

Prof. dr hab. inż. Mirosław Wendeker

Lublin, 04.09.2023 r.

Katedra Termodynamiki Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych

Wydział Mechaniczny

Politechnika Lubelska

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

(na zlecenie Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Świętokrzyskiej
z dnia 14.07.2023)

**TYTUŁ ROZPRAWY: Wpływ zasilania silnika FIAT 0,9 TWINAIR benzyną oraz gazem LPG i CNG
na parametry procesu spalania**

AUTOR ROZPRAWY: mgr inż. Michał Warianek

PROMOTOR ROZPRAWY: prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda

PROMOTOR POMOCNICZY: dr inż. Piotr Łagowski

1. Cel badań– tezy rozprawy

Rozprawa poświęcona jest diagnostyce procesu spalania paliw gazowych w tłokowych silnikach spalinowych, ze szczególnym uwzględnieniem adaptacji silnika Fiat 0,9 TwinAir do zasilania gazowymi paliwami alternatywnymi. Rozprawa stanowi cenną próbę analizy procesu spalania paliw alternatywnych w silnikach spalinowych. Zgromadzone wyniki badań eksperymentalnych dostarczają istotnych wniosków, które mogą wpłynąć na rozwój technologii silników zasilanych gazowymi paliwami alternatywnymi. Przeprowadzone badania otwierają również perspektywę dalszych prac badawczych w celu dalszego doskonalenia procesów spalania w silnikach tłokowych oraz ich adaptacji do przyszłych wymagań ekologicznych i energetycznych.

Celem przeprowadzonych badań eksperymentalnych na silniku Fiat 0,9 TwinAir oraz studium literaturowego było zrozumienie wpływu alternatywnych gazowych paliw na parametry procesu spalania oraz ekonomiczne, energetyczne i ekologiczne wskaźniki jego funkcjonowania. Badania koncentrowały się na porównaniu osiągniętych wyników z silnikiem zasilanym benzyną o liczbie oktanowej 95, stanowiącym punkt odniesienia.

Głównym celem tych badań było zbadanie procesów wewnątrzcyldrowych, takich jak początek, opóźnienie i zakończenie spalania, czas trwania tego procesu, maksymalne ciśnienie oraz temperatura spalania. Dodatkowo, ocena obejmowała wydzielanie ciepła i szybkość tego procesu. Te parametry miały pomóc w zrozumieniu charakterystyk reakcji zachodzących w cylindrze podczas spalania różnych paliw.

Badania były przeprowadzane w różnych warunkach prędkościowo-obciążeniowych, zasilając silnik paliwami alternatywnymi, takimi jak gaz płynny (LPG) i sprężony gaz ziemny (CNG), a także

benzyną. Wyniki uzyskane z silnika benzynowego stanowiły punkt odniesienia dla oceny wyników zasilania alternatywnymi gazowymi paliwami.

Analiza parametrów procesu spalania opierała się na rzeczywistych danych zarejestrowanych podczas badań hamownianych. Wykorzystano metody matematyczne i numeryczne do analizy przebiegów ciśnienia w cylindrze, umożliwiając obliczenie wskaźników energetycznych i charakterystyk wydzielania ciepła. Wartości wskaźników ekologicznych były określane za pomocą metod empirycznych i analizy porównawczej.

Podsumowując, celem badań było poznanie wpływu alternatywnych gazowych paliw na proces spalania i związane z nim parametry. Badania te, wykorzystujące różnorodne metody analizy, w założeniach autora miały się przyczynić do poszerzenia wiedzy na temat efektywności i ekologiczności zasilania silników spalinowych paliwami alternatywnymi.

Bardzo ważnym założeniem badawczym było ograniczenie się do nazywanych przez autora jako „systemy nakładkowe” zależnych systemów wtrysku gazu (systemów „aftermarket” – AM). W przypadku systemów AM, układy zasilania gazem są zależne od już istniejących układów benzynowych. Elektroniczny sterownik gazowy współpracuje z elektronicznym sterownikiem układu benzynowego. Sterownik gazowy kontroluje wtrysk gazu, mierząc czas trwania impulsu elektrycznego podawanego do wtryskiwaczy benzynowych. To pozwala na obliczenie czasu wtrysku gazu z uwzględnieniem różnych parametrów, takich jak ciśnienie gazu czy jego temperatura. Dążenie do porównywalnych czasów wtrysku gazu i benzyny ma na celu optymalizację procesu spalania.

