

Bielsko-Biała, 10.12.2019 r.

**dr hab. inż. Antoni Świątek**

Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL

43-300 Bielsko- Biała

Ul. Sami Stok 93

## **O C E N A**

### **rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba Dzidy pt. „Wpływ dezaktywacji reaktora selektywnej redukcji katalitycznej na konwersję szkodliwych związków spalin silnikowych”.**

**podstawa opracowania:** pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej nr M.00-520-203/2019 z dnia 07.10.2019, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

#### **1. Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej.**

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. Inż. Jakuba Dzidy zawiera 107 stron druku formatu A4, w tym 20 rysunków, 120 wykresów, 13 tabel oraz 6 fotografii. Na początku rozprawy zamieszczono wykaz symboli i oznaczeń, a na końcu wykaz literatury zawierający 77 pozycji. Rozprawa podzielona została na 13 rozdziałów oraz 37 podrozdziałów. Na końcu autor zamieścił streszczenie w języku polskim i angielskim.

Autor w rozprawie postawił sobie dwa cele: naukowy i użytkowy.

Naukowym celem badawczym pracy jest określenie wpływu dezaktywacji reaktora SCR w wyniku jego eksploatacji, na emisję szkodliwych związków spalin, ze szczególnym uwzględnieniem emisji tlenku azotu  $\text{NO}_2$ , podtlenku azotu  $\text{N}_2\text{O}$  oraz amoniaku  $\text{NH}_3$ .

Celem zaś użytecznym pracy jest określenie, które z czynników charakteryzujących reaktor mają największy wpływ na zwiększenie  $\text{NO}_x$  w trakcie jego eksploatacji. Z uwagi na rakotwórcze działanie niektórych tlenków azotu istnieje duże zapotrzebowanie na nowe metody ograniczenia ich emisji. Dużą rolę w tym ma prawne ograniczenie i wyznaczanie dopuszczalnych limitów emisji.

Autor dysertacji obszernie przedstawił proces tworzenia się i emisji szkodliwych produktów spalania. Wskazał na warunki, w których powstają poszczególne szkodliwe produkty spalania zarówno dla silników z zapłonem iskrowym jak i samoczynnym, zasilanych paliwami płynnymi lub sprężonym gazem ziemnym CNG. Zwrócił uwagę na optymalizację procesu spalania, a także na działania konstrukcyjno regulacyjne takie jak: optymalizacja kształtu komory spalania, rozwój układów zasilających komorę spalania w powietrze i paliwo, regulacje pracy silnika w całym jego zakresie obszaru pracy. Nie pominięto także istotnych zagadnień związanych z recyrkulacją spalin EGR. Istotną częścią pracy (3 rozdział) jest przedstawienie metod oczyszczania spalin silników z zapłonem samoczynnym. Spalanie w tych silnikach odbywa się z dużym nadmiarem powietrza, co uniemożliwia zachowanie reakcji redukcji pomiędzy  $\text{NO}$  a  $\text{HC}$  i  $\text{CO}$  w reaktorze TWC czyniąc jego stosowanie nieuzasadnionym, a jego rola ogranicza się jedynie do funkcji utleniania.

Efektywne oczyszczanie spalin ze wszystkich składników szkodliwych jest zagadnieniem złożonym. Dlatego współczesne układy oczyszczania spalin silników są rozbudowanymi urządzeniami zawierającymi odrębne komponenty odpowiedzialne za ograniczenie emisji poszczególnych składników. Do nich należą: katalityczny reaktor utleniający (DOC), katalityczny reaktor absorpcyjny (LNT) oraz katalityczny filtr cząstek stałych (DPF). Wszystkie te komponenty zostały szczegółowo opisane w podrozdziałach 3.2, 3.3 oraz 3.4. Cechą wspólną tych rozwiązań jest duży stopień skomplikowania oraz zbyt mała, niesatysfakcjonująca sprawność konwersji. Dlatego też autor zajął się w swojej dysertacji problemami z selektywną redukcją katalityczną. Metoda ta polega na wybiórczym zmniejszeniu energii aktywacji reakcji zachodzących pomiędzy  $\text{NO}_x$ , a amoniakiem  $\text{NH}_3$ . Odbywa się to drogą dostarczenia amoniaku do spalin wylotowych oraz zastosowania reaktora katalitycznego o odpowiedniej selektywności. W motoryzacji warstwą aktywną reaktora SCR stanowi na ogół tlenek wanadu  $\text{V}_2\text{O}_5$  lub zeolity wzbogacone  $\text{Cu}$  lub  $\text{Fe}$ .

