

dr hab. inż. Marek Guzek, prof. uczelni

Warszawa, dn. 11 lipca 2023 r.

Politechnika Warszawska
Wydział Transportu
00-662 Warszawa
ul. Koszykowa 75

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Dobaja

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

promotor rozprawy: dr hab. inż. Andrzej Gajek

promotor pomocniczy: dr inż. Michał Maniowski

miejsce złożenia rozprawy: Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej

1. INFORMACJE WSTĘPNE

Podstawą formalną do sporządzenia recenzji jest uchwała z dnia 19 kwietnia 2023 Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej, w której powołano mnie na recenzenta przedmiotowej pracy doktorskiej.

Podstawę prawną opracowania recenzji stanowią przepisy Ustawy z dn. 14.03.2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016r., poz. 882) i Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 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 dnia 30.09.2016r., poz. 1586).

Recenzję wykonano na podstawie przekazanego egzemplarza rozprawy doktorskiej pod w/w tytułem.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Recenzowana rozprawa ma charakter pracy analityczno-badawczej. Dotyczy zagadnienia z obszaru eksploatacji pojazdów samochodowych – oceny diagnostycznej układów hamulcowych samochodów. Praca, przedstawiona w formie papierowej liczy 130 stron obejmujących spis treści, 10 rozdziałów autorskich (w tym wnioski końcowe i kierunki dalszych prac), wykaz literatury źródłowej, streszczenia w języku polskim oraz angielskim. W treści pracy umieszczonych jest 14 tabel oraz 82 rysunki. Wykaz literatury obejmuje 52 pozycje, z czego ok. 60% to pozycje anglojęzyczne. Są to: w większości monografie, rozdziały z monografii, artykuły naukowe oraz referaty z konferencji naukowych (45), akt prawny (1) i strony internetowe (6).

Ogólnym celem naukowym tych prac jest opracowanie i przedstawienie metody diagnostycznej oceny skuteczności działania układu hamulcowego w warunkach normalnej eksploatacji samochodu, a nie w warunkach okresowych badań technicznych. Przyjęto, że podstawą do tej metodyki będą informacje gromadzone standardowo przez systemy pomiarowe samochodu oraz przygotowane algorytmy ich przetwarzania (także z wykorzystaniem sieci neuronowych) prowadzące do przygotowania stosownej informacji dla operatora pojazdu. W założeniu opracowany monitor diagnostyczny mógłby stać się elementem systemu diagnostyki pokładowej samochodu.

We wprowadzeniu (rozdział 1) Doktorant przedstawia uzasadnienie podjęcia tematu. Wskazuje na istotną część aktualnego rozwoju techniki motoryzacyjnej w kierunku



stosowania różnego rodzaju układów mechatronicznych sterowania pojazdem, zwracając uwagę na istotną rolę diagnostyki. Zauważa, że diagnostyka pokładowa zazwyczaj skupia się na „samodiagnostyce” samych układów mechatronicznych, nie obejmując stanu technicznego sterowanych komponentów samochodu i dotyczy to tak podstawowych układów bezpieczeństwa samochodów jak układ hamulcowy. Zwraca również uwagę, że wprowadzenie metody diagnozowania całego układu hamulcowego (a nie tylko jego części mechatronicznej) podczas bieżącej eksploatacji, staje się szczególnie przydatne wraz ze wzrostem popularności pojazdów z napędem elektrycznym czy hybrydowym oraz rozwojem autonomiczności pojazdów. Zarysował plan rozprawy prowadzący do realizacji jej celów, czym przybliżył dalszą zawartość pracy.

W rozdziale drugim Autor analizuje klasyczne metody oceny diagnostycznej układów hamulcowych samochodów w warunkach stanowiskowych badań okresowych pojazdów, a także metody oceny z wykorzystaniem systemów diagnostyki pokładowej znane z literatury. We fragmencie dotyczącym badań stanowiskowych opisał standardową metodykę oceny skuteczności działania hamulców zgodnie z Warunkami Technicznymi pojazdów z wykorzystaniem wolnoobrotowych stanowisk rolkowych, stanowisk płytowych, próby drogowej. Wskazał koncepcyjną metodę badań stanowiskowych z wykorzystaniem techniki hardware in-the-loop. Opisał również swoje własne doświadczenia z badaniami stanowiskowymi do oceny współczynnika tarcia między powierzchniami ciernymi hamulca, z wykorzystaniem sieci neuronowych. Druga część tego rozdziału poświęcona jest przeglądowi prac badawczych na temat bieżącej oceny diagnostycznej układów hamulcowych w warunkach jazdy samochodu. Ta analiza pozwoliła mu sformułować wnioski: wskazać celowość podjętej tematyki oraz uwarunkowań dla algorytmu takiej bieżącej diagnostyki.

Rozdział trzeci służy prezentacji celu naukowego pracy, celu użytecznego. Jako cel naukowy Doktorant postawił sobie: „opracowanie i weryfikację diagnostycznej metody oceny skuteczności działania układu hamulcowego podczas bieżącej eksploatacji samochodu oraz próba wykorzystania sztucznych sieci neuronowych dla uściślenia wyników diagnozowania”. Celem użytecznym jest praktyczne zastosowanie opracowanego monitora diagnostycznego. Dla potrzeb tej pracy podał tezę badawczą: „możliwe jest sformułowanie algorytmu diagnostycznego pozwalającego na bieżącą ocenę skuteczności działania układu hamulcowego w czasie jego użytkowania”.

