

Warszawa, dn. 01.09.2022 r.

Prof. dr hab. inż. Ilona Jacyna-Gołda  
Politechnika Warszawska  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych

## Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Sokolnickiej-Popis  
pt.: „Analiza ograniczenia emisji cząstek stałych z silników o zapłonie  
iskrowym z wtryskiem bezpośrednim za pomocą techniki filtracyjnej”**

### 1. Uwagi ogólne

*Recenzja rozprawy wykonana na zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy – pismo z dnia 06.07.2021 r., do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.*

Przedstawiona do recenzji praca obejmuje:

- 110 stron wydruku komputerowego formatu A4, w tym 100 stron tekstu zasadniczego i 10 stron bibliografii i streszczenia w języku angielskim,
- 115 rysunków, w tekście zasadniczym podpisanych oraz ponumerowanych,
- 19 tabel w tekście zasadniczym, które są ponumerowane i opisane,
- bibliografię liczącą 107 pozycji krajowych i zagranicznych, w tym 5 współautorskich pozycji doktorantki oraz 21 stron internetowych.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest Pani prof. dr hab. inż. Paweł Fuć, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Andrzej Ziółkowski.

Tematyka Rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Sokolnickiej-Popis koncentruje się na problemie zastąpienia nośników ceramicznych, powszechnie stosowanych w motoryzacji, nośnikami metalowymi w filtrach cząstek stałych przeznaczonych do silników o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem SI DI. Doktorantka postanowiła zaprojektować i wytworzyć filtr cząstek stałych do silników SI DI z nośnikiem metalowym stanowiącym zamiennik dla nośników ceramicznych oraz weryfikacja jego skuteczności.

Uważam, że podjęty przez mgr Natalię Łasińską problem badawczy w rozprawie jest jak najbardziej uzasadniony, a samo sformułowanie tematu rozprawy za właściwe.

### 2. Analiza zakresu, celu i treści rozprawy

Na podstawie analizy rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Sokolnickiej-Popis uważam, że postawiony przez Autorkę rozprawy problem badawczy ma charakter

dysertabilny i w pełni nawiązuje do współczesnych osiągnięć oraz potrzeb nauki i praktyki gospodarczej w obszarze ograniczenia emisji nanocząstek pochodzących ze źródeł motoryzacyjnych do atmosfery.

Treść kolejnych rozdziałów powiązana jest z tytułem rozprawy oraz odpowiada przedstawionemu, w Rozdziale 6, celowi rozprawy, który Autorka zapisała jako cyt. „*Zaprojektowanie i wytworzenie filtra cząstek stałych do silników SI DI z nośnikiem metalowym stanowiącym zamiennik dla nośników ceramicznych oraz weryfikacja jego skuteczności*”, a także postawionej w tym samym rozdziale tezie badawczej, która brzmi cyt. „*Nośnik metalowy stanowi zamiennik nośnika ceramicznego do ograniczania emisji PM<sub>10</sub> i PN z wykorzystaniem innych mechanizmów filtracji niż przepływ przez ściankę (wall-flow)*”.

Ogółem rozprawa zawiera 11 rozdziałów, przy czym zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w rozdziałach 7÷9. Wprowadzenie do rozprawy, zanumerowane jako rozdział 1, zawiera przesłanki podjęcia tematyki badań i opis zagadnienia, natomiast dwa ostatnie rozdziały, zanumerowane jako 10 i 11, są podsumowaniem dysertacji, w których zawarto wnioski z przeprowadzonych w pracy badań oraz kierunki dalszych prac. Uważam, że ogólna struktura rozprawy jest poprawna i zgodna z koncepcją problemu badawczego. Można mieć zastrzeżenia co do numeracji rozdziałów. Wprowadzenie i Podsumowanie, na ogół, w tego typu pracach nie są numerowane. Ponadto cel i zakres pracy powinien być zarysowany na początku pracy, a nie jak w przypadku ocenianej dysertacji, w rozdziale 6.

Generalnie oceniając, z metodologicznego punktu widzenia, rozważania podjęte i przeprowadzone w dysertacji należy ocenić pozytywnie.

**Rozdział 1, Wprowadzenie** stanowi wprowadzenie do problemu badawczego rozprawy. Przy pomocy krótkiej analizy literatury Autorka pracy przybliżyła wagę podejmowanego problemu jakim jest zasadność badań nad rozwojem układów oczyszczania gazów wylotowych z uwagi na prognozę dominacji na światowym rynku pojazdów osobowych z silnikami spalinowymi, w tym głównie silnikami o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem SI DI.

**Rozdział 2** zatytułowany „*Emisja cząstek stałych z silników o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny*” obejmuje swym zakresem wyszczególnienie przyczyn powstawania cząstek stałych w silnikach o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem SI DI oraz opis regulacji prawnych odnośnie

dopuszczalnych norm emisji spalin. Doktorantka szczególną uwagę poświęciła opisowi metod badawczych oraz testów homologacyjnych pojazdów.

**Rozdział 3** noszący tytuł „*Charakterystyka filtrów cząstek stałych do silników o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny*” obejmuje charakterystykę filtrów cząstek stałych z uwagi na ich budowę i zasadę działania, materiał, z których wykonano nośniki oraz metody regeneracji filtrów cząstek stałych.

**Rozdział 4** zatytułowany „*Analiza warunków i parametrów eksploatacyjnych filtrów cząstek stałych*” Autorka poświęciła porównaniu warunków i parametrów eksploatacyjnych poszczególnych rodzajów filtrów oraz charakterystyce utleniania cząstek stałych.

