Prof. dr hab. inż. Jerzy Walentynowicz
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Instytut Pojazdów i Transportu
00-908 Warszawa, ul Gen. S. Kaliskiego 2

Warszawa, 27 maja 2021 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Jacka Wysockiego nt. „Badania porównawcze przydatności w diagnostyce tłokowych silników okrętowych pogłębionej analizy wykresów indykatorowych dla wybranych punktów pomiaru ciśnień cylindrowych"

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Jacka Wysockiego opracowano na podstawie umowy nr RWMB/115/2/2021 z dnia 22.03.2021 r. z Uniwersytetem Morskim w Gdyni, reprezentowanym przez dr hab. inż. Dariusza Barbucha, prof. UMG – Prorektora ds. nauki i pisma nr RWMB/511/2/2021 od Przewodniczącego Rady Naukowej dyscypliny Inżynieria Mechaniczna dr hab. inż. Andrzeja Miszczaka, prof. UMG.

Recenzowania rozprawa doktorska została wykonana pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Kazimierza Witkowskiego, prof. UMG, z udziałem promotora pomocniczego dr inż. Piotra Kamińskiego, prof. UMG.

2. Uzasadnienie celu rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy metod diagnozowania okrętowych tłokowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym. Ich względnie duża sprawność w porównaniu z innymi silnikami spalinowymi powoduje masowe zastosowania takich silników do napędu prawie wszystkich rodzajów statków. Muszą to być silniki o dużej niezawodności, zapewniające bezpieczeństwo załogom statków oraz niskie koszty eksploatacji. Silniki powinny być przystosowane do szybkiego wykrywania uszkodzeń i wykonywania niezbędnych napraw podczas rejsu, a także muszą odpowiadać aktualnym przepisom ochrony środowiska w transporcie morskim. Wszystkie te wymagania mogą być spełnione pod warunkiem utrzymania silników okrętowych w pełnej sprawności technicznej w każdych warunkach klimatycznych i pogodowych. Ważne jest także zapobieganie nieoczekiwanym dużym awariom tych silników, do jakich mogą doprowadzić niewielkie i niewidoczne uszkodzenia lub niesprawności trudne początkowo do wykrycia. Dlatego silniki okrętowe powinny być wyposażane w układy diagnostyczne pozwalające na wczesne wykrywanie nawet niewielkich niesprawności.

Wykrycie niesprawności pracującego silnika okrętowego wymaga odpowiednich metod i urządzeń pomiarowych oraz umieszczenia ich czujników w miejscach, gdzie można najlepiej wykrywać rozwijające się nieprawności. Jednym z takich najważniejszych miejsc jest komora spalania silnika tłokowego. Przebieg procesów tworzenia mieszanki i spalania w tej komorze zależy od działania wielu układów silnika, a jego wynikiem są zmiany ciśnienia i temperatury w cylindrze. Dlatego podjęcie przez Doktoranta tematyki opiniowanej rozprawy uważam za bardzo celowe. Oprócz oczywistych aspektów praktycznych tematu, realizacja założonych zadań wymagała opracowania metod badawczych i wykonania badań o charakterze poznawczym zawierających elementy naukowe.

3. Charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z sześciu zasadniczych rozdziałów. Cztery rozdziały zostały podzielone na podrozdziały. W pracy zamieszczono 95 rysunków i 25 tabel. Spis bibliograficzny obejmuje 82 pozycje literatury (w tym 19 zagranicznych w językach: angielskim, niemieckim i rosyjskim), jedną instrukcję obsługi programu i odwołania do 14 stron internetowych. Na początku pracy zamieszczono obszerne streszczenia w języku polskim i angielskim, a także wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów. Całość pracy obejmuje 182 ponumerowane strony.

Rozdział pierwszy, zawiera analizę wiedzy o diagnozowaniu tłokowych silników okrętowych. Obejmuje: wstęp, ogólny opis silników wolno i średnio obrotowych stosowanych w siłowniach statków, przedstawienie wybranych metod diagnostycznych okrętowych silników o zapłonie samoczynnym, przegląd metod pomiaru ciśnienia w komorach spalania tych silników, a także problemy wyznaczania i analizy wykresów indykatorowych.