Podczas wykonywanych badań stanowiskowych mgr inż. Michał Warianek zaprezentował dużą wiedzę i umiejętności w trudnych do opanowania dziedzinach inżynierskich związanych z teorią silników spalinowych, elektroniką, informatyką techniczną czy też przetwarzaniem sygnałów. Tym niemniej krytycznie odnoszę się do zaprezentowanego podejścia badawczego. Przeprowadzone badania odnosiły się jedynie do warunków ustalonych. Tymczasem w procesach zasilania, różnica między wtryskiem cieczy (benzyny) a paliwa gazowego jest znacząca głównie w warunkach nieustalonych i jest związana ze zjawiskiem tworzenia lub nie filmu paliwowego. Film paliwowy to warstwa cieczy osadzona na ściankach układu dolotowego, dostająca się do cylindra opóźnionym parowaniem i siłami aerodynamicznymi. Ten proces istotnie wpływa na dynamiczne zasilanie cylindrów silnika i wymaga kompleksowych badań, gdyż proste algorytmy korygujące dawkowanie paliwa nie rozwiązują go. Wtrysk gazu nie podlega podobnemu zjawisku, co eliminuje potrzebę korekty dynamicznej uwzględniającej opóźnienie dostarczania paliwa. Istniejące modele instalacji gazowych nie uwzględniają różnic dynamicznych między oboma rodzajami paliwa. Dotychczasowe badania koncentrują się na porównaniach w warunkach ustalonych, a analiza wtrysku w stanach nieustalonych jest zaniedbana. Istniejące raporty naukowe skupiają się na sprawności i emisji w stanach ustalonych, z pominięciem analizy porównawczej w zakresie wtrysku gazu i benzyny w warunkach nieustalonych. Problem ten rozwiązał w swoich algorytmach sterujących dr inż. Grzegorz Barański z Politechniki Lubelskiej w 2014 roku. Szkoda, że mgr inż. Michał Warianek nie dotarł do rozprawy doktorskiej Grzegorza Barańskiego.

Tym niemniej, przyjęty zakres badawczy pozwala na sformułowanie ważnych wniosków i tym samym poznanie wpływu alternatywnych gazowych paliw na proces spalania i związane z nim parametry systemów AM. Badania te, wykorzystujące różnorodne metody analizy przyczyniają się do poszerzenia wiedzy na temat efektywności i ekologiczności zasilania silników spalinowych paliwami alternatywnymi. Ale należy dodać ważne zastrzeżenie: w odniesieniu do systemów AM. Uważam, że przy takim zastrzeżeniu cele badawcze zostały wybrane prawidłowo a uzyskane rezultaty świadczą o zrealizowaniu celu końcowego.

Autor postawił dwie tezy.

- Możliwe jest wyznaczenie wpływu zasilania silnika paliwami gazowymi uwzględniającego parametry procesu spalania na podstawie analizy jego przebiegu z wykorzystaniem rzeczywistych wykresów indykatorowych.
- Rodzaj paliwa gazowego zasilającego silnik istotnie wpływa na uzyskiwane parametry procesu spalania oraz wskaźniki ekologiczne i operacyjne pracy silnika.

Tezy wydają się być oczywiste i w dużej mierze już znane. Istniejąca wiedza na temat wpływu alternatywnych gazowych paliw na proces spalania jest obszerna i stale poszerzana przez wiele lat badań w dziedzinie silników. Wpływ rodzaju paliwa na parametry spalania oraz ekonomiczne i ekologiczne wskaźniki pracy silnika jest fundamentalnym tematem badawczym, który był poddawany analizie w licznych badaniach i publikacjach naukowych.

Analiza wykresów indykatorowych, choć skomplikowana, jest standardową metodą badawczą w analizie procesu spalania w silnikach. Rzeczywiste wykresy ciśnienia w cylindrze są podstawą do określenia kluczowych parametrów procesu spalania, takich jak początek, opóźnienie, zakończenie spalania, a także wskaźniki energetyczne. Nie jest to nowa koncepcja, a raczej standardowa procedura w badaniach silników.

Co do drugiej tezy, jest oczywiste, że rodzaj paliwa będzie istotnie wpływał na parametry spalania oraz wskaźniki pracy silnika. Różnice w właściwościach fizykochemicznych paliw, takie jak liczba oktanowa czy struktura chemiczna, naturalnie wpłyną na sposób spalania i efektywność. To jest podstawowe zagadnienie w dziedzinie badań nad alternatywnymi paliwami dla silników.

