

OCENA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Gmyza
pt. „Wpływ rodzaju układu wspomagania mechanizmu hamulcowego
na zużycie energii”

Podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej prof. dr hab. inż. Jarosława Sępa z dnia 15 stycznia 2015 roku na podstawie decyzji Rady Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa z dnia 14 stycznia 2015 roku.

1. Wprowadzenie

Podjęta przez doktoranta tematyka dotycząca analizy i oceny wpływu rodzaju układu wspomagania mechanizmu hamulcowego na zużycie energii w pojeździe samochodowym należy do grupy problemów bardzo ważnych poznawczo i użyteczności. Jest to związane ze stale zwiększającą się liczbą pojazdów samochodowych, co wymaga zastosowania rozwiązań konstrukcyjnych mających na celu zmniejszenie emisji substancji szkodliwych wytwarzanych podczas ich eksploatacji oraz bezpieczeństwa czynnego i biernego użytkowników dróg.

Jednym ze sposobów ograniczenia emisji jest stosowanie układów dodatkowych pojazdu o zmniejszonym zapotrzebowaniu na energię przy jednoczesnym zachowaniu ich pełnej funkcjonalności eksploatacyjnej. Przyrost liczby pojazdów wyposażonych w innowacyjne układy wspomagające w Polsce kształtuje się na średnim poziomie dynamiki, można jednak zauważyć zwiększenie zainteresowania nowoczesnymi rozwiązaniami technicznymi przez ich nabywców. Zaostrzane stale normy emisji powodują, że producenci coraz częściej rozważają możliwości stosowania innowacyjnych, niekonwencjonalnych układów wspomagających pracę wybranych podzespołów i układów w tym również układu hamulcowego.

2. Układ pracy doktorskiej

Rozprawa doktorska mgr inż. Radosława Gmyza pt. „Wpływ rodzaju układu wspomagania mechanizmu hamulcowego na zużycie energii” ujmuje kompleksowo w sposób teoretyczny i doświadczalny zagadnienia związane z określeniem wpływu rodzaju układu wspomagania mechanizmu hamulcowego pojazdu samochodowego na zużycie energii.

Treść pracy odnosi się do układów hamulcowych stosowanych w pojazdach samochodowych, stąd wydaje się że w tytule pracy Autor powinien się odnieść do tej kwestii, jednak tytuł jest sformułowany w sposób bardziej ogólny.

Praca składa się ze 188 stron i jest podzielona na 8 rozdziałów. Bibliografia obejmuje 176 pozycji ze źródeł krajowych i zagranicznych, z których właściwie wszystkie zostały przywołane w tekście rozprawy. Zdecydowana większość cytowań stanowi aktualne opracowania uwzględniające publikacje naukowe, rozporządzenia, raporty strony internetowej i katalogi producenckie.

Praca rozpoczyna się od wstępu, w którym Autor stara się określić miejsce nowoczesnych rozwiązań układów hamulcowych we współczesnych pojazdach samochodowych. Następnie została wykonana obszerna i wyczerpująca analiza literatury podzielona na sześć tematycznych podrozdziałów. Analiza literatury obejmuje kolejno: ogólny bilans energetyczny pojazdu, opis rozwiązań układów wspomagających i dodatkowych pojazdu w kontekście technicznym energetycznym systemowym i prawnym. Dokonano również analizy energetycznej w aspekcie zapotrzebowania na moc pochodzącą z silnika spalinowego pojazdu oraz próby oceny wpływu zużycia energii przez poszczególne układy pomocnicze na wielkość zużycia paliwa i co za tym idzie emisji zanieczyszczeń powstałych podczas procesu spalania mieszanki paliwowo-powietrznej.

Przedstawione są również wybrane rozwiązania układów hamulcowych wykorzystujących energię elektryczną. W wyniku studium literaturowego została sformułowana teza i zakres pracy opisane w rozdziale trzecim.

Rozdział czwarty stanowi studium zużycia energii niezbędnej do realizacji procesu hamowania dla stosowanych obecnie w pojazdach samochodowych układach hamulcowych, wspomaganych podciśnieniowo i nadciśnieniowo na podstawie którego opracowano model przepływu energii w elektrycznym układzie hamulcowym.

