

Wrocław, 9.05.2022

Dr hab. inż. Wojciech Golimowski, prof. UEW

RECENZJA

rozprawa doktorska pt.

„Wpływ zasilania silnika spalinowego paliwem z dodatkiem przegrzanej pary wodnej i gazu HHO na wybrane parametry jego pracy”

Pana mgr inż. Sebastiana Kostkowskiego

1. Wstęp

Jednym z aktualnych problemów naukowych i gospodarczych do rozwiązania jest organicznie negatywnego oddziaływania człowieka na środowisko naturalne, wynikającego z dużego tempa rozwoju gospodarczego. Ewolucja maszyn, która wynika z potrzeby zwiększania standardów życia jest obciążona dużym kosztem, w skutek czego następują niekorzystne zmiany klimatu. Świadomość istniejącego problemu powoduje ukierunkowanie rozwoju gospodarczego na zrównoważone działania, minimalizujące skutki degradacji środowiska naturalnego.

Rezultatami podejmowanych działań w zakresie silników spalinowych, będących najpowszechniej stosowanym źródłem napędu maszyn samochodowych, jest zwiększanie ich sprawności i zmniejszenie emisji niepożądanych składników gazów spalinowych oraz wprowadzanie odnawialnych paliw jako substytutu paliw kopalnych lub silników elektrycznych. Rozprawa doktorska przedłożona do recenzji pt. „Wpływ zasilania silnika spalinowego paliwem z dodatkiem przegrzanej pary wodnej i gazu HHO na wybrane parametry jego pracy” wpisuje się w aktualne problemy naukowe w dziedzinie nauk inżynierskich i technicznych, w dyscyplinę inżynieria mechaniczna, do której wpisana jest wiedza nt. maszyn energetycznych.

2. Ogólna opis recenzowanej rozprawy doktorskiej

Recenzowana praca naukowa jest napisana w języku polskim, zawarta na 128 stronach maszynopisu. Składa się z ośmiu ponumerowanych rozdziałów stanowiących część merytoryczną pracy oraz ośmiu nienumerowanych rozdziałów wynikających z wymagań formalnych stawianych dysertacji doktorskiej. W pracy zawarto wykaz skrótów i oznaczeń oraz definicje pojęć, niewątpliwie ułatwiający zrozumienie treści. Część merytoryczna poprzedzona wstępem, w którym przedstawiono podjęte do rozwiązania problemy badawcze i sformułowano

cel pracy. Rozdział pt. „Geneza i uzasadnienie podjętego tematu” zawiera szereg istotnych informacji nt. silników spalinowych w aspekcie zrównoważonego rozwoju i ich ewolucji z ukierunkowaniem na ograniczenie emisji spalin. Przedstawione w tym rozdziale informacje były podstawą do uzasadnienia obszaru badawczego, w którym Doktorant zrealizował zaplanowane badania empiryczne. W kolejnym rozdziale, zatytułowanym „Przegląd literatury przedmiotu” dokonał analizy stanu wiedzy i poziomu techniki dochodząc do wniosku, że brakuje wiedzy na tematy charakterystyki pracy silnika, wprowadzając jednocześnie gaz Browna i parę wodną do komory spalania. W literaturze zarówno jedna jak i druga modyfikacja jest dobrze opisana natomiast nie były stosowane obie jednocześnie. Na tej podstawie sformułował cel pracy w kolejnym rozdziale dzieląc go na: cel główny dotyczący wpływu tych modyfikacji na parametry pracy silnika i cel użyteczny dotyczący wykorzystania ciepła ze spalin w silnikach spalinowych stosowanych w rolnictwie. W rozdziale „Charakterystyka przedmiotu badań i ich przebieg” przedstawił problem badawczy sformułowany w postaci pytań, opisał metody badawcze, stanowisko do przeprowadzenia doświadczenia i zaprezentował plan zrealizowanych badań. Najistotniejszym i zarazem największym rozdziałem w pracy był opis wyników badań, przedstawiony w rozdziale pt. „Wyniki badań własnych”, które zostały poddane polemice z wynikami innych prac naukowych o podobnej tematyce w rozdziale pt. „Dyskusja wyników”. Istotnym rozdziałem pracy było wskazanie praktycznego zastosowania uzyskanych wyników w rozdziale pt. „Możliwości praktycznego zastosowania proponowanego rozwiązania w rolnictwie”. Część merytoryczną pracy kończy rozdział „Podsumowanie i wnioski końcowe” zawierający informacje o rezultatach wykonanych badań. Kolejne rozdziały, wynikające z wymogów formalnych, zawierają spisy literatury, tabel i rysunków oraz streszczenie pracy w języku polskim oraz angielskim.

3. Ocena pracy pod względem formalnym

Praca została napisana poprawnym językiem polskim, zawiera błędy stylistyczne i interpunkcyjne w stopniu nie powodującym problemu ze zrozumieniem treści. Pod względem edycyjnym również nie budzi zastrzeżeń, odpowiednio zachowane czcionki, poprawna numeracja tabel i rysunków wraz z opisami w dwóch językach, polskim i angielskim. Spis literatury nie koresponduje z odnośnikami w tekście (BIERNAT K., JEZIORKOWSKI A. 2008.; Eco-AP 2011; Iljaszkiewicz P., Przybyła G. 2017; LIU W., SUN X, OHTA S. 2015; LUFT S., KOZIOŁ S. 2003; NOAA 2019; UZDOWSKI M. 2006.). W kolejnych pracach naukowych sugeruję korzystać z programów wspomagających edycję tekstów w celu uniknięcia tego rodzaju błędów. Analiza literatury wykonana przez Doktoranta ograniczana została w dużym stopniu do pozycji polskich badaczy,

natomiast w bazach publikacyjnych jest dużo artykułów prezentujących wyniki badań silników zasilanych zarówno gazem Browna jak i konwencjonalnymi paliwami z dodatkiem wody lub pary wodnej.

Praca zawiera spis pojęć oraz wykaz skrótów i oznaczeń. Nie są to obligatoryjne punkty prac naukowych jednak są pomocne w zrozumieniu stosowanych skrótów w treści pracy. Tego rodzaju rozdziały mają zastosowanie, kiedy autor posługuje się indywidualnymi skrótami na potrzeby prezentowania własnych wyników lub definicjami, które nie są powszechnie znane lub są wprowadzane nowe pojęcia. W prezentowanej pracy te rozdziały nie są potrzebne, ponieważ wszystkie definicje i skróty mają powszechne zastosowanie.

Chciałbym również zwrócić uwagę na kilka nieprecyzyjnych sformułowań, dla przykładu przytoczę kilka z nich: str. 7 „Wykorzystywać należy przede wszystkim te formy napędu, które korzystają z lokalnych zasobów ...” – co to znaczy forma napędu? Lokalnych zasobów czego? „Które korzystają” jest personifikacją silnika; „...Paliw alternatywnych niedegradujących środowisko.” – środowisko jest pojęciem ogólnym definiowanym jako zbiór elementów nieożywionych i ożywionych. Za każdym razem należy doprecyzować, że zagadnienie odnosi się do środowiska naturalnego/przyrodniczego; str. 11 „Stwarzają one następujące podstawowe problemy:” - w tym przypadku problemy są konsekwencją działań i nie mają twórczych przesłanek; str. 32 „Silniki wodorowe wewnętrznego spalania oparte są na technologii silnika tłokowego ...” – technologia jest to zbiór odpowiednio dobranych procesów do założonego celu, nie rozumiem tego sformułowania; str. 52 „...dwóch technologii, czyli jednoczesnego podawania gazu Browna i ...” – to jest modyfikacja techniczna polegająca na zmianie systemu zasilania silnika.

Wyniki badań zostały przedstawione w sposób poukładany według schematu, w którym jest wiele powtórzeń np. str. 58 przedstawiono chronogram badań powtarzając treść całego akapitu zmieniając tylko parametry. To warto przedstawić w formie graficznej lub tabelarycznej. Wyniki badań prezentowane są w formie tabelarycznej i dla porównania w formie graficznej. Moim zdaniem część tabel powinna znaleźć się w załączniku do pracy, a ich omówienie powinno bazować na średnich arytmetycznych z uwzględnieniem odchylenia standardowego. Na stronie 57 przedstawiono 3600- ilość sekund w godzinie co jest powszechną wiedzą i w tym przypadku jeżeli pomiar jest wykonywany w sekundach a wynik definiowany w godzinach należy wprowadzić wskaźnik do wzoru. Wzór nr 12 jest nieprawidłowy, v - objętość zużytego paliwa w ciągu godziny, czyli dm^3/h czy w dm^3 jak wynika z opisu? Po wprowadzeniu tej jednostki do wzoru nie uzyskamy kg/kWh ? Ponadto w pracy stosowane są różne style

opisywania jednostek np. str. 57 g/dm³; str. 60 dm³*h⁻¹. W rozdziale 6 zaprezentowano wartości pojedynczych punktów pomiarowych a następnie średnie tych wartości analizowano. Należało wyniki badań zamieścić w załączniku do pracy a tylko średnie wartości przytaczać podczas prezentowania wyników. Rozdział „Podsumowanie i wnioski” zawiera elementy metodyczne pracy i stwierdzenia oraz wnioski, które nie wynikają bezpośrednio z badań. Proszę wyjaśnić strona 104 „... z obciążeniem połowicznym 1 kW i 2 kW – czyli maksymalnym dla tego modelu...” W metodyce podano moc agregatu prądotwórczego w przedziale 3,3-3,6 kW?

Reasumując, praca pod względem edytorskim jest wykonana poprawnie za wyjątkiem nielicznych błędów. Układ pracy jest poprawny, zawiera wszystkie elementy wymagane w dysertacji doktorskiej. Przekaz informacji jest utrudniony z uwagi na mało czytelną formę prezentowania danych. Podczas publikowania wyników należy całkowicie zmienić sposób ich prezentowania. Zarówno analiza stanu wiedzy jak i omówienie wyników pod względem formalnym nie budzi zastrzeżeń. Pod względem formalnym uważam, że praca została wykonana poprawnie.

4. Ocena pracy pod względem merytorycznym

Obiektem badań był wpływ wodnej pary przegrzanej i gaz Browna na pracę silnika z zapłonem iskrowym. Tytuł pracy: ”Wpływ zasilania silnika spalinowego paliwem z dodatkiem przegrzanej pary wodnej i gazu HHO na wybrane parametry jego pracy” w takim brzmieniu jest niezrozumiały. Para wodna oraz gaz Browna są wprowadzane do silnika jako mieszanina powietrza i gazów, która powstaje w kolektorze ssącym silnika. Dlatego uważam, że należy przeredagować tytuł na „Wpływ pary wodnej przegrzanej i gazu HHO na parametry pracy silnika z zapłonem iskrowym”.

Problem badawczy, sformułowany w postaci czterech pytań jest wynikiem analizy literatury. Faktycznie, dobrze zaznany jest wpływ gazu Browna i wody lub pary wodnej na pracę silnika, natomiast połączenie tych rozwiązań nie było dotychczas przedmiotem badań. Doktorant słusznie stwierdził, że na podstawie doniesień naukowych to połączenie może poprawić parametry pracy silnika. Uważam jednak, że postawione pytania nie są poprawnie sformułowane. Pierwsze pytanie jest pytaniem zamkniętym. Co by się stało z badaniami w przypadku odpowiedzi negatywnej, jakie czynniki mogłyby powodować brak możliwości połączenia tych dwóch rozwiązań? Drugie pytanie dotyczy analizy warunków eksploatacyjnych w rolnictwie. Jednym z warunków eksploatacyjnych jest trwałość i awaryjność silnika. Takie badania nie były wykonane. Silniki spalinowe nie są powszechnie

wykorzystywane w rolnictwie, jednak z uwagi na nieduże koszty ich eksploatacji mają zastosowanie do maszyn małych mocy do wykonywania drobnych prac. Ponadto agregaty prądotwórcze napędzane silnikami z zapłonem iskrowym jako zabezpieczenie energetyczne do podtrzymania pracy systemów wspomagających lub kontrolujących warunki panujące w przestrzeni produkcyjnej mają coraz większe zastosowanie w rolnictwie. Trzeci problem badawczy wymaga uściślenia. W pracy wykonano badania silnikowe, w których stosuje się standardowe metody i procedury badawcze w celu wyznaczenia ich charakterystyki pracy. Przedstawiono trzy skutki wpływu zmian sposobu zasilania silnika: „spadek zużycia paliwa”, „polepszenie jakości spalania”, „wzrost mocy”. Spadek zużycia paliwa może być jednostkowy lub ogólny, względem czasu pracy przy ustalonych warunkach. To pytanie wymaga doprecyzowania na tym etapie. Stwierdzono, że może nastąpić polepszenie jakości spalania, natomiast nie sprecyzowano w jaki sposób będzie to weryfikowane. W badaniach nie zastosowano układu pomiarowego do analizy zmiany ciśnień oraz pomiaru temperatury spalin, zastosowano jedynie analizator spalin i tylko na podstawie udziału CO w spalinach można stwierdzić skuteczność spalania paliwa. Jednak na tą zmienną wpływa wiele czynników, których nie uwzględniono w badaniach. Ostatnie, „wzrost mocy” - w jaki sposób udało się uzyskać odpowiedź na to pytanie jeżeli nie wykonano zewnętrznej charakterystyki silnika o mocy nominalnej 3,31-3,68kW? Pytanie czwarte, w takim brzmieniu, nie wymaga badań. Analizowany układ energetyczny jest jednostką autonomiczną o uniwersalnym zastosowaniu i może być stosowany wszędzie tam, gdzie stosuje się silnik iskrowy do napędu maszyn pracujących stacjonarnie.

Praca pod względem metodycznym jest obciążona błędami i wymaga doprecyzowania. Do badań empirycznych użyto agregat prądotwórczy o mocy nominalnej 3,31-3,36 i stopniu sprężania 6,4:1 do 7,1:1. W jaki sposób zmienia się stopień sprężania, jeżeli jest to stosunek objętości komory spalania i zależy od skrajnego położenia tłoka? Na schemacie (Rys 5.1.) przedstawiono stanowisko badawcze, z którego wynika, że gaz Browna podawano do przewodu powietrznego przed gaźnikiem a parę bezpośrednio do kolektora ssącego. Dlaczego nie uwzględniono na schemacie systemów pomiaru zarówno zużycia gazu Browna jak i pary wodnej przegrzanej oraz parametrów tej pary? Pomiar zużycia paliwa w mojej ocenie jest mało precyzyjny. Do pomiaru objętościowego używa się specjalnej miernicy paliw składającej się z trzech komór. Odczyt poziomu paliwa w cylindrze miarowym obciążony jest dużym błędem. Ponadto nie kontrolowano temperatury paliwa, czyli przeliczenie objętości na masę paliwa również jest obciążone dużym błędem. Gęstość paliwa zmienia się wraz z temperaturą i nie

można wstawiać wartości, która jest wyznaczona przy 15°C do wzoru jeżeli nie podaje się temperatury paliwa. W części metodycznej brakuje informacji nt. pomiaru ilości gazów i parametrów pary przegrzanej. Na stronie 60 zawarto informację „... dodatek wody (pod postacią pary) w ilości 2 dm³*h⁻¹...” w jaki sposób dokonano pomiaru? Podobnie na stronie 61 „...dodatkiem gazu Browna na poziomie 2 dm³*min.⁻¹...”. również w jaki sposób dokonano pomiaru? W jaki sposób stwierdzono, że do cylindra doprowadzono parę przegrzaną jeżeli nie była mierzona temperatura pary. Wprowadzenie pary przegrzanej o pewnej entalpi powoduje zmianę bilansu energii układu i czy zmiana parametrów pracy silnika nie wynika z faktu, że mieszanka paliwowa jest o znacznie wyższej entalpi?

Badania podzielono na 9 etapów z czego pierwsze dwa powinny być częścią przygotowawczą do badań właściwych. Uważam, że taki układ pracy jest nieprawidłowy. Badania składały się z części przygotowawczej, czyli określenia nominalnych parametrów pracy agregatu i części właściwej, czyli badania parametrów pracy silnika w różnych warunkach. Moim zdaniem należało przedstawić w formie graficznej procedurę realizacji badań nie dzieląc jej na etapy, które dodatkowo nie są zależne od siebie. Proszę o wyjaśnienie „renomowana stacja diagnostyczna”, w jaki sposób miejsce dokonania pomiaru wpływa na merytoryczną część pracy. W metodyce nie podano wg. jakiej normy i jakim analizatorem spalin dokonywano pomiaru. Tylko na str. 81 podano markę analizatora spalin oraz numer stacji diagnostycznej, co nic nie wnosi do pracy. Badania wykonano w trzech punktach pomiarowych 0 kW, 1 kW, 2 kW. Dlaczego przyjęto takie obciążenia? Przy wyznaczeniu charakterystyki obciążeniowej silnika przyjmuje się wartości skrajne 0 i 100% obciążenia i kilka punktów niepełnego obciążenia. Na podstawie wyników badań wyznacza się charakterystykę pracy silnika. Proszę ustosunkować się do moich wątpliwości, ponieważ rozdział „metodyka badań” jest napisany bardzo słabo i niezrozumiale.

Prezentowane wyniki badań w rozdziale szóstym są mało czytelne. Konsekwencja wieloetapowości pracy spowodowała, że porównanie wyników kolejnych etapów pracy nie jest możliwe. Dlaczego na każdym etapie badań jest różna liczba serii, a dokładniej ilość punktów pomiarowych? Dlaczego nie wykonano pomiarów dla wszystkich przypadków w jednym podrozdziale uwzględniając jednocześnie zużycie paliwa i skład emisji spalin? Wartość średniej ilości zużytego paliwa podawano z bardzo dużą dokładnością (do siódmego miejsca po przecinku), z czego to wynikało? W tabeli podano średnią ilość zużywanego paliw w jednej serii. Z jakich wartości liczą tę średnią i dlaczego nie podano odchylenia standardowego dla średnich wartości w każdej serii/badaniu? Na rysunku 6.1. porównano godzinowe zużycie

paliwa, dlaczego w trzecim przypadku przy obciążeniu 1kW nie przedstawiono wartości z dodatkiem gazu Browna? W opisie wyników brakuje zestawienia dla wszystkich wyników stanowiących podsumowanie badań empirycznych.

Uzyskane wyniki badań są interesujące. Doktorant słusznie zauważył występujący efekt synergii w przypadku połączenia dwóch rozwiązań ze sobą, podczas pracy silnika spalinowego, zasilanego konwencjonalnym paliwem. Brak poprawnie zastosowanej metodyki badań uniemożliwia porównania charakterystyk pracy silnika, co jest poważnym błędem. Ogólnie praca jest bardzo ciekawa i z pewnością jest źródłem nowej wiedzy i może być inspiracją do dalszych badań w tym kierunku. Postawiony cel pracy został osiągnięty, a wyniki badań stanowią istotny wkład w naukę w dyscyplinie inżynierii mechanicznej. Oceniam pozytywnie merytoryczną część pracy i wnioskuję o usunięcie wad z pracy przed jej opublikowaniem.

5. Wniosek końcowy

Na podstawie przedłożonej do oceny rozprawy doktorskiej pt. „Wpływ zasilania silnika spalinowego paliwem z dodatkiem przegrzanej pary wodnej i gazu HHO na wybrane parametry jego pracy” stwierdzam, że Pan mgr inż. Sebastian Kostkowski spełnia wymagania stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018r. poz. 1669) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku (Dz. U. z 2018 poz. 261). Recenzowana praca stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Stwierdzam, że przedłożona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr inż. Sebastiana Kostkowskiego spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej wniosek o dopuszczenie Pana mgr inż. Sebastiana Kostkowskiego do dalszego etapu przewodu doktorskiego.



Dr hab. inż. Wojciech Golimowski, prof. UEW