W rozdziale drugim „Teza, cel i zakres pracy" przedstawiono wprowadzenie do zasadniczej części pracy doktorskiej, uzasadniające celowość podjęcia pracy, a także wymieniono trzy tezy, które były weryfikowane w dalszej części pracy. Sformułowano zasadniczy cel pracy jakim było poszukiwanie czułych metod diagnozowania okrętowych silników o zapłonie samoczynnym opartych na pomiarach ciśnienia spalania. Zakres pracy opisano w rozdziale czwartym.

Rozdział trzeci zatytułowany „Zakres prac poprzedzających badania eksperymentalne" zawiera skrócony opis stanowiska badawczego, pomiary kontrolne temperatury w miejscu zamontowania czujnika ciśnienia pierwszego cylindra, opis modelu obliczeń wydzielania ciepła, a także sposób rozwiązania problemu dokładności pomiaru ciśnienia spalania, w tym wygładzania wykresu indykatorowego i wyznaczania „górnego martwego położenia" tłoka.

W rozdziale czwartym, zatytułowanym „Badania eksperymentalne" przedstawiono cel i zakres badań eksperymentalnych (program), uszczegółowiono opis stanowiska badawczego i aparatury do pomiaru ciśnienia, a także opisano sposoby symulowania niesprawności złożenia tłok-cylinder, wymiany ładunku i wtrysku paliwa. Opisano także sposób opracowania wyników pomiarów.

Najbardziej obszerny rozdział piąty zawiera wyniki pomiarów ciśnienia w komorze spalania. Pomiary zostały wykonane w trzech punktach. Dwa punkty pomiarowe znajdowały się w zaworze indykatorowym (na końcu króćca zaworu i w pobliżu połączenia z głowicą).

Trzeci punkt pomiarowy umieszczono w kołnierzu cylindra. Podczas pomiarów były regulowano przepływy płynów w układach silnika, za pomocą których symulowano zmiany procesów wynikające z niesprawności tych układów. Przedstawiono wyniki pomiarów ciśnienia spalania i obliczeń wydzielania ciepła silnika pracującego z różnym obciążeniem. Rozdział kończy się prezentacją wyników badań silnika pracującego w pełnym zakresie zmiany obciążenia z nastawami standardowymi oraz wynikami pomiarów ciśnienia sprężania w pierwszym cylindrze, które były podstawą do wyznaczenia „górnego martwego położenia" tłoka.

W ostatnim rozdziale szóstym przedstawiono opisowo podsumowanie pracy i dziesięć wniosków szczegółowych. Wskazano także na praktyczne efekty pracy. Rozdział zakończono propozycją kierunków dalszych prac, w tym prac nad opracowaniem lepszego diagnoskopu opartego na wynikach indykowania silnika.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Podstawowym celem recenzowanej rozprawy doktorskiej była eksperymentalna weryfikacja trzech logicznie sformułowanych tez pracy, które w skrócie można przedstawić następująco:

1. pomiar ciśnienia spalania z pominięciem kanałów do zaworu indykatorowego zmniejsza błąd pomiaru ciśnienia w cylindrze i zwiększa przydatność diagnostyczną pomiaru ciśnienia,
2. wartość diagnostyczną przebiegów ciśnienia spalania można zwiększyć obliczając wydzielanie ciepła na podstawie zarejestrowanych przebiegów ciśnienia spalania,
3. przebiegi wydzielania ciepła zawierają informacje o stanie technicznym układu wtryskowego, wymiany ładunku i szczelności komory spalania.

Ad. 1. Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że kanały zaworu indykatorowego wprowadzają znaczne opóźnienie pomiaru ciśnienia spalania względem GMP tłoka. W efekcie otrzymuje się błędne wyniki obliczeń innych parametrów, w tym obliczeń wydzielania ciepła. Objawami tego opóźnienia przebiegów ciśnienia są większe wartości maksymalnego ciśnienia w cylindrze, wzrost maksymalnej prędkości wydzielania ciepła i ilości wydzielonego ciepła.

Autor skupił się przede wszystkim nad poszukiwaniem symptomów diagnostycznych na podstawie przebiegu ciśnienia spalania wprowadzając zmiany w układach:

- zasilnia silnika paliwem (uchylanie zaworu przelewowego, zmiana ciśnienia otwarcia rozpylacza, liczby drożnych otworków i ich średnicy),
- zasilania powietrzem (ograniczenie przekroju czynnego kanału dolotowego przed sprężarka),
- spalania (rozszczelnienie komory spalania przez uchylanie zaworu startowego),
- wylotu spalin (dławienie przepływu za turbiną).

