

Kielce, 10.07.2023 r.

dr hab. inż. Rafał Jurecki, prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Dobaja

pt.: „*Diagnostyka układu hamulcowego samochodu z zastosowaniem sieci neuronowych*”

Podstawa opracowania: pismo nr M.00-520-77/2023 z dnia 09.05.2023 r. z jakim zwrócił się prodziekan Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej prof. dr hab. inż. Marka S. Kozień, związane z uchwałą z dnia 19.04.2023 r. Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej w związku z powołaniem na recenzenta pracy doktorskiej w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn (nadanie stopnia doktora w dyscyplinie inżynieria mechaniczna).

Promotorem pracy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Andrzej Gajek, promotorem pomocniczym dr inż. Michał Maniowski.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska pod wymienionym tytułem została przedstawiona do oceny w formie zwięzłego opracowania. Opiniowana praca zawarta została na 130 stronach i składa się z 13 numerowanych rozdziałów. Na początku pracy zamieszczono spis treści, brak jest wykazu ważniejszych oznaczeń. Na końcu oprócz literatury, która zawiera 52 pozycje, autor zamieścił streszczenia pracy w języku polskim i angielskim.

Wybór tematu rozprawy został trafnie dobrany z zarówno teoretycznego, jak i utylitarne punktu widzenia. Rozprawa doktorska poświęcona jest ważnym i bardzo ciekawym, zarówno z poznawczego, jak i praktycznego punktu widzenia, zagadnieniom bezpieczeństwa pojazdów, w aspekcie sprawności układu hamulcowego.

Transport drogowy stanowi bardzo ważny element w globalnej sieci transportowej, a zdarzenia drogowe, które co prawda zdarzają się rzadziej, są niestety nieodłączne. W większości wypadków, mają one pierwotne źródło w działaniu człowieka, który jest najbardziej zawodnym elementem w układzie Pojazd – Człowiek – Otoczenie. Drugim ważnym elementem determinującym możliwość powstania wypadku drogowego jest stan techniczny pojazdów. Pomimo, że wypadki spowodowane złym stanem technicznym mają według statystyk policyjnych stosunkowo niewielki udział, w roku 2022 było ich wg. KG Policji - 36, to jednak, te związane z układem hamulcowym mają również znaczenie. W znaczącej grupie wypadków tam gdzie występuje przemieszczanie się pojazdów w zagęszczonym ruchu, przy dużych prędkościach istotnym zagrożeniem może być skuteczność układu hamulcowego w warunkach eksploatacyjnych.

Z tego powodu podjęcie przez doktoranta tematyki rozprawy związanej z diagnozowaniem układu hamulcowego można uznać za trafne i interesujące. Możliwość dokonania oceny stanu technicznego układu hamulcowego w oparciu o wybrane parametry jest interesującym zagadnieniem badawczym.

Dokonanie prawidłowej, obiektywnej analizy stanu technicznego układu hamulcowego w różnych sytuacjach drogowych i ocena skuteczności z wykorzystaniem opracowanego

systemu, może w przyszłości umożliwić poprawę bezpieczeństwa ruchu pojazdów poprzez wczesne wykrycie ewentualnych niedomagań układu hamulcowego.

2. Struktura i zakres rozprawy

Jak już wcześniej wspomniano praca została podzielona na przejrzyste, dobrze podzielone pod względem treści rozdziały.

We **wprowadzeniu** dokonano bardzo krótkiego przedstawienia głównej tematyki rozprawy oraz uzasadnienia jej podjęcia. W tym rozdziale krótko przedstawiono plan realizacji pracy. Wydaje się, że we wprowadzeniu można byłoby nieco lepiej przedstawić ideę prezentowanego rozwiązania na tle innych rozwiązań.

