

Prof. dr hab.inż. Tomasz Lech Stańczyk
Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu
Politechnika Świętokrzyska, Kielce

Kielce 15.01.2021r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Roberta Czecha
pt. „Wpływ wybranych warunków eksploatacji na skuteczność
układu hamulcowego pojazdów samochodowych”.

Podstawa sporządzenia opinii: pismo Prof. Dr hab. inż. Ewy Majchrzak, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej z dnia 25.11.2020 r.

Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa o wyżej wymienionym tytule jest pracą o objętości 144 stron i składa się z 10 rozdziałów i wykazu literatury. Wykaz literatury obejmuje 156 pozycji drukowanych i 4 źródła internetowe. Spośród wszystkich cytowanych źródeł 109 to pozycje obcojęzyczne – głównie w języku angielskim (108).

Autor podejmuje w pracy problem wpływu warunków eksploatacji na działanie układu hamulcowego w pojazdach samochodowych. Od chwili powstania, kolejne generacje samochodów osiągają coraz większe prędkości jazdy. Skraca to czas podróżowania, ale jednocześnie stwarza większe zagrożenie bezpieczeństwa. Jeśli na drodze wystąpi sytuacja kolizyjna, najczęściej podejmowanym przez kierowców manewrem obronnym jest hamowanie. Zatem zwiększającej się prędkości jazdy musi towarzyszyć doskonalenie układu hamulcowego, którego zadaniem jest przejmowanie coraz większej energii kinetycznej poruszającego się z dużą prędkością samochodu. Kluczowym elementem układu hamulcowego jest usytuowany w kołach mechanizm hamulca, wykorzystujący zjawisko tarcia w celu przekształcenia energii kinetycznej rozpędzonego samochodu na ciepło, które następnie przekazywane jest do otoczenia, a pewna jego część jest pochłaniana przez elementy składowe hamulca i sąsiadujące z nim inne elementy konstrukcyjne samochodu.

Sama koncepcja konstrukcyjna mechanizmu hamulca jest bardzo prosta i chyba dlatego trudno jest zaproponować jakieś nowe jego rozwiązania. Stąd mamy sytuację, gdy od czasu wprowadzenia do samochodów w latach pięćdziesiątych XX wieku hamulców tarczowych, nie pojawiły się do chwili obecnej żadne nowe koncepcje konstrukcyjne hamulców samochodowych. Hamulce tarczowe, które na początku, ze względu na znaczne obciążenia cieplne, stosowane były w małych samochodach osobowych, z biegiem czasu coraz silniej wypierały hamulce bębnowe i stosowane były w coraz większych samochodach (ale przez

Biurowo Dziekana

wpłynęło dnia 18.01.2021
nr 39/RD/Meł zat. 006/20.10.21.

długi czas wyłącznie w samochodach osobowych). Od około 20 – 30 lat zaczęto je stosować również w samochodach ciężarowych, aplikując tę konstrukcję do samochodów o coraz większej masie.

Brak od kilkudziesięciu lat nowych koncepcji mechanizmów hamulcowych nie oznacza, że nie było żadnych działań zmierzających do doskonalenia działania samochodowych układów hamulcowych. Wprowadzono szereg elektronicznie sterowanych systemów „wspomagających” układ hamulcowy w zakresie stateczności i skuteczności działania, takich jak ABS, BAS czy EBD, zdecydowanie podnoszących bezpieczeństwo czynne samochodu. Znaczącym osiągnięciem było również wprowadzenie elektronicznych systemów uruchamiania (sterowania) hamulców, przy czym udało się to skutecznie zrealizować tylko w odniesieniu do pneumatycznych układów hamulcowych. W samochodach osobowych hydrauliczny układ uruchamiania nadal pozostał, ale coraz powszechniej wprowadzane są elektryczne hamulce postojowe, przydatne przy tworzeniu kolejnych systemów asystenckich.

Jednak żaden z tych systemów nie poszerza fizykalnych możliwości podwyższenia skuteczności hamowania. Zależą one bowiem głównie od trzech czynników. Pierwszy to współczynnik przyczepności między kołem a nawierzchnią drogi, lub szerzej procesy współpracy koło – droga, drugi to współczynnik tarcia między tarczą lub bębnem hamulcowym a materiałem wkładek ciernych lub szczęk hamulcowych oraz jego stabilność w czasie i stabilność temperaturowa. Trzeci czynnik (wpływający w mniejszym nieco stopniu niż dwa poprzednie) to zdolność pochłaniania i przewodzenia ciepła przez elementy konstrukcyjne mechanizmu hamulca.