Zmiany te nazwano moim zdaniem niewłaściwie „symulowanymi uszkodzeniami", ponieważ nie były one wynikiem uszkodzenia czegokolwiek (może z wyjątkiem rozpylaczy). Pogarszano warunki przebiegu procesów w układach silnika za pomocą dodatkowych

urządzeń, które zmieniały przepływy strumieni płynów w silniku, nawet w bardzo dużym zakresie.

Ad. 2. Zgodnie z drugą tezą, zastosowanie modelowania przebiegu spalania w oparciu o zmierzone przebiegi ciśnienia w komorze spalania powinno pozwolić na uzyskanie dodatkowej informacji o procesie spalania i wpływie na ten proces uwzględnionych w pracy czynników zewnętrznych. Elektem powinno być zwiększenie efektywności procesu diagnozowania tłokowych silników spalinowych i wskazanie dodatkowych symptomów diagnostycznych. Taka metoda eksperymentalno – symulacyjne pozwoliłaby na zwiększenie liczby parametrów procesu spalania wykorzystanych do diagnostyki silnika. Taki sposób jest obecnie powszechnie stosowany w diagnostyce złożonych obiektów technicznych. Sformułowano bardzo prosty model wydzielania ciepła podczas spalania, który został wykorzystany do wyznaczenia sumarycznej ilości wydzielonego ciepła i prędkości jego wydzielania. Zmiany te przestawiono na wykresach w funkcji kąta obrotu wału korbowego α.

Ad. 3. Trzecia teza to stwierdzenie, że przebiegi wydzielania ciepła zawierają informacje o stanie technicznym układu wtryskowego, wymiany ładunku i szczelności komory spalania. W tym celu wyznaczono prędkość wydzielania ciepła za pomocą modelu matematycznego i zmiany wydzielonego ciepła w funkcji kąta obrotu wału korbowego badanego silnika. Wpływ zmian stanu technicznego silnika i zmian przebiegu procesów w silniku na przebiegi wydzielania ciepła przedstawiono w tabelach z zaznaczonymi kierunkami zmian wartości parametrów (rosnące, malejące i bez zmiany), co nie ułatwia analizy wrażliwości wykonywanych zmian w układach silnika na wydzielanie ciepła.

Wartość merytoryczna rozprawy polega przede wszystkim na zdecydowanym podważeniu możliwości wykorzystywania zaworów indykatorowych, stosowanych na silnikach okrętowych do pomiarów ciśnienia spalania w silnikach, ponieważ wprowadzają one duże zniekształcenia wartości tego ciśnienia. Zaproponowano metodę pomiaru ciśnienia spalania przez otwór wykonany w kołnierzu tulei silnika. Otwór taki można stosunkowo łatwo wykonać w silnikach okrętowych, co pozwala na powszechne stosowanie tego sposobu pomiarów w działających już silnikach. Jest on dużo łatwiejszy od wprowadzania czujników ciśnienia do komory spalania przez otwory w dolnej płycie głowicy silników, co wymaga umieszczania tych czujników w tulejach osłaniających je przed cieczą chłodzącą i olejem smarującym silniki.

Diagnostyczna przydatność przebiegów wydzielania ciepła wyznaczonych na podstawie bardzo uproszczonych modeli obliczonych jest sprawą dyskusyjną.

5. Ocena redakcyjna rozprawy

5.1. Uwagi ogólne

Rozprawa jest bardzo obszernym opracowaniem z dużą liczbą rysunków i tabel. Układ i kolejność rozdziałów są poprawne, chociaż można mieć uwagi do niektórych rozdziałów, co opisano w kolejnych akapitach.

Analiza stanu wiedzy w pierwszym rozdziale została przedstawiona na 48 stronach. Ten obszerny rozdział ma bardziej charakter bardziej opisowy, a nie analityczny. Trzy przykłady

odnoszące się to tej uwagi. W rozdziale 1.2 (str. 15-20) poświęconym okrętowym silnikom tłokowym nie powołano się na żadną pozycję literatury. Brak jest odwołań do źródeł w rozdziale 1.3.6. i w tabeli 1.2. Niepotrzebne było tłumaczenie zasady działania piezoelektrycznych czujników ciśnienia.