W rozdziale piątym i szóstym przedstawione są badania doświadczalne możliwego do zastosowania w pojeździe samochodowym elektrycznego układu hamulcowego, począwszy od celu i zakresu badań, poprzez określenie obiektu badań z wyszczególnieniem elementów układu pomiarowego i rejestrującego aż po wyniki badań stanowiskowych i drogowych w formie tabelaryzowanej oraz czytelnych wykresów i zestawień.

Rozdział siódmy zawiera analizy wyników badań skonstruowanego elektrycznego układu hamulcowego w odniesieniu do hamulcowego układu podciśnieniowego pojazdu skojarzonego na stałe ze spalinową jednostką napędową. Analizy porównawcze przedstawiono tabelarycznie oraz w postaci odpowiednich wykresów.

W rozdziale ósmym zawarte jest podsumowanie wyników badań stanowiskowych i drogowych w aspekcie postawionych wcześniej tez. Przedstawione są również wnioski wynikające z pracy oraz plan i kierunki dalszych badań.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

3.1. Charakterystyka ogólna rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Radosława Gmyza dotyczy określenia zapotrzebowania energetycznego układów wspomagania mechanizmów hamulcowych oraz zbadania możliwości ograniczenia zużycia energii przez te układy, co ma istotny wpływ na zużycie paliwa przez silnik pojazdu i pośrednio na emisję substancji toksycznych powstałych podczas procesu spalania. Praca w znacznej części ma charakter empiryczny.

Zakres pracy obejmuje:

- analizę literatury dotyczącej związanej z tematyką pracy,
- analizę zużycia energii układów wspomagających stosowanych w pojazdach samochodowych,
- opracowanie modelu matematycznego poboru energii w procesie hamowania przy wykorzystaniu hamulca elektrycznego,
- opracowanie koncepcji i wykonanie stanowiska do pomiaru parametrów elektrycznych i siły rozwijanej przez tłoczek elektrycznego modułu hamulca EMB,
- opracowanie koncepcji i wykonanie stanowiska do pomiaru parametrów elektrycznych pracy hamulców EMB oraz siły rozwijanej na sprzęgu podczas hamowania w trakcie prowadzonych badań drogowych,

- opracowanie koncepcji i wykonania stanowiska do wyznaczenia parametrów ruchu oraz częstości i intensywności prowadzenia procesu hamowania,
- wykonanie laboratoryjnych badań stanowiskowych,
- przeprowadzenie doświadczalnych badań drogowych,
- analizę wyników,
- przeprowadzenie symulacji oraz porównania zużycia energii,
- sformułowanie wniosków końcowych i nakreślenie kierunków dalszych prac w zakresie implementacji wybranych metod sterowania.

3.2. Uwagi szczegółowe

Analizując układ i strukturę pracy można zauważyć, że pierwsze cztery rozdziały stanowią analizę stanu zagadnienia opartą na szerokim przeglądzie literatury, które pozwoliły na sformułowanie tezy pracy i opracowanie modeli matematycznych przedstawionych w rozdziale czwartym. Można się zastanawiać czy tym szerokim przeglądem literatury celowa była prezentacji układów ABS, EBS ESP i innych systemów nadzorujących i kontrolujących proces hamowania i ruchu pojazdu. Być może Autor chciał przedstawić zagadnienia energetyczne dotyczące pracy samochodowego układu hamulcowego w szerszym kontekście. Z merytorycznego punktu widzenia część tego materiału mogłaby zostać pominięta i ujęta w sposób syntetyczny.

Autor pracy połączył w spójną całość rozważania teoretyczne jak i badania doświadczalne. W pierwszym etapie po przeprowadzeniu analizy danych literaturowych oraz bazując na rzeczywistym, posiadanym hamulcu elektromechanicznym EMB opracowano matematyczny model zużycia energii dla elektromechanicznego mechanizmu wspomagającego. Należy stwierdzić, że znaczna część parametrów mechanicznych takich jak sztywności układu, współczynniki tarcia i tłumienia oraz wielkości elektryczne są trudne do oszacowania. Dodatkowo bazowanie w obliczeniach symulacyjnych tego typu parametrów nie pozwala precyzyjnie wyznaczyć energii pobieranej przez elektryczny układ wspomagający, stąd niezbędne było uproszczenie modelu matematycznego oraz przeprowadzenie badań stanowiskowych i doświadczalnych. W wyniku przeprowadzonych badań określono parametry elektryczne oraz zidentyfikowano siły nacisku wywierane przez popychacz na powierzchnię płytki nośnej elementu ciernego.

