



Prof. Dr. techn. Dipl. Ing. Jan Czerwinski  
Laboratorium Silników Spalinowych  
i Techniki Gazów Wydechowych (AFHB)  
Bern University of Applied Sciences,  
Department Technics and Informatics  
CH-2500 Biel-Bienne, Szwajcaria

Port, 10.05.2022

## **RECENZJA** **Rozprawy doktorskiej MSci Joseph Woodburn**

# **Exhaust emissions of ammonia from spark ignition engines fitted with three-way catalytic converters under transient operating conditions**

**Emisja amoniaku w spalinach silników o zapłonie iskrowym wyposażonych w trójfunkcyjne reaktory katalityczne w dynamicznych warunkach eksploatacji**

**Podstawa opracowania:** pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Transportu Politechniki Poznańskiej, Umowa o Dzieło DR-63/637/2/2022, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

### **1. PODJĘCIA TEMATU ROZPRAWY**

Motoryzacyjne skażenie środowiska naturalnego jest częścią globalnej problematyki ekologicznej i jest przedmiotem wielu działań współczesnego człowieka już od dawna. Od półwiecza odnotowuje się jednak wyraźne działanie legislacyjne, głównie w zakresie ograniczania emisji związków szkodliwych ze spalinami silników. Odpowiednie przepisy prawne wymuszają działania technologiczne, przy czym pierwsze zaostwiają się z upływem czasu, drugie są coraz bardziej złożone i kosztowne. Są jednak uzasadnione ciągłym wzrostem liczby użytkowanych samochodów. Prognozy wskazują, iż o ile nie wystąpią wydarzenia, które trudno przewidzieć, to nadal będzie się zwiększać mobilność społeczności światowej, a zapotrzebowanie na transport miejski będzie rosło, co spowoduje naciski państw na dalsze ograniczanie emisji związków szkodliwych do atmosfery oraz zmniejszanie zużycia paliwa.

Obecnie największe problemy występują w zakresie emisji tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ) oraz emisji cząstek stałych, określanych masowo PM (Particle Mass) i liczbowo PN (Particle Number). Są jednak różne tzw. nielimitowane składniki emisji, których znaczenie i konieczność ograniczenia wzrastają w miarę przyrostu motoryzacji i rozwoju techniki obróbki gazów spalinowych. Jednym z najważniejszych tych składników jest amoniak.



Przedmiotem pracy jest zjawisko obecności amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) w spalinach emitowanych z układów wylotowych pojazdów drogowych wyposażonych w silniki spalinowe o zapłonie iskrowym (ZI) oraz w trójfunkcyjne reaktory katalityczne (ang. TWC).

Pierwsze doniesienia na temat obecności  $\text{NH}_3$  w spalinach silników ZI pojawiły się w literaturze naukowej już około pięćdziesiąt lat temu. Pomimo że  $\text{NH}_3$  jest naturalnym składnikiem atmosfery, gaz ten uważany jest za szkodliwy. W większości badań i raportów z ostatnich lat stwierdzono, że emisja  $\text{NH}_3$  z pojazdów z silnikami ZI ma duże znaczenie dla środowiska, w szczególności dla jakości powietrza w miastach.

W obecnym czasie wzmożonych dyskusji na temat dalszych ograniczeń emisji szkodliwych i w tym amoniaku, nie ulega wątpliwości, iż tematyka ocenianej rozprawy, jej cele i zakres są wybrane wyjątkowo trafnie i to zarówno ze względu na aspekt naukowy jak i użyteczny.

## 2. STRUKTURA PODZIAŁU TREŚCI ORAZ OCENA STRONY METODYCZNEJ ROZPRAWY

Opiniowana rozprawa doktorska jest opracowaniem o charakterze doświadczalnym, opartym w zasadniczej części na badaniach własnych.

Całość opracowania obejmuje 149 stron skonfigurowanych po angielsku w formacie jednostronnego tekstu A4, łącznie ze spisem treści, alfabetycznym wykazem skrótów i spisem pozycji literaturowych. Praca jest odpowiednio ilustrowana tabelami, rysunkowymi schematami i wykresami. Wyniki badań i analiz są głównie zaprezentowane w postaci tabelarycznej i na wykresach, co czytelnie i jasno przedstawia i porównuje uzyskane wyniki i ułatwia sformułowanie wniosków. Całość pracy została podzielona na 6 rozdziałów, które przeważnie składają się z wielu podrozdziałów i punktów tematycznych.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie w tematykę rozprawy, uzasadniając potrzebę prac w zakresie systematycznego obniżania emisji szkodliwych ze szczególnym uwzględnieniem emisji amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) z nowoczesnych samochodowych układów napędowych. Inne poruszone tematy tego rozdziału są: rola amoniaku jako antropogenicznego zanieczyszczenia środowiska, amoniak jako reaktywny związek azotu (RNC – reactive nitrogen compounds) i koncepcja jego analizy, regulacja i kontrola emisji spalin z silników o zapłonie iskrowym stosowanych w transporcie drogowym, włącznie z koncepcją regulacji RNC.