W rozdziale czwartym, Doktorant przedstawia ogólną zasadę działania proponowanego monitora diagnostycznego. Jako jego główny cel stawia sygnalizację zbyt małej skuteczności hamowania zarówno dla całego układu hamulcowego jak i poszczególnych hamulców. Zakłada, że taki stan może być określony za pomocą sygnałów z czujników standardowo występujących we współczesnych samochodach (systemów asystenckich pojazdu takie jak czujniki przyspieszeń, prędkości liniowej pojazdu, prędkości kątowych kół, ciśnienia w układzie uruchamiania hamulców) oraz odpowiedniego modelu matematycznego. Zwraca uwagę na inne elementy świadczące o niewłaściwym stanie układu hamulcowego – wartość siły nacisku na pedał hamulca potrzebnej do uzyskania określonej skuteczności. Za podstawowy parametr diagnostyczny przyjmuje współczynnik proporcjonalności k_i między siłą hamowania, a ciśnieniem płynu w układzie uruchamiania hamulców. Przyjmując elementarny związek między siłą hamowania danego koła F_{hi} , a ciśnieniem p_i ($F_{hi} = k_i p_i$, i – i -te hamowane koło), sformułował związek sumy takich współczynników ($\sum k$) ze znanym z Warunków Technicznych pojazdów tzw. wskaźnikiem skuteczności hamowania (oznaczonym tu sk_h), co określa przydatność tych współczynników proporcjonalności do oceny skuteczności hamulców.

Piąty rozdział poświęcony sformułowaniu modelu matematycznego zaproponowanego monitora. Autor przedstawia zależności pozwalające określić sumę współczynników proporcjonalności ($\sum k$) bazując na modelu ruchu prostoliniowego pojazdu znanym z podstaw

teorii ruchu samochodu. Przedstawia również zależności analityczne pozwalające określać współczynniki proporcjonalności (k_i) dla poszczególnych kół hamowanych pojazdu. Tu wskazuje na potrzebę określenia charakterystyki jednostkowych sił stycznych w kontakcie opona-nawierzchnia drogi. Prezentuje trzy popularne modele pozwalające określić takie siły. Formułuje również dodatkowy parametr diagnostyczny (poza wcześniej podanymi k_i , Σk) – względną różnicę współczynników k_i dla kół jednej osi - Δk .

W rozdziale szóstym przedstawiona jest metodyka przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Opisany jest pojazd badawczy, wykorzystana aparatura pomiarowa oraz zakres badań drogowych i stanowiskowych.

W kolejnym, siódmym rozdziale zawarta jest główna część badawcza pracy. Rozdział ten służy weryfikacji eksperymentalnej metody oceny diagnostycznej skuteczności układu hamulcowego za pomocą zdefiniowanych wcześniej parametrów (Σk , k_i , Δk). Wykorzystując badania stanowiskowe Autor ustala wzorcowe wartości (Σk , k_i). Następnie prezentowane są wyniki prób drogowych (głównie w postaci przebiegów czasowych ciśnienia w układzie hamulcowym i opóźnienia pojazdu) dla wielu prób hamowań, zróżnicowanych parametrami eksploatacyjnymi takimi jak intensywność hamowania (poziom oraz zmienność w trakcie hamowania), masa (obciążenie) samochodu, prędkość początkowa, pochylenie drogi, oddziaływanie układu napędowego, ciśnienie w ogumieniu. Na ich podstawie Autor stara się ocenić wpływ tych czynników na efekt oceny parametrów diagnostycznych.

W rozdziale ósmym zaprezentowana jest próba wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do oceny całości układu hamulcowego (parametr Σk). Autor przedstawił krótko podstawy teoretyczne tej metodyki oraz przesłanki wykorzystania jej w przedmiotowym procesie diagnostyki układu hamulcowego w warunkach eksploatacyjnych ruchu pojazdu. W dalszej części, wykorzystując moduł oprogramowania Matlab do sieci neuronowych przeprowadza badania wykorzystania sieci typu SOM (realizującej tzw. uczenie nienadzorowane) i porównuje efekt z prezentowanymi wcześniej wynikami opartymi o analityczny model matematyczny.

W rozdziale dziewiątym Doktorant przedstawił ocenę skuteczności proponowanych metod w sytuacji wybranych niesprawności układu hamulcowego. Rozpatrywaną niesprawnością jest nieszczelność jednego z obwodów hydraulicznego układu uruchamiania pojazdu badawczego. Dla rozważanych metod (analityczna oraz z wykorzystaniem sieci neuronowych) porównywane są uzyskane wartości (przebiegi) parametru Σk z wartościami dla pojazdu z w pełni zdarnym układem hamulcowym i wartością wzorcową.

