

Prof. dr hab. inż. Marek BRZEŻAŃSKI
Wydział Mechaniczny
Politechnika Krakowska
31- 864 KRAKÓW
Al. Jana Pawła II 37

RECENZJA
Rozprawy doktorskiej
mgr. inż. Filipa Sz wajcy pt.

„Ocena efektywności zastosowania dwustopniowego systemu spalania ubogich mieszanek gazowych w szybkoobrotowym silniku o ZI”

Promotor: **Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wisłocki**

Podstawa opracowania recenzji:

Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny „Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport” Politechniki Poznańskiej, Pana Prof. dr. hab. inż. Jacka Pielechy o uchwale z dnia 29.10.2024 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu o nadanie stopnia doktora Panu mgr. inż. Filipowi Sz wajcy (pismo RD/d/603/02/2024 z dnia 29.10.2024 r.), do którego dołączono egzemplarz monografii. Podstawą prawną sporządzonej recenzji jest Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”.

WYBÓR TEMATYKI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pan mgr inż. Filip Sz wajca w swej rozprawie doktorskiej poruszył ważny obszar badawczy dotyczący analizy procesu spalania wybranych paliw gazowych, co jest istotne zwłaszcza obecnie, w dobie krytyki urządzeń energetycznych, w których następuje spalanie paliw węglowodorowych. Prace naukowe w tym obszarze o charakterze podstawowych badań teoretycznych i doświadczalnych są niezmiernie ważne dla rozwoju techniki, ponieważ pozwalają na rozpoznanie wielu nieznanych zjawisk fizycznych, a otrzymane wyniki z zaprezentowanych badań mają szeroki potencjał aplikacyjny. W przypadku recenzowanej pracy głównym obiektem badań był mechanizm dwustopniowego systemu spalania ubogiej mieszanki gazowo-powietrznej w szybkoobrotowym tłokowym silniku spalinowym, co nie wyklucza jednak wykorzystania tych prac w szerszym zakresie zastosowania w różnego typu maszynach energetycznych, w związku z tym można uznać, że prace te mają uniwersalny charakter. Tego typu systemy spalania są znane, lecz dotychczas ich powszechne stosowanie było ograniczone do dużych, wolnoobrotowych silników przemysłowych, np. w silnikach stosowanych w przepompowniach gazu ziemnego. W tym przypadku Doktorant podjął się opracowania takiego systemu dla silników rozwijających dużą prędkość obrotową. Zakres prowadzonych prac obejmował etap podstawowych analiz teoretycznych, badań modelowych oraz badań doświadczalnych procesu spalania ubogiej mieszanki paliwowo - powietrznej, co z naukowego punktu widzenia stanowi kompletny materiał wyjaśniający postawiony cel badawczy. Tego typu prace naukowe są obecnie rzadkością, wobec ogromu prac aplikacyjnych, a powodzenie tak ukierunkowanych badań naukowych ma istotne znaczenie

z punktu widzenia rozpoznania zjawisk teoretycznych i problemów technicznych, dotyczących tworzenia mieszanki. Należy także dodać, że wszelkiego typu prace mające na celu zwiększenie sprawności przetwarzania energii oraz zmniejszenia obciążenia środowiska są obecnie niezwykle cenione i potrzebne.

Z tego względu należy uznać, że tematyka podjęta przez Autora pracy jest aktualna i w pełni uzasadniona pod względem poznawczym, a na płynące z niej wnioski istnieje obecnie zapotrzebowanie również w obszarze praktyki technicznej. Można zatem uznać, że wybór tematu rozprawy doktorskiej spełnia wymagania art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

UKŁAD TREŚCI ROZPRAWY ORAZ SPOSÓB REALIZACJI PRACY

Rozprawa została wydana w formie monografii, napisanej w języku polskim. Tytuł rozprawy: „Ocena efektywności zastosowania dwustopniowego systemu spalania ubogich mieszanek gazowych w szybkoobrotowym silniku o ZI” oddaje jej treść i jest zrozumiały dla specjalistów z dziedziny silników spalinowych. Jedyna uwaga dotyczy stosowania skrótu „ZI”, który nie powinien znaleźć się w tytule pracy. Cała rozprawa doktorska została przedstawiona łącznie na 130 stronach, łącznie z rysunkami, fotografiami, wzorami, tabelami oraz załącznikami. Obejmuje to także streszczenia w języku angielskim i polskim, spis treści, wykaz rysunków i tabel. Spis literatury, obejmujący 196 pozycji, zawiera głównie zagraniczne i krajowe materiały pochodzące z ostatniej dekady.

