

Białystok 10.06.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Ebrahima Nadimi Karamjavana
pt.: „Experimental and numerical study on ammonia fueled compression ignition engine”

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Recenzję wykonano na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina, zgodnie z pismem nr RIE-BD.512.23.2024 z dnia 09.05.2024 r.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Ebrahima Nadimi Karamjavana pt.: „Experimental and numerical study on ammonia fueled compression ignition engine” napisana pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Grzegorza Przybyły, prof. PŚ. Na rozprawę doktorską składa się cykl 4 powiązanych tematycznie artykułów naukowych, który został przedstawiony w rozprawie w postaci opisowej oraz jako pełne teksty w załączniku.

3. Struktura rozprawy doktorskiej

Rozprawę doktorską zawarto na 97 stronach napisanych w języku angielskim. Na całość składa się część początkowa w postaci 17 stron zawierających stronę tytułową, dane Autora i promotora, streszczenie, podziękowania, wykaz publikacji wchodzących w skład rozprawy wraz ze wskazaniem udziału Doktoranta w tych publikacjach, wykaz publikacji dodatkowych związanych z tematyką rozprawy, ale niewchodzących w jej skład, spis treści, wykaz rysunków i skrótów. Na część zasadniczą rozprawy składa się z 6 rozdziałów (37 stron). Rozdział 1 stanowi ogólne wprowadzenie do tematyki rozprawy oraz cele i tło badań. Rozdział 2 (Artykuł I) przedstawia analizę eksperymentalną oraz użycie modelu 1D w ocenie wtrysku gazowego amoniaku do portu dolotowego silnika wysokoprężnego przy pozostawieniu dawki inicjującej spalanie w postaci biodiesla (zasilanie dwupaliwowe). Rozdział 3 (Artykuł II) poddaje ocenie eksperymentalnej zastosowanie wtrysku gazowego amoniaku do portu dolotowego silnika przy pozostawieniu dawki oleju napędowego inicjującej spalanie wykorzystując w analizach model 1D. Rozdział 4 (Artykuł III) obejmuje badania eksperymentalne i analizy numeryczne (CFD) związane z bezpośrednim wtryskiem ciekłego amoniaku i biodiesla. Rozdział 5 (Artykuł IV) ocenia różne konfiguracje otworów wylotowych wtryskiwacza biodiesla silnika dodatkowo zasilanego wtryskiem ciekłego amoniaku, w których analizy numeryczne CFD poddano walidacji eksperymentalnej. Rozdział 6 zawiera podsumowanie i wnioski. Rozprawę doktorską kończą 2 strony wykazu literatury. W załącznikach umieszczono pełne teksty artykułów naukowych wchodzących w skład rozprawy (54 strony):

- I. **Ebrahim Nadimi**, Przybyła G, Emberson D, Løvås T, Ziółkowski Ł, Adamczyk W. Effects of using ammonia as a primary fuel on engine performance and emissions in an ammonia/biodiesel dual-fuel CI engine. International Journal of Energy Research. 2022 Sep;46(11):15347-61. DOI: 10.1002/er.8235. IF=4,6 (2022).

- II. **Ebrahim Nadimi**, Przybyła G, Lewandowski M, Adamczyk W. Effects of ammonia on combustion, emissions, and performance of the ammonia/diesel dual-fuel compression ignition engine. *Journal of the Energy Institute*. 2023 Apr 1;107:101158. DOI: 10.1016/j.joei.2022.101158. IF=5,7 (2023).
- III. **Ebrahim Nadimi**, Przybyła G, Løvås T, Peczkis G, Adamczyk W. Experimental and numerical study on direct injection of liquid ammonia and its injection timing in an ammonia-biodiesel dual injection engine. *Energy*. 2023 Oct. 7:129301. DOI: 10.1016/j.energy.2023.129301. IF=8,9 (2023).
- IV. **Ebrahim Nadimi**, Przybyła G, Løvås T, Adamczyk W. Effects of biodiesel injector configuration and its injection timing on performance, combustion and emissions characteristics of liquid ammonia dual direct injection engine. *Journal of the Energy Institute*. 2024 Mar 19:101605. DOI: 10.1016/j.joei.2024.101605. IF=5,7 (2024).

4. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

4.1. Temat rozprawy

Obecny trend zmierzający do dekarbonizacji źródeł napędu wskazuje, że temat rozprawy jest istotny i aktualny. Jako kolejną przesłankę przemawiającą za aktualnością tematu należy wymienić fakt ciągłego poszukiwania paliw alternatywnych, które mogłyby przedłużyć cykl eksploatacyjny silników będących już w eksploatacji, które z różnych względów nie są ekologiczne. Zaproponowane w rozprawie użycie amoniaku w silniku o zapłonie samoczynnym, w którym spalanie inicjowane jest oryginalnym układem paliwowym bazującym na oleju napędowym czy biodieslu, stanowi aktualne i znaczące pole badawcze. Sporym wyzwaniem jest opracowanie takiego układu zasilania amoniakiem, w którym jego sterowanie będzie w stanie sprostać wymogom energetycznym, ekonomicznym i emisyjnym. Wyniki badań eksperymentalnych i obliczeń numerycznych oraz analiz, które Doktorant zaproponował w tym obszarze, są w stanie wypełnić występującą lukę badawczą.

W mojej ocenie, temat rozprawy sformułowany jako „Experimental and numerical study on ammonia fueled compression ignition engine” jest poprawny. Poza walorami naukowymi ma również potencjał aplikacyjny.

4.2. Cele badawcze

Jako główny cel rozprawy Doktorant postawił sobie opracowanie silnika o zapłonie samoczynnym wykorzystującego amoniak poprzez modernizację jednocylindrowego silnika wysokoprężnego, skupiając się głównie na działaniu dwupaliwowym. W analizach jako istotne wskazał parametry energetyczne, ekonomiczne i ekologiczne. Do realizacji tak postawionego celu sprecyzował zadania badawcze:

- Eksperymentalne opracowanie zastosowania amoniaku jako paliwa pierwotnego i biodiesla lub oleju napędowego jako wtórnego paliwa pilotażowego w silniku wysokoprężnym.
- Opracowanie i zbadanie dwóch różnych podejść do wykorzystania amoniaku poprzez modernizację jednocylindrowego silnika wysokoprężnego. Pierwsza strategia obejmuje wprowadzenie gazowego amoniaku do portu dolotowego, podczas gdy druga strategia polega na bezpośrednim wtrysku ciekłego amoniaku do cylindra w silniku z podwójnym wtryskiem.
- Testowanie wpływu zastąpienia oleju napędowego amoniakiem do maksymalnej możliwej substytucji w silniku wysokoprężnym. W związku z tym eksperymentalnie zbadano osiągi silnika i charakterystykę emisji dla różnych proporcji amoniaku do oleju napędowego i porównano je z trybem czystego oleju napędowego.

- Badanie parametrów wtrysku zarówno ciekłego amoniaku, jak i biodiesla. W związku z tym badane są czasy wtrysku amoniaku i biodiesla w celu optymalizacji osiągnięć silnika i zmniejszenia emisji.
- Ponieważ biodiesel jest stosowany jako paliwo pilotażowe o niskiej masie wtryskiwanej, liczba dysz we wtryskiwaczu biodiesla jest blokowana w celu poprawy wtrysku, a tym samym zmniejszenia emisji.
- Opracowanie modelu 1D do analizy silnika wysokoprężnego zasilanego amoniakiem.
- Opracowanie i walidacja modelu CFD dla silnika wysokoprężnego napędzanego czystym biodieslem i biodieslem z amoniakiem. Model CFD został opracowany w celu badania rozpylania i spalania amoniaku, a także przewidywania lokalnej temperatury i emisji, takich jak CO_2 , CO , NO_x i NH_3 .

Uważam, że z punktu widzenia naukowego i poznawczego cel pracy i zadania badawcze są zasadne i poprawnie skonstruowane. Ich realizacja wypełnia lukę badawczą wpływając na poszerzenie wiedzy w obszarze zastosowania amoniaku w silnikach wysokoprężnych jako alternatywnego paliwa neutralnego pod względem emisji dwutlenku węgla. Opracowane na podstawie wyników wnioski i wytyczne mają również potencjał aplikacyjny.