Przeprowadzone badania stanowiskowe pozwoliły wyznaczenie korelacji pomiędzy prądem pobieranym przez silnik elektryczny modułu hamulca EMB a siłą nacisku tłoka - popychacza hamulca na tarczę i okładzinę cierną. Dane te pozwoliły na uproszczenie procesu obliczeniowego. Przeprowadzone badania doświadczalne nie brały jednak pod uwagę wyznaczenia zmian rezystancji uzwojeń silnika oraz współczynnika tarcia par trących, które są w znacznym stopniu zależne od temperatury pracy. Jak wynika z tekstu rozprawy nie było jednak możliwe na stanowisku badawczym jednoznaczne wyznaczenie energii pobieranej przez elektryczny układ wspomagający podczas hamowania.

Z tego względu Autor opracował i wykonał stanowisko badawcze do testów drogowych pozwalające na wyznaczenie siły rozwijanej podczas hamowania na kołach pojedynczej osi wyposażonej w hamulce EMB. Stanowisko składało się z pojazdu samochodowego i przyczepa badawczej sprzęgniętej z pojazdem. Procesu badawczy przebiegu hamowania pozwalał na rejestrację wartości siły pojawiającej się na sprzęgu zestawu drogowego, rejestrację prędkości kątowych kół oraz rejestrację parametrów elektrycznych pracy hamulcowego związanych z pracą silników układu.

Dalsze prace obejmowały określenie wielkości energii pobieranej przez elektromechaniczny układ wspomagający na drodze obliczeń numerycznych. Obliczenia te oparte były o dane uzyskane z badań i zarejestrowane w pomiarach przebiegi prądu i napięcia

w obwodach elektrycznych mechanizmu hamulcowego EMB. Wyniki analizy zużycia energii przedstawiono w funkcji rozwijanej siły hamowania dla badanego hamulca EMB jako krzywą regresji pierwszego stopnia.

W celu umożliwienia porównania energii zużywanej przez konwencjonalne i elektryczne układy wspomagające pracę hamulców Autor wyznaczył pobór energii przez oba układy hamulcowe na założonych tych samych warunkach badawczych na tej samej trasie przejazdu zestawu badawczego. Wykonana została symulacja komputerowa, wykorzystująca opracowany model energetyczny i parametry ruchu samochodu wyznaczone w rzeczywistych warunkach drogowych podczas ruchu pojazdu po drogach publicznych. W ramach badań drogowych uzyskano dane dotyczące liczby, częstotliwości występowania, intensywności oraz czasu trwania procesu hamowania. Układ pomiarowy został rozbudowany o system nawigacji satelitarnej zintegrowany z czujnikami zainstalowanymi w badawczym zestawie drogowym.

Trasy przejazdu z których wyłoniono odcinki badawcze dzielące drogę na określone klasy zostały opracowane zgodnie z Dz. U. z 1999 r. Nr 43, poz. 430. W wyniku przeprowadzonych badań zebrano ponad 1,5 miliona punktów pomiarowych, których analiza pozwoliła ustalić rozkłady hamowań dla poszczególnych klas dróg. W celu szczegółowej analizy zagadnienia wyniki przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych zestawiono w odpowiednich tabelach oraz pokazano w sposób bardzo czytelny na wykresach.

W wyniku zrealizowania niniejszej rozprawy uzyskany został bogaty materiał badawczy, zarówno w aspekcie teoretycznym i użytkowym, pozwolił jednocześnie na poszerzenie wiedzy o poznawcze i szczegółowe elementy w zakresie określenia wpływu rodzaju układu wspomagania mechanizmu hamulcowego pojazdu samochodowego na zużycie energii.

W ramach pracy wykonano także analizy dotyczące zużycia energii przez sprężarki tłokowe współczesnych naciśnieniowych konwencjonalnych układów wspomagających, jednak pojawia się pytanie jaką metodą wyznaczono zużycie energii przez sprężarkę układu wspomagania układu pneumatycznego.