Rozprawa jest logicznie podzielona na 9 rozdziałów, w większości rozbudowanych o kilka podrozdziałów. Zawarte w pracy streszczenia w językach polskim i angielskim, w sposób syntetyczny określają tematykę pracy, jej cel i zakres merytoryczny oraz najważniejsze osiągnięcia poznawcze i aplikacyjne, wynikające z przeprowadzonych badań i analiz. Treść rozprawy jest uzupełniona bogatym materiałem ilustracyjnym (77 rysunków) oraz tabelarycznym (11 tabel).

Pierwsze trzy rozdziały, liczące łącznie ok. 30 stron zawierają analizę istniejącej wiedzy opisującej przedmiot badań i ma charakter wstępu do prowadzonych przez Doktoranta badań naukowych. Rozdziały te zawierają wiedzę dotyczącą: ogólnej charakterystyki rozwoju źródeł napędu pojazdów samochodowych i systemów spalania mieszanki paliwowo-powietrznej w komorze spalania silnika tłokowego, oceny wybranych paliw gazowych, prowadzonej w kontekście ich przydatności, jako paliwa do silników tłokowych oraz oceny dwustopniowych systemów spalania, stosowanych w silnikach o zapłonie iskrowym.

Naukowy cel badawczy rozprawy i zakres realizowanych badań naukowych i analiz Doktorant przedstawił w rozdziale 4. Głównym celem badań naukowych było dokonanie oceny porównawczej efektywności zastosowania dwustopniowego systemu spalania o zidentyfikowanych cechach konstrukcyjnych, względem systemu konwencjonalnego, w szybkoobrotowym silniku spalinowym. Wyniki tych badań miały za zadanie potwierdzenie tezy postawionej przez Doktoranta: „zastosowanie dwustopniowego systemu spalania przyczynia się do poprawy wskaźników energetycznych i ekologicznych pracy szybkoobrotowego silnika gazowego”.

Kolejne rozdziały pracy układają się w logiczną kolejność, wynikającą z realizacji postawionych celów. Doktorant przeprowadził analizy i badania wstępne, które wymagały doboru właściwego typu świecy zapłonowej oraz doboru cech geometrycznych opracowanej komory wstępnego spalania. Dla potrzeb naukowej oceny wpływu geometrii elektrod świecy zapłonowej na charakter wyładowania zbudowano stanowisko badawcze z komorą izochoryczną, w której filmowano przebieg zapłonu mieszanki. Z kolei wybór wariantu wstępnej komory spalania dokonano w oparciu o wyniki badań na stanowisku

z pneumatycznie sterowaną Maszyną Pojedynczego Cyklu. Podsumowanie dokonanych analiz teoretycznych i wyników wstępnych badań doświadczalnych przeprowadzonych w komorze izochorycznej i na stanowisku z Maszyną Pojedynczego Cyklu, Autor przedstawił w rozdz. 5.5. Pozwoliło to na dokonanie wyboru odpowiedniej świecy zapłonowej i geometrii komory, do prowadzenia zasadniczych badań doświadczalnych na stanowisku z silnikiem spalinowym. W rozdziale 6 Autor zawarł opis zasadniczych badań silnikowych, przeprowadzonych na jednocylindrowym silniku badawczym typu AVL 5804. Badania zostały poprzedzone szczegółowym opisem zastosowanej metodyki prowadzenia pomiarów. W rozdziale 7 przedstawiono strategię doboru parametrów opracowanego, dwustopniowego systemu spalania mieszanki ubogiej. W rozdziale 9 zaprezentowano i omówiono wszechstronne wnioski płynące z przeprowadzonych analiz i wykonanych badań doświadczalnych, a także przedstawiono podsumowanie wykonanych prac.

Styl rozprawy należy uznać za poprawny, stosowana terminologia nie budzi zastrzeżeń, a treść pracy jest dobrze zilustrowana rysunkami. Należy podkreślić dużą staranność Doktoranta w sporządzaniu materiału graficznego, przedstawiającego wyniki badań, co znacząco ułatwia ich interpretację.

OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Badania naukowe Pana mgr. inż. Filipa Szwejcy dotyczą dość bardzo wąskiego obszaru nauki związanego z systemami spalania mieszanki paliwowo-powietrznej w tłokowym silniku spalinowym. Pracę tę można zaliczyć do grupy naukowych badań podstawowych, mających znaczący potencjał aplikacyjny w różnych obszarach techniki. Analizowane w pracy zjawiska fizyczne dotyczą złożonych zagadnień z zakresu termodynamiki, mechaniki płynów i systemów sterowania, wymagając od Doktoranta dużej, interdyscyplinarnej wiedzy teoretycznej, a także umiejętności zaplanowania i praktycznego zrealizowania założonych pomiarów. Rozwiązanie, postawionego naukowego problemu badawczego, wymagało ponadto opracowania odpowiedniej metodyki prowadzenia badań doświadczalnych, obejmujących m.in. zarówno badania optyczne systemu zapłonowego, prowadzone w komorze izochorycznej, jak i badania podstawowe opracowanej komory wstępnej, prowadzone na stanowisku z Maszyną Pojedynczego Cyklu. Podkreślić należy, że przeprowadzenie tego typu badań wymaga bardzo dobrego przygotowania teoretycznego, umiejętności praktycznych oraz zdolności do interpretacji otrzymanych wyników. Wybranie tego typu metody stopniowej analizy postawionego problemu badawczego, świadczy zarówno o dojrzałości naukowej Doktoranta, jak i o Jego zdolności do przygotowania odpowiedniej procedury pomiarowej. Badania wstępne pozwoliły na dobór odpowiednich cech konstrukcyjnych proponowanego systemu spalania w efekcie wybrano odpowiedni typ świecy zapłonowej z płaskimi elektrodami oraz system spalania dwustopniowego w badawczym silniku zasilanym paliwem gazowym.

Zasadnicze badania przeprowadzone na jednocylindrowym silniku badawczym typu AVL 5804 były bardzo złożonym zadaniem, wymagającym wielu prac przygotowawczych. Istotne było zwłaszcza właściwe rozmieszczenie analizowanych elementów w systemie spalania silnika. Ponadto dużym wyzwaniem było opracowanie odpowiedniej strategii sterowania układem zapłonowym silnika oraz układem zasilania, przewidującym podział dawki dostarczanego paliwa gazowego. Istotnym problemem, z którym zmierzył się Doktorant podczas prowadzonych badań doświadczalnych była duża liczba parametrów wejściowych, wyjściowych oraz zakłócających, mających wpływ na otrzymane wyniki i decydujących o powodzeniu zaplanowanych eksperymentów. Dlatego też tego typu badania są zwykle prowadzone w dużych zespołach badawczych, dysponujących rozbudowaną bazą aparaturową. Mimo tego Doktorant osiągnął założone cele badawcze, pozwalające na

dokonywanie wszechstronnej oceny zaproponowanego systemu dwustopniowego spalania mieszanki gazowo-powietrznej, w stosunku do rozwiązań konwencjonalnych. Istotnym elementem było zbadanie wpływu parametrów konstrukcyjnych opracowanego systemu spalania oraz strategii sterowania na efektywność pracy dwustopniowego systemu spalania. Badania wykazały, że dwustopniowy system spalania może pracować jako aktywny, gdy dodatkowe paliwo wtryskuje się bezpośrednio w obszar wyładowania elektrycznego świecy zapłonowej albo pasywny bez dodatkowego wtrysku gazu. Wykazano również, że skład mieszanki palnej w obszarze działania wyładowania iskrowego ma kluczowy wpływ na przebieg procesu zapłonu ubogich ładunków palnych doprowadzonych do cylindra. Na tej podstawie można było wyznaczyć strategię podziału dawki paliwa pomiędzy wstępną komorę spalania a objętość cylindra. W zakresie prowadzonych pomiarów efektami zrealizowanych badań opracowanego systemu spalania ubogiej mieszanki w silniku o zapłonie iskrowym było osiągnięcie: zwiększenia sprawności cieplnej silnika, zmniejszenie emisji jednostkowej tlenków azotu, zmniejszenie emisji jednostkowej węglowodorów, zmniejszenie emisji jednostkowej tlenku węgla. W badaniach wykazano też, że zastosowanie dwustopniowego systemu spalania w sposób znaczny rozszerza zakres zapalności mieszanki ubogiej bez efektu zwolnienia reakcji spalania.

W związku z tym można stwierdzić, że założony cel prowadzonych badań naukowych został przez Doktoranta osiągnięty.