Ostatni, dziesiąty rozdział rozprawy zawiera wnioski Doktoranta wynikające z przeprowadzonych badań, w tym ustosunkowanie się do celu pracy. Wnioski podzielono na te o charakterze poznawczym oraz użytkowym. Wskazano kierunki dalszych prac.

3. MERYTORYCZNA OCENA ROZPRAWY

3.1. Temat pracy i problem naukowy

Układ hamulcowy jest podstawowym systemem bezpieczeństwa czynnego pojazdu samochodowego i potrzeba jego właściwego funkcjonowania jak również możliwość oceny faktycznego jego stanu nie wymagają uzasadnienia. Istnieje wypracowana metodyka oceny skuteczności działania układu hamulcowego samochodu uwarunkowana np. wymaganiami prawnymi (homologacja, warunki techniczne pojazdów) wykorzystująca badania stanowiskowe lub poligonowe według ściśle określonych procedur i w określonym chwilkach eksploatacji. Nie ma natomiast w tym zakresie metodyki, która pozwalałaby na zobiektywizowaną ocenę skuteczności hamulców w warunkach codziennego użytkowania. Z drugiej strony, rozwój (jakościowy i ilościowy) systemów mechatronicznych i ich układów



sterowania we współczesnych samochodach, umożliwiają, a jednocześnie wymuszają stosowanie systemów autodiagnostyki tych układów w warunkach codziennej eksploatacji. Problem, jest taki, że zazwyczaj taka autodiagnostyka ogranicza się do sprawdzenia poprawności funkcjonowania układu mechatronicznego na zadane bodźce, natomiast nie obejmuje poprawności działania całego układu pojazdu, którego dotyczy. W szczególności odnosi się to do układów hamulcowych.

W związku z powyższym, prace na temat możliwości diagnozowania układu hamulcowego (skuteczności działania) w warunkach codziennej eksploatacji pojazdów samochodowych, z pewnością dotyczą aktualnych zagadnień i wypełniają ważną lukę badawczą w tym obszarze.

Postawiony cel naukowy (cyt. „opracowanie i weryfikacja diagnostycznej metody oceny skuteczności działania układu hamulcowego podczas bieżącej eksploatacji samochodu oraz próba wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do uściślenia wyników diagnozowania”) można uznać za poprawny. Na podstawie zawartości rozprawy, sądzę że druga część frazy opisującej cel jest zbędna. Lepszym rozwiązaniem byłoby sformułowanie ogólnego celu krócej: „opracowanie i weryfikacja diagnostycznej metody oceny skuteczności działania układu hamulcowego podczas bieżącej eksploatacji samochodu” oraz określenie kilku celów częściowych, wśród których wskazany by został wątek wykorzystania sieci neuronowych. W tym kontekście, również zawarcie informacji o zastosowaniu sieci neuronowych w tytule rozprawy, uważam za „nieco” nadmiarowe w stosunku do faktycznego moim zdaniem udziału tego wątku w całości merytorycznej rozprawy.

Podana teza pracy (cyt. „możliwe jest sformułowanie algorytmu diagnostycznego pozwalającego na bieżącą ocenę skuteczności działania układu hamulcowego w czasie jego użytkowania”) jest poprawnie postawiona, wyrażając zamierzenia Doktoranta w zakresie badań i zachowując spójność z postawionym celem naukowym.

3.2. Zastosowane metody badawcze

Przedstawiony przegląd literatury w dostateczny sposób oddaje aktualny stan wiedzy i praktyki w obszarze badań diagnostycznych układu hamulcowego pojazdów samochodowych. Przeanalizowano zagadnienia związane z wymaganiami formalnymi (z zastrzeżeniem wątpliwości przedstawionych w punkcie 4 recenzji pt. Uwagi), konwencjonalne metody okresowej oceny diagnostycznej, wskazano ich słabości. Przedstawiono również spotykane w literaturze próby podejścia do oceny diagnostycznej w warunkach użytkowania samochodów. W tym obszarze nie ma obszernej literatury, stąd zrozumiałe jest, że ten przegląd nie jest ilościowo obszerny. Nie do końca zrozumiała jest dla mnie pewna „nieproporcjonalność” zakresu opisu takich metod - jedne bardzo wąsko, inne bardzo obszernie, bez jednoznacznego powiązania tego z tematem pracy. Np. nieuzasadnione dla mnie jest dlaczego tak szczegółowo omawiana jest cytowana z [11] „konceptja ciągłej diagnostyki układu hamulcowego pojazdu elektrycznego (...)” z przytaczaniem fragmentów formalizmu matematycznego (z błędami – patrz Uwagi), do którego w dalszej części pracy, w żaden sposób się Autor nie odnosi. Pozostaje też nie zawsze odpowiednia klarowność opisu danej koncepcji badań. Tym nie mniej przedstawiony przegląd wiedzy jest wystarczający do sformułowania własnego zadania badawczego określonego tematem pracy.