4.3. Analiza poszczególnych części rozprawy doktorskiej

Rozprawa doktorska bazuje na 4 powiązanych tematycznie artykułach naukowych, których pełne teksty zamieszczono w załączniku, co jest typowe dla tego typu opracowań. Ze względów formalnych w Rozdziale 1 przedstawiono ogólne wprowadzenie do tematyki rozprawy oraz cele i tło badań stanowiące podstawę dalszych działań. Rozdziały 2-5 w sposób skrótowy nakreślają tematykę poruszaną w artykułach będących podstawą rozprawy, z kolei Rozdział 6 podsumowuje rozprawę i przedstawia najważniejsze wnioski.

Uważam, że rozprawa stanowi merytorycznie zamkniętą, poprawnie skonstruowaną i napisaną całość, w której część opisowa w sposób wystarczający uzupełnia 4 powiązane tematycznie artykuły naukowe. Strona edycyjna i układ poszczególnych artykułów wchodzących w skład rozprawy wynikają z wytycznych redakcyjnych czasopism. Wyniki i analizy zostały już zrecenzowane i opublikowane w renomowanych czasopismach mieszczących się w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Z uwagi na fakt, iż Rozdziały 1 i 6 bazują na treściach z 4 artykułów naukowych, w dalszym opisie poszczególnych części skupię się na tychże artykułach.

Artykuł I (strony 42-56 rozprawy) obejmuje sobą analizy zmodyfikowanego na potrzeby badań dwupaliwowego silnika wysokoprężnego zasilanego amoniakiem i biodieslem. W tym przypadku amoniak w postaci gazu był wtryskiwany do portu dolotowego, a biodiesel do cylindra, inicjując w ten sposób spalanie. Dysponując odpowiednio skonfigurowanym stanowiskiem badawczym i modelem 1D do przetwarzania wyników, ocenie poddano wskaźniki energetyczne i ekologiczne silnika pracującego przy stałej prędkości obrotowej i zmiennych obciążeniach. Utrzymanie stałego natężenia przepływu biodiesla, przy zmiennym przepływie amoniaku, pozwoliło na wyznaczenie maksymalnej wartości energii wejściowej biodiesla, którą można zastąpić amoniakiem, oraz zmienność w wartościach emisji wybranych składników spalin. Stan wiedzy wykazano na podstawie 48 publikacji, odpowiednich dla poruszanej tematyki.

Artykuł II (strony 58-69 rozprawy) przedstawia wyniki badań zmodyfikowanego silnika dwupaliwowego na stanowisku badawczym przedstawionym w Artykule I. Amoniak w postaci gazu, tak jak poprzednio, wtryskiwano do portu dolotowego; różnica polegała na inicjowaniu spalania, gdzie do tego celu użyto oleju napędowego. Badania przeprowadzono w trybie pracy przy ustalonej prędkości obrotowej z pełnym obciążeniem, w obróbce wyników wykorzystano model 1D. Na tej podstawie wyznaczono maksymalną wartość energii oleju napędowego, którą można zastąpić amoniakiem, zmiany w procesie spalania oraz w emisjach wybranych

składników spalin rzutujących na efekt cieplarniany. Stan wiedzy oparto na 64 publikacjach odpowiadających swoim zakresem tematyce opracowania.

Artykuł III (strony 71-83 rozprawy) zmienia względem poprzednich podejście do zasilania amoniakiem. W toku modyfikacji silnika opracowano system zasialnia wtryskiem ciekłego amoniaku do cylindra. Ostatecznie silnik miał dwa oddzielne układy wtryskowe do cylindra (amoniaku i biodiesla) działające niezależnie. Stanowisko badawcze było podobne do tego z poprzednich opracowań (Artykuły I i II). W wyniku badań i analiz ustalono wartość maksymalną udziału energetycznego amoniaku zastępującego biodiesel. Zbadano także wpływ parametrów wtrysku amoniaku na proces spalania i emisję. Dodatkowo opracowano model numeryczny wykorzystujący narzędzia CFD bazujący na rzeczywistym silniku użytym w badaniach. Wyniki obliczeń zweryfikowano eksperymentalnie, co dało podstawy do oceny rozpylania, spalania i emisji. Stan wiedzy z zakresu opracowania bazował na 52 pozycjach literatury odpowiadających analizowanej tematyce.