Największą wartość recenzowanej rozprawy stanowi:

- Podjęcie próby rozwiązania złożonego zadania badawczego dotyczącego opracowania nowego systemu spalania ubogiej mieszanki gazowo-powietrznej,
- Przeprowadzenie analizy naukowej dużego materiału teoretycznego i badawczego dotyczącego zagadnień związanych z właściwościami paliw gazowych oraz przebiegiem procesu ich spalania w silniku o zapłonie iskrowym,
- Opracowanie metodyki badań eksperymentalnych, pozwalających na przeprowadzenie badań wstępnych oraz badań zasadniczych na rzeczywistym obiekcie badawczym, które to zadanie było bardzo złożone, głównie ze względu na dużą liczbę zmiennych parametrów, mających istotny wpływ na wyniki pomiarów,
- Przeprowadzenie badań wstępnych, niezbędnych do realizacji zasadniczych eksperymentów, z użyciem uznanych metod badawczych, takich jak badania optyczne wyładowania iskrowego, prowadzone w komorze izochorycznej lub badania opracowanego systemu dwustopniowego spalania w komorze pojedynczego cyklu,
- Wyodrębnienie i usystematyzowanie szeregu parametrów silnika, które mają istotny wpływ na ocenę zaproponowanego systemu spalania i umożliwiają dokonanie właściwych analiz otrzymanych wyników pomiarów,
- Budowa stanowiska badawczego, umożliwiającego przeprowadzenie zaplanowanych badań oraz dobór metody pomiarów i aparatury badawczej, spełniającej wymagania opracowanej metodyki badań doświadczalnych. Ta część działań wymagała od Doktoranta interdyscyplinarnej wiedzy oraz ponadstandardowego doświadczenia badawczego,
- Przeprowadzenie pracochłonnych i złożonych badań doświadczalnych według opracowanej metodyki, z zastosowaniem badawczego silnika firmy AVL, wyposażonego w opracowany przez Doktoranta, zmodyfikowany system spalania,
- Opracowanie wyników pomiarów, w tym bardzo dobre i staranne opracowanie graficzne, które pozwala na ich właściwą ocenę i weryfikację,
- Opracowanie wniosków z pracy, które w logiczny sposób zostały pogrupowane, ułatwiając ocenę merytoryczną prowadzonych badań naukowych.

Analizując treść rozprawy nasuwają się pewne uwagi, które jednak nie umniejszają jej pozytywnej wartości merytorycznej.

Badania wstępne układu zapłonowego, które przeprowadzono odpowiednio: metodą optyczną w komorze izochorycznej i wstępne badania opracowanego systemu spalania, zrealizowane za pomocą maszyny pojedynczego cyklu, zostały określone przez Doktoranta jako „badania modelowe”. Uważam, że w przypadku tych badań nie jest to trafne określenie, ponieważ ich efektem nie było opracowanie modelu badanego zjawiska, umożliwiające prowadzenie odpowiednich symulacji.

W przedstawionej rozprawie, znalazły się nieliczne pomyłki stylistyczne i redakcyjne. Przykład stanowić może wielokrotne stosowanie określenia „metodologia” w odniesieniu do stosowanych sposobów prowadzenia badań naukowych, które powinny być nazwane „metodyką”. Metodologia oznacza naukę o metodach badawczych, czym Doktorant w swojej pracy naukowej nie zajmował się. Autor używa wielokrotnie w całym tekście opracowania słowa „redukcja” jako synonim słowa „zmniejszenie” w odniesieniu do wielu różnych parametrów, (np. wielokrotnie używany zwrot „redukcja emisji”). W tekstach technicznych, szczególnie z zakresu emisji toksycznych składników spalin, redukcja oznacza określony typ reakcji chemicznej (np. redukcja tlenków azotu) i termin ten nie powinien być stosowany jako synonim słowa „zmniejszanie” lub „eliminacja”. Określając silnik o zapłonie iskrowym Autor używa skrótu „silnik o ZI”, podczas gdy w literaturze sam skrót „ZI” zwykle oznacza silnik o zapłonie iskrowym, podobnie jak skrót „ZS”, silnik o zapłonie samoczynnym. Wyjaśnienia lub poprawy wymaga także określenie zawarte w tytule rozdz. 5 „...badania modelowe **nad konstrukcją** dwustopniowego systemu...” lub tytuł rozdz. 5.3.1 „**Metodologia** badań **nad wyladowaniem** iskrowym”. Podobne zastrzeżenia budzi tytuł rozdz. 8.6 „...z uwzględnieniem synchronizacji **podstawy** współczynnika ...”. Doktorant używa także określeń z języka potocznego, takich jak np.: „podwyższanie, obniżanie”, „wzrost, spadek”, „niski, wysoki”, zamiast, jednoznacznych, technicznych określeń: „mała, duża wartość”, czy też „zmniejszanie, zwiększanie wartości”.