Można się zastanawiać czy Autor brał pod uwagę jaki wpływ może mieć mechanizm samowzmocnienia siły hamowania na zużycie energii i stabilność w czasie procesu hamowania oraz jakie są wady i zalety tego mechanizmu. Jeżeli w procesie badawczym nie było to brane pod uwagę, to może to stanowić zagadnienie do dalszych badań.

Podobnie z punktu widzenia samej konstrukcji mechanizmów układu hamulcowego można poddać rozważaniu konstrukcję gwintu jako gwintu śruby w mechanizmie hamulcowym oraz wady i zalety określonych rozwiązań czy obszarów zastosowań. Jest w pracy wzmianka na ten temat, ale może to również zagadnienie do kolejnych prac naukowo-badawczych.

Należy zaznaczyć, że rozpatrywana tematyka jest niezwykle trudna i jednocześnie bardzo istotna w kwestii bezpieczeństwa użytkowników pojazdów oraz pieszych a także zmniejszenia zużycia paliwa i emisji substancji szkodliwych. Przedstawiony materiał pokazuje, że elektryczny układ hamulcowy może stanowić przyszłość rozwiązań technicznych pojazdów samochodowych. Podjęcie dalszych prac teoretycznych i eksperymentalnych zakresie objętym rozprawą jest niezbędne i może zaowocować opracowaniem wydajnej konstrukcji elektrycznego układu hamulcowego, który w efekcie pozwalał będzie na zmniejszenie zużycia paliwa przez silniki pojazdów i również na zmniejszenie emisji substancji toksycznych emitowanych przez silniki.

Przeprowadzone badania doświadczalne i obliczenia symulacyjne udowodniły słuszność przyjętych założeń i pozytywnie zweryfikowały tezę pracy. Cel pracy został w pełni osiągnięty.

Poza przedstawionymi powyżej uwagami o charakterze merytorycznym w pracy zauważalne są uproszczenia mogące mieć wpływ na wyniku obliczeń oraz ich weryfikację.

Uwagi te po zaznaczeniu w tekście rozprawy przekazałem Autorowi w bezpośredniej rozmowie, w czasie której wykazał się dużą znajomością zagadnienia, znacznym zaangażowaniem w tematykę badawczą zawartą w dysertacji.

Metodyka badań oraz otrzymane wnioski z badań teoretycznych i eksperymentalnych stanowią w znacznej części oryginalny wkład Autora. Stwierdzam jednocześnie, że mimo uwag, właściwie o charakterze dyskusyjnych, bardzo wysoko oceniam poziom merytoryczny rozprawy, przede wszystkim ze względu na dużą trudność i znaczenie tematu ale również ze względu na intelektualny wkład Autora.

4. Podsumowanie

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

- tematyka pracy została dokonana w sposób trafny, a jej zakres spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim,
- struktura i formalny układ pracy jest prawidłowy,
- rozprawa odnosi się do aktualnej wiedzy i praktyki objętej jej zakresem, a w wielu elementach wnosi nowe treści,
- zasadnicze cele pracy zostały w pełni osiągnięte w zakresie przyjętym przez Autora,
- zostały również uzasadnione założenia Autora ujęte w tezie pracy, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonym procesie badawczym,
- założenia przyjęte w pracy i opracowane modele własne i mogą być przedmiotem dalszych prac badawczych.

Autor w dysertacji podjął się bardzo trudnego i ambitnego zadania, które z oczywistych względów nie wyczerpuje całości zagadnień związanych z systemami wspomagającymi układ hamulcowy pojazdu. Ilość czynników wpływających na zapotrzebowanie energetyczne układów wspomagających jest znaczna, co dodatkowo komplikuje zagadnienie. Wynika z tego konieczność dalszych badań, a przedmiotowa praca stanowi punkt wyjściowy do opracowania pełnego bilansu energetycznego układu wspomagającego na obiekcie docelowym, co ze względu na określone przepisy wymaga testów na odcinkach zamkniętych wyłączonych w ruchu drogowego.

Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Budowa i eksploatacja maszyn”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

Stwierdzam zatem, że praca mgr inż. Radosława Gmyza pt.: „*Wpływ rodzaju układu wspomagania mechanizmu hamulcowego na zużycie energii*” (promotor: dr hab. inż. Mirosław Śmieszek, prof. PRz) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku, a Autor może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

Grażyna Burtak