Podstawą koncepcji proponowanego monitora diagnostycznego jest określenie współczynnika proporcjonalności między opóźnieniem ruchu pojazdu (pośrednio - wskaźnikiem skuteczności hamowania), a ciśnieniem w układzie hamulcowym, przy zachowaniu pewnych założeń. Jako parametry diagnostyczne Autor sformułował 3 wielkości: Σk , k_i , Δk (opisane w punkcie 2 recenzji). Bardzo ważnym elementem jest określenie związku między nimi, a parametrami opisującymi stan pojazdu w trakcie hamowania. Tu Autor zastosował względnie proste modele analityczne ruchu prostoliniowego samochodu oraz

toczenia się koła, znane z podstaw teorii ruchu. Biorąc pod uwagę cel ich aplikacji oraz potencjalną dostępność danych pomiarowych z systemów pojazdu (oraz innych wielkości charakteryzujących pojazd) należy to uznać za właściwą metodę postępowania.

Model matematyczny wskazał, jakie wielkości powinny być „mierzone” aby monitor mógł określić dany parametr diagnostyczny. Autor przedstawił taką listę, ale niestety nie pokazał jasno (nie wyraził wprost), w jaki sposób każdy z nich można określić. Jedynie z dalszej zawartości pracy, w przypadku najważniejszych z nich, można się tego dowiedzieć. W przypadku prób szacowania wartości sił stycznych przedstawił 3 modele jednostkowej siły stycznej („Magic formula”, model Dugoffa, model liniowy), ale nie przedstawił ich analizy z punktu widzenia przydatności w monitorze (także w dalszej części pracy, gdzie prezentowane są wyniki eksperymentalne, pokazano efekt zastosowania tylko modelu liniowego).

Kluczowym elementem badań jest eksperymentalna weryfikacja metod. Same badania eksperymentalne zostały w mojej opinii dobrze wykonane. Laboratoryjne określenie wzorców diagnostycznych umożliwiło Autorowi w/w weryfikację w z obiektywizowany sposób. Dużą wartością pracy jest zrealizowany bardzo szeroki program badań drogowych umożliwiający sformułowanie wniosków co do metody, ale i określenie wpływu różnorodnych czynników zakłócających wyniki diagnozy. Jako pewien mankament wskazałbym niepełny opis warunków eksperymentu (np. podane są dane stanowiska do badań hamulców, wybranych elementów aparatury, ale na temat własności obiektu badań informacji jest niewiele, względnie można się ich domyślać z treści dalszych fragmentów rozprawy). Sposób prezentacji wyników też mógłby być bardziej czytelny (np. byłoby warto pokazać dla jednego przypadku pełny proces przejścia od zmierzonych wielkości do parametrów diagnostycznych, zamiast tylko zestawienia charakterystyk czasowych głównie ciśnienia w układzie uruchamiania hamulców, opóźnienia samochodu oraz parametru diagnostycznego).

Za interesującą należy uznać próbę zastosowania metodyki sztucznych sieci neuronowych jako alternatywy wobec strukturalnych zależności wynikających z cech fizycznych analizowanego procesu, prowadzących do analitycznych zależności opisujących parametry diagnostyczne. Należy to potraktować jako swego rodzaju wstęp do szerszych badań w tym zakresie.

Podobnie można chyba potraktować sprawdzenie monitora dla wybranego stanu awaryjnego. Tytuł rozdziału mówi o wybranych niesprawnościach, tymczasem pokazany jest tylko jeden typ niesprawności w postaci nieszczelności jednego z obwodów. Cennym efektem tego eksperymentu jest wskazanie dużej wrażliwości parametru diagnostycznego na tę niesprawność. Jednak w przyszłości należałoby poszerzyć ten obszar badań.

3.3. Osiągnięcia Doktoranta

Wśród najistotniejszych osiągnięć Autora wykazanych w treści rozprawy, można wymienić:

- Propozycję metody oceny skuteczności układu hamulcowego jako całości oraz poszczególnych hamulców podczas bieżącego użytkowania pojazdu (monitora diagnostycznego), która może być elementem systemu diagnostyki pokładowej.
- Zweryfikowanie eksperymentalnie metody za pomocą badań stanowiskowych (w celu określenia wartości kryterialnych parametrów diagnostycznych) i drogowych.
- Określenie warunków i ograniczeń dla właściwego działania zaproponowanego monitora diagnostycznego w zakresie warunków eksploatacyjnych poprzez analizę wpływu takich czynników jak intensywność hamowania, liczba niezbędnych hamowań, masa pojazdu, prędkość początkowa hamowania, ciśnienie w ogumieniu itp.
- Wstępne oszacowanie niepewności w określeniu wartości parametrów diagnostycznych.

- Zweryfikowanie możliwości zastosowania sieci neuronowych do polepszenia jakości wyników.
- Sformułowanie kierunków dalszych badań.

4. UWAGI DO PRACY

Uwagi merytoryczne i pytania do Doktoranta:

Jako podstawowe założenia dla funkcjonowania monitora Autor wymienia brak modulacji ABS oraz niewystępowanie mechanicznego korektora ciśnienia. W tym miejscu pojawia się pytanie czy przypadku, kiedy taki mechaniczny korektor jest, czy nie wystarczy zapewnienie braku „aktywności” tego korektora? Z drugiej strony pojawia się pytanie, jak uwzględnić aktywność regulacji EBD jeśli występuje?