Rozdział 2 formułuje cele i zakres pracy, którymi są: synteza aktualnego stanu wiedzy na ten temat oraz przedstawienie wyników badań eksperymentalnych uzyskanych poprzez szczegółowe badania układów napędowych z zapłonem iskrowym i ich emisji  $\text{NH}_3$ .

Rozdział 3 stanowi obszerny przegląd literatury ze szczegółowymi informacjami na temat podstawowych źródeł emisji  $\text{NH}_3$  i możliwych przyczyn leżących u podstaw ich zmienności. Rozdział ten podzielono na dziesięć tematów, z których przykładowo można wspomnieć następujące:

- Przegląd najważniejszych badań historycznych,



- Wielkość emisji  $\text{NH}_3$  w spalinach,
- Wpływ konstrukcji i charakterystyki układu napędowego na emisję  $\text{NH}_3$ ,
- Wpływ temperatury otoczenia, rodzaju paliwa i parametrów reaktora katalitycznego (TWC – three way catalyst) na emisję  $\text{NH}_3$ ,
- Wpływ parametrów pracy układu napędowego, oraz parametrów eksploatacyjnych pojazdu na emisję  $\text{NH}_3$ ,

Studium literatury zostało przeprowadzone w sposób wyczerpujący i kompetentny.

Treść rozdziału 4 zajmuje się ilościowym określaniem emisji  $\text{NH}_3$  w kontekście motoryzacyjnym. Opisane są: typy analizatorów do ilościowego oznaczania stężenia  $\text{NH}_3$  w środowisku gazowym, wymagania stawiane tym analizatorom, oraz problemy związane z pomiarami amoniaku w motoryzacji.

Rozdział 5, niezwykle istotny dla oceny merytorycznej rozprawy, dotyczy części eksperymentalnej zrealizowanej w ramach przyjętego zakresu pracy. Całość rozdziału liczy 54 strony a jego treść podzielono na 12 podrozdziałów, odpowiadających środkom zastosowanym do realizacji zadań badawczych, oraz wynikom i dyskusji.

Najważniejsze, eksperymentalnie opracowane tematy to:

- Porównanie średnich stężeń  $\text{NH}_3$  w spalinach pojazdów,
- Charakterystyka emisji  $\text{NH}_3$  z najnowszych pojazdów o układach napędowych jazdy nie hybrydowych,
- Badanie emisji  $\text{NH}_3$  z pojazdów o niskiej emisji zanieczyszczeń w bardziej wymagających warunkach,
- Badanie emisji  $\text{NH}_3$  z pojazdów o niskiej emisji zanieczyszczeń w mniej wymagających warunkach jazdy,
- Badanie gwałtownych wzrostów  $\text{NH}_3$  związanych z wyłączeniem aktywności TWC,
- Badanie wpływu na emisję  $\text{NH}_3$  podczas procedur testowych zimnego rozruchu,
- Badanie wpływu stanu naładowania akumulatora i rozgrzania układu napędowego na emisję  $\text{NH}_3$  z pojazdów hybrydowych,
- Badania emisji  $\text{NH}_3$  z silnika HD CNG.

Celowość podjęcia tematu badań, sformułowanie celu i tez rozprawy oraz przyjętego zakresu badań eksperymentalnych i metodyki ich realizacji są bardzo dobrze uzasadnione.

W rozdziale 6 autor naświetla trafnie wnioski z różnych punktów widzenia: ogólne, szczegółowe, metodologiczne, utylitarne, lub perspektywiczne. Daje też ogólne uwagi o perspektywach kontroli legislacyjnej emisji  $\text{NH}_3$  z pojazdów drogowych, oraz odpowiednie podsumowanie.

W podsumowaniu pracy i sformułowanych wnioskach Doktorant w syntetyczny sposób przedstawił całościowy przebieg badań, uzyskane wyniki i ich interpretację.

Całość opracowania zamyka bibliografia cytowana w pracy, obejmująca 345 pozycji w tym: publikacji, artykułów konferencyjnych, dyrektyw i norm światowych, unijnych i krajowych.

Biorąc pod uwagę układ całości pracy i strukturę podziału treści na poszczególne rozdziały, podrozdziały i punkty tematyczne uważam, że metodycznie jest to układ poprawny i spełnia



wymagania prac o charakterze doświadczalnym. Struktura podziału treści odpowiada przyjętym przez Autora celom rozprawy, co warunkowało uzyskanie efektu końcowego w postaci potwierdzenia sformułowanych tez.

Całościowe spojrzenie na pracę z uwzględnieniem ogromnego studium literatury, oraz ilości przeprowadzonych testów, uzyskanych wyników, a także poniesione przy tym ogromne koszty uzmysławiają jak wielkiego wysiłku i zaangażowania wymagało jej wykonanie.