W rozdziale 2, **„Metody diagnostycznych badań układów hamulcowych – analiza literaturowa”** doktorant na 19 stronach zaprezentował dostępne w literaturze metody badawcze układu hamulcowego, zarówno te stanowiskowe, jak i drogowe. W rozdziale opisano budowę i zasadę działania stanowiska rolkowego oraz najazdowego oraz przedstawiono wymagania wynikające z istniejących norm prawnych. Przedstawiono również wybrane metody oceny układu hamulcowego związane z pomiarem przyspieszeń w warunkach drogowych. Pod koniec rozdziału przedstawiono krótkie podsumowanie.

Rozdział 3 został zatytułowany **„Cel Naukowy, użyteczny oraz tezy pracy.”** Zaprezentowano cele pracy oraz przedstawiono tezę badawczą. Wskazano czynniki wpływające na przebieg procesu hamowania, mogące mieć wpływ na działanie monitora diagnostycznego, które będą później analizowane.

W rozdziale 4 zatytułowanym **„Działanie monitora diagnostycznego w systemie diagnostycznym OBD pojazdu”** wskazano różne symptomy diagnostyczne mogące wskazywać na pogorszenie się stanu technicznego układu hamulcowego, skutkujące zmniejszeniem skuteczności działania hamulców. W rozdziale zdefiniowano parametr diagnostyczny Σk , będący współczynnikiem między siłą hamującą wynikającą z działania układu hamulcowego a ciśnieniem płynu hamulcowego.

Rozdział piąty zatytułowany został **„Model matematyczny proponowanego monitora układu hamulcowego”** zawiera równania wynikające z ruchu pojazdu uwzględniające zarówno opory toczenia, wzniesienia i powietrza. Wyznaczono współczynnik Σk dla układu hamulcowego traktowanego jako całość. W dalszej części rozdziału wyznaczono podobne współczynniki, ale odniesione niezależnie dla każdego z kół pojazdu. Przedstawiono również wybrane modele współpracy opony z nawierzchnią drogi w aspekcie możliwości ich wykorzystania w dalszej części pracy. Doktorant w rozdziale 5.3 zaprezentował metodę porównawczą oceny hamulców poszczególnych kół pojazdu.

Rozdział szósty prezentuje **„Metodykę prowadzonych badań doświadczalnych”**. W sposób bardzo skrótowy przedstawiono obiekt badań - samochód Skoda. Pokazano aparaturę badawczą wykorzystywaną w testach drogowych oraz stanowisko rolkowe. Krótko opisano również sposób i warunki realizowanych prób.

Rozdział siódmy zawiera **„Weryfikację doświadczalną monitora diagnostycznego”**. W pierwszej kolejności dokonano ustalenia wzorców diagnostycznych. W oparciu o przeprowadzone próby dokonano wyznaczenia parametrów niezbędnych do realizacji monitora diagnostycznego takich jak: zależności siły stycznej od poślizgu, przyczepności, pochylenia jezdni, momentu hamującego silnika, masy pojazdu itd. Dokonano oceny powtarzalności działania monitora analizującego zarówno cały układ hamulcowy, jak i odnoszące się dla poszczególnych kół hamowanych.

Rozdział ósmy **„Monitor układu hamulcowego, wykorzystujący sztuczne sieci neuronowe”**, zawiera wprowadzenie do idei tworzenia sieci neuronowych. Opisano różne warianty ich tworzenia, w aspekcie ich możliwości dalszego wykorzystania w pracy.

Rozdział dziewiąty zatytułowany „*Analiza skuteczności diagnostyki hamulców dla wybranych niesprawności*”, zawiera weryfikację zastosowanego algorytmu.

Rozdział dziesiąty zawiera „*Wnioski i plan dalszych prac*”, zawiera syntetyczne przedstawienie wniosków z pracy oraz przewidywania dotyczące dalszych prac doktoranta.

3. Komentarze, uwagi krytyczne

Recenzowana praca jest pracą dobrze przemyślaną pod względem strukturalnym. W trakcie czytania pracy można było napotkać drobne błędy literowe, stylistyczne, których z reguły nie da się uniknąć w tak dużym opracowaniu.