Model matematyczny został sformułowany w oparciu o pewien konkretny pojazd (przednionapędowy samochód osobowy z hydraulicznym układem uruchamiania w konkretnej konfiguracji obwodów). Pytanie – na ile jest uniwersalny przedstawiony model analityczny. Jakie cechy powinien uwzględniać taki monitor ze względu na układ konstrukcyjny pojazdu (ciężarowy/osobowy, liczba osi, rodzaj układu hamulcowego itp.)

Jednym ze wzmiankowanych celów jest wczesne ostrzeganie użytkowników (kierowców) o niewłaściwym stanie układu hamulcowego. Jak „zabezpieczyć” monitor przed błędami 1 i 2 rodzaju w komunikatach dla kierowcy?

Poniżej przedstawiam uwagi do pewnych konkretnych fragmentów pracy:

- Str. 4 – Omawiając zakres oceny diagnostycznej układu hamulcowego Autor przywołuje pozycję [4] (Kuliś E., Żółtowski B.: Badania układów hamulcowych....2011). Nie negując tego przywołania należałoby również wskazać w tym miejscu określony wymaganiami formalnym zakres wynikający z odpowiednich i aktualnych przepisów (np. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 27 września 2022).
- Str. 6 – wskazując na wady badań stanowisk płytowych zabrakło powtórzenia argumentu takiego samego jak w przypadku wolnoobrotowych stanowisk rolkowych – brak możliwości odtworzenia obciążeń cieplnych zbliżonych do warunków eksploatacji.
- Str. 6 – Autor podaje [5] jako „stosowne rozporządzenia” dot. warunków technicznych pojazdów, tymczasem w opisie źródła znajduje się informacja, że jest to projekt rozporządzenia z 2012r. (a nie stan faktyczny). W tym miejscu zwracam również uwagę, że w 2016 roku został ogłoszony jako Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa jednolity tekst Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz.U. z dnia 15 grudnia 2016 r., Poz. 2022).
- Str. 6, w11g (wiersz 11 od góry, itd.) – błędnie przywołany akt prawa [5]. Warunki przeprowadzania kontroli, także układu hamulcowego, określa w Polsce Rozporządzenie (obecnie) Ministra Infrastruktury w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach, a nie Rozporządzenie...w sprawie warunków technicznych pojazdów....
- Str. 14 – fragment opisu matematycznego: błędny wzór (3); niejasne jak jest sens współczynnika β (spółczynnik rozdziału sił hamowania może być różnie definiowany); wzór (4) ma postać niezgodną z podaną w [11] – pytanie co ilustruje zatem iloczyn $\beta \cdot G \cdot z$; we wzorze (5) błędny indeks (jest „f” zamiast „r”); niezrozumiały zapis zależności (6) – prawdopodobnie błędna interpretacja zapisu w [11]; niespójności oznaczeń wielkości wykorzystywanych w rozprawie (u).
- Str. 17, w12d, sformułowanie: „.....jest metodą uczenia sztucznej sieci neuronowej w oparciu o Twierdzenie Bayesa. Zostało ono opisane w pracy [15].” – twierdzenie Bayesa jest jednym z podstawowych twierdzeń rachunku prawdopodobieństwa i przypisywanie [15] jego opisu jest nadużyciem (w [15] mamy raczej opis zastosowania sieci bayesowskich w diagnozowaniu usterek układu hamulcowego). Pojawia się też pytanie o pojęcie „Regularyzacja Bayesa” w kontekście pracy [15].