Artykuł IV (strony 85-96 rozprawy) jest kontynuacją badań nad wtryskiem ciekłego amoniaku do cylindra silnika dwupaliwowego. Silnik i stanowisko badawcze były zgodne z tym przedstawionym w Artykule III. Badania i analizy zawarte w tym opracowaniu oceniały, w jaki sposób konfiguracja i ograniczanie liczby dysz wtryskiwacza biodiesla wpływają na wskaźniki pracy, spalanie i emisję silnika. Badania eksperymentalne i rozbudowane obliczenia numeryczne CFD pozwoliły wybrać skuteczną konfigurację ograniczenia liczby dysz we wtryskiwaczu biodiesla, którą dalej zweryfikowano, zmieniając parametry wtrysku. Stan wiedzy wynikał z analizy 59 pozycji literaturowych odpowiednich dla poruszanej tematyki.

4.4. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej prezentowanej w rozprawie

Doktorant w swojej rozprawie skupił się na dwupaliowym silniku wysokoprężnym zasilanym amoniakiem i biodieslem oraz amoniakiem i olejem napędowym, co wpisuje się w obecny trend związany z dekarbonizacją źródeł napędu. Wszystkie z 4 artykułów wchodzących w skład rozprawy w swojej początkowej części zawierały wprowadzenie ukazujące stan wiedzy oparty na ok. 50 pozycjach literaturowych każdy. Widoczna jest duża swodoba, z jaką odnajdywane były szczegóły istotne dla rozprawy w cytowanych publikacjach. W sposób trafny charakteryzowano poruszaną tematykę i przedstawiano stan wiedzy teoretycznej, wskazywano lukę badawczą, precyzowano cele badań. Opracowanie układów zasialnia gazowym i ciekłym amoniakiem oraz dobór aparatury pomiarowo-kontrolnej wymagały szczegółowej analizy teoretycznej. Należy w tym miejscu podkreślić biegłość w wyjaśnianiu zjawisk i procesów wynikających z badań i ich konfrontacji z wynikami zawartymi w doniesieniach literaturowych. Godnym pochwały były wyjaśnienia związane z użyciem modelu jednowymiarowego do obróbki wyników eksperymentalnych w Artykułach I i II, gdzie, poza opisem w postaci tekstu pojawiły się również zależności matematyczne. Podobnie, w Artykułach III i IV w sposób szczegółowy i przejrzysty przedstawiono przebieg modelowania silnika przy użyciu narzędzi CFD ze wskazaniem głównych aspektów obliczeniowych w poszczególnych fazach procesu.

Na tej podstawie stwierdzam, że szeroki zakres prac oraz przeprowadzone badania doświadczalne i obliczenia przedstawione w recenzowanej rozprawie świadczą o wszechstronnej wiedzy teoretycznej mgr inż. Ebrahima Nadimi Karamjavana mieszczącej się w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

4.5. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Indywidualny udział Doktoranta i współautorów w powstanie każdego z 4 artykułów wchodzących w skład rozprawy zawarto w stosownych oświadczeniach w częściach końcowych tych prac. Dodatkowo mgr inż. Ebrahim Nadimi Karamjavan zamieścił opis swoich udziałów na stronie xi rozprawy doktorskiej. W każdym z 4 przedmiotowych artykułów był On współautorem koncepcji i metodologii oraz oprogramowania, przygotowywał i prowadził

badania, opracowywał i walidował wyniki, tworzył pierwotny tekst oraz nanosił poprawki. Artykuły zostały już recenzowane i opublikowane w renomowanych czasopismach, co wymagało dodatkowej pracy Doktoranta, pełniącego rolę autora korespondencyjnego. Również rozprawa doktorska stanowiąca opis osiągnięć uzupełniony o wymagane części formalne stanowi logiczną i spójną całość wykazującą powiązanie tematyczne artykułów wchodzących w jej skład. Bazując na oświadczeniach autorów artykułów wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że udział mgr inż. Ebrahima Nadimi Karamjavana w ich powstanie był dominujący.