Spis treści jest czytelny i przedstawia strukturę rozprawy. Szkoda, że w pracy nie zestawiono wszystkich, lub choćby najważniejszych oznaczeń stosowanych w pracy. Mogłoby to poprawić czytelność pracy, ułatwić zrozumienie treści pracy, w szczególności umieszczonych w pracy równań.

Wprowadzenie jest bardzo krótkie bo ma tylko 2 strony i przedstawia uzasadnienie podjęcia tematu i plan realizacji pracy. Wydaje się, że szczególnie plan realizacji pracy mógłby być przeniesiony do rozdziału 3. Wówczas w oparciu o treść rozdziału 2, po analizie literaturowej określanie zakresu pracy, metodyki i zakresu realizacji badań byłoby racjonalne. W oparciu o przeprowadzoną w rozdziale 2 analizę literaturową, można prawidłowo sformułować cel badań i planowany ich zakres badań.

W rozdziale 2 *Metody diagnostycznych badań układów hamulcowych – analiza literaturowa* doktorant przedstawił metody badań hamulców. Autor demonstruje stanowiska rolkowe i najazdowe. Szkoda, że skoro w dalszej pracy realizowane są również badania trakcyjne (na rzeczywistej drodze, odcinku badawczym), w tym rozdziale nie przedstawiono specyfiki i choć krótkiego opisu takich testów. Nie przedstawiono również specyfiki oceny wartości przyspieszeń rejestrowanych w czasie prób drogowych.

Autor charakteryzuje „skuteczność hamowania”, odnosząc się do pozycji literatury [5]. Stwierdzenie to nie jest do końca prawidłowe, gdyż w rozporządzeniu mówi się o „Wskaźniku skuteczności hamowania”. Jednocześnie pozycja literatury [5] w związku z jej dość częstymi zmianami powinna być zaktualizowana. W rozdziale prezentowane są wzory wyjaśniające w matematyczny sposób, działanie różnych rozwiązań, szkoda jednak, że dla większej czytelności tekstu nie zastosowano w opisie schematów - wyjaśniających odpowiednie oznaczenia. W rozdziale omówione zostały różne metody bieżącej diagnostyki układu hamulcowego pojazdu, W ostatnim podrozdziale zawarto wnioski z przeglądu aktualnego stanu wiedzy. Rozdział 2.3 nie jest do końca czytelny. Na początku zaprezentowane są pewne ogólne wnioski, później prezentowana jest koncepcja algorytmu monitora diagnostycznego. Nie do końca jest jasne, czy jest to podsumowanie wcześniejszego przeglądu literatury, czy też biorąc pod uwagę, że na stronach 19-22 nie ma żadnych odniesień literaturowych, prezentowana jest zakładana struktura własnego algorytmu doktoranta. Jeśli tak powinno to być bardziej wyeksponowane. W celu ułatwienia zapoznania się z złożonymi modelami w pracy powinny być zamieszczone schematy prezentujące ich strukturę.

Rozdział trzeci prezentuje cele i tezę pracy. Określono cel naukowy i użyteczny pracy. Prezentowana teza jest zrozumiała i poprawnie sformułowana. Szkoda, że w tym rozdziale nie zaprezentowano planu pracy, niezbędnego do osiągnięcia zakładanych celów. Doktorant nie wskazał szczegółowego opisu procesu udowodnienia tezy, ani bardziej przejrzystego schematu podejmowanych działań.