- Str. 28, w10g – zdanie *”Zaletą takiego podejścia jest kontrola stanu hamulców w szerokim zakresie opóźnień hamowania, a nie tylko dla hamowań maksymalnie intensywnych, jak to jest realizowane w okresowych badaniach hamulców.”* Stwierdzenie, że w badaniach okresowych kontrolnych mamy do czynienia z hamowaniami „maksymalnie intensywnymi” jest niepoprawne. W szczególności jeśli weźmiemy pod uwagę najpopularniejszą metodę oceny na stanowiskach rolkowych, gdzie na kołach osi przedniej trudno jest uzyskać siły hamowania odpowiadające wysokim intensywnościom hamowania „na drodze”, a mierzony wskaźnik skuteczności określany jest metodą ekstrapolacji.
- Str. 30 – wzory (17) i (18) sformułowane są przy założeniu napędu przedniego. Jednak to założenie nie zostało wcześniej nigdzie wyrażone.
- Str. 33, wzory (25)-(28) dopóki nie przedstawiono założenia o „symetryczności” rozkładu masy to powinny być użyte wielkości wyrażające „indywidualne” reakcje normalne dla każdego z kół, np. Z_{pl} , Z_{pp} , Z_{dl} , Z_{dp} , a po sformułowaniu w/w założenia: $Z_{pl}=Z_{pp}=Z_p$ oraz $Z_{dl}=Z_{dp}=Z_d$.
- Str. 34, w3d (także str. 37) – pozycja [28] nie jest źródłową dla modelu Dugoff’a. To model opracowany w UMTRI (MI, USA) i opisany po raz pierwszy w pracy Dugoff H, Fancher PS, Segel L. An analysis of tire traction properties and their influence on vehicle dynamic performance. SAE Technical Paper. 1970, 700377. <https://doi.org/10.4271/700377>
- Str. 35 pierwszy akapit oraz str. 37 drugi akapit – zarówno model MF jak i Dugoff’a są modelami semi-empirycznymi. Oba, w swoich pełnych wersjach, pozwalają na określenie nie tylko sił stycznych, ale i momentów w kontakcie opona – nawierzchnia drogi.
- Str. 36, w6g – cytowana pozycja [24] z pewnością nie dotyczy badania opon. Co do badań opon za pomocą przyczepki dynamometrycznej, to raczej należy odwoływać się do prac zespołu J. Pokorskiego.
- Str. 39 – 2. eksperymentalnych i jako taki tam się powinien pojawić, a w tym miejscu należało jedynie odwołanie do stosownego fragmentu pracy, w którym analiza porównawcza by się znalazła (choć jej nie ma).
- Str. 39, w7d – czy na wymienionej liście nie powinien znaleźć się oprócz masy także jej rozkład na osie?
- Str. 40, w11g – na jakiej podstawie sformulowano *„dla ustalonych okresów hamowania wynosi około 1% wartości momentu hamującego koła”*? Czy to efekt własnej analizy, badań, czy zaczerpnięto z literatury? Co oznacza *„ustalony okres hamowania”*?
- Str. 40, w3d – czy sformułowanie *„składnik pominiemy jako mały”* (składnik A) jest uzasadnione?
- Str. 47, rys. 13 – czy p_{ty} należy utożsamiać wartością ciśnienia odpowiadającego sile nacisku na pedał hamulca 500N?
- Str. 50, lwd – podano wartość wzorcową dla $\sum k$. Dla porządku powinny być podane też wzorcowe wartości k_i , $i=p/t$ (no i czy jest określona dopuszczalna wartość Δk_i ?).
- Str. 51, 1-szy akapit –pomysł korekty wartości wzorcowej wydaje się słuszny. Skoro Autor, jak napisał, przyjął ją w monitorze, to czy jest ona uwzględniona w prezentacjach wyników w kolejnym rozdziale? Ile wynoszą wartości „min”. Czy też może, jest to tylko „margines” progu, dla którego ma być generowane ostrzeżenie o niewłaściwym stanie. Nie jest to jasno opisane.
- Str. 52, w1-6g – ten fragment zdaje się dotyczyć potencjalnych kierunków dalszych badań, a nie przyjętego zakresu rozprawy.
- Str. 55, jednym z czynników wpływających na wartość „nachylenia” charakterystyki przyczepności jest prędkość osi koła (a więc pojazdu). Czy Autor rozważał ten wpływ? Dalej – do określenia nachylenia przyjętej jako liniowa fragmentu charakterystyki przyczepności, wykorzystano charakterystyki zaczerpnięte z [29], a więc pozycji pochodzącej sprzed 25 lat. Od tego czasu zmieniły się zarówno opony jak i nawierzchnie dróg. Pytanie, czy wykorzystane charakterystyki odpowiadają współczesnym warunkom?
- Str. 57, w12g, zapisano: *„Na podstawie badań wstępnych, uwzględniając wpływ siły oporów powietrza oraz moment hamujący silnika spalinowego na przebieg hamowania, przyjęto, że wartość ta wynosi nie mniej niż 2 m/s²”*. Jedynym uzasadnieniem tego założenia jest *„na podstawie badań*

wstępnych”. Pytanie, których? Czy są one zamieszczone w rozprawie - gdzie widać uzasadnienie dla tego założenia?

