżynierom wykorzystanie opracowanych analiz bez głębokiego zrozumienia teorii. Opracowany zestaw narzędzi numerycznych powinien pomóc w konkretny sposób rozwiązywać już istniejące problemy inżynierskie związane z modelowaniem charakterystyk projektowanych amortyzatorów. W przypadku dynamicznego amortyzatora, oznacza to doskonalenie projektu przy użyciu wiedzy uzyskanej ze skalibrowanego, dynamicznego modelu półaktywnego amortyzatora. Jest to przez Autora dokładnie podkreślone i stanowi o wysokiej wartości pracy. Natomiast sam opis tego celu zawarty w rozdziale 1.4 jest napisany dosyć ogólnikowo i zostaje on doprecyzowany dopiero w dalszych rozdziałach.

Nie do końca wiadomo czy celem Autora jest opracowanie konkretnego kompletnego programu komputerowego, czy też dostarczenie algorytmu i metod projektowania absorberów drgań, łatwych do zaimplementowania. Doktorant wspomina o konieczności przygotowaniu interfejsu, natomiast żaden interfejs (w klasycznym rozumieniu jako wizualizacja pozwalająca na wymianę informacji pomiędzy człowiekiem a maszyną) nie zostaje opisany w pracy.

Dopiero w ostatnim rozdziale pracy w *Podsumowaniu* i dyskusji, znalazła się sekwencja, w której czytelnik dowiaduje się, w jaki sposób opracowana wiedza została przełożona na jej wdrożenie w systemie produkcyjnym. Na koniec pracy dowiadujemy się, że Autor przygotował odpowiednie środowisko skryptowe, które będzie pełnić rolę interfejsu programistycznego dla opracowanych narzędzi i zgromadzonych danych. W rezultacie zostało przygotowane środowisko do zarządzania modelem i parametrami przy użyciu języka skryptowego Python. Składało się ono zasadniczo z dwóch

oddzielnych repozytoriów: silnika symulacyjnego Amesim i systemu zarządzania parametrami. Repozytorium kodu było także odpowiedzialne za połączenie z bazą danych oraz przetwarzanie danych eksperymentalnych. To umożliwia użytkownikom korzystanie z już zaprogramowanych metod parametryzacji, uruchamianie symulacji i analizowanie zarówno wyników symulacji, jak i wyników eksperymentalnych zdalnie, za pośrednictwem interfejsu przeglądarki internetowej i bez konieczności dodatkowej instalacji oprogramowania. Podrozdział ten znacznie lepiej byłoby umieścić w początkowej części pracy. Nie stanowi to zarzutu, a jedynie sugestię, aby lepiej grupować informacje w sekcjach lub blokach tematycznych, zamiast nadmiernego rozproszenia kluczowych informacji w wielu rozdziałach.

Autor często zakłada, że czytelnik operuje tym samym zestawem terminów i oznaczeń, co przyjęte przez niego, co może prowadzić do konieczności dokładnego analizowania niektórych fragmentów pracy. Objasnienia użytych przez Autora pojęć lub symboli są umieszczane zarówno we wcześniejszych rozdziałach, jak i późniejszych sekcjach, co wymaga szczególnej uwagi czytelnika. Sugeruję skupienie się na tym, aby poszczególne sekcje były tak skonstruowane, by mogły stanowić samodzielne, zamknięte jednostki badawcze, niewymagające od czytelnika odniesienia się do innych, często oddalonych fragmentów pracy.

W równaniach 4.2 i 4.3 brakuje bezpośrednich objaśnień symboli (D_{pt} , D_R), chociaż można się domyślić ich znaczenia z kontekstu zdania. W równaniu 4.4 czytelnik jest kierowany do dalszych sekcji, ale nie ma tam wyjaśnień dla części symboli. Sugeruję także dodanie schematycznych rysunków, które ilustrowałyby wprowadzane wielkości w równaniach. Ten trend kontynuowany jest w rozdziale 4.2 w równaniach 4.5 ÷ 4.14, co utrudnia czytelnikowi śledzenie równań, gdyż musi domyślać się znaczenia poszczególnych indeksów. Równania od 4.20 objaśniane są na rysunkach, ale opisy symboli są dość oszczędne. Dochodzi do sytuacji, w której część zmiennych jest wyjaśniona, a część pozostaje tajemnicą. Wyjaśnienie wszystkich symboli znajduje się na końcu pracy w wykazie oznaczeń. Niemniej jednak, lepiej byłoby umieścić wyjaśnienia symboli bezpośrednio przy ich pierwszym wystąpieniu pod równaniem. Przyjęty przez Autora schemat, w którym część symboli jest objaśniona pod równaniem, a część musi być odczytana z wykazu na końcu pracy, generuje niepotrzebne zamieszanie, którego łatwo uniknąć.

