

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Ebrahima Nadimi Karamjavana**

**pt. „Experimental and numerical study on ammonia fueled compression ignition engine”**

**opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska  
Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej**

Recenzowana rozprawa ma objętość 97 stron i zawiera 6 rozdziałów oraz wykaz publikacji stanowiących podstawę rozprawy, spis skrótów, spis rysunków, bibliografię (29 pozycji), streszczenie oraz dodatek zawierający pełne teksty czterech publikacji stanowiących podstawę rozprawy. Struktura ocenianej rozprawy doktorskiej opartej o publikacje jest prawidłowa, zawiera krótki wstęp, motywacje podjęcia tematu, cele badawcze, zakres pracy, syntetyczne omówienie publikacji oraz wnioski. Wszystkie cztery publikacje są wielo-autorskie (od 4 do 6), ale Doktorant jest we wszystkich pierwszym autorem i, zgodnie z zawartą w pracy deklaracją, ma w nich dominujący wkład merytoryczny i wykonawczy. Jeden artykuł jest opublikowany w prestiżowym czasopiśmie Energy (200 pkt. MEiN), pozostałe trzy w czasopismach zagranicznych o średnim prestiżu (po 100 pkt. MEiN)

### **1. Wybór tematu rozprawy**

Temat rozprawy został wybrany bardzo dobrze. Autor zajął się interesującym i aktualnym problemem wykorzystania amoniaku jako głównego paliwa w silnikach o zapłonie samoczynnym, z biodieslem lub dieslem jako paliwem pilotującym.

Wzrost emisji gazów cieplarnianych i ich wpływ na zmiany klimatyczne wymagają pilnego ograniczenia wykorzystania paliw kopalnych w silnikach spalinowych. Silniki te są źródłem emisji CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, PM i CO, które mają negatywny wpływ na zdrowie ludzkie i środowisko. Alternatywne paliwa bezemisyjne, takie jak amoniak, oferują potencjalne rozwiązanie problemu. Amoniak jest atrakcyjny ze względu na swoje właściwości jako nośnik wodoru i posiada dobrze rozwiniętą infrastrukturę produkcji i dystrybucji, co czyni go potencjalnym zamiennikiem paliw kopalnych, szczególnie w pojazdach ciężarowych, drogowych, rolniczych, kolejowych i morskich.

Celem recenzowanej pracy było badanie możliwości wykorzystania amoniaku jako alternatywnego bezwęglowego paliwa do silników o zapłonie samoczynnym.

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 jest zwięzła i składa się z rozdziału wstępnego przedstawiającego tło problematyki, motywację autora i cele pracy oraz czterech głównych rozdziałów odpowiadających czterem opublikowanym artykułom naukowym, które syntetycznie opisują eksperymentalne i numeryczne badania nad silnikami zasilanymi amoniakiem

Rozdział drugi opisuje modyfikacje jednocylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym z wtryskiem amoniaku do kanału dolotowego oraz wtryskiem biodiesla jako pilotującego paliwa zapłonowego. Przeprowadzone badania obejmowały ocenę wpływu różnych proporcji amoniaku i biodiesla na osiągi silnika i emisję składników spalin. Do badań zbudowano stanowisko badawcze z zaawansowanym systemem pomiarowym, który umożliwił dokładne monitorowanie parametrów pracy silnika.

W rozdziale trzecim Doktorant przedstawił model 1D do analizy osiąarów silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego amoniakiem. Model ten pozwolił na szczegółowe zbadanie wpływu różnych proporcji amoniaku do dawki pilotującej diesla pod kątem emisji spalin i osiąarów silnika.

Rozdział czwarty dotyczy wtrysku bezpośredniego ciekłego amoniaku z pilotującym wtryskiem biodiesla. Badano wpływ czasu wtrysku amoniaku oraz udziału energii amoniaku (AES) na spalanie, emisję i osiągi silnika. Wyniki badań eksperymentalnych i symulacyjnych CFD pozwoliły na określenie optymalnego czasu wtrysku amoniaku. Symulacje CFD dostarczyły szeregu cennych informacji na temat interakcji między strumieniami paliwa oraz efektu chłodzenia wywołanego przez wtrysk amoniaku.

Rozdział piąty koncentruje się na badaniu wpływu konfiguracji wtryskiwaczy biodiesla, czasu wtrysku oraz liczby dysz na osiągi, spalanie i emisję silnika CI z podwójnym wtryskiem amoniaku i biodiesla. Ze względu na małą masę wtryskiwanego biodiesla, różne konfiguracje dysz wtryskiwacza zostały zmodyfikowane przy użyciu technik spawania laserowego. Badania eksperymentalne i symulacyjne wykazały, że zmniejszenie liczby otworów wtryskiwacza poprawia proces wtrysku i spalania, a także redukuje szkodliwe emisje.

Rozdział szósty zawiera podsumowanie pracy, wnioski i rekomendacje.