Każdy z 4 artykułów wchodzących w skład rozprawy charakteryzuje logiczna chronologia, co może też wynikać z wymogów czasopisma. W początkowych częściach w sposób wyczerpujący przedstawiany jest stan wiedzy i wskazywane są luki badawcze, co stanowi podstawę do określenia celów badawczych. Widoczna jest duża dbałość o opis stanowiska badawczego i metodologii badań oraz sposobu prowadzenia obliczeń w każdym z przytoczonych w rozprawie wariantów. Tok badawczy i obliczeniowy opatrzony jest stosownym komentarzem, analizy wyników mają istotne odniesienia do wyników innych badaczy zawarych w doniesieniach literaturowych. Potwierdza to dojrzałe podejście Doktoranta w planowaniu i prowadzeniu badań oraz obliczeń. Należy podkreślić, że poza osiągniętymi, opisanymi w rozprawie celem naukowym i zadaniami badawczymi, dużą część pracy stanowiła modernizacja silnika do zasilania dwupaliwowego z oryginalnymi, zaproponowanymi przez Doktoranta układami zasilania, bez których przeprowadzenie badań nie byłoby możliwe. Wskazuje to na fakt, że rozprawa doktorska poza walorami naukowymi ma również potencjał aplikacyjny.

Na tej podstawie stwierdzam, że przeprowadzone badania, obliczenia i analizy oraz logiczne wnioskowanie przedstawione przez Doktoranta w recenzowanej rozprawie świadczą o umiejętności samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

4.6. Ocena oryginalności rozwiązań problemu naukowego

Jako cel rozprawy Doktorant postawił sobie opracowanie dwupaliwowego silnika o zapłonie samoczynnym wykorzystującego, poza paliwami inicjującymi spalanie, amoniak. Sformułował szereg zadań badawczych wpisujących się swoją treścią w cel rozprawy, będąc w korelacji z jej tematyką. Osiągnięcie celu, a przez to oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wymagało modernizacji istniejącego silnika wysokoprężnego do działania dwupaliwowego z niezależnym sterowniem, co wpisuje się również w aplikacyjność wyników. Zaproponowane rozwiązania układów zasilania amoniakiem pozwoliły na przeprowadzenie szeregu badań doświadczalnych, obliczeń i analiz odnoszących się do wskaźników energetycznych, ekonomicznych i ekologicznych, wypełniając lukę badawczą w tym obszarze. Oryginalność rozwiązania problemu naukowego polegała na opracowaniu i zbadaniu procesu zasilania silnika wysokoprężnego amoniakiem przy pozostawieniu dawki inicjującej spalanie w postaci biodiesla i oleju napędowego z użyciem dostępnych metod i środków. Przedstawione działania podkreślają zaangażowanie i biegłość Doktoranta w podejmowaniu złożonych wyzwań związanych z wykorzystaniem paliw alternatywnych w silnikach spalinowych.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy doktorskiej potwierdzających oryginalność rozwiązania problemu naukowego zaliczam:

- Opracowanie i realizację praktyczną układów wtryskowych amoniaku w postaci gazowej do portu dolotowego oraz w postaci ciekłej do cylindra dwupaliwowego silnika wysokoprężnego.
- Umiejętne użycie modelu 1D w analizie wyników badań eksperymentalnych.
- Opracowanie skutecznego modelu CFD badanego silnika, który po walidacji eksperymentalnej pozwolił na szczegółową ocenę procesową zasialnia i spalania w silniku dwupaliwowym.

- Wyznaczenie maksymalnych wartości energii wejściowej biodiesla i oleju napędowego, jakie można zastąpić amoniakiem w silniku dwupaliwowym.
- Wskazanie różnic w procesie spalania paliw inicjujących spalanie (biodiesla i oleju napędowego) z amoniakiem względem spalania bez amoniaku.
- Wskazanie drogi do zmiany parametrów funkcjonalnych dwupaliwowego silnika wysokoprężnego poprzez zmiany w obrębie wtryskiwacza paliwa inicjującego spalanie.

Na tej podstawie stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Ebrahima Nadimi Karamjavana stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Dodatkowo, opracowane układy zasilania i aplikacyjność wyników wchodzi w zakres oryginalnego rozwiązania w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

4.7. Uwagi odnoszące się do rozprawy

Pomimo, że recenzowana rozprawa doktorska prezentuje wysoki poziom merytoryczny, a artykuły naukowe wchodzące w jej skład były już recenzowane, poniżej zamieszczam kilka uwag/pytań uogólnionych i szczegółowych.