- Str. 57, w10d – sformułowanie „intensywność hamowania, rozumianą jako zmianę ciśnienia w układzie hamulcowym w czasie” ? Intensywność hamowania została wcześniej już zdefiniowana zupełnie inaczej niż druga część w/w frazy. Może chodzi o intensywność narastania ciśnienia?
- Str. 58, rys. 23 – tu pojawia się kolejne nieprecyzyjne określenie „dynamika hamowania”. Nie bardzo wiadomo o co chodzi Autorowi – czy przeciętną/szczytową wartość intensywności hamowania czy może o jej zmienność w czasie?
- Str. 58, wzór (59) – patrząc na wzory (14) i (16) będące podstawą dla tej zależności, „zniknęły” opory toczenia kół ?
- Str. 61, rys. 25 – czy prezentowane przebiegi były efektem różniczkowania przebiegów pokazanych na rys. 23?
- Str. 62, w5g – przed dwukropkiem powinno być [19] jako wyraźne wskazanie, że wzór (60) został stamtąd zaczerpnięty
- Str. 62, w10g – sformułowanie: „Pominięto wpływ różnicy opóźnienia $a_{hmi \ dmc}$ i a_{hmi} na momenty bezwładności kół pojazdu”. Czy moment bezwładności koła zdaniem Autora zmienia się ???
- Str. 62, wzory (61), (62) – można przyjąć w uproszczeniu taki quasi-statyczny „rozdział” masy przy podaniu wcześniej przyjętych założeń o symetryczności rozkładu masy na lewą i prawą stronę (choć zwracam tu uwagę na formalnie statyczną niewyznaczalność takiego układu). Z innej strony – tu przydatna by była informacja (wzmiankowana wcześniej), że w przypadku informacji o „ugięciu” zawieszenia czy pomiaru ciśnienia w pneumatycznych elementach sprężystych (jeśli są), to mogłoby być źródłem informacji o siłach Z.
- Str. 64-68 – nie bardzo rozumiem co jest intencją przebiegów pokazanych na rys. 28 i 29. Z jednej strony Autor podaje, że starano się zachować takie same warunki, a z podpisów wynika, że jest inne ciśnienie w ogumieniu? Następnie w tabeli 5 porównuje się wyniki dla przebiegów z rys. 28 i 29 różnicuje się je intensywnością hamowania (tu znowu pojawia się pojęcie „hamowanie dynamiczne” - tu rozumiane jako poziom opóźnienia/intensywności hamowania?). W efekcie tak naprawdę nie wiadomo co tu jest porównywane i trudno ocenić, czy podana interpretacja wyników jest właściwa. Proszę o wyjaśnienie.
- Str. 69, rys. 32 – A) czy Autor ma jakąś hipotezę dla przebiegu parametru Σk na rys. 32b (hamowanie na wzniesieniu) – chodzi o okres ok. 0,2-1,0s. Zrozumiałe jest, że jakościowo nie musi to odpowiadać przebiegowi ciśnienia, ale w tym przypadku rozbieżność jest wyjątkowo duża. B) Podstawowe równanie dla monitora opisane wzorem (19a) zawiera w sobie informację o wartości wzniesienia i czy to jest wzięte pod uwagę w obliczonych wartościach Σk pokazanych na wykresie 32b. Pytanie jest o tyle uzasadnione, że w ogólnym przypadku taki monitor przewidziany do „standardowego” działania prawdopodobnie nie ma informacji o profilu „pionowym” drogi.
- Str. 72 – w tym fragmencie raczej trudno mówić o wpływie nierówności drogi, jest raczej pośrednio zasygnalizowanie, że to może mieć zakłócające znaczenie (poprzez oscylacje prędkości).
- Str. 73-79 – tu wskazane byłoby zestawienie wyników w formie tabelarycznej kilku przypadków hamowania różniących się prędkością początkową i średnią intensywnością hamowania, aby można było wychwycić anonsowany w tym punkcie wpływ tych dwóch czynników. Niestety, dość długi ciąg podobnych wykresów utrudnia interpretację.
- Str. 80, w5-8g – w opisie brakuje informacji, że na rys. 51, 52 prezentowane są jedynie wyniki dla fragmentu wyróżnionego podtytułem „Wpływ prędkości początkowej i intensywności hamowania, ciśnienia w ogumieniu oraz masy pojazdu” z pominięciem wcześniejszych „wpływów”, które były przedmiotem analizy.
- Str. 81, 82, rys. 51, 52 – na rys. 51a przedstawione są wyniki dla 12 testów, z pominięciem próby 40, zaś na rys. 52b też 12-tu, ale tu pominięto próbę 39. Na rys. 52 są wyniki dla 13-testów. Skąd wynika ta niespójność?

- Str. 83, w1-5d – przedstawiona „zaleta” wydaje się w tym miejscu raczej pomysłem, niż zweryfikowaną faktami cechą.
- Str. 85, 1-szy akapit, opis wykorzystanych prób hamowania niepełny – nie ma podanej informacji np. o tym czy było oddziaływanie silnika. Dalej – Autor wymienia 6 prób, a w dalszej części przedstawione są wyniki dla 5 testów.
- Str. 85, w9d – wg których zależności (konkretnych numerów wzorów) były obliczone wartości parametrów diagnostycznych (tej informacji tu brakuje)?
- Str. 85, w1d – Autor podaje tu informację o różnicach między wynikami obliczeń, a wartościami wzorcowymi dla hamowania nr 1 na poziomie „kilku procent”. Pomijając fakt, że omówienie wyników poszczególnych testów jest przedmiotem następnego podrozdziału (7.6), to sięgając do danych zawartych w tym następnym podrozdziale różnice sięgają ok. 10%.
- Str. 94, 1 akapit – hipoteza o zawyżonej wartości wzorcowych k_i jest racjonalna i ma uzasadnienie fizyczne. Jednak z tego samego powodu, ten sam efekt dotyczy wartości wzorcowej parametru Σk i należy to wziąć pod uwagę także w analizie tego parametru monitora diagnostycznego.
- Str. 119, w5-7g (2-gi akapit) – uwaga słuszna, ale czy monitor określa warunki, kiedy ruch pojazdu może być uznany za „dostatecznie” prostoliniowy?
- Str. 119-120 – czy w monitorze diagnostycznym nie powinna być uwzględniona jeszcze siła nacisku na pedał hamulca (nie większa niż 500N przy ciśnieniu p_a)?
- Str. 121 – wniosek 5 – podane wartości niepewności (10%, 20%) odnoszą się jak wynika z przeprowadzonych badań dla konkretnego egzemplarza pojazdu. Czy nie jest to za mało na takie uogólnienia?