W podrozdziale 4.2 autor szczegółowo opisał chemiczne reakcje selektywnej redukcji katalitycznej. Zwrócił uwagę na pozytywne i negatywne skutki niektórych reakcji na działanie systemu SCR, np. reakcji utleniania  $\text{NH}_3$ , która ma negatywny wpływ na pracę

systemu SCR poprzez zmniejszenie sprawności konwersji.

W rozdziale 4.3 omówiono rodzaje i własności reaktorów selektywnej redukcji katalitycznej. Przeanalizowano zalety i wady platyny, tlenku wanadu oraz zeolitów wzbogaconych Cu i Fe. Zeolity mają jeszcze właściwości magazynowania wybranych związków chemicznych np. amoniaku w swojej strukturze. Mechanizm tego zjawiska autor dokładnie opisał na stronach 18-20 dysertacji.

W podrozdziale 4.6 autor opisał układy SCR stosowane w pojazdach. Problemem logistycznym w zabudowie systemu SCR w pojazdach jest, wydawało by się, prosty problem zabudowy zbiornika na wodny roztwór amoniaku UWS.

W swojej dysertacji autor przeprowadził badania SCR do silników maszyn niedrogowych( podrozdział 6.1) oraz maszyn trakcyjnych (podrozdział 6.2). W przypadku silników do maszyn niedrogowych, silnik wraz z układem oczyszczania spalin został umieszczony na laboratoryjnym stanowisku hamownianym, gdzie możliwe były pomiary:

- emisji gazowych związków spalin za układem ATS dla reaktora SCR postarzonego
- kontrolowane starzenia reaktora SCR
- pomiar emisji gazowych związków spalin za układem ATS dla reaktora SCR postarzonego.

Układ pomiarowy dla maszyn drogowych był podobny do powyższego. Różnica polegała na tym, że system posiadał dodatkowy filtr cząstek stałych DPF umiejscowiony bezpośrednio za reaktorem DOC.

Stanowisko pomiarowe wyposażone było w dynamiczny hamulec DynoExact 504/5 produkcji AVL o mocy max 500 kW i momencie max 3000 Nm. Stanowisko zostało zainstalowane w Zakładzie Badań Silników Instytutu Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL w Bielsku-Białej. Układy pomiarowe wyposażone zostały między innymi w analizatory CLD, LDD, NDIR.

W badaniach przyjęte zostały cykle pomiarowe:

- a) cykl stacjonarny NRSC CL RMC. Cykl ten jest częścią procedury homologacyjnej silników do maszyn niedrogowych użytkowanych w obszarach, gdzie obowiązują regulacje EPA.
- b) cykl niestacjonarny NRTC, gdzie w badaniach uwzględniono metodykę EPA. Badania w tym cyklu dla silników maszyn niedrogowych.
- c) cykl niestacjonarny WHTC, dla pojazdów ciężarowych w warunkach nieustalonych.

W kolejnym (8.4) podrozdziale podano zależności do obliczeń emisji wybranych składników szkodliwych. Podano także zależności dodatkowych parametrów opisujących

pracę silnika, takich jak: chwilowa wartość konwersji  $\text{NO}_x$ , całkowita sprawność konwersji, stężenie  $\text{NO}_2$  za reaktorem SCR, wydatek emitowanego  $\text{NO}_x$  za ATS oraz zależność na masę dostarczonego UWS w trakcie cyklu pomiarowego oraz masę  $\text{NO}_x$  wyemitowanego za układem ATS.

W rozdziale 9 dysertacji przeprowadzono analizę mechanizmów dezaktywacji reaktorów SCR typu zeolitowego.

Przeanalizowano przypadki dezaktywacji odwracalnej, nieodwracalnej, hydrotermalnej, a także dezaktywację związkami siarki, dezaktywację chemiczną oraz osadami mocznika.

W rozdziale 10 przeanalizowano procedury starzenia reaktorów SCR.

Opisane są tam procedury starzenia reaktorów SCR do maszyn niedrogowych i pojazdów ciężarowych.

Analizę wyników przeprowadzono w rozdziale 11. Badania wykonano dla nowego i postarzonego reaktora SCR w cyklach NRSC i NRTC. W przypadku maszyn niedrogowych rozrzut wyników jednostkowej emisji  $\text{CO}_2$  w obu cyklach zawierał się poniżej 1%, co świadczy o dużej powtarzalności testów, która jest wymagana w badaniach porównawczych.