Wnioski w tych tezach wydają się być dobrze przewidywalne w świetle istniejącej wiedzy i już rozstrzygnięte w licznych badaniach i analizach. Sformułowanie tych tez jest zatem nieco zbyt ogólne i brak im oryginalności w kontekście współczesnej literatury naukowej na temat silników zasilanych alternatywnymi paliwami gazowymi.

Dlatego proponuję uzupełnić brzmienie tez o ograniczenie związane z systemami zależnymi. Na przykład druga teza powinna brzmieć: *„Rodzaj paliwa gazowego zasilającego silnik istotnie wpływa na uzyskiwane parametry procesu spalania oraz wskaźniki ekologiczne i operacyjne pracy silnika podczas stosowania zależnych instalacji gazowych w warunkach ustalonych”*.

Wyniki badań jasno wskazują na potrzebę dalszych prac nad adaptacją silników do zasilania gazowymi paliwami alternatywnymi. Regulacja układów zasilania i zapłonu oraz dostosowanie charakterystyk kąta wyprzedzenia zapłonu są kluczowe dla optymalizacji procesu spalania. Działania te powinny być szczególnie ukierunkowane na silniki, dla których dostępność na rynku modulatorów sygnałów sterujących jest ograniczona. Warto również zwrócić uwagę na regulację układów zasilania, zwłaszcza w przypadku adaptowanych układów zasilania paliwami gazowymi.

2. Charakter rozprawy (teoretyczny, doświadczalny, konstrukcyjny)

Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone na stanowisku hamownianym, przy różnych prędkościach obrotowych wału korbowego (1900, 2800, 3700, 4600 oraz 5500 obr/min), podczas trzech serii pomiarowych. Każda

seria pomiarów opierała się na zasilaniu silnika różnymi rodzajami paliwa: benzyną o liczbie oktanowej 95, paliwem LPG oraz sprężonym gazem ziemnym CNG.

Wyniki badań objęły szeroki zakres parametrów, takich jak moc efektywna, moment obrotowy, prędkość obrotowa wału korbowego oraz godzinowe zużycie paliwa. Dodatkowo, mierzono ciśnienie w komorze spalania, kąt obrotu wału korbowego oraz natężenie prądu ładowania uzwojenia pierwotnego cewki wysokiego napięcia. Analizowano także stężenia tlenku węgla CO, dwutlenku węgla CO₂, węglowodorów HC oraz tlenków azotu NO_x w spalinach.

3. Sposób przeprowadzenia analizy źródeł (w tym literatury światowej) i formułowanie wniosków z analizy

Doktorant w rozprawie cytuje 138 pozycji literaturowych, z których zdecydowana większość opublikowana jest w ciągu ostatniej dekady, obszar tematyczny jest odpowiedni do realizacji tej pracy, zaś sformułowane wnioski świadczą o głębokiej wiedzy, którą posiada. Należy podkreślić, że wiele cytowanych pozycji literaturowych charakteryzuje zasięg międzynarodowy, mogą więc stwierdzić, że przeprowadzona analiza jest wystarczająco obszerna, a sformułowane na jej podstawie wnioski są poprawne.

4. Rozwiązanie postawionego zadania, właściwości przyjętych metod i założeń

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 247 stron. Praca składa się z 12 rozdziałów, które w logiczny sposób prowadzą czytelnika przez zagadnienia dotyczące procesu spalania i jego wpływu na silniki spalinowe. Wskazując na najważniejsze aspekty zawartości kolejnych rozdziałów mogą scharakteryzować je w następujący sposób.

1. Rozdział wprowadza do problemu procesu spalania, skupiając się na wpływie składu mieszanki palnej.
2. Omawia modele spalania z wykorzystaniem technik komputerowych i programów komercyjnych.
3. Skupia się na wskaźnikach pracy silnika.
4. Omawia tworzenie szkodliwych składników spalin i obowiązujące normy emisji.
5. Klasyfikuje paliwa konwencjonalne i alternatywne oraz ich właściwości.
6. Przedstawia ocenę procesu spalania na podstawie eksperymentalnych wykresów indykatorowych.
7. Definiuje cel i zakres pracy.
8. Charakteryzuje obiekt badań, układy sterowania i wymiany ładunku.
9. Opisuje używaną aparaturę badawczą.
10. Prezentuje wyniki badań i ich analizę, w tym analizę korelacyjną.
11. Rozważa perspektywy rozwoju tematu pracy.
12. Podsumowuje wnioski z badań i analiz, stanowiąc zakończenie pracy.

