



Prof.dr hab.inż. Witold Grzegózek

Kraków 15.03.2020

Wydział Mechaniczny

Politechnika Krakowska

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Owczarzaka pt” **Oscylacyjna metoda oceny oporu toczenia opon samochodowych na nawierzchniach drogowych o różnej teksturze i sztywności ”**

Recenzje opracowano na zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Gdańskiej, prof. dr hab. inż. Michała Wasilczuka z dnia 31.01.2020. Praca doktorska została przygotowana pod kierunkiem prof. dr hab.inż. Jerzego Ejsmonta.

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem zainteresowania Doktoranta jest zagadnienie oporu toczenia opon samochodowych, ściślej mówiąc zagadnienie oceny wartości współczynnika oporu toczenia opon samochodowych w warunkach laboratoryjnych. Opór toczenia opon samochodowych jest jednym z oporów ruchu pojazdu bardzo istotnym z punktu widzenia zużycia paliwa przez pojazd szczególnie w określonych warunkach ruchu np. podczas ruchu w aglomeracjach miejskich. Wg współczesnych opracowań siły oporu toczenia stanowią nawet 30 % oporów ruchu pojazdu. Zużycie paliwa pozostaje w bezpośrednim związku z ilością emitowanego przez pojazd CO_2 , bardzo silnie przez współczesne normy limitowanego, oraz ilością również limitowanych innych szkodliwych dla zdrowia składników gazów spalinowych. Każda droga prowadząca do obniżenia oporów ruchu pojazdu poprzez zmiany w jego konstrukcji lub wyposażeniu jest interesująca. Bardzo istotną rolę na tej drodze odgrywa opona samochodowa, a właściwie jej odpowiedni dobór uwzględniający przeznaczenie i warunki użytkowania pojazdu. Współcześnie wprowadzane modyfikacje w konstrukcji opony, względnie jej fragmentów, oraz w stosowanych materiałach skutkują bardzo niewielkimi, kilku procentowymi zmianami wartości siły oporu toczenia. Pomiar wartości tych zmian wymaga realizacji bardzo pracochłonnych badań doświadczalnych laboratoryjnych i drogowych. Zaproponowana nowatorska metodyka laboratoryjnych badań doświadczalnych umożliwiających ocenę w sposób pośredni współczynnika oporu toczenia

opony o zdecydowanie mniejszej pracochłonności od dotychczas stosowanych metod jest obszarem podjętej tematyki rozprawy. Aktualność realizowanej tematyki badań nie ulega wątpliwości biorąc pod uwagę jej związek z niepodlegającą dyskusji aktualnością problematyki ekologicznej.

Tematyka pracy jest bardzo interesująca pod względem poznawczym. Autor pracy analizując czynniki mające wpływ na opór toczenia opony i stwierdzając istotny wpływ histerezy w materiale opony podczas ruchu koła na wartość tego oporu zaproponował nowatorską oscylacyjną metodę badań opony w celu oszacowania jej współczynników oporu toczenia. W przypadku badań oscylacyjnych koła ogumionego wartość histerezy odgrywa istotną rolę w czasowym przebiegu przemieszczeń środka koła. Zdając sobie sprawę ze złożoności zjawisk zachodzących podczas toczenia się koła ogumionego po określonej nawierzchni Autor ograniczył analizy uzyskanych wyników badań doświadczalnych do wyznaczenia współczynnika korelacji i współczynnika determinacji między współczynnikami oporu toczenia uzyskanymi z badań na stanowiskach bębnowych, a współczynnikami z badań na stanowisku oscylacyjnym. Doktorant uzyskał bardzo dobre rezultaty, wysokie wartości współczynnika korelacji i tym samym potwierdził słuszność przyjętych założeń do zaproponowanej metody wyznaczania współczynników straty energii w metodzie oscylacyjnej. Obszar badawczy pracy jest bardzo obszerny obejmuje bowiem swoim zakresem nie tylko badania wpływu różnego rodzaju opon ale również współpracujących z badanymi oponami fragmentów nawierzchni drogi na wartości współczynników korelacji między wynikami metody oscylacyjnej a wynikami badań na bębnie. Istotne jest również, uzyskanie przez Autora takiego samego uszeregowanie wpływu badanych czynników na wyniki badań niezależnie od zastosowanej metodyki badań.