Zauważalnym zjawiskiem jest duża sprawność konwersji  $\text{NO}_x$ , przekraczająca 99% dla obu reaktorów (nowego i postarzonego), w stanach stabilnego obciążenia tlenkami azotu, występujących pomiędzy 800 a 900 sekundą fazy. Po tym okresie cykl miał przebieg bardziej dynamiczny i ponownie zanotowano mniejszą sprawność konwersji  $\text{NO}_x$  dla reaktora postarzonego.

W podrozdziale 11.3 oraz 11.4 opisano badania reaktora SCR dla pojazdów ciężarowych w obydwu cyklach czyli WHSC oraz WHTC.

Badania tak jak poprzednio wykonano dla reaktora nowego oraz postarzonego. Podobnie jak w przypadku starzenia wykonanego dla reaktora SCR do silników maszyn niedrogowych, zauważono wyraźnie zmniejszenie sprawności konwersji  $\text{NO}_x$  w wyniku starzenia reaktora.

Na wykresach 11.7, 11.8 przedstawiono przebieg wybranych parametrów w czasie cyklu WHSC, natomiast na wykresie 11.9 pokazano stężenie  $\text{N}_2\text{O}$  za układem ATS w funkcji temperatury spalin przed reaktorem SCR w cyklu WHSC. W ostatnim kroku cyklu, przy pracy silnika na biegu jałowym, zanotowano zmniejszenie sprawności konwersji  $\text{NO}_x$  przez nowy reaktor SCR. W spalinach pojawiło się  $\text{NO}_2$  i zjawisku temu towarzyszyło znaczące zmniejszenie konwersji  $\text{NO}_x$ , które wynosiło w większości poniżej 25%. Dla reaktora postarzonego sprawność konwersji wynosiła blisko 90% w całym kroku.

W opracowaniu przedstawiono również badania reaktora SCR do pojazdów ciężarowych w cyklu WHTC. Emisja  $\text{NO}_x$  w fazie zimnej cyklu nieznacznie się różniła (ok

1%) dla reaktora nowego i postarzonego. W przypadku postarzonego reaktora SCR przekroczony został limit emisji NO, obowiązujący dla EURO VI i wynoszący 0,460 g/kWh. Końcowa sprawność konwersji NO<sub>x</sub> uzyskana w cyklach WHTC wyniosła 96,1% i 90,5% odpowiednio dla reaktora nowego i postarzonego, pogorszenie sprawności wynosiło tu 6%. Szczegółowe wyniki poszczególnych faz oraz końcowe wyniki cyklu WHTC przedstawiono w tabeli 11.4 (str.79) oraz na wykresach 11.10, 11.11. Na rys. 11.12 przedstawiono sprawność konwersji NO<sub>x</sub> w funkcji stężenia NO<sub>2</sub> za układem ATS w zimnej fazie cyklu WHTC.

W rozdziale tym szczegółowo przeanalizowano stężenia N<sub>2</sub>O za układem ATS w funkcji temperatury, wyniki pokazano na rys. 11.13.

Przebiegi wybranych parametrów w czasie fazy cyklu WHTC przedstawiono na rys. 11.14 oraz 11.15, natomiast sprawność konwersji NO<sub>x</sub> w funkcji stężenia NO<sub>2</sub> za układem ATS w ciepłej fazie cyklu WHTC pokazano na rys. 11,16. W przypadku fazy ciepłej cyklu WHTC stwierdzono niedużą wartość maksymalnego stężenia NO<sub>2</sub> za postarzonym reaktorem SCR, przez co jego wpływ na uzyskiwaną sprawność konwersji NO<sub>x</sub> był nieduży. W teście nowego reaktora SCR, stężenie NO<sub>2</sub> w spalinach za układem ATS uzyskało maksymalną wartość (205ppm), co przedłożyło się na małą sprawność konwersji wynoszącą mniej niż 10%.

Zauważono także emisję NH<sub>3</sub> za układem ATS w testach obu reaktorów SCR.