W ten nurt poszukiwań naukowych i technicznych, zmierzających do poprawy skuteczności działania układów hamulcowych, wpisuje się recenzowana praca. Autor podejmuje w pracy problem wpływu wybranych czynników eksploatacyjnych na wartość i stabilność współczynnika tarcia między tarczą hamulcową a materiałem wkładek ciernych, dla różnych skojarzeń materiałowych obu elementów. Autor podejmuje w pracy temat bardzo ważny z praktycznego punktu widzenia, ale zarazem bardzo interesujący i wartościowy pod względem naukowym. Wybór problemu badawczego dokonany został w oparciu o bardzo rzetelną analizę aktualnego stanu wiedzy. Pozytywnie należy również ocenić kompleksowe podejście do badań, dzięki wykorzystaniu w pracy aż czterech różnych metod badawczych.

Analiza treści rozprawy

Autor podzielił rozprawę na dwie główne części, które nazwał: Częścią literaturową i Częścią badawczą, przy czym poprzedził je krótkim wprowadzeniem zawartym w rozdziale pierwszym. W rozdziale tym skupił się głównie na problemie emisji pyłów zawieszonych przez hamulce samochodowe, przywołując w tym miejscu zarówno odpowiednie dokumenty unijne, jak i inicjowane przez UE programy badawcze oraz wybrane publikacje naukowe. Rozdział ten kończą dwa podrozdziały, w których Doktorant sformułował cel (a ściślej rzecz biorąc trzy cele) pracy, określił zakres pracy i przedstawił plan pracy.

Część literaturową rozpoczyna rozdział drugi, w którym Autor przedstawia w sposób zwięzły, ale oparty aż na 24 pozycjach literaturowych (łącznie z cytowanymi we wprowadzeniu) problem wpływu układów hamulcowych na środowisko oraz poprzez jego zanieczyszczenie na stan zdrowia i śmiertelność ludzi.

W rozdziale trzecim Doktorant omawia budowę układów hamulcowych pojazdów samochodowych, przy czym zawęża temat tylko do hamulców tarczowych, omawiając ich zaciski, wkładki cierne i tarcze hamulcowe.

W rozdziale czwartym omówione są materiały stosowane na tarcze hamulcowe. Przedstawiono własności materiałów konwencjonalnych, czyli dwóch odmian żeliwa szarego, żeliwa stopowego i stali oraz nowoczesnych materiałów, jakimi są materiały kompozytowe. Omówiono dwa rodzaje kompozytów: z osnową metalową i z osnową ceramiczną. W podsumowaniu tego rozdziału scharakteryzowano krótko wpływ materiałów kompozytowych na właściwości układu hamulcowego.

Rozdział piąty poświęcony jest scharakteryzowaniu tribologicznych warunków pracy hamulców. Omówiono wpływ warunków hamowania na współczynnik tarcia i zużycie elementów skojarzenia ciernego. Autor wskazał trzy najważniejsze parametry charakteryzujące te warunki: temperaturę powierzchni ciernych, wartości nacisków jednostkowych oraz prędkość względną (prędkość ślizgania) współpracujących elementów. Jako specyficzny, związany z warunkami eksploatacji, czynnik, potraktował Autor korozję elementów ciernych i jej wpływ na działanie układu hamulcowego. Rozdział ten kończy omówienie metod zwiększania odporności na korozję i zużycie tradycyjnych tarcz hamulcowych.

Rozdział szósty to podsumowanie Części literaturowej, prowadzące do sformułowania tezy pracy.

Część badawczą rozpoczyna rozdział siódmy, w którym Autor opisuje przebieg badań równomierności i skuteczności działania hamulców na stanowisku rolkowym firmy MAHA oraz przedstawia ich wyniki. Badania przeprowadzone zostały na próbie 263 trzech samochodów. Celem badań było ustalenie częstości występowania usterek układu hamulcowego, analiza przyczyn ich powstawania oraz określenie warunków eksploatacji przyczyniających się do powstawania uszkodzeń spowodowanych korozją mechanizmów ciernych. Autor kończy rozdział dokładnym omówieniem wyników badań.

Rozdział ósmy poświęcony jest laboratoryjnym badaniom tribologicznym wykonanym przy pomocy testera T-01M, wykorzystującego skojarzenie trzpień-tarcza do badań tarcia suchego w temperaturze otoczenia. Stanowisko pozwala na zmianę dwóch parametrów: prędkości poślizgu i nacisku powierzchniowego. Dodatkowym parametrem był czas ekspozycji badanego materiału na działanie środowiska korozyjnego. Do badań użyto próbek z kompozytowego materiału ciernego, a przeciwpróbki wykonano z dwóch gatunków żeliwa oraz dwóch materiałów kompozytowych wykorzystywanych do produkcji tarcz hamulcowych. Opisano warunki i przebieg badań oraz przedstawiono w tabelach, na

wykresach i na zdjęciach wyniki tych badań. W celu ograniczenia liczby prób, badania tribologiczne przeprowadzone zostały zgodnie z przyjętym planem eksperymentu, który pozwalał opracować wyniki w postaci wielomianów drugiego stopnia. Rozdział ósmy obejmował również badania metalograficzne pozwalające na określenie zmian zachodzących na powierzchniach współpracujących (podczas testów tribologicznych) materiałów. Podobnie, jak poprzedni, rozdział kończy się dokładnym omówieniem uzyskanych wyników badań.