Pracę można podzielić na dwie części. Pierwsza, obejmująca rozdziały od 1 do 6, poświęcona jest analizie teoretycznej zagadnień mających na celu stworzenie podstaw do koncepcji systemu zasilania gazowego silnika o zapłonie iskrowym. W tej części autor wykazał dobre przygotowanie teoretyczne dla realizacji postawionego celu.

Druga część rozprawy obejmująca rozdziały od 7 do 12, poświęcona jest przeprowadzeniu badań eksperymentalnych oraz analizie ich wyników. Jest to najważniejsza część pracy, w której autor zaprezentował rozległy warsztat badawczy pozwalający na eksperymentalną weryfikację opracowanych wcześniej modeli i algorytmów. Wyniki badań eksperymentalnych potwierdzają dużą zgodność z rozważaniami teoretycznymi, co świadczy o tym, że przyjęta w pracy podejście jest prawidłowe, zaś przeprowadzone analizy nie budzą wątpliwości. Merytoryczną część pracy kończy rozdział 11 określający dalszy kierunek badań oraz ostatni rozdział stanowiący podsumowanie i wnioski.

Uważam, że analiza teoretyczna jest zbyt obszerna i zbyt dydaktyczna. Kończy się dopiero na 90. stronie zawierając dużo książkowych informacji. Wystarczyłoby zaledwie 20 stron rozważań naukowych koncentrujących się na problemie określenia wpływu rodzaju paliwa na podstawie parametry procesu spalania oraz efekty procesu spalania określanymi wskaźnikami energetycznymi, ekologicznymi i ekonomicznymi. Powinno zostać stwierdzone jaka nowa wiedza powinna zostać zdobyta do dalszej optymalizacji algorytmów sterowania pracą układów zasilania gazem LPG oraz CNG. Byłoby to uzasadnienie potrzeby przeprowadzenia określonych badań eksperymentalnych optymalizujących system zasilania gazowego.

Przeprowadzona w części badawczej optymalizacja ciśnienia wtrysku oraz map czasu wtrysku paliw gazowych nie przyniosła oczekiwanych rezultatów gdyż uzyskane osiągi silnika znacznie odbiegały od tych uzyskiwanych na benzynie. Dlatego autor postuluje konieczność ingerencji w sterownik wtrysku benzyny oraz stawia wniosek o koniecznej dalszej ingerencji w algorytm sterowania kątem wyprzedzenia zapłonu i ciśnienia doładowania. Te właśnie wnioski są kluczowe dla mojej pozytywnej oceny pracy. Zadanie oceny wpływu rodzaju paliwa gazowego na uzyskiwane parametry procesu spalania oraz wskaźniki ekologiczne i operacyjne pracy silnika zostało zrealizowane.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozwiązanie postawionego zadania przeprowadzone zostało prawidłowo a przyjęte metody i założenia badawcze można uznać za właściwe.

5. Oryginalność rozprawy i samodzielny dorobek autora

Oryginalnym osiągnięciem autora jest przeprowadzenie badań, które umożliwiły zdobycie materiału badawczego dla kontynuacji doskonalenia parametrów pracy silnika w przypadku zasilania go paliwami gazowymi, szczególnie gazem LPG i gazem ziemnym CNG. Użyte w tym kontekście metody badawcze oraz zdobyte doświadczenie powinny być wykorzystane w przyszłych badaniach nad silnikami zasilanymi alternatywnymi paliwami, w tym również syntetycznymi paliwami gazowymi.

Oryginalne wyniki badań autora pozwalają na zrozumienie i wyznaczenie kluczowych wskaźników oceny procesu spalania, poprzez analizę charakterystyk ilości i tempa wydzielania ciepła w trakcie spalania paliw gazowych. Badania obejmują również istotne parametry konstrukcyjne silnika, takie jak maksymalna temperatura procesu spalania oraz jej profil czasowy w cylindrze. Poznanie specyfiki spalania paliw gazowych ma istotne znaczenie dla efektywnego sterowania ich procesem, co może prowadzić do konieczności rozwijania nowych technologii w zakresie układów wtryskowych, szczególnie przy zwiększonym ciśnieniu wtrysku. Porównanie wyników z konwencjonalnym paliwem

benzynowym stanowi punkt odniesienia, biorąc pod uwagę ekonomiczne, energetyczne i ekologiczne parametry pracy silnika. Rozprawa zawiera oryginalne wyznaczenie kluczowych parametrów procesu spalania, z uwzględnieniem faz tego procesu, takich jak opóźnienie zapłonu, trwanie fazy spalania i chwila jej zakończenia, ustalane na podstawie położenia wału korbowego silnika.