W rozdziale czwartym *Zasada działania monitora diagnostycznego w systemie diagnostycznym OBD pojazdu* odniesiono się do sformułowanej koncepcji monitora diagnostycznego. Na wstępie rozdziału powinny być czytelnie ujęte założenia systemu. Stwierdzenie „Matematycznie zmniejszenie skuteczności hamowania ...” (str. 24) wymaga

wyjaśnienia. Omówiono różne symptomy mogące towarzyszyć zmniejszeniu skuteczności hamowania. Doktorant pisze o samochodzie badawczym (str. 24₁₅), który został użyty do „realizacji monitora diagnostycznego”. Prezentacja obiektu badań mogłaby być dokładniejsza. W rozdziale zaprezentowano matematyczne podstawy zakładanego rozwiązania. Doktorant na stronie 26¹ w pracy stosuje stwierdzenie „powyższe”. Biorąc pod uwagę wersję drukowaną pracy, stwierdzenia „powyżej”, „poniżej” powinny być rozważniej stosowane.

Następnym rozdziałem pracy jest rozdział piąty - **Model matematyczny proponowanego monitora układu hamulcowego**. Zaprezentowano matematyczne podstawy w zakresie dynamiki ruchu w czasie procesu hamowania. Omówiono możliwości diagnozowania poszczególnych kół pojazdu, z uwzględnieniem różnych modeli współpracy opony. W rozdziale 5.3 przedstawiono metodę porównawczą oceny hamulców poszczególnych kół. Wskazano podstawy matematyczne proponowanej metody.

W rozdziale szóstym **Metodyka prowadzonych badań doświadczalnych** przedstawiono w bardzo skrótovej formie sposób realizacji testów. Wskazano na parametry, jakie miały być rejestrowane w próbach drogowych. Przedstawiono stosowaną aparaturę badawczą. Zaprezentowana aparatura na rysunku 11a nie jest zgodna z umieszczonym pod ilustracją opisem. Zastosowany w tym miejscu link do bibliografii jest niepełny i uniemożliwia weryfikację treści. Brak bliższych informacji dotyczącej czujnika tensometrycznego ciśnienia, wskazano wyłącznie dokładność. Brak jest również informacji dotyczących rejestratora danych i parametrów rejestracji. Stwierdzenie 44₅ „badania przebiegów hamowania przeprowadzane były w różnorodnych warunkach ..” jest zbyt ogólne i wymaga wyjaśnienia. Co oznacza w tym stwierdzeniu „.... z różną dynamiką procesu hamowania” 44₃. W jaki sposób weryfikowano, oceniano ten parametr.

Opis sposobu realizacji badań jest bardzo skromny. Nie wskazano bliższych informacji dotyczących obiektu badań. Stwierdzenie ze strony 46₃ „Badania stanowiskowe wykonywano przy nieobciążonym pojeździe” wymaga wyjaśnienia. Czy w trakcie badań w pojeździe nie było kierowcy?

Rozdział siódmy **Weryfikacja doświadczalna monitora diagnostycznego** przedstawia wyniki uzyskane przez doktoranta. Sposób ustalenia wzorców diagnostycznych dla zakresów niesprawności i sprawności został dobrze graficznie przedstawiony.

Na rysunkach 14 i dalej zaprezentowano przykładowe wyniki zarejestrowane w czasie badań. Należy wyjaśnić: dlaczego na rysunku 14a dla czasu $t=0$ - ciśnienie oraz dla 14b - F_{st} nie są równe zero na początku próby? Czy siła 0,4 kN (str. 48₇) nie dotyczy przypadkiem oporu toczenia kół na stanowisku? Na rys. 14c do wartości 20 barów wykres nie zawiera żadnych danych. W jaki sposób przygotowywano te dane? Jakie było kryterium wyboru lub nieuwzględnienia fragmentów danych z dokonanego zapisu w dalszych analizach, sporządzanych wykresach?

Czy siła na pedale była mierzona, jeśli tak to z użyciem jakiego przyrządu. W oparciu o przeprowadzone próby w rozdziale 7.2 dokonano wyznaczenia wielu parametrów niezbędnych do realizacji monitora diagnostycznego. Na rysunkach 16-19 w funkcji czasu na rysunkach a) zaprezentowano prędkości kół. Dlaczego na rysunkach b) opóźnienie i wielkość ciśnienia w chwili $t=0$ nie są równe 0? Należy to wyjaśnić.