W **Rozdziale 5** zatytułowanym „*Analiza produkcji, eksploatacji i recyklingu nośników ceramicznych i metalowych*” na podstawie analizy obecnego stanu zaawansowania procesów produkcji, utylizacji i recyklingu nośników ceramicznych i metalowych przedstawiono metody i skuteczność odzyskiwania metali szlachetnych z wyeksploatowanych filtrów cząstek stałych i reaktorów katalitycznych.

W **rozdziale 6** (3 str.) zatytułowanym „*Cel i zakres pracy*” sformułowano cel, tezę i zakres pracy. Główny celem pracy było „*Zaprojektowanie i wytworzenie filtra cząstek stałych do silników SI DI z nośnikiem metalowym stanowiącym zamiennik dla nośników ceramicznych oraz weryfikacja jego skuteczności*”.

Oprócz celu głównego zdefiniowano cele szczegółowe, które zostały sformułowane jako:

- „*dostosowanie dostępnych metod badawczych określających poziom emisji szkodliwych i toksycznych składników gazów wylotowych w warunkach laboratoryjnych i rzeczywistych do badań przeprowadzonych podczas realizacji rozprawy doktorskiej,*
- *badania emisji poszczególnych składników gazów wylotowych metodą RDE w celu odwzorowania testu na stanowisku hamulcowym,*
- *badania na dynamicznym stanowisku hamulcowym w odwzorowanych cyklach jezdnych (miejskim, pozamiejskim i autostradowym),*
- *weryfikacja skuteczności poszczególnych konfiguracji badawczych w odwzorowanym teście,*
- *porównanie skuteczności dostępnych rozwiązań komercyjnych z prototypowymi konfiguracjami układów oczyszczania gazów wylotowych*”.

W rozdziale tym mgr inż. Barbara Sokolnicka-Popis przedstawiła również tezę rozprawy, która zakłada, że „*Nośnik metalowy stanowi zamiennik nośnika*

ceramicznego do ograniczania emisji  $PM_m$  i  $PN$  z wykorzystaniem innych mechanizmów filtracji niż przepływ przez ściankę (wall-flow)".

Doktorantka opisała również co było problemem badawczym a co konstrukcyjnym pracy oraz scharakteryzowała jej wartość użyteczną.

W **Rozdziale 7** o tytule „Metodyka badań” opisano autorską procedurę opracowaną w celu weryfikacji emisji w warunkach rzeczywistych. Zaprezentowano pojazd oraz hamownię wykorzystane do badań. Następnie zaprezentowano pięć różnych konfiguracji układów oczyszczania gazów wylotowych, w tym dwa z nich stanowiły komercyjne nośniki ceramiczne, a kolejne trzy prototypowe nośniki metalowe. W dalszej części rozdziału Doktorantka opisała trasę wykorzystaną do badań w warunkach rzeczywistych, która obejmowała trzy różne cykle: miejski, pozamiejski i autostradowy oraz która później została zaimplementowana do opracowanego autorskiego testu, aby skrócić procedurę badawczą. Zaprezentowała także aparaturę wykorzystaną do analizy składników gazów wylotowych.

**Rozdział 8** zatytułowany „Analiza Opracowanie prototypów nośników metalowych filtrów cząstek stałych” stanowi prezentację wyników analizy numerycznej przepływu gazów wylotowych trzech wariantów metalowego nośnika filtra cząstek stałych. Na tej podstawie wybrano konfiguracje elementów układu oczyszczania gazów wylotowych.

W **Rozdziale 9** zatytułowanym „Badania porównawcze i weryfikacyjne” mgr inż. Barbara Sokolnicka-Popis przeprowadziła badania parametrów termodynamicznych przed i za reaktorami/filtrami w badanych pięciu różnych konfiguracji, w tym dwóch z komercyjnymi nośnikami ceramicznymi oraz trzech z prototypowymi nośnikami metalowymi. Następnie osobno dla nośników ceramicznych oraz metalowych dokonała porównania emisji szkodliwych i toksycznych składników gazów wylotowych, tj.  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $THC$  i  $PM_m$  w trzech różnych cyklach, tj., miejskim, pozamiejskim i autostradowym

**Rozdział 10** stanowi podsumowanie rozprawy oraz wnioski ogólne oraz szczegółowe wynikające z przeprowadzonych rozważań.

W **Rozdziale 11** Doktorantka zarysowała po krótko kierunki dalszych prac.

### **3. Ocena rozprawy**

Dużą zaletą rozprawy jest jej użyteczny charakter, co jest bardzo ważne przy tego typu opracowaniach. Zaproponowana metoda i aplikacja wyników badań do procesu oczyszczania gazów wylotowych silników spalinowych potwierdzają możliwości

praktycznego zastosowania zaproponowanego podejścia. Pani mgr inż. Barbara Sokolnicka-Popis dokładnie i wnikliwie opisała przeprowadzone przez siebie badania oraz dokonała szerokiej prezentacji ich wyników. Podjęty w rozprawie problem jest ważny zarówno z naukowego, jak i inżynierskiego punktu widzenia.

Na podstawie przeprowadzonej analizy rozprawy uważam, iż mgr inż. Barbara Sokolnicka-Popis porusza się swobodnie w badanej tematyce, wykazuje umiejętność samodzielnego zdefiniowania problemu naukowego i prowadzenia badań, interpretacji i uzasadnienia wyników. Zaprezentowane w części empirycznej rozprawy rozważania potwierdziły wysoką dojrzałość naukową Doktorantki.

Za główne osiągnięcie Pani mgr inż. Barbary