6. Poprawność przedstawienia uzyskanych wyników (zwięzłość, jasność, umiejętność przekonywania, poprawność redakcyjna) i inne uwagi dyskusyjne

Oceniając rozprawę mogę stwierdzić ponownie, że duża część treści w rozdziałach od 2 do 6 mogła zostać pominięta bez straty jakości pracy. Mimo tej uwagi muszę podkreślić, że praca napisana jest starannie, jej struktura jest dobrze zorganizowana i czytelna.

Ogólnie, język jest zrozumiały, ale można by wprowadzić pewne poprawki stylistyczne. Zamiast używać zbyt skomplikowanych konstrukcji, warto postawić na prostszy i bardziej klarowny język, aby tekst był bardziej przystępny dla czytelnika. W tekście pojawiają się zdania złożone, które w niektórych przypadkach mogą sprawić, że sens staje się nieco skomplikowany. Warto stosować dłuższe zdania tylko tam, gdzie to naprawdę niezbędne, i unikać nadmiernie rozbudowanych konstrukcji. Przykładem niech będzie zdanie z rozprawy: *„Oprócz wyżej wymienionego, krajowego rozwiązania, zmianę stopnia sprężania można realizować poprzez zastosowanie korbowodów o zmiennej długości, których długość zmienia się za pomocą obrotowej wkładki mimośrodowej znajdującej się w główce korbowodu lub realizować za pomocą tzw. teleskopowego korbowodu, zmieniającego swoją długość, z wykorzystaniem układu elektrohydraulicznego.”*. Dużo bardziej czytelne byłoby rozbicie go na trzy zdania, np.: *„Poza wyżej opisanym krajowym rozwiązaniem, zmianę stopnia sprężania można osiągnąć na dwa sposoby. Pierwszy to wykorzystanie korbowodów o regulowanej długości, gdzie zmiana długości korbowodu jest kontrolowana przez obracającą się wkładkę. Drugi to tzw. teleskopowy korbowód, który reguluje długość za pomocą układu elektrohydraulicznego”*.

W niektórych miejscach pojawiają się zbyt częste powtórzenia terminologii. Przykładem może być kilkakrotne używanie sformułowania *„gazowe paliwa alternatywne”*. W celu urozmaicenia tekstu i uniknięcia powtórzeń, warto poszukać synonimów lub zróżnicować opisy.

Sugerowane kierunki dalszych prac są jasno przedstawione, ale ich wyjaśnienie mogłoby być bardziej szczegółowe. Czytelnik mógłby lepiej zrozumieć, dlaczego te konkretne kierunki są ważne i jakie korzyści przyniosą.

Autor nie uniknął błędów edycyjnych. Przykładowo:

Strona 13 „procesuspalania”.

Strona 14, „Diesela”.

Strona 19 „miedzy innymi”.

Strona 34 „badaczesilnikowcy”

Strona 35 nazwisko pisane „Vibe”, wcześniej „Wiebe”.

Znalazłem też błąd ortograficzny na stronie 245 czyli *„Nie wykluczona”*. Wyraz *„niewykluczona”* zapisujemy łącznie.

7. Przydatność rozprawy dla techniki, przemysłu itp.

Rozprawa doktorska mgr inż. Michała Warianka zwiększa możliwości dalszej optymalizacji algorytmów sterowania pracą układów zasilania gazem LPG oraz CNG.

Wyczerpywanie się zasobów naturalnych i degradacja środowiska spowodowana nieracjonalnym gospodarowaniem tymi zasobami wymusza poszukiwanie nowych źródeł energii. Pomimo długotrwałej świadomości tego problemu, głównym dostawcą paliw płynnych nadal pozostaje ropa naftowa, chociaż jej zasoby są ograniczone w porównaniu do węgla czy gazu ziemnego. Globalne zużycie ropy stale rośnie od lat osiemdziesiątych XX wieku, głównie ze względu na rosnącą liczbę środków transportu i zwiększoną mobilność społeczeństw.

Paliwo gazowe LPG, jako alternatywne źródło energii do napędu, obecnie prezentuje się jako najbardziej ekonomiczna opcja dla samochodów wyposażonych w silniki spalinowe. Koszty eksploatacji aut na gaz są znacząco niższe niż w przypadku pojazdów z silnikami Diesla. To efekt nie tylko niższej ceny samego autogazu w porównaniu do oleju napędowego, ale także efektywności spalania gazu w silniku.