Co oznacza i jak definiowano ilościowo „intensywne” i „mało intensywne” hamowanie (str. 52)? Dlaczego w chwili początkowej $t=0$ na rys. 16 i opóźnienie i ciśnienie w układzie hamulcowym nie są równe 0? Czym jest to spowodowane, potrzebny komentarz.

Na stronie 57 wskazano na następne parametry, ewentualnie brane pod uwagę jako warunkujące działanie monitora diagnostycznego jakimi są stan nawierzchni, przyczepność jezdni. Podczas analizy działania układu hamulcowego przyjęto arbitralnie poziom minimalnego opóźnienia hamowania pojazdu na 2 m/s^2 . W dalszej części pracy analizowano pochylenie jezdni. Zaprezentowano graficznie wyniki pomiarów, przy czym na rysunku 23b

opóźnienie i ciśnienie nie spadają do zera. O ile ciśnienie cieczy roboczej po zatrzymaniu może pozostać na dość wysokim poziomie (kiedy kierowca wciąż naciska na pedał hamulca), to dlatego charakterystyka opóźnienia kończy się na poziomie około $2,5 \text{ m/s}^2$. Należy to wyjaśnić. Analizując moment hamowania silnikiem wskazano próby związane z określeniem opóźnienia związanego z hamowaniem silnikiem na różnych biegach. Wątpliwości budzą niektóre dane zawarte w tabeli 4. Skoro wahania uzyskanych wartości w przypadku biegu 2 różnią się o nawet 25%, dlaczego nie zdecydowano się na odpowiednie powtórzenie prób. Wyciąganie wniosków z tak rozbieżnych danych może być obarczone dużym błędem. Stwierdzenie ze str. 60 „średnie wartości opóźnienia oraz ... są takie same na 2 i 3 biegu, co świadczy o nieustalonym charakterze tego procesu” wymaga komentarza. Stwierdzenie, ze strony 61₈ jest niejasne cyt. „W programie diagnostycznym należy uwzględnić opcję hamowania z włączonym sprzęgłem, a więc sytuację, gdy silnik nie oddziałuje na opóźnienie pojazdu”. Podczas ruchu z włączonym sprzęgłem silnik wpływa choć nieznacznie na opóźnienie pojazdu i mamy tu do czynienia z „hamowaniem silnikiem”.

W podrozdziale 7.3 omówiono badania monitora diagnostycznego dla układu hamulcowego traktowanego jako całość (nie dla pojedynczych kół). Przedstawiono wiele ciekawych analiz. W opisach rysunków pojawia się dość niejasne sformułowanie „umiarkowane opóźnienia”, jak je rozumieć? W pracy pojawia się wiele sformułowań, które mogą być w subiektywny sposób oceniane, warto więc w dalszej pracy naukowej doktoranta, wskazywać choć jakieś ilościowe zakresy takich parametrów. W tabeli 5 ze str. 67 użyto z kolei sformułowań „hamowanie umiarkowane”, „hamowanie dynamiczne”.

Niejasne sformułowanie zawarto w podpisie rysunku 29 „... o zwiększonych względem rys. 29 opóźnieniach”. Nie dosyć, że stwierdzenie „zwiększonych” jest dość szerokie, to jeszcze autor odnosi się do tego samego rysunku 29 (powinno być raczej rys. 28). W oparciu o uzyskane wyniki doktorant zamieszcza ich podsumowanie statystyczne. Podobne analizy przeprowadzono analizując np. wpływ pochylenia drogi, momentu hamującego silnika, nierówności drogi, czy intensywności hamowania. W rozdziale 7.4 zaprezentowano wnioski z badań monitora diagnostycznego dokonywanych dla całego układu hamulcowego. Odniesiono dane do prezentowanych wcześniej rysunków, co znacząco ułatwia porównanie wyników.