Tytuł rozdziału trzeciego tylko częściowo odpowiada jego treści. Przedstawiono w nim w zasadzie opis stanowiska badawczego, a także technikę pomiarów i metodykę opracowania wyników pomiarów bezpośrednich.

Opis stanowiska badawczego i obiektu badań jest również kontynuowany w rozdziale czwartym, co nie ułatwia czytania rozprawy doktorskiej. Jest w nim opis obiektu badań, aparatury pomiarowej i sposoby zmian „symulujących uszkodzenia silnika" bez opisów urządzeń stosowanych do zmiany przepływów płynów w układach silnika. Zamieszczono program badań. Na początku rozdziału czwartego znajduje się podrozdział opisujący cel i zakres badań eksperymentalnych.

Najobszerniejszy jest rozdział piąty, opisujący wyniki badań eksperymentalnych. Zostały one przedstawione na 75 stronach pracy (42% liczby stron). Są to rysunki i tabele z wynikami pomiarów i obliczeń w trzech punktach pomiarów ciśnienia spalania dla wszystkich sposobów oddziaływania na proces spalania. Na wykresach umieszczono po sześć zbliżonych do siebie i przecinających się wykresów co utrudnia ich rozróżnianie. Korzystniejsze byłoby rozdzielenie wyników pomiarów wpływu kanałów między komorą spalania a czujnikiem ciśnienia od wyników wpływu zmian w układzie zasilania paliwem i powietrzem („symulowania uszkodzeń") na wartości parametrów zmierzonych i obliczonych.

Ostatni rozdział powinien zawiera uwagi w formie opisowej nazwane wnioskami i wnioski szczegółowe nazwane poznawczymi wynikami badań. Lepiej byłoby przedstawić ponumerowane szczegółowe konkretne i zwarte wnioski dotyczące wyników badań.

Spis literatury jest w zasadzie prawidłowy. Strony internetowe powinny być uzupełnione o daty dostępu.

5.2. Uwagi szczegółowe

Praca jest zredagowana dość starannie. Nie można mieć zastrzeżeń do jakości tekstu i tabel. Rysunki są zrobione również starannie chociaż za dużo przebiegów umieszczono na jednym rysunku. Znalazłem tylko jeden błąd w treści pracy, który powinien być wychwycony przez edytor. Mam natomiast kilka uwag redakcyjnych, które jak sądzę wynikają z pewnego kształtowania się słownictwa, skrótów i sformułowań powstających w zespołach podczas ich wzajemnej komunikacji podczas pracy naukowej. Często przenoszą się one na opracowania powstające w tych zespołach. Oto niektóre z nich.

Stosowanie pojęć „bezwymiarowej drogi tłoka" i „bezwymiarowej objętości" (str. 10, wiersz 4 od dołu i str. 11, wiersz 9 od dołu strony - dalej będę używał skrótu „w9d") jest błędne. Droga i objętość są wielkościami mianowanymi w układzie SI. Natomiast w rozprawie Autor posługuje się wielkościami względnymi, a nie bezwymiarowymi.

Dość dowolnie podchodzi Autor do jednostek wielkości fizycznych. W odniesieniu do ciepła używa jednostek MPa (str. 11, w7g). W mnożniku dziesiętnym jednostek tych wielkości

powinien być wykładnik potęgi 6. Ciśnienie w MPa jest podawane z mnożnikiem 10^{-1} (wykresy w rozdziale 5).

W wielu miejscach pracy Autor używa określeń charakterystycznych dla materii ożywionej i społecznej w odniesieniu do materii nieożywionej. Przykłady:

- „układ wody chłodzącej niskotemperaturowej odpowiada za odbiór ciepła z pozostałych podzespołów" (str. 18 w4g),
- „żywotność silnika" (str. 24 w2g) – chyba trwałość,
- „Układ kontrolno – pomiarowy. Odpowiada za odczytywanie, sygnalizowanie, rejestrowanie…" (str. 18 w11d).

Procesy robocze nie towarzyszą pracy maszyny, ale praca maszyny jest wynikiem tych procesów (str. 23, w6g). Układ nie „posiada", a „ma" (str. 29, w14g). Nie „własności sprężyny", a „właściwości sprężyny" (str. 34, tab. 1.1). Zamiast „syndromów" powinno być „symptomów" (str. 140, w3d).

Diagnostyka techniczna jest postępowaniem w celu oceny stanu technicznego obiektu bez jego demontażu. Natomiast „pomiaru „luzów w rowkach" i „zużycie pierścienia" są weryfikacją stanu technicznego (str. 39, w18d).

Wiele sformułowań jest nadmiernie rozbudowanych, a pominięcie wyrazów podkreślonych ułatwiłoby czytanie pracy. Przykłady:

- „wartości parametrów <u>charakterystyk</u> wydzielania ciepła" (str. 99, tab. 5.2),
- „przebiegi <u>charakterystyk</u> wydzielania ciepła (str. 117, w3d),
- „układy <u>funkcjonalne</u> silnika" (str. 27, w6g),
- „parametry <u>charakteryzujące</u> wtrysk(u) paliwa (str. 20, w5d),
- „ciśnienie <u>panujące</u> w cylindrze" (str. 155, w2d),
- „Wybór modelu <u>obliczeniowego charakterystyk</u> wydzielania ciepła" (str. 72, w9g).

Niewłaściwie stosowane są w niektórych miejscach pojęcia „wielkość" i „wartość". Na przykład pisze się o „wzroście średniej wielkości kropel" (str. 30, w3g i dalej).

Tabela 1.1 (str. 34 i 35) i tabela 1.2 (str. 41) są w rozdziale dotyczącym analizy stanu zagadnienia i do ich treści powinny podane pozycje ze spisu literatury.

Niezrozumiałe jest określenie „wykorzystania utylizacji spalin" (str. 31, w9d). Może powinno być „wykorzystania ciepła ze spalin".

W układach automatycznej regulacji uchyb jest „minimalizowany", a nie „utrzymywany" (str. 19, w10g).

Wykresy nie mogą być „przesunięte w lewo" lub „w prawo" (str. 96, w10d) bądź „odchylane w kierunku osi odciętej" (str. 107, w17d). Wykresy są graficzną prezentacją zmierzonych wartości wielkości fizycznych. To te wartości rosną lub maleją. Takie same wartości mogą być zmierzone dla różnych wartości zmiennych niezależnych.

Cześć tekstu pisana jest z czasie przeszłym w innych miejscach pojawia się czas teraźniejszy.

Obliczenia wydzielania ciepła są prowadzone na podstawie zmierzonych wartości ciśnienia spalania, a nie na podstawie wykresów indykatorowych.

We wzorze 3.14 (str. 76) jest błąd literowy (zamiast q powinno być p).

6. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Autor pracy doktorskie podjął się zbadania bardzo trudnego problemu oceny przydatności analizy termodynamicznej spalania paliwa w silniku o zapłonie samoczynnym prowadzonej na podstawie pomiarów ciśnienia spalania mierzonego w różnych miejscach cylindra silnika. Uznano, co jest najważniejsze, że pomiary ciśnienia w okolicy zaworu indykatorowego są łatwe do wykonania, ale wyniki pomiarów ciśnienia w tym miejscu są błędne. Do dokładnych pomiarów ciśnienia spalania trzeba umieścić czujnik ciśnienia jak najbliżej komory spalania. Autor wykorzystał do tego kanał wykonany w kołnierzu tulei cylindrowej. Pozwoliło to na pomiary ciśnienia spalania bez zakłóceń i nie wprowadziło zmian w płaszczu cieczy chłodzącej silnik. Bardzo dobrze widoczne są zmiany ciśnienia gazu w okresie spalania kinetycznego i dyfuzyjnego.

Zastosowanie bardzo prostego modelu spalania w cylindrze silnika z ograniczeniem się do równań stanu gazu doskonałego i stałej ilości gazu w strefie spalania jest bardzo dużym uproszczeniem złożonego procesu spalanie w silniku o zapłonie samoczynnym. Na proces ten wpływa wiele czynników. Model zastosowany w pracy jest mało wrażliwy na te czynniki i do dalszych prac konieczne będzie opracowanie bardziej dokładnego modelu.