W podsumowaniu recenzji można stwierdzić, że praca doktorska Pana mgr. inż. Filipa Szwajcy pt.: „Ocena efektywności zastosowania dwustopniowego systemu spalania ubogich mieszanek gazowych w szybkoobrotowym silniku o ZI” jest aktualnym i oryginalnym opracowaniem zawierającym nowe elementy w obszarze badań i rozwoju środków transportu, a dokładnie dotyczące usprawnienia źródła ich napędu, jakim jest tłokowy silnik spalinowy. Opracowanie to jest także interesująco przedstawionym, uzasadnionym i wartościowym dziełem naukowym, które stanowi twórczy wkład w dyscyplinę naukową „Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport”. Rozprawa wskazuje nowe kierunki działania w podjętej tematyce i w konsekwencji cechuje się potencjalnie dużym stopniem przydatności dla praktycznego wykorzystania.

Podczas realizacji pracy mgr inż. Filip Szwajca wykazał się także umiejętnością samodzielnego, poprawnego formułowania i rozwiązywania problemów naukowych oraz dobrym opanowaniem i sprawnym posługiwaniem się warsztatem badawczym na poziomie wymaganym w pracach doktorskich. Praca jest napisana poprawnym językiem, a użyta terminologia jest zgodna z obszarem naukowym, którego dotyczy i z zasadami redagowania prac naukowych. Występujące w pracy niedoskonałości o charakterze formalnym lub redakcyjnym nie mają wpływu na jej dużą wartość merytoryczną i użyteczną. Na podkreślenie zasługuje dobre przygotowanie merytoryczne Doktoranta do pracy naukowej, jego duża wiedza interdyscyplinarna oraz inwencja połączona z innowacyjnością w zakresie rozwiązywania problemów badawczych.

W podsumowaniu chciałbym także podkreślić, że osiągnięcie celu pracy wymagało od Doktoranta ogromnego wysiłku, poświęconego na przygotowanie i przeprowadzenie różnego typu badań doświadczalnych, takich jak: badania procesu wyładowania iskrowego w komorze izochorycznej, badania optyczne procesu wyładowania, konstrukcja i wykonanie komory wstępnej, badań podstawowych w Maszynie Pojedynczego Cyklu i docelowych badań opracowanego systemu spalania w silniku badawczym. Zakres tych badań oraz sposób i jakość prowadzenia analizy otrzymanych wyników znacząco wybiegają poza standardy spotykane podczas realizacji prac doktorskich.

Z tego względu uważam, że Pan mgr inż. Filip Sz wajca zasługuje w tym zakresie na wyróżnienie.

WIOSEK KOŃCOWY

Praca doktorska autorstwa **mgr. inż. Filipa Sz wajcy**, nawiązuje do bieżącej dyskusji dotyczącej środków transportu, w aspekcie zwiększania sprawności przetwarzania energii i oddziaływania na środowisko. Jest to bardzo aktualny problem badawczy, a opracowana przez Doktoranta koncepcja, nowego systemu spalania nosi cechy nowości naukowej, ma wymiar uniwersalny i może znaleźć zastosowanie w praktyce.

W związku z tym uważam, że praca zawiera istotne wartości naukowe, a uzyskane wyniki rozważań i badań mają dużą wartość dla nauki i praktyki technicznej. Doktorant udowodnił, że jest dojrzałym naukowcem, a przedstawiona praca stanowi Jego oryginalny dorobek naukowy.

Uważam, że recenzowana praca doktorska pt.: „**Ocena efektywności zastosowania dwustopniowego systemu spalania ubogich mieszanek gazowych w szybkoobrotowym silniku o ZI**”, której Autorem jest Pan **mgr inż. Filip Sz wajca** spełnia warunki stawiane dysertacjom doktorskim w dyscyplinie „Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport”, zgodnie z wymaganiami obowiązującej w tym zakresie „**Ustawy o stopniach i tytule naukowym**” (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”).

Rozprawa ta może być dopuszczona do publicznej obrony i stanowić podstawę do nadania **mgr. inż. Filipowi Sz wajcy** stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Wnioskuje także o wyróżnienie pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Filipa Sz wajcy.



Kraków, dnia 16. 11. 2024 r.