

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Filipa Sz wajcy

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

opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej

Recenzowana rozprawa doktorska ma objętość 130 stron i zawiera 9 rozdziałów oraz streszczenie, abstract, wykaz ważniejszych skrótów i symboli, bibliografię (196 pozycji), spis rysunków i spis tabel. Struktura ocenianej rozprawy jest prawidłowa, zawiera ona krótkie wprowadzenie, przegląd aktualnego stanu wiedzy, określenie problemu badawczego, celu i zakres pracy, opis badań modelowych i silnikowych, analizę wyników badań oraz podsumowanie i wnioski.

1. Wybór tematu rozprawy

Temat rozprawy został wybrany bardzo dobrze. Autor zajął się interesującym i aktualnym problemem oceny efektywności zastosowania dwustopniowego systemu spalania o zaproponowanej autorskiej konstrukcji w porównaniu do rozwiązania konwencjonalnego przy wykorzystaniu gazowych mieszanek ubogich.

Wzrost emisji gazów cieplarnianych i ich wpływ na zmiany klimatyczne wymagają pilnego ograniczenia wykorzystania paliw kopalnych w silnikach spalinowych. Silniki te są źródłem emisji NO_x, HC, PM i CO, które mają negatywny wpływ na zdrowie ludzkie. Alternatywne paliwo niskoemisyjne, takie jak gaz ziemny, oferuje potencjalne częściowe zmniejszenie tego problemu. Gaz ziemny, składający się głównie z metanu, jest atrakcyjny ze względu na swoje właściwości jako nośnik dużej ilości wodoru w cząsteczce i posiada dobrze rozwiniętą infrastrukturę produkcji i dystrybucji, co czyni go potencjalnym zamiennikiem benzyny w wybranych pojazdach drogowych.

Temat rozprawy dotyczy rozwoju technologii silników spalinowych, zwłaszcza w kontekście wykorzystania ubogich mieszanek gazowych w procesie spalania. Silniki spalinowe, powszechnie stosowane w różnych branżach, wciąż są przedmiotem intensywnych badań mających na celu poprawę ich osiągnięć oraz zmniejszenie wpływu na zdrowie ludzkie i środowisko. W szczególności, stosowanie ubogich mieszanek gazowych może prowadzić do poprawy efektywności spalania, co skutkuje zmniejszeniem zużycia paliwa oraz niższą emisją tlenków azotu (NO_x). Tego typu rozwiązania mogą również przyczynić się do zwiększenia sprawności cieplnej silników. Jednak spalanie ubogich mieszanek gazowych wiąże się z pewnymi trudnościami, zwłaszcza w kontekście utrzymania stabilności pracy silnika oraz pełnego wykorzystania energii chemicznej zawartej w paliwie.

W związku z tym, kontynuowane są badania, które koncentrują się na ocenie możliwości poprawy efektywności spalania poprzez zastosowanie dwustopniowego systemu spalania, który mógłby lepiej dostosować proces spalania do wymagających warunków pracy szybkoobrotowych silników tłokowych. Wnioski z licznych takich badań prowadzonych od wielu lat na całym świecie sugerują, że dalsze prace nad takimi technologiami mogą przyczynić się do rozwoju bardziej ekologicznych i wydajnych silników spalinowych.

Uważam wybór tematu recenzowanej rozprawy doktorskiej za trafny, aktualny i innowacyjny. Wiedza i doświadczenia zebrane w trakcie prac nad rozprawą mogą być przydatne w praktyce.

2. Zawartość rozprawy

Rozprawa składa się z rozdziału wprowadzającego przedstawiającego tło problematyki, motywację autora i cele pracy, siedmiu głównych rozdziałów merytorycznych oraz podsumowania i wniosków.

W rozdziale 2 omówiono znaczenie współczesnych silników spalinowych i ich wpływ na środowisko. Przedstawiono charakterystykę paliw gazowych stosowanych w silnikach tłokowych, szczegółowo analizując ich właściwości fizykochemiczne oraz korzyści i wyzwania związane z wykorzystaniem mieszanek ubogich.

Rozdział 3 wprowadza w tematykę dwustopniowych systemów spalania, opisując ich mechanizm oraz ewolucję konstrukcyjną, a także przedstawia przegląd literatury dotyczący tego zagadnienia.

W rozdziale 4, sprecyzowano problem badawczy oraz cele i zadania pracy, które koncentrują się na porównaniu efektywności dwóch odmiennych systemów spalania: konwencjonalnego i dwustopniowego.

W rozdziałach 5 i 6 opisano szczegółowo metodykę badań – od wstępnych analiz modelowych aż po badania eksperymentalne przeprowadzone na jednocylindrowym silniku badawczym. Kluczowym elementem było zbadanie wpływu parametrów konstrukcyjnych oraz strategii sterowania na efektywność pracy dwustopniowego systemu spalania.

Rozdział 7 opisuje dobór parametrów sterujących pracą silnika.