Pytania uogólnione:

1. Badania i analizy przedstawione w rozprawie prowadzono w ustalonych warunkach pracy silnika. W jaki sposób powinno się realizować stany przejściowe, które zasilanie ulegałoby zmianie i w jaki sposób?
2. Jaki wpływ na działanie proponowanego w opracowaniu silnika dwupaliwowego może mieć zmiana faz rozrządu?
3. Czy w ocenie Doktoranta zwiększony o dodatkową dawkę (dwa etapy) wtrysk paliwa inicjującego zapłon mógłby poprawić proces spalania i obniżyć hałas?
4. Dlaczego streszczenie w języku polskim nie znalazło się w rozprawie, a na stronie internetowej postępowania?

Pytania szczegółowe:

1. W opisie układu zasilania gazowym amoniakiem (Artykuł I i II) nie podano szczegółów dotyczących realizacji wtrysku amoniaku, czy zastosowano system wtrysku ciągłego, czy impulsowego?
2. Co Doktorant rozumie przez obciążenie pełne, 10 czy 3,5% obciążenia?
3. Z czego może wynikać różnica w wartościach współczynników zmienności COV w Artykule I i II przy dużych wartościach AES?
4. W punkcie 3.2 Artykułu I napisano o wzroście poziomu hałasu w efekcie spalania, które zasilanie Doktorant miał na myśli?
5. Spadek PRR (Artykuł II, opis pod rysunkiem 8) dla różnych warunków zasilania określa się mianem liniowego dla oleju napędowego i parabolicznego dla spalania dwóch paliw olej napędowy i amoniak, czy jest to poprawne, gdyż każdy z nich ma odcinek zbliżony do liniowego?
6. Czy model CFD przedstawiony w Artykułach III i IV uwzględniał kinematykę układu korbowo-tłokowego i bezwładność elementów mających wpływ na zmianę prędkości tłoka w cyklu?
7. Czy model CFD z Artykułów III i IV odzwierciedlał nieszczelności cylindra?
8. Dlaczego bezpośredni wtrysk ciekłego amoniaku do cylindra powodował niższą emisję NO_x w porównaniu do wtrysku gazowego amoniaku do portu dolotowego?

5. Podsumowanie

Pomimo uwag zawartych w recenzji rozprawy doktorskiej uważam, że przedstawione w niej badania, obliczenia i analizy prezentują wysoki poziom merytoryczny. Przeprowadzana walidacja eksperymentalna zaproponowanych w rozprawie modeli obliczeniowych w połączeniu z dogłębną analizą wyników badań i obliczeń daje podstawy do stwierdzenia osiągnięcia celu rozprawy w wyniku realizacji zadań badawczych. Należy podkreślić, że przeprowadzone przez Doktoranta działania zostały już udostępnione szerszej społeczności poprzez publikację w renomowanych czasopismach naukowych. Opracowane oryginalne układy zasilania w połączeniu z wynikami analiz mają również potencjał aplikacyjny. Badania mgr inż. Ebrahima Nadimi Karamjavana miały wsparcie finansowe udzielone przez fundusze norweskie i polskie w ramach projektu ACTIVATE, zatytułowanego „Amoniak jako bezemisyjne paliwo do pojazdów rolniczych napędzanych silnikami spalinowymi” (Kontrakt nr NOR/POLNOR/ACTIVATE/0046/2019-00) prowadzonego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w Polsce, w którym Doktorant był wykonawcą.

6. Wniosek końcowy

Opisane przez mgr inż. Ebrahima Nadimi Karamjavana w rozprawie doktorskiej „Experimental and numerical study on ammonia fueled compression ignition engine” osiągnięcia prezentują ogólną wiedzę teoretyczną, wykazując przy tym umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego związanego z użyciem amoniaku jako paliwa silnikowego neutralnego pod względem emisji dwutlenku węgla, mającego również potencjał aplikacyjny. Reasumując:

- stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustanie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r, poz. 742) i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.
- uważam, że zakres zagadnień poruszanych w rozprawie mieści się w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

dr hab. inż. Dariusz Szpica, prof. PB