Z badań tych wynikają następujące wnioski:

— odnośnie emisji NO<sub>x</sub>

Emisja szkodliwych związków spalin wg Tier 4 ( przepisy federalne USA) oraz EURO VI (przepisy europejskie) wymaga zastosowania wydajnego układu oczyszczania spalin z tlenków azotu. Najlepszą metodą pod względem wydajności, złożoności, kosztów produkcji i eksploatacji jest selektywna redukcja katalityczna tlenków azotu, w której czynnikiem redukcyjnym jest amoniak. Stąd układy oczyszczania spalin silników maszyn niedrogowych oraz pojazdów użytkowych są powszechnie wyposażone w system SCR. System ten cechuje duża sprawność konwersji NO<sub>x</sub>, która średnio może wynosić 98%, a chwilowo uzyskać sprawność wynoszącą 100%. Należy także stwierdzić, że przyjęte procedury starzenia wykazały jednoznaczne zmniejszenie sprawności konwersji NO<sub>x</sub> w każdym rozpatrywanym przypadku. Potwierdzono także założenie, że zimne rozruchy o dużej częstotliwości wpływają negatywnie na żywotność reaktora SCR.

— odnośnie emisji NO i NO<sub>2</sub>

W dużej części cykli pomiarowych stężenie NO było równe lub bliskie równemu stężeniu NO<sub>x</sub>, co świadczyło o małej zawartości NO<sub>2</sub> w spalinach za ATS. Zanotowano jednak

znaczące zmniejszenie sprawności konwersji  $\text{NO}_x$  w okresach występowania większej wartości stężenia  $\text{NO}_2$ . Zauważono to zarówno w przypadku reaktora nowego i postarzonego. Cechą reaktorów SCR jest zdolność magazynowania  $\text{NO}_2$  co powoduje zmniejszenie sprawności konwersji  $\text{NO}_x$ . W nowych reaktorach zdolności magazynowania  $\text{NO}_2$  jest większa niż reaktorach postarzonych, wobec tego możliwym jest uzyskanie stanów pracy w których ten reaktor cechuje mniejsza sprawność konwersji  $\text{NO}_x$ , niż reaktor postarzony.

— odnośnie emisji  $\text{NH}_3$

Stwierdzono, że starzenie reaktora powoduje zwiększenie emisji  $\text{NH}_3$  do atmosfery, za układem, co pokazały wszystkie cykle pomiarowe. Część amoniaku uwolnionego z UWS nie wzięła udziału w reakcji z  $\text{NO}_x$  i wydostała się do atmosfery.

— odnośnie emisji  $\text{N}_2\text{O}$

Pomiar tego parametru jest bardzo ulotny, ponieważ starzenie reaktora wykazało znaczący wpływ na jego ( $\text{N}_2\text{O}$ ) emisję. Podtlenek azotu  $\text{N}_2\text{O}$  jest gazem cieplarnianym, stąd jego emisja jest ważna dla ekologii środowiska. Niestety jego emisja nie jest limitowana prawnie. Ponieważ normy amerykańskie EPA wymagają pomiaru emisji  $\text{N}_2\text{O}$  podczas testów homologacyjnych, w przyszłości należy liczyć się z wprowadzeniem limitu do przepisów homologacyjnych.

W rozdziale 12.2 przeanalizowano wpływ dezaktywacji reaktora SCR na wskaźniki opisujące jego pracę. Są to następujące wskaźniki:

— Zdolność magazynowania amoniaku

Zarówno w przypadku reaktora do maszyn niedrogowych jak i reaktora do pojazdów ciężarowych zauważono zmniejszenie zdolności magazynowania amoniaku w wyniku starzenia reaktora. Zjawisko jest szczególnie widoczne w testach statycznych. Generalnie przyjmuje się, że zmniejszenie zdolności magazynowania amoniaku jest ulotnym parametrem zmniejszającym sprawność konwersji  $\text{NO}_x$  w cyklach dynamicznych.

W przypadku nowych reaktorów SCR opóźnienie w doprowadzeniu UWS kompensowane jest przez amoniak zmagazynowany w reaktorze SCR. Reaktor postarzony cechuje się mniejszą zdolnością magazynowania amoniaku przez co część amoniaku przeznaczona do zmagazynowania w reaktorze SCR wydostawała się poza układ ATS, będąc źródłem emisji  $\text{NH}_3$  do atmosfery.

— Odnośnie maksymalnej sprawności konwersji  $\text{NO}_x$  oraz wpływu wielkości strumienia spalin.

Przeprowadzone badania nie wykazały wpływu starzenia reaktora SCR na maksymalną

sprawność konwersji  $\text{NO}_x$ .

- Odnośnie wpływu temperatury pracy reaktora SCR oraz temperatury spalin na sprawność konwersji  $\text{NO}_x$ .