W rozdziale 8 zaprezentowano szczegółową ocenę porównawczą osiągnięć silnika dla obu rozwiązań, wskazując na wyraźne korzyści dwustopniowego systemu w zakresie rozszerzenia granic palności mieszanek ubogich.

Wnioski z badań, przedstawiono w rozdziale 9, podkreślając, że efektywność tego rozwiązania jest uzależniona od specyficznych warunków pracy silnika, a optymalizacja konfiguracji pozwala na osiągnięcie znaczących korzyści w wybranych zakresach pracy.

3. Ocena rozprawy

Zamierzony przez autora cel rozprawy wymagał zaprojektowania planu badań stanowiskowych, zbudowania i użycia stanowisk laboratoryjnych i silnikowych, przeprowadzenia licznych złożonych testów modelowych i silnikowych oraz przeanalizowania i opracowania wyników. Cel eksperymentalny pracy został w pełni osiągnięty i uzyskane wyniki doświadczalne stanowią wartościowy i oryginalny dorobek naukowy autora.

Plan realizacji badań został prawidłowo opracowany. Poszczególne części składowe pracy zostały zaprezentowane w sposób logiczny i czytelny. Zarówno analiza poszczególnych problemów jak i wyciągane wnioski są prawidłowe.

Pierwszy etap realizacji pracy, wykonany na modelowych stanowiskach laboratoryjnych, komorze o stałej objętości i maszynie pojedynczego cyklu, doprowadził do wskazania cech konstrukcyjnych dwustopniowego systemu spalania, które zostały następnie nadane systemowi spalania użytemu podczas zasadniczych badań silnikowych. W wyniku przeprowadzonych badań modelowych wykazano przewagę zastosowania świecy z płaską elektrodą masową jako źródła zapłonu pierwotnego oraz wstępną komorę zapłonową bez przewężenia. W efekcie w silniku badawczym zaimplementowano i przebadano układ spalania dwustopniowego o oryginalnych, nie badanych dotąd, cechach konstrukcyjnych.

W badaniach zasadniczych na stanowisku silnikowym wykazano wpływ sposobu sterowania układem zapłonowym oraz podziałem dawki paliwa na osiągi i emisje silnika zasilanego gazem. Na tej podstawie opracowano strategię sterowania procesem spalania. Przeprowadzono badania porównawcze silnika konwencjonalnego i z dwustopniowym systemem spalania, które wykazały, że zastosowanie tego systemu daje poprawę wskaźników energetycznych i ekologicznych pracy szybkoobrotowego silnika gazowego, ale tylko w wybranych warunkach pracy silnika. Porównanie dwóch systemów spalania w szerokim zakresie regulacji współczynnika nadmiaru powietrza pozwoliło na określenie obszarów polepszenia lub pogorszenia wskaźników pracy silnika przy zastosowaniu dwustopniowego systemu spalania.

Uzyskane wyniki potwierdzają przyjętą tezę pracy, sugerującą, że zastosowanie dwustopniowego systemu spalania przyczynia się do poprawy wskaźników energetycznych i ekologicznych pracy szybkoobrotowego silnika gazowego.

Praca dostarcza szeregu wartościowych, oryginalnych optycznych i elektrycznych, wyników pomiarowych oraz interpretacji zjawisk, będących rezultatem solidnej, długotrwałej i wytrwałej pracy badawczej. Autor zastosował standardowe, ale zaawansowane i odpowiednie metody badawcze, i poprzez pogłębioną analizę wydaje się, że wydobył wszystkie informacje zawarte w wynikach.

Rozprawa napisana jest dobrym językiem, z poprawną terminologią naukowo-techniczną. Jest zwięzła i konkretna.

Oceniam bardzo pozytywnie postawienie problemu badawczego, metodologię przeprowadzonych badań oraz analizę i interpretację ich wyników. Rozprawa oprócz walorów naukowych ma dużą wartość praktyczną.

Uzyskane wyniki badań stanowią znaczący wkład w rozwój technologii napędów ekologicznych, co ma kluczowe znaczenie w kontekście globalnych działań na rzecz ochrony zdrowia i klimatu. W podsumowaniu pracy autor sformułował liczne szczegółowe wnioski poznawcze, metodyczne, utylitarne i prognostyczne.

4. Pytania i uwagi szczegółowe

1. str. 22 – przechowywanie gazu ziemnego odbywa się w temperaturze poniżej – 161°C (nie 161°C). Gdyby była stosowana w pracy legalna jednostka temperatury, nie byłoby tego błędu.

2. str. 22 – temperatura skraplania wodoru to 20 K, a to nie jest – 53°C;
3. str. 25 – m_{pow} to nie zużycie powietrza, tylko strumień masy powietrza; w rozprawie obowiązuje język naukowy, nie potoczny
4. str. 32 – w podpisie pod rys. 3.1 jest symbol IMEPn, którego nie ma w wykazie
5. str. 32 – rys. 3.1 jest mało czytelny i wymaga opisu co na nim widać
6. str. 32 – „aktywne rodniki gasną z powodu powierzchniowego wygaszania reakcji rozgałęziania łańcucha i strat ciepła na ściankach” – konieczna jest większa precyzja opisu co dzieje się z rodnikami bo one na pewno nie „gasną”
7. str. 33 – „zapłon płomieniowy następuje, gdy aktywne rodniki palącego ładunku komory wstępnej przetrwały wygaszanie na ściankach i obciążenia aerodynamiczne” – jaki jest mechanizm wygaszania rodników na ściankach?; co to są obciążenia aerodynamiczne rodników?
8. str. 33 – „rodniki w reżimie reakcji i po reakcji” – co to dokładniej oznacza?
9. str. 33 – „zapłon płomieniowy jest zjawiskiem zapłonu napędzanego rodnikami” – to nie jest dobre określenie!
10. str. 37 – prace [149, 194] nie były wykonane w Japonii, tylko w Niemczech i Chinach.
11. str. 40 – „silnik optyczny” – duży skrót myślowy, ale wiadomo co to jest; „silnik termodynamiczny” – nigdy o takim nie słyszałem.
12. str. 40 – „stopień sprężania 10,4:1” – stopień sprężania jest stosunkiem dwóch objętości, więc taki zapis nie jest poprawny
13. str. 41 – „10:1” – j.w.
14. str. 91 – „różnice pomiędzy S_D a S_D” – powtórzone wielkości?
15. str. 92 – „Jest to punkt, w którym energia aktywacji spalania jest najmniejsza” – proszę o rozwinięcie tej myśli.
16. str. 92 i dalej – „czas spalania” podawany w °OWK jest nieścisłością, lepiej napisać „okres spalania”; czas to zawsze sekundy

4. Usterki edytorskie

1. w pracy jest zaskakująco dużo usterek edytorskich: błędy gramatyczne, nieprawidłowe końcówki wyrazów, brakujące litery, interpunkcja, itp.; zaznaczyłem je w wydrukowanej pracy na str. 28, 29, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 47, 52, 66, 68, 69, 74, 78, 79, 82, 86, 87, 89, 91, 92, 94, 99, 102, 103, 107. Na niektórych z podanych stron jest po kilka usterek.

5. Wniosek końcowy

Wymienione uwagi szczegółowe i edytorskie mają pomijalne znaczenie i nie wpływają na bardzo wysoką ocenę rozprawy.

Oceniana rozprawa doktorska stanowi znaczący wkład naukowy w rozwój technologii ekologicznych źródeł energii, szczególnie w kontekście zastosowania gazu ziemnego jako paliwa w silnikach spalinowych o ZI. Dzięki szczegółowym badaniom eksperymentalnym praca ta dostarcza szeregu cennych informacji na temat przebiegu optymalizacji procesów spalania paliwa gazowego, co jest kluczowe dla dalszego rozwoju ekologicznych technologii silnikowych.

Praca jest bardzo dobrze napisana i dowodzi dużej wiedzy i samodzielności badawczej doktoranta. Istnieje możliwość dalszego rozwoju zaproponowanej koncepcji oraz po spełnieniu szeregu wymagań także wdrożenia do praktyki eksploatacyjnej.

Podsumowując stwierdzam, że autor sformułował oryginalny i aktualny problem naukowy, przeprowadził własne oryginalne i rozległe badania doświadczalne na podstawie których sformułował wartościowe naukowo wnioski.

Doktorant wykazał opanowanie warsztatu naukowego i umiejętność prowadzenia samodzielnych doświadczalnych badań naukowych, analizy wyników i wnioskowania. Doktorant posiadał umiejętność pisania rozprawy naukowej z jasno sformułowanym tytułem, celem, tezą i zakresem pracy oraz zwięzłym, przejrzystym i precyzyjnym opisem metodologii badań i wyników.

Reasumując, uważam, że rozprawa, lokująca się tematycznie w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport, co do zakresu, nowości i jakości naukowej, spełnia wymagania obowiązującej Ustawy o stopniach i tytułach naukowych i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Usterki pracy są drugorzędne i w znikomym stopniu wpływają na moją bardzo wysoką ocenę rozprawy pod względem postawienia problemu badawczego, zrealizowania programu badań doświadczalnych, analizy wyników i napisania przejrzystej rozprawy naukowej. Dlatego stawiam wniosek o wyróżnienie tej pracy, ze względu na:

1. Ważny, aktualny i oryginalny w skali światowej problem badawczy;
2. Bardzo duży zakres doświadczalnych prac badawczych wykonanych na dwóch modelowych stanowiskach laboratoryjnych i na stanowisku silnikowym;
3. Bardzo staranne i wnikliwe przeanalizowanie wyników pomiarowych z badań złożonego problemu naukowego efektywności zastosowania dwustopniowego systemu spalania o zidentyfikowanych cechach konstrukcyjnych w szybkoobrotowym gazowym silniku spalinowym. Zakres pracy i poziom warsztatu naukowego przewyższa wartości uznawane powszechnie za standardowe;
4. Uzyskanie oryginalnych wyników naukowych o dużych wartościach poznawczych, z perspektywą ich wykorzystania w praktyce.