Warto podkreślić, że paliwo LPG jest nie tylko oszczędniejsze w codziennych dojazdach, ale także w dłuższych trasach. To aspekt istotny zwłaszcza w kontekście porównania z samochodami elektrycznymi, które mogą wymagać przerw na ładowanie w trakcie podróży. Przy rosnących cenach prądu, jazda samochodem zasilanym gazem wydaje się bardziej atrakcyjna zarówno pod względem kosztów, jak i praktyczności. Autogaz, oprócz aspektu ekonomicznego, przyczynia się również do ograniczenia emisji szkodliwych substancji do atmosfery w porównaniu do tradycyjnych paliw. To zatem jest rozwiązanie, które spełnia zarówno potrzeby użytkowników, jak i troskę o środowisko naturalne.

Podobnie gaz ziemny w postaci CNG, choć stosowany w mniejszym zakresie, jest wciąż niedocenianym źródłem energii. Jego wysoka liczba oktanowa preferuje na użycie go jako paliwa w silnikach o zapłonie iskrowym. Dostępność gazu ziemnego oraz jego potencjał w ograniczaniu emisji CO₂ stanowią istotne zalety. Badania nad gazem ziemnym, zarówno w aspekcie emisji, jak i zastosowania w różnych rodzajach pojazdów, ukierunkowują się na zrównoważone i ekologiczne rozwiązania dla przyszłości.

Rynek systemów zasilania gazowego do pojazdów stale ewoluuje, a w miarę wzrostu liczby dostępnych opcji, systemy montowane fabrycznie (OEM) i systemy After Market (AM) wciąż stanowią dynamiczne pole konkurencji. Chociaż liczba i różnorodność OEM systemów ciągle rośnie, to w rzeczywistości to systemy AM dominują, szczególnie w samochodach już zakupionych.

Pierwszym argumentem za popularnością systemów AM jest niższy koszt w porównaniu do zakupu nowego, dedykowanego samochodu z napędem gazowym. Montaż takiego systemu jest znacznie tańszy niż zakup nowego pojazdu. To zachęca kierowców do stosowania bardziej przyjaznych dla środowiska źródeł energii, bez konieczności rezygnacji użytkowania ich obecnych pojazdów.

Drugim czynnikiem jest możliwość elastycznego przełączania się pomiędzy różnymi rodzajami paliw. W przypadku systemów AM, kierowca może używać zarówno tradycyjnego paliwa, czyli benzyny, jak i gazu. To oznacza większy zasięg i bezpieczeństwo podróżowania w przypadku braku stacji obsługujących gaz.

Jednakże, szybki wzrost popularności systemów AM i pojawienie się wielu producentów systemów gazowych podniosły pytania o jakość spalania w pojazdach z takimi systemami. Odpowiedzią

było stworzenie regulacji unijnych, takich jak Regulamin EKG ONZ nr 115, który harmonizuje homologację systemów CNG w całej Unii Europejskiej. Wprowadzenie homologacji na systemy AM miało na celu gwarancję spełnienia restrykcyjnych standardów emisji spalin, zapewniając jednocześnie bezpieczną i wydajną jazdę pojazdami z alternatywnymi systemami zasilania.

Badania doktoranta nad algorytmami zasilania w przypadku systemów AM mają obecnie istotne znaczenie naukowe i praktyczne. W miarę jak technologia się rozwija, konieczne jest doskonalenie algorytmów kontroli procesu spalania gazu w silniku. Skomplikowane czynniki, takie jak zmienne warunki jazdy i spalania, wymagają zaawansowanych algorytmów, które zapewnią optymalne wykorzystanie gazu i zachowanie sprawności silnika.

Rozwinięte algorytmy mogą wpłynąć na oszczędność paliwa, wydajność i trwałość silnika oraz minimalizację emisji. Praca doktoranta na tym polu jest innowacyjna i potrzebna, przyczynia się do dalszego rozwoju i poprawy efektywności systemów gazowych, a także wspiera przejście na bardziej zrównoważony model transportu. Uważam wybór tematu jako trafny, mając na uwadze rosnące wyzwania ekologiczne oraz potrzebę stosowania paliw alternatywnych.

8. Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa mgr inż. Michała Warianka p.t. "**Wpływ zasilania silnika FIAT 0,9 TWINAIR benzyną oraz gazem LPG i CNG na parametry procesu spalania**" spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