Na stronie 83¹⁻⁵ oraz 83¹²⁻¹⁶ zastosowano w tekście prawie identyczne zapisy, różniące się określeniem „średni” oraz dolną wartością opóźnienia. Po tych wierszach pojawiają się identyczne akapity co do treści 83⁶⁻¹¹ oraz 83¹⁷⁻²². Opis ten można było skrócić.

Na stronie 87 autor pisze „Przedstawione na powyższym rys. 55...” - powyżej jest rys. 54. Sformułowanie ze strony 88⁴ „...znacznym podobieństwem ..” jest dość subiektywne. Czy oceniano w jakiś sposób statystycznie zbieżność wyników z rys. 56 i 57?

W rozdziale 7.6 przedstawiono wnioski dotyczące działania monitora diagnostycznego hamulców dla poszczególnych kół. Wskazano na możliwości poprawy dokładności jego działania oraz możliwe czynniki mogące wpływać negatywnie na uzyskiwane wyniki.

Rozdział ósmy zatytułowany *Monitor układu hamulcowego, wykorzystujący sztuczne sieci neuronowe*, zawiera wprowadzenie do idei tworzenia sieci neuronowych. Doktorant dokonał krótkiej prezentacji różnych metod opartych na sieciach neuronowych, sposobu ich tworzenia co umożliwiło lepsze zrozumienie dalszych działań. Opisano koncepcję analizy wcześniej prezentowanych wyników za pomocą samoorganizującego się odwzorowania. Zaprezentowano założenia wykorzystywanej sieci. Na stronie 100¹¹ pojawiają się niefortunne sformułowanie „Program podzielił...”, podobnie jak później określenia bardzo subiektywne „...umiarkowana zmienność...”- 100¹³ czy też „...najbardziej równomierny...”100¹⁶. Zapisy tekstowe na stronie 101 oraz w tabeli 6 i dalej, dotyczące różnych parametrów statystycznych Σk , mogą nie być do końca czytelne. Szkoda, że nie zastosowano odpowiednich skrótów w oznaczeniach. Warto podkreślić jest poszukiwanie przez doktoranta prawidłowego doboru realizowanej metody

analizy. Krytyczne podejście doktoranta i wskazanie na brak praktycznego wykorzystania jakiejś metody, uwiarygodnia doktoranta jako przyszłego badacza. Analizowano również możliwość zastosowania modelu o nieliniowej autoregresji NAR, w oparciu o 3 próby hamowania.

Rozdział dziewiąty zatytułowany *Analiza skuteczności diagnostyki hamulców dla wybranych niesprawności*, zawiera weryfikację zastosowanego algorytmu. Co interesujące dokonano analizy działania systemu w oparciu o próby z zasymulowaną usterką układu hamulcowego.

Rozdział dziesiąty zawiera *Wnioski i plan dalszych prac*, zawiera syntetyczne przedstawienie wniosków z pracy oraz przewidywania dotyczące dalszych prac doktoranta. W tym rozdziale dokonano usystematyzowania uzyskanych wyników. Wskazano na wnioski o charakterze poznawczym, określono ograniczenia stosowanej metody, najważniejsze cechy charakterystyczne. Zaprezentowane wnioski o charakterze użytkowym. Doktorant na koniec określił dalsze działania związane z kontynuowaniem prac opisanych w rozprawie doktorskiej.

4. Błędy redakcyjne

W pracy zauważono stosunkowo liczne błędy interpunkcyjne, literówki itd. Niektóre stwierdzenia autora zawierają skróty myślowe i sformułowania potoczne, mogłyby brzmieć inaczej. Wiele parametrów pisanych jest czcionką prostą, inne kursywą, spotykane są parametry pisane w nawiasach - powinno być to ujednolicone. W dalszej pracy naukowej doktorant powinien zwrócić na te elementy większą uwagę. Autor dość często używa stwierdzeń „powyżej”, „poniżej” co w sytuacji pracy drukowanej nie musi być już poprawne.

Jednocześnie o czym pisano wcześniej, dość często stosowane są bardzo ogólne stwierdzenia, które, jeśli nie są ilościowo dookreślone, dają możliwość bardzo szerokiej interpretacji.

Przykłady drobnych błędów redakcyjnych:

Str. 4⁹ – „Kolejnym stopniem diagnostyki”;

Str. 9¹⁰ – „wynikać z wypracowania układu”;

Str. 10¹¹ – na rysunku 3 umieszczono opisy osi bez indeksów;

Str. 12^{11, 9, 6, 2} – w tekście doktorant odnosi się do oznaczeń z rysunku 5, ale bez indeksów;

Str. 14¹ – „hamowanie cierne” raczej hamowanie z wykorzystaniem elementów ciernych;

Na wykresach 14 i dalej błąd w legendzie – zastosowano niejasne oznaczenie $F_{st} \sim p$.

Str. 54 – rysunek 20 brak polskich opisów na rysunku

Str. 60¹⁻², 61³⁻⁶ – różna wielkość czcionki

Str. 84¹² – powinna być liczba stopni swobody

Str. 84⁹ – powinna być liczba powtórzeń

Str. 97¹⁻⁴ – powinna być liczba neuronów, warstw.

Powyżej wymienione drobne błędy redakcyjne mają charakter przyczynkowy i nie obniżają wartości przedstawionej do opinii pracy.

Ocena końcowa

Rozprawę doktorską mgr inż. Krzysztofa Dobaja pomimo wskazanych drobnych uwag, oceniam pozytywnie. Ma ona ważne walory poznawcze i użytkowe. Doktorant nie tylko wykazał się umiejętnościami w zakresie badań dynamicznych i stanowiskowych pojazdu, obsługi skomplikowanej aparatury badawczej, ale co ważne podkreślenia, wykazał się umiejętnością analiz komputerowych uzyskanych wyników i wielokryterialnej ich oceny. W sposób krytyczny odnosił się do uzyskiwanych wyników. Co ważne, zaproponowana metoda, jest ciekawym oryginalnym rozwiązaniem doktoranta, mającym szanse na praktyczne zastosowanie.

Umiejętności doktoranta świadczą o jego dobrym zaawansowaniu naukowym i jego dojrzałości naukowej. Stanowi to podstawę do stwierdzenia, że mgr inż. Krzysztof Dobaj ma bardzo dobre przygotowanie merytoryczne i warsztatowe do dalszej pracy naukowej.

Przyjęty przez Doktoranta cel badań został zrealizowany, a wyznaczona teza potwierdzona. Pracę uważam za bardzo ciekawą z punktu widzenia poznawczego. Jednocześnie należy wskazać na aspekt praktyczny pracy, co niewątpliwie jest szczególnie istotne w kwestii możliwości szybkiego diagnozowania stanu technicznego hamulców.

Stwierdzam, że doktorant mgr inż. Krzysztof Dobaj w rozprawie doktorskiej, zatytułowanej „*Diagnostyka układu hamulcowego samochodu z zastosowaniem sieci neuronowych*” wykazał się wiedzą i umiejętnościami umożliwiającymi prowadzenie badań naukowych.

Oceniana praca jest samodzielnym rozwiązaniem problemu badawczego, stanowi wkład w postęp wiedzy, dyscypliny **Inżynieria Mechaniczna** i **spełnia wymagania formalne** określone przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U z 2017, poz. 1789) oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. z 30 stycznia 2018 r., poz. 261).

W związku z tym wnioskuję do **Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej** o przyjęcie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Dobaja i dopuszczenie go do publicznej obrony.

Recenzent

dr hab. inż. Rafał Jurecki, prof. PŚk