W rozdziale dziewiątym opisany został przebieg badań rzeczywistych hamulców tarczowych na stanowisku bezwładnościowym firmy Liebsch w IBiRM BOSMAL. Pozwala ono na badanie pojedynczego hamulca samochodowego, odwzorowując rzeczywiste warunki pracy, takie jak prędkość obrotowa koła i ciśnienie w układzie hamulcowym, a także zredukowana do osi koła masa danego samochodu przypadająca na jedno koło, dzięki czemu odwzorowana jest wartość energii kinetycznej, którą badany hamulec musi przekształcić na pracę tarcia. Celem badań było określenie wpływu zastosowania kompozytowych tarcz hamulcowych na skuteczność hamowania (uprzednio poddanych działaniu czynników korozyjnych) oraz wyznaczenie zużycia tarcz tradycyjnych i kompozytowych oraz współpracujących z nimi okładzin ciernych w warunkach stanowiskowej symulacji rzeczywistych, wielokrotnych hamowań samochodu. Badania przeprowadzono dla jednej tarczy żeliwnej i jednej kompozytowej, które współpracowały z dostępnym komercyjnie jednym rodzajem klocków hamulcowych. Opisano warunki i przebieg badań, a wyniki przedstawiono na wykresach. Po zakończeniu badań na stanowisku, współpracujące elementy poddane zostały badaniom metalograficznym, których wyniki przedstawiono na zdjęciach. Rozdział kończy się dokładnym omówieniem uzyskanych wyników badań.

Ostatni, dziesiąty rozdział przedstawia podsumowanie pracy i wnioski. Autor formułuje w nim zarówno wnioski poznawcze, jak i wnioski o charakterze użytecznym.

Uwagi krytyczne dotyczące rozprawy

Praca jako całość, pod względem merytorycznym zasługuje na w pełni pozytywną ocenę. Jednak Autor nie ustrzegł się pewnych błędów. Chciałbym jednak podkreślić, że nie są to znaczące uchybienia, a większość z nich ma charakter błędów redakcyjnych. Przedstawiam je w kolejności pojawiania się w tekście.

1. Str. 3 – w Spisie treści zapisano „Część badawczą”, a nie odnotowano „Części Literaturowej”, podanej na stronie 13 wewnątrz pracy.
2. Str. 7 ÷ 10 – w pierwszym rozdziale, zatytułowanym „Wprowadzenie”, Autor skupia się głównie na problemie emisji pyłów zawieszonych przez hamulce samochodowe. Gdyby czytanie pracy zacząć nie od tytułu, lecz od Wprowadzenia to można by pomyśleć, że to jest główny temat pracy, a z tytułu wynika, że Autor zamierza się zająć badaniem skuteczności działania układu hamulcowego i wpływem na nią wybranych czynników. Sprawia to wrażenie, jakby było to wprowadzenie nie do tej pracy.