Selektywność reaktora dla reakcji redukcji  $\text{NO}_x$  amoniakiem, nie ulega pogorszeniu w zakresie temperatur poniżej  $240^\circ\text{C}$ . Natomiast zanotowano istotny wpływ starzenia reaktora SCR na oddziaływania temperatury spalin na podatność do formowania  $\text{N}_2\text{O}$ .

- Odnośnie max temperatury pracy reaktora bezpiecznej dla struktury warstwy aktywnej.

W każdym zmierzonym cyklu pomiarowym odnotowano zmniejszenie sprawności konwersji  $\text{NO}_x$  oraz, w konsekwencji, zwiększenie jego emisji do atmosfery. Zakłada się, że podstawową przyczyną tego stanu rzeczy są częste zimne rozruchy silnika i układu ATS w cyklu starzenia.

Z badań tych wyciągnięto szereg wniosków:

a) dotyczących zmian emisji wybranych szkodliwych składników spalin są to np.:

- w wyniku starzenia się reaktora SCR nastąpiło zmniejszenie uzyskiwanej sprawności konwersji  $\text{NO}_x$ ,
- starzenie reaktora SCR w większym stopniu wpłynęło niekorzystnie na emisję  $\text{NO}_x$  za układem ATS w warunkach dynamicznych niż statycznych,
- postarzony reaktor SCR cechuje większa emisja  $\text{NO}_x$  w warunkach jego dużego obciążenia tlenkami azotu,
- starzenie reaktora SCR znacząco przyczyniło się do zwiększenia emisji  $\text{N}_2\text{O}$  za układem ATS,
- w przypadku  $\text{NO}_2$  większy przyrost emisji w wyniku starzenia reaktora SCR zaobserwowano w testach statycznych niż dynamicznych,
- uzyskano większe wartości maksymalnych stężeń  $\text{NH}_3$  za układem ATS w wyniku starzenia reaktora SCR.

b) dotyczących zmiany czynników charakteryzujących reaktor SCR:

- w wyniku starzenia zmniejszenie zdolności magazynowania związków chemicznych w warstwie zeolitowej,
- zmniejszenie selektywności reaktora SCR w wyniku starzenia dla reakcji redukcji  $\text{NO}_x$  przez  $\text{NH}_3$ ,
- znaczący wzrost intensywności formowania  $\text{N}_2\text{O}$  w postarzonej reaktorze SCR w określonym przedziale temperatur,

- postarzony reaktor wykorzystuje dostarczony UWS do reakcji z  $\text{NO}_x$  z mniejszą sprawnością oraz cechuje go zmniejszenie jednostkowej sprawności katalitycznej warstwy aktywnej,
  - zarówno nowy jak i postarzony reaktor SCR uzyskuje zbliżone wartości maksymalnej sprawności konwersji  $\text{NO}_x$ .
- c)dotyczących wniosków ogólnych:
- sprawność reaktora SCR jest kluczowym parametrem decydującym o emisji  $\text{NO}_x$  współczesnych silników ZS do maszyn nie drogowych i pojazdów ciężarowych wyposażonych w układ SCR,
  - na początku eksploatacji sprawność konwersji  $\text{NO}_x$  jest wysoka, jednak wraz z okresem jego eksploatacji sprawność ta maleje,
  - wraz z postępującym okresem użytkowania systemu SCR staje się on źródłem emisji  $\text{NH}_3$  i  $\text{N}_2\text{O}$  do atmosfery,
  - wynik emisji  $\text{NO}_x$  reaktorów zabudowanych w nowe silniki musi uwzględniać margines na pogorszenie ich sprawności,
  - postępująca dezaktywacja reaktora SCR znacząco wpływa na emisję  $\text{N}_2\text{O}$ ,
  - zimne rozruchy silnika przyczyniają się do uszkodzenia warstwy aktywnej reaktora SCR.

## 2. Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawę doktorską pt. „Wpływ dezaktywacji reaktora selektywnej redukcji katalitycznej na konwersję szkodliwych związków spalin silnikowych” uważam za oryginalne, oparte na przesłankach naukowych, opracowanie. Badania, które przeprowadził Doktorant, wnoszą nową wiedzę, w dziedzinie selektywnej redukcji katalitycznej tlenków azotu ze spalin silników z zapłonem samoczynnym. W szczególności w rozprawie przebadano i przeanalizowano wpływ dezaktywacji reaktora selektywnej redukcji katalitycznej na konwersje szkodliwych związków spalin silników spalinowych z zapłonem samoczynnym.