Uwagi o charakterze redakcyjno-edycyjnym (nie wymagające odpowiedzi Doktoranta):

W pracy stosowany jest niejednorodny system jednostek, głównie SI, ale są stosowane też jednostki miar CGS (np. bar) lub nawet mieszane z obu systemów (np. [N/bar]).

Wykaz literatury – jaki jest klucz uporządkowania (ani alfabetyczny, ani wg kolejności występowania w tekście)? Często są niepełne opisy (np. brak numerów stron dla artykułów z czasopism lub rozdziałów z monografii), niejednorodności (czasem jest nr doi, a czasem go brak mimo, że pozycja posiada takowy).

Wykresy – czasem odpowiadające sobie wykresy nie są tak samo wyskalowane dla celów porównawczych, co utrudnia ich właściwy odbiór.

Str. 3 – redakcja punktu 2.3: Autor omawia kolejne etapy pracy. Treść jest zrozumiała, ale występuje niespójność redakcyjna: tylko przy jednym z wątków przywołuje konkretne numery podrozdziałów jego dotyczących. Albo należało pozostać na tylko merytorycznym opisie poszczególnych fragmentów, albo przy każdym z nich wskazywać konkretne miejsce w układzie redakcyjnym pracy.

Str.6, także 26 – wzory (2), (13) – symbolem b oznaczono opóźnienie ruchu pojazdu. Tymczasem w innych fragmentach pracy stosowane jest inne oznaczenie dla tej wielkości (a , a_0).

Str. 15 – nie objaśnione akronimy występujące po raz pierwszy w tekście UDDS, CAN, SOC.

Str. 15 – w9g – błędne odwołanie się do wzoru (5)

Str. 5, w2d – ostatnie zdanie powinno być od nowego akapitu.

Str. 21, w6g – błędne odwołanie się do rys. 1.

Str. 24, w10g – fraza „, czyli na opóźnienie hamowania” jest zbędna (a przy tym niespójna z kolejnym zdaniem).

Str. 28, 29, rys. 7 i 8 – niespójność w oznaczeniach reakcji normalnej podłoża.

Str. 30, w11g – poprzeczna siła reakcji (...) X – błąd.

Str. 33, w10g – błędne odwołanie się do wzoru (15).

Str. 36, wzór (33) – oznaczenie poślizgu obwodowego (względny) s czy s_r ?

Str. 36, tab. 2 – co oznacza μ_0 (ani wcześniej, ani później taka wielkość się nie pojawia)?

Str. 38, rys. 10 – wcześniej symbol α zastosowano do innej wielkości (wzniesienia drogi).

- Str. 40, w7g – błędny nr wzoru, powinno być (25)-(26)
Str. 41 wzory 52-54 – brak indeksów.
Str. 44, tab. 4 – co oznacza FSO?
Str. 58, w5d – błędne przywołania wzorów (13) i (15).
Str. 60, w1d – zmiana rozmiaru czcionki.
Str. 61, w3g – błędne sformułowanie „okres czasu”
Str. 70, w3g – co oznacza pojęcie „0,5 sekundowa chwila”? Prawdopodobnie Autor ma na myśli okres od chwili 0,5 do chwili 2s.
Str. 71, w1g – czy k_{pl} oznacza wartość parametru k dla koła tylnego lewego?
Str. 84, wzór (64b) – sprawa numeracji: nie bardzo rozumiem dlaczego ten zwór oznaczony jest 64 z dopiskiem „b” – nie jest on w żaden sposób powiązany ze wzorem (64).
Str. 84, w12g – odwołanie się do 13-tu procesów hamowania z rys. 51, a tam jest tylko 12.
Str. 90, w1d – prawdopodobnie miało być „hamowanie nr 2”
Str. 97, w9g – błędnie przywołany rys. 62.
Str. 97, w1-4d – powinno być „liczba neuronów/warstw”, to rzeczowniki policzalne.
Str. 113, rys. 76 – opóźnienie oznaczone „a”, brak indeksu „h”.
Str. 113, w7-8d – powinno być „wynosi ok. 50% dla wartości ciśnienia pow. 80 bar”.
Str. 118, w7g – „chwila czasowa” to pleonazm.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Niezależnie od sformułowanych do pracy uwag krytycznych i wyrażonych wątpliwości, przedstawiona do recenzji rozprawa jest w mojej opinii wartościowa. Autor zaproponował ważny temat, który wynika z realnych problemów w eksploatacji pojazdów samochodowych. Przedstawił oryginalne rozwiązanie poprawnie określonego problemu badawczego. Wykazał się dobrą wiedzą teoretyczną i praktyczną za zakresu mechaniki ruchu, eksploatacji i badań eksperymentalnych pojazdów samochodowych. Wykazał się umiejętnościami w samodzielnym prowadzeniu badań. Wykazana wiedza i umiejętności Autora jednoznacznie identyfikują się z dyscypliną inżynieria mechaniczna.

Praca spełnia warunki określone art. 13 Ustawy z dn. 14.03.2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016r., poz. 882).
Stąd wnioskuję o przyjęcie przedstawionej do recenzji pracy jako rozprawy doktorskiej na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna oraz dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.

Marek Guzek