3. Str. 7, linie $2_d \div 1_d$ – zwiększenie masy nieresorowanej najsilniej wpływa na drgania pionowe samochodu, a w szczególności na komfort jazdy. Wpływ na czynniki wymienione w tym zdaniu istnieje, ale ma zdecydowanie mniejsze znaczenie.
4. Str. 8, linie $2_d \div 1_d$ – co to za wielkość fizyczna „opóźnienie w czasie”?
5. Str. 11, linia 3^g – „Celem pracy były” – podmiot zdania w liczbie pojedynczej, a orzeczenie w liczbie mnogiej.
6. Str. 13 ÷ 17 – rozdział rozpoczynający Część literaturową powinien nas wprowadzać w problematykę pracy, czyli zgodnie z tytułem w problemy skuteczności działania układów hamulcowych oraz różnych czynników wpływających na tę skuteczność. Tymczasem rozdział wprowadzający czytelnika w studium literaturowe poświęcony jest wpływowi układów hamulcowych na środowisko oraz poprzez jego zanieczyszczenie na stan zdrowia i śmiertelność ludzi. Rozdział jest napisany bardzo dobrze, ale nie na temat.
7. Str. 67 linia 4^g – jest: „... układ rolek (3,4)”, powinno być: „... układ rolek (2,3)”.
8. Str. 68 linia 4^g – 10 N – to chyba dokładność odczytu na wyświetlaczu, a nie błąd pomiarowy. Bardzo często w opisach urządzeń dokładność odczytu podawana jest jako błąd pomiarowy, a zazwyczaj błąd pomiarowy jest większy od tej wartości. Proszę kilka razy najechać losowo na płytę najazdową urządzenia FWT1, a przekona się Pan, że błąd pomiarowy jest większy.
9. Str. 68 linia 9^g – jest: „... zaadoptowana”, powinno być: „... zaadaptowana”.
10. Str. 70 tabele 9 i 10 – suma ostatniego wiersza w tabeli 9 wynosi 100% - to jest poprawna wartość. Dlaczego suma ostatniego wiersza w tabeli 10 wynosi 25%?
11. Str. 72 rys. 41 – czy ilość przejechanych kilometrów może być liczą ujemną (wynosić: – 2000)? Od takiej wartości rozpoczyna się oś odciętych na tym rysunku.
12. Str. 85 linia 15^g – jest: „... współczynników kierunkowych ... równania drugiego stopnia ...”, powinno być: „... współczynników ... równania drugiego stopnia ...”. Określenie „współczynnik kierunkowy” to interpretacja geometryczna współczynnika przy zmiennej niezależnej w równaniu liniowym (równaniu pierwszego stopnia). Dla współczynników równań wyższych stopni nie powinno się używać tego określenia.
13. Str. 109 linia 4^g – przydałaby się w tym miejscu uwaga, że takie potencjalne zmniejszenie o 30% lub zwiększenie o 50% siły hamowania na jednym z kół, jest zdecydowanie większym zagrożeniem dla stateczności niż dla skuteczności hamowania.
14. Str. 129 – wniosek 8 jest mało wartościowy z powodu jego ogólnikowości. To mógłby stwierdzić każdy. W pracy doktorskiej należy się zdobyć na wskazanie jakiegoś kierunku działań.
15. Uwaga dotycząca wniosków. Dobrym podsumowaniem całej pracy byłoby wskazanie kierunków dalszych badań, świadczące o tym, że Doktorant ma świadomość, że to co zrobił nie jest kompletnym rozwiązaniem problemu, a jedynie pierwszym krokiem oraz, że teraz, po zakończeniu pracy, mając o wiele większą wiedzę o badanym problemie, wie jakie kolejne ciekawe z poznawczego punktu widzenia badania można w tym obszarze zaplanować.

Poza wymienionymi uchybieniami praca napisana jest bardzo starannie. Wszystkie sformułowania są precyzyjne, stosowana jest poprawna terminologia naukowa i techniczna. W wykazie uwag krytycznych nie wskazano znaczących błędów merytorycznych. Można mieć jedynie uwagę dotyczącą układu pracy w rozdziale ósmym. Najpierw mamy na 21,5 strony (od 95 do 106) długą serię zdjęć i wykresów bez żadnego komentarza, a potem 13,5 strony (od 106 do 113) samego tekstu (dobrego komentarza). To się bardzo źle czyta. Jeśli ktoś chce prześledzić sposób rozumowania i wnioskowania Autora, to musi nieustannie wertować kartki do przodu i do tyłu. Podobna sytuacja występuje również w rozdziale dziewiątym.

Ocena końcowa rozprawy

Recenzowaną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Przedstawione uwagi krytyczne dotyczą raczej drobnych uchybień i nie podważają wysokiej oceny pracy. Uważam, że zadanie jakie podjął Autor w rozprawie zostało w sposób poprawny i obszerny rozwiązane z wykorzystaniem wiedzy teoretycznej z różnych dziedzin inżynierii mechanicznej. Autor wykazał, że dobrze opanował tę wiedzę i potrafi się nią skutecznie posługiwać do rozwiązywania problemów naukowych i technicznych.

Praca mgr inż. Roberta Czecha posiada wszelkie cechy poprawnie przeprowadzonej pracy naukowej. Ogólny układ pracy jest prawidłowy. Autor wykazał, że potrafi w sposób poprawny prowadzić różnorodne badania eksperymentalne, pozwalające na kompleksową ocenę badanego zjawiska. Przyjmowane założenia do poszczególnych rodzajów badań są każdorazowo uzasadniane. Praca zrealizowana jest rzetelnie. Jako całość stanowi logiczną i spójną analizę wielu czynników wpływających na skuteczność działania samochodowych układów hamulcowych. Autor w sposób umiejętny wykorzystuje wyniki różnych badań eksperymentalnych dla przeprowadzania pogłębionych analiz zachodzących procesów.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Roberta Czecha spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym, dlatego wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Tomasz L. Staliński