W rozdziale 4, który poświęcony jest opisowi modelu, wspomniano, że został on opracowany po przeprowadzeniu konsultacji z zespołem inżynierskim partnera przemysłowego. To sformułowanie pojawia się jeszcze kilkakrotnie w pracy. Niemniej jednak, praca nie dostarcza szczegółów dotyczących charakteru konsultacji, wiedzy i stażu uczestników, celów, ani założeń tych konsultacji. Brak precyzyjnej informacji na temat procesu konsultacyjnego pozostawia czytelnika w niepewności. Nie wiemy, czy byli to kompetentni specjaliści, jak długo pracujący w danej dziedzinie, co ma znaczenie w kontekście ewentualnych wprowadzonych zmian czy usprawnień w opracowywanych rozwiązaniach. Jednoznaczne opisanie procesu konsultacji zwiększyłoby wartość merytoryczną pracy i zapewniłoby czytelnikowi pełniejszy obraz zaangażowania i wkładu partnera przemysłowego w rozwój modelu.

4. Uwagi językowe

Praca jest napisana językiem technicznym i zawiera logiczny ciąg przedstawiający w konsekwentny sposób kolejne etapy rozwiązania zagadnienia naukowo-badawczego. Niemniej, niekiedy w pracy padają stwierdzenia zbyt popularno-naukowe bez podania źródeł, co jest widoczne zwłaszcza w rozdziałach wprowadzających. Chociażby w pierwszym zdaniu rozdziału 1.1 wspomniano, że naturalna częstość drgań, do której dostosowywane są samochodowe amortyzatory drgań to 0-30 Hz, jednak nie jest przywołane źródło tych danych.

Niekiedy Autor stosuje zwroty z języka potocznego np. „vibrations themselves are only half of the problem” oraz sformułowania zbyt ogólnikowe.

Pomimo dużej staranności w opracowaniu pracy Autor nie ustrzegł się sformułowań będących kalkami z języka polskiego oraz błędów składniowych, sprawiających że niektóre sformułowania brzmią w języku angielskim niezręcznie (przykładowo „As damper designs are progressing”, „research on the existing knowledge”, „technical documentation of the designs” itp.).

Na wykresach prędkość tłoczyska tłumaczona jest niekiedy jako velocity, a niekiedy jako speed.

Autor nie ustrzegł się nielicznych błędów interpunkcyjnych oraz literówek (przykładowo stawiane przecinki przed spójnikami, literówki Simcetner zamiast simCENTER, air-borne raz zapisywane z myślnikiem a raz bez, literówka w nazwie rozdziału 3.2 Phisical models zamiast Physical, itd.).

Niemniej wspomniane powyżej niedostatki pojawiają się jedynie sporadycznie i w żadnym stopniu nie zaburzają odbioru manuskryptu jako przygotowanego bardzo starannie.

5. Uwagi edytorskie

W pracy pojawiają się miejsca, w których zmienna nie jest oddzielona spacją od wielkości liczbowej.

Zwrócić należy także uwagę na nie zawsze poprawny zapis przedziałów wartości – Autor używa raz krótkiej kreski łączącej „-”, a innym razem myślnika „-”; nie stosuje też spacji (przykładowo 0-30Hz). Najbardziej jest to rażące na stronie 16, gdzie za każdym razem Autor inaczej formatuje przedziały, miana i jednostki.

W pracy rażą także nieprawidłowo sformatowane wypunktowania (brak przecinków w danym punkcie, brak kropki w ostatnim punkcie zamykającym wypowiedź). Czasem po punktorze treść zaczyna się małą literą (strona 8 –tak jest poprawnie), podczas gdy w innym miejscu, na tej samej stronie, treść po punktorze zaczyna się wielką literą.

Niekiedy są wprowadzane akronimy, które nie są wyjaśniane w momentach pierwszego użycia, tylko w dalszych fragmentach tekstu, jak np. w rozdziale 2.2 używany jest akronim MR/ER (magneto-/electrorheological), który objaśniony jest dopiero przy kolejnym użyciu w dalszym paragrafie.

Zadziwia sześć błędów, które dotyczą przenoszenia wyrazów w polskim jednostronicowym streszczeniu.

Niektóre z rysunków, zwłaszcza pochodzące z zewnętrznych źródeł są stosunkowo

niskiej jakości, jak np. Rys. 2.13, jednak większość materiału graficznego jest przygotowana nad wyraz starannie.

Na pochwałę zasługują zwłaszcza przygotowane wykresy, które zawierają czytelne opisy, legendy i prezentują możliwie dużo wyników na pojedynczym wykresie, co jednak nie powoduje ich nieczytelności.

Dodatkowo na wykresach są umieszczone dodatkowe objaśnienia słowne, które pozwalają dokładniej zrozumieć, który etap pracy tłumika jest zilustrowany danym fragmentem przebiegu.

Razem jednak brak konsekwencji i mieszanie na wykresach różnych jednostek oraz niestosowanie jednostek układu SI, np. dla ciśnienia używane są bary, przepływ mierzony jest w l/min, przemieszczenie tłoczyska podawane jest w mm ale już jego prędkość w m/s (np. wykres 4.10), a w innym miejscu w mm/s (wykres 4.6). Z kolei przyspieszenie podawane jest niekiedy w [g].

Z kolei na rys 2.12 siła jest podawana w daN.

Zasadą jest, że strony nie rozpoczyna się od rysunku co w pracy jest bardzo częste.

W wykazie bibliograficznym brak pełnych danych przy pozycji 29.

W tabeli 5.1 zawierającej parametry modelu wkładły się literówki, np. symbol o nr 14 i symbol o nr 15 (ciśnienie początkowe i temperatura) zamiast prawidłowych oznaczeń; są oznaczone jako „aa”.

W tabeli 5.1 dobrze by było zamieścić także jednostki parametrów.

6. Pytania podczas obrony

- Podczas obrony pracy prosiłbym aby Doktorant zechciał odpowiedzieć na następujące pytania:

1. Proszę dokładniej wyjaśnić różnicę pomiędzy parametrami które Pan oznaczył jako TEST PARAMETERS (parametry testowe, które wg. Autora - wartości tych parametrów zależą wyłącznie od warunków testu) a parametrami Calibrated parameters (kalibrowane parametry, wg. Autora - wartości parametrów w tej grupie muszą być ustalone na podstawie jednej z proponowanych procedur kalibracji). W jaki sposób dokonywano pogrupowania parametrów ?. Przykładowo parametry nr 27, 28 w tabeli (tj. sztywność gumowego łożyska) są klasyfikowane jako CALIBRATED, a dlaczego nie są klasyfikowane jako FIXED (czyli ustalone/stałe)?

2. Na czym polegały konsultacje z partnerem ze środowiska produkcyjnego

7. Końcowa ocena pracy

Mimo wcześniej formułowanych różnych uwag opiniowaną pracę oceniam wysoko. Stanowi ona istotny wkład w dziedzinę badawczą, charakteryzuje się wysokim poziomem rzetelności i systematyczności. Autor zaprezentował bogaty materiał ilustracyjny wykorzystując dużą liczbę wykresów, co znacząco wspiera zrozumienie i analizę przedstawionych treści. Kolejne analizy tworzą spójny i logiczny ciąg, co ułatwia śledzenie prezentowanych argumentów. Szczególnie godne podziwu jest porównywanie różnych podejść oraz krytyczna analiza uzyskanych wyników, co świadczy o głębokiej wiedzy i umiejętnościach analitycznych Autora.

Doktorant wykazał się dobrą znajomością planowania prac naukowych, prowadzenia badań oraz analizy wyników. Poszukując optymalnych rozwiązań, nie ograniczał się do jednego podejścia. Pomimo tego, że mógł zaproponować dokładniejszą analizę błędów pomiarowych oraz odpowiedni rozdział poświęcony filtracji danych eksperymentalnych, to w kontekście tak bogatego i kompleksowego materiału nie jest to bezwzględnie konieczne.

W opiniowanej pracy doceniam istotną wagę poznawczą, badawczą i techniczną, analizowanych zagadnień mających na celu rozwiązanie zadania naukowego i inżynierskiego. Realizacja kolejnych jej etapów potwierdziła poprawność postępowania zmierzającego do osiągnięcia założonego celu pracy. Na każdym etapie pracy, poczynając od sformułowania celu, uzasadnienia doboru szeroko rozumianego obiektu badań, sposobu i realizacji badań oraz prezentacji wyników, Autor wykazał się dobrą znajomością zagadnień z zakresu specjalności Mechanika oraz Budowa i Eksploatacja Maszyn, które reprezentowane są w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna.

Biorąc pod uwagę przedstawiony mi do zaopiniowania materiał, oryginalność rozwiązanego w rozprawie, zagadnienia naukowego oraz związanego złożonego zadania inżynierskiego, a tym samym fakt potwierdzenia umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i badawczej uważam, że przedłożona rozprawa może służyć za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych.

Wobec spełnienia wymogów ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku –*Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U.20.04.2023r., poz. 742) formułuję wniosek o dopuszczenie mgr. inż. Szymona Żymełki do publicznej obrony opiniowanej pracy, jako pracy doktorskiej reprezentującej dyscyplinę Inżynieria Mechaniczna.

Niniejszą opinię przedkładam Pani prof. dr. hab. inż. Ewie Majchrzak Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej zleciennodawcy powyższej recenzji.

Prof. Jerzy Bajkowski

/podpis odręczny/

*wyłączenie jawności w zakresie danych osobowych oraz ochrony prywatności osoby fizycznej na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (tj. Dz.U. z 2016 r., poz. 1764)