### **3. OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY I UWAGI SZCZEGÓŁOWE**

Pod względem merytorycznym i metodycznym pracę oceniam wysoko – zawiera ona nieliczne niedociągnięcia i usterki, które nie rzutują na ogólną ocenę pracy. Układ logiczny rozprawy odpowiada tokowi przeprowadzanych analiz i badań (analiza problemu – postawienie tez – badania i ich weryfikacja w rzeczywistych warunkach – wnioskowanie) i jest typowym, klasycznie prawidłowym metodycznie ciągiem czynności badawczych, zapewniającym klarowny układ treści pracy bez luk i powtórzeń. Autor przeprowadził eksperymenty mające wartość zarówno naukową jak i utylitarną.

Wielką wartością tej pracy jest wyczerpujące studium literatury, stanowiące dogłębne wprowadzenie i przygotowanie. Problemy: bieżącej emisji amoniaku  $\text{NH}_3$  (także statystycznie), mechanizmów powstawania w silnikach różnych typów (w tym hybrydowych), wpływu działających kolektywów roboczych oraz właściwości technicznych katalizatorów trójdrożnych itp. zostały przez autora podzielone na logiczne podproblemy, zarówno w części teoretycznej, jak i doświadczalnej, oraz dogłębnie przeanalizowane i omówione.

Jako bardzo cenne należy podkreślić uwzględnienie licznych pojazdów w różnym wieku i o różnym stanie technicznym, w tym pojazdów hybrydowych i pojazdów użytkowych z silnikami o zapłonie iskrowym. Bardzo interesujące i przydatne są również rozważania dotyczące historii problemu amoniaku oraz sytuacji i perspektyw prawnych.

Uzyskany w wyniku zrealizowania niniejszej rozprawy bogaty materiał badawczy pozwolił na poszerzenie wiedzy o poznawcze i szczegółowe elementy w zakresie ograniczenia emisji amoniaku  $\text{NH}_3$ . Biorąc pod uwagę aspekt naukowy rozprawy i realną możliwość wykorzystania wyników w praktyce gospodarczej, za istotny dorobek Doktoranta należy uznać, wszechstronną analizę i rozszerzenie obecnego stanu wiedzy w tej dziedzinie. Autor wykazał kompetencje interdyscyplinarne opracowując złożone tematy zarówno z dziedziny silnikowo-pojazdowej, jak też fizykochemicznej i badawczej.

W tak obszernym zakresie przeprowadzonych badań oraz trudnych problemowo zagadnień, który jest przedmiotem recenzowanej pracy, nie sposób jest oczywiście uniknąć pewnych błędów i niejasności, jak też błędów stylistycznych, lub formalnych, które nasuwają się podczas czytania treści rozprawy. Podaję następujące:



- W spisie treści, rozdz. 1.4, skrót "RNC" powinien być również podany dla "reactive nitrogen compound", ponieważ po raz pierwszy pojawia się on w tekście.
- W spisie treści, rozdz. 3.9, wolny podtytuł powinien być lepiej sformatowany.
- Sugeruje się wprowadzenie poprawek do objaśnień rysunków 16 i 26.
- W niektórych miejscach tekstu występują błędy literowe i powtórzenia wyrazów, które należy poprawić pod względem stylistycznym.

Szczegółowe objaśnienia zostały przedstawione w formie elektronicznej.

Biorąc pod uwagę znaczną objętość rozprawy, w której występuje duża ilość tekstu, tabel i materiału ilustrowanego, wymienione powyżej błędy o charakterze formalnym, lub redakcyjnym absolutnie nie mają wpływu na jej wartość poznawczą i użyteczną.

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Autor rozprawy doktorskiej podjął się bardzo trudnego i ambitnego zadania, które dostarcza bardzo ważnych i przydatnych impulsów w dzisiejszej, częściowo kontrowersyjnej, dyskusji na temat dalszego ograniczania emisji zanieczyszczeń z pojazdów i w tym amoniaku  $\text{NH}_3$ .

Należy podkreślić, że z tak trudnego zadania Doktorant wywiązał się w sposób poprawny. Wykazał się umiejętnością prowadzenia trudnych eksperymentów badawczych oraz adekwatnym formułowaniem problemów naukowych. Metodologię realizacji badań oraz uzyskane wyniki uważam za właściwe i przekonujące. Wnioski wynikające z realizacji przyjętego zakresu badań mają wartość poznawczą i użyteczną. Z przekonaniem stwierdzam, że zasadnicze cele pracy zostały osiągnięte.

Podsumowując wyrażam opinię, że rozprawa doktorska Pana Josepha Woodburna „Emisja amoniaku w spalinach silników o zapłonie iskrowym wyposażonych w trójfunkcyjne reaktory katalityczne w dynamicznych warunkach eksploatacji” (promotor prof. dr. hab. inż. Jerzy Merkisz) spełnia wymagania określone dla tego typu prac zgodnie z Ustawą z 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r., nr 65, poz. 595, z późn. zm.) w zw. z art. 179 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2020.1086 z późn. zm.). Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę wartość merytoryczną rozprawy, jej walory naukowe, poznawcze oraz realną możliwość aplikacji wyników badań w ustawodawstwie i w przemyśle silnikowym, wnioskuję o jej wyróżnienie.

**Abgasprüfstelle und Motorenlabor (AFHB)**  
Berner Fachhochschule Technik und Informatik

Prof. Dr. Jan Czerwinski