Na uwagę zasługują następujące elementy pracy:

1. Wybór tematu związany z selektywną reedukacją katalityczną, która jest techniką młodą i niedostatecznie rozpoznaną naukowo.
2. Obszerna i wnikliwa ocena stanu techniki i badań naukowych w świecie,



przeprowadzona drogą analizy literatury światowej.

3. Założenie ważnego celu naukowego i użytecznego jakim jest rozpoznanie wpływu dezaktywacji reaktora SCR na konwersję szkodliwych związków spalin silnikowych.
4. Opracowanie planu badań stanowiskowych silników umożliwiających, w badaniach porównawczych opracowanych przez Doktoranta testach w stanach ustalonych i dynamicznych udowodnienie tezy pracy.
5. Budowa, osprzętowanie i oprogramowanie stanowiska badawczego opartego na najnowszych technikach i aparaturze badawczej.
6. Przeprowadzenie badań i bardzo przejrzyste zaprezentowanie wyników w sposób nie budzący wątpliwości co do udowodnienia tezy rozprawy.

Biorąc pod uwagę wartość poznawczą i aplikacyjną rozprawy uważam, że problem przedstawiony przez Doktoranta ma charakter problemu naukowego o dużych walorach w tej dziedzinie nauki oraz znacznych walorach praktycznych. Pod względem edytorskim praca napisana jest poprawnie, czystą, dobrą polszczyzną, napisana przejrzysto i konsekwentnie. Pod względem merytorycznym pracę oceniam wysoko. Oczywiście jak w każdym opracowaniu, także i w tym można dostrzec kilka usterek i niedociągnięć, które jednak nie umniejszają jej pozytywnej wartości.

### **3. Niedociągnięcia i usterki rozprawy.**

Pomimo, że rozprawa przedstawia dużą wartość naukową Doktorant nie ustrzegł się kilku wad oraz usterek np.:

- Jest niepełna lista wykazu symboli i oznaczeń np. NHCO co staje się niewygodne w przypadku powtórzenia się symbolu w kilku miejscach rozprawy
- Raczej powinno być „zharmonizowany ogólnoswiatowy” zamiast „ogólnoswiatowo”
- Brak wyjaśnień dotyczących limitów emisji zwanych ETAPAMI
- Powinno być „masowy miernik przepływu spalin” zamiast „masowy przepływ spalin”
- Powinno być „maszyn niedrogowych”, a nie „mobilnych maszyn niedrogowych”
- Powinno być „defektor referencyjny”.

Pomimo tych wad i usterek, być może niektórych dyskusyjnych, wysoko oceniam poziom merytoryczny rozprawy, intelektualny wkład Doktoranta oraz wysiłek w zbudowanie stanowiska i przeprowadzenie badań.

Pomysł, plan badań, stanowiska badawcze, koncepcja badań, ich przeprowadzenie, analiza

wyników oraz wyciągnięcie wniosków stanowią oryginalny twórczy wkład Doktoranta. Ważne są wnioski dotyczące praktycznego wykorzystania wyników badań. Doktorant wykazał się rozeznaniem dotyczącym możliwości dalszych badań nad systemem SCR.

#### 4. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że

- Doktorant dokonał rzetelnej analizy stanu wiedzy i piśmiennictwa w zakresie przedstawionego tematu
- dokonał trafnego wyboru tematyki rozprawy
- utworzył plan badawczy i go skrupulatnie zrealizował, co pozwoliło na udowodnienie tezy postawionej w dysercji
- nie budzi zastrzeżeń formalny układ pracy
- rozprawa dotyczy bardzo młodej, zaledwie kilkuletniej dziedziny techniki i wnosi do niej nowe znaczące treści
- sposób przeprowadzenia badań, należyte ustalenie faktów sprawia, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Na podstawie powyższego wyводу stwierdzam kompetencje Doktoranta do samodzielnego ustalenia tematyki i prowadzenia badań naukowych oraz wykazuje Jego wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Budowa i eksploatacja maszyn”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

W podsumowaniu podkreślam, że rozprawa doktorska mgr inż. Jakuba Dzidy pt. „Wpływ dezaktywacji reaktora selektywnej redukcji katalitycznej na konwersje szkodliwych związków spalin silnikowych” spełnia wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk technicznych, w rozumieniu *Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” Dziennik Ustaw 2018 poz.1668*, a Doktorant może być dopuszczony do publicznej obrony.