## **3. Ocena rozprawy**

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

Praca zawiera także zaawansowane symulacje numeryczne 1D i CFD procesów wtrysku i spalania w silniku o zapłonie samoczynnym.

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.

Uzyskane wyniki potwierdzają przyjętą tezę pracy, tzn. wskazują, że amoniak może być skutecznym i ekologicznym zamiennikiem dla tradycyjnych paliwa kopalnych, pod warunkiem optymalizacji procesów spalania i konfiguracji wtryskiwaczy.

Praca dostarcza szeregu wartościowych, oryginalnych wyników pomiarowych i interpretacji zjawisk, będących rezultatem solidnej i wytrwałej pracy naukowej. Autor zastosował standardowe, ale odpowiednie metody badawcze, i wydaje się, że wydobył wszystkie informacje zawarte w wynikach. Dyskusja wyników jest pogłębiona i poprawna.

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

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

Oceniana rozprawa doktorska jest oryginalna i wartościowa merytorycznie ze względu na wnikliwą analizę eksperymentalną i numeryczną ważnego zagadnienia zasilania amoniakiem silnika tłokowego o zapłonie samoczynnym z pilotującą dawką biodiesla.

Uzyskane wyniki badań stanowią cenny wkład w rozwój technologii napędów ekologicznych, co ma kluczowe znaczenie w kontekście globalnych działań na rzecz ochrony klimatu. Rekomendacje na przyszłość obejmują dalsze badania nad różnymi konfiguracjami wtryskiwaczy oraz badanie wpływu podziału wtrysku paliwa na emisje i osiągi silnika.

W mojej opinii największą wartość naukową mają:

- modyfikacje jednocyldrowego silnika tłokowego o zapłonie samoczynnym w celu umożliwienia wtrysku gazowego amoniaku do kolektora dolotowego oraz bezpośredniego wtrysku ciekłego amoniaku do cylindra;
- wykazanie, że zastosowanie amoniaku jako głównego paliwa w silniku ZS z pilotującą dawką biodiesla znacząco redukuje emisję CO<sub>2</sub>, ale generuje wyższy poziom emisji NO<sub>x</sub>, co wymaga optymalizacji parametrów wtrysku;
- opracowanie zwalidowanych modeli numerycznych 1D i 3D CFD, które umożliwiają dokładne symulacje wtrysku i spalania amoniaku w silniku i przewidywanie temperatur i emisji;
- wykazanie, że optymalizacja parametrów wtrysku amoniaku i biodiesla może znacząco poprawić osiągi silnika i zredukować emisje.

#### 4. Pytania i uwagi szczegółowe

1. Istotnym niedociągnięciem rozprawy jest brak solidnego przeglądu stanu wiedzy na temat wykorzystania amoniaku jako paliwa silnikowego i usytuowania na tym tle celów naukowych rozprawy. Skrótowe z konieczności przeglądy literatury zawarte we wstępach publikacji autora częściowo to rekompensują, ale nie w pełni.
2. str.9 – rosnąca dawka NH<sub>3</sub> obniża temperaturę, a jednocześnie rośnie emisja NO, jak to wyjaśnić w świetle mechanizmu termicznego Zeldovicha?;
3. str.13 – mechanizm Zeldovicha został opracowany przez Zeldovicha, nie przez Pattasa i Hafnera, którzy go zastosowali;
4. str. 14 – „Figure 3.3 illustrates the approximation of a heat release profile of a diesel engine using a vibration function” – co to za funkcja i na czym polega ta aproksymacja?

5. str. 18 – “The test was carried out to determine the maximum diesel that can be replaced with ammonia” – czegoś tu brakuje w zdaniu;
6. str. 18 – prędkość spalania laminarnego mieszaniny  $\text{NH}_3$ -pow. jest mała (8 cm/s), dlaczego ze wzrostem udziału amoniaku czas spalania zmniejszał się?
7. str. 18 – „changed the combustion mode from diffusion combustion in pure diesel operation to premixed combustion in dual fuel mode” – to nie jest prawda, skąd te spekulacje, jakie są na to dowody badawcze?

#### **4. Usterki edytorskie**

1. str. XVII – skróty powinny być ułożone alfabetycznie;
2. str. 1 - co to jest „sociometric mixture”?
3. bibliografia – trochę bałaganu, raz inicjał imienia, potem pełne imię, w niektórych pozycjach brak numeru tomu i stron

#### **5. Wniosek końcowy**

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

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

Praca jest 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 badania doświadczalne i numeryczne na podstawie których sformułował wartościowe naukowo wnioski.

Doktorant wykazał opanowanie warsztatu naukowego i umiejętność prowadzenia samodzielnych doświadczalnych i numerycznych 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 środowiska, górnictwo i energetyka, spełnia, co do zakresu, nowości i jakości naukowej, wymagania obowiązującej Ustawy o stopniach i tytułach naukowych i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.