Moim zdaniem Autor nie wykorzystał bardzo istotnego parametru do oceny procesu spalania jakim jest pierwsza pochodna przebiegu ciśnienia spalania. Przebiegi tej pochodnej są uwzględniane tylko podczas obliczeń wydzielania ciepła. Wielkość ta jest czuła na jakiekolwiek zmiany przebiegu spalania i celowe byłoby jej dołączenie do głównych parametrów procesu spalania. Powinna być także uwzględniona w założeniach do przyszłego indykatora spalania.

Dużo uwagi poświęcono problemowi dokładnego określenie GMP tłoka. Jest to właściwe podejście do analizy pomiarów ciśnienia w komorze spalania, ponieważ chwilowe położenie tłoka w cylindrze jest bardzo istotne dla analizy termodynamicznej obiegu pracy silnika.

Jeżeli parametrem diagnostycznych jest ciśnienie ekspansji, mierzone 36°OWK po górnym martwym położeniu tłoka, to celowym byłoby uwzględnienie ciśnienia kompresji. Ciśnienie kompresji zmierzone przed początkiem wtrysku paliwa pozwoliłoby na zweryfikowanie napełnienia silnika świeżym ładunkiem, na co wpływają zespoły w jego układzie dolotowym i w układzie wylotowym.

Lepszą przejrzystość wyników pracy można byłoby uzyskać dzieląc wyniki badań na dwa rozdziały. Pierwszy poświęcony wpływowi kanałów na jakość sygnału i wyniki pomiarów ciśnienia i drugi, który obejmowałby wyniki badań wpływu zewnętrznych wymuszeń (tzw. symulowanych uszkodzeń) na zmiany procesu spalania. Uwagę tę proszę traktować jako dyskusyjną. Autor przyjął inne podejście, co wymagało od niego większego nakładu pracy i utrudniło analizę wyników pomiarów.

Dyskusyjne jest także przyjęcie przez Autora bardzo dużego przedziału zmian niektórych wymuszeń zewnętrznych w układzie zasilania powietrzem i wylotu spalin. Zbyt duże są zmiany przekroju czynnego kanału dolotowego do 80% (w efekcie nie można było osiągnąć 75% obciążenia maksymalnego silnika), a także dławienie kanału wylotu spalin do 75% jego pełnego przekroju. Również symulacja zanieczyszczonej chłodnicy poprzez upuszczanie

powietrza jest dyskusyjna, ponieważ osadzanie zanieczyszczeń w chłodnicy powoduje dławienie przepływu i bardziej naturalne byłoby dławienie tego przepływu.

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgra inż. Jacka Wysockiego jest pracą prezentującą bardzo obszerny materiał badawczy w zakresie procesów tworzenia mieszanki palnej i spalania w silniku o zapłonie samoczynnym. Są one oceniane na podstawie pomiarów przebiegów ciśnienia w komorze spalania silnika. Pomiary te zostały wykonane z zamiarem ich wykorzystania do diagnostyki technicznej silnika okrętowego. Zmierzone przebiegi ciśnienia były analizowane bezpośrednio oraz po ich przetworzeniu na przebiegi wydzielania ciepła. W pracy zastosowano nowoczesne metody pomiarowe ciśnienia spalania w tłokowym silniku spalinowym. Uzyskane rezultaty, czasami dyskusyjne, powinny pozwolić na opracowanie założeń do efektywnego systemu diagnostycznego silnika okrętowego.

Rozprawa doktorska stanowi rozwiązanie problemu naukowego związanego z obszarem nowoczesnych metod diagnozowania tłokowych silników spalinowych z wykorzystaniem wyników pomiarów ciśnienia spalania. Autor poszerzył wiedzę z badań eksperymentalnych o wyniki badań symulacyjnych, co pozwoliło na opracowanie eksperymentalno – symulacyjnej metody diagnozowania silnika. Rezultaty tej pracy powinny być wykorzystane w dalszej działalności naukowej Autora nad unowocześnieniem metod diagnozowania tłokowych silników spalinowych. Przygotowując stanowisko badawcze i metodykę pomiarów, prowadząc pomiary i analizując ich wyniki Autor wykazał się wiedzą w dyscyplinie „inżynieria mechaniczna”, a także umiejętnością samodzielnego prowadzenia prac naukowych. Spełnia to wymagania stawiane pracom doktorskich zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnioskuję o dopuszczenie mgra inż. Jacka Wysockiego do publicznej obrony jego rozprawy doktorskiej.

.....