Biorąc pod uwagę tematykę rozprawy, zakres realizowanych analiz i badań od strony klasyfikacji formalnej rozprawa sytuuje się w dyscyplinie naukowej *Inżynieria Mechaniczna*. Nie mam wątpliwości, że zakres podjętych przez Doktoranta zadań oraz stopień ich trudności z pewnością odpowiada wymogom stawianym pracom doktorskim.

2. Struktura i zawartość pracy doktorskiej

Rozprawa liczy 109 stron. Pierwsze dwa rozdziały stanowią wprowadzenie do tytułowego problemu. Zawierają one sformułowanie problemu badawczego, cel, tezę i zakres pracy. Zawierają również i to uważam za bardzo istotne, przypomnienie podstawowych cech zjawiska oporu toczenia opony oraz czynników mających wpływ na wartość siły oporu toczenia. Wiele z zaprezentowanych w rozdziale 2 wyników badań wpływu czynników

materiałowych, konstrukcyjnych, a także wpływu czynników związanych z otoczeniem badanej opony na wartość jej siły oporu toczenia pochodzi z badań własnych Autora względnie zespołu w którym Autor brał czynny udział. Rozdział 2 kończy opis współcześnie stosowanych metod pomiaru oporu toczenia wraz z analizą ich ograniczeń. Również w tym przypadku znajomość metod badań wynika w dużej mierze z doświadczeń Autora. Kolejny rozdział pracy zajmuje opis proponowanej oscylacyjnej metody oceny oporu toczenia opony na nawierzchniach o różnej teksturze i sztywności oraz dokumentuje uzyskane wyniki badań wstępnych wybranych opon i nawierzchni. Rozdział ten zawiera ponadto dyskusję dwu różnych autorskich metod analizy otrzymanych wyników oscylacyjnych badań opon. Weryfikacja przyjętej metody oceny oporu toczenia oraz dalsze wyniki badań stanowią treść obszernego rozdziału 4 rozprawy. Podsumowanie rozprawy, wnioski Autora oraz sugerowane przez niego kierunki dalszych badań stanowią zakończenie rozdziału tego rozdziału. Rozprawę kończy wykaz literatury zawierający 32 pozycje oraz wykaz ilustracji i tabel.

Od strony redakcyjnej opracowanie rozprawy jest staranne, podkreślić należy wysoką estetykę pracy, logiczną strukturę rozdziałów i prawidłowy tok wywodu.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Lektura rozprawy jest bardzo interesująca szczególnie z uwagi na przeprowadzone przez Doktoranta systematyczne i szczegółowe badania wpływu wielu różnorodnych konstrukcyjnych i eksploatacyjnych czynników związanych z oponą, parametrami ruchu i charakterystyką nawierzchni na wartość siły oporu toczenia opony. Autor opisuje stosowane metody badań drogowych i laboratoryjnych umożliwiające określenie wartości siły oporu toczenia opony wskazując jednocześnie na znaczne trudności, szczególnie w badaniach laboratoryjnych w realizacji tego typu badań. Stąd też zaproponowany cel pracy mający umożliwić ocenę współpracy opony z nawierzchnią drogową pod kątem strat energetycznych na podstawie pomiarów stacjonarnych wydaje się znakomitą próbą uproszczenia procedur badawczych przy zapewnieniu akceptowalnej dokładności analizy wpływu poszczególnych czynników na opór toczenia opony. Ilość analizowanych czynników pozwala zrozumieć bardzo obszerny zakres planowanych badań, których wyniki miały potwierdzić tezę przedstawioną przez Doktoranta w rozdziale 1 rozprawy wg której ocena oporu toczenia jest możliwa dzięki pośredniemu pomiarowi strat energetycznych występujących podczas cyklicznego dociskania opony do nawierzchni. Taki zakres badań uważam za właściwy biorąc pod uwagę różnorodność czynników wpływu, zakładając realizację badań na nieruchomym

kole. Uzyskane wyniki badań doświadczalnych stanowią potwierdzenie przyjętych założeń dotyczących konstrukcji stanowiska, zakresu badań i przewidywanych rezultatów. Pojawia się pytanie co stanowiło podstawę do przyjęcia założeń konstrukcyjnych stanowiska zapewniających założoną maksymalną częstość oscylacji i czy uzyskanie innej, mniejszej, częstości oscylacji w istotny sposób wpłynie na wartość użyteczną uzyskanych rezultatów. Otrzymane wyniki badań w postaci charakterystyk amplitudowych zostały przeanalizowane przy zastosowaniu dwóch metod, pierwsza polegała na porównaniu rzeczywistych przebiegów z przebiegami uzyskanymi z modelu matematycznego, druga natomiast na wyznaczeniu pola obszaru między obwiedniami górnej i dolnej charakterystyki amplitudowej a następnie wyznaczeniu korelacji między współczynnikiem oporu toczenia wyznaczonym metodą bębnową a uzyskanymi wskaźnikami. Obie metody są oryginalne i wartościowe. Zastosowany model matematyczny ze względu na brak założeń i ograniczenie prezentacji do równań ruchu jest niejasny, a zastosowanie wizualnej oceny przybliżenia do przebiegu rzeczywistego budzi wątpliwości. Autor w dalszej części pracy wykorzystywał do oceny oporu toczenia metodę z wykorzystaniem obwiedni. Wykorzystanie wskaźnika będącego polem powierzchni nazwanego przez Autora *Coefficient of Energy Losses* jest oryginalnym rozwiązaniem, ale celowe wydaje się wyjaśnienie związku między stratami energii, a wartością tego wskaźnika. Bardzo ciekawe są przedstawione w rozdziale 4 wyniki badań doświadczalnych 7 rodzajów opon badań dla 5 różnych nawierzchni zarówno metodą bębnową jak i oscylacyjną, których zestawienie w rozdziale zatytułowanym *Podsumowanie i Wnioski* jest potwierdzeniem tezy rozprawy. Metoda oscylacyjna okazała się skuteczna w ocenie oporu toczenia nawierzchni drogowych i opon. Nie można w ocenie rozprawy ograniczyć się tylko do stwierdzenia udowodnienia przez Doktoranta tezy rozprawy, ale należy również zwrócić uwagę na ogromny materiał poznawczy zawarty w rozprawie a wynikający z przyjętego zakresu badań.

4. Wniosek końcowy

Rozprawa dowodzi dużej wiedzy Doktoranta o zjawiskach towarzyszących ruchowi kół ogumionych na różnorodnych nawierzchniach jak również o metodach badawczych stosowanych do opisu tych zjawisk. Opiniowana praca obejmuje swoim zakresem szeroki obszar badań, których wyniki są bardzo interesujące ze względu na obiekt badań i zastosowaną metodykę badawczą. Mgr inż. Wojciech Owczarzak opracował nową metodykę badań doświadczalnych i analizy wyników tych badań. Opracowaną metodykę należy zakwalifikować do znaczących osiągnięć naukowych mgr inż. Wojciecha Owczarzaka.

Uważam, że rozprawa doktorska mgra inż. Wojciecha Owczarzaka pt „Oscylacyjna metoda oceny oporu toczenia opon samochodowych na nawierzchniach drogowych o różnej teksturze i sztywności” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez przepisy obowiązującej Ustawy o Tytule i Stopniach Naukowych i wnioskuję i dopuszczam **mgr inż. Wojciecha Owczarzaka do publicznej obrony**. Ponadto zważywszy na duży stopień trudności analizowanych w rozprawie zagadnień, zastosowanie nowatorskiej metodyki badań oraz uzyskane oryginalne wyniki udokumentowane w rozprawie oraz w prestiżowym czasopiśmie naukowym stawiam wniosek o **wyróżnienie pracy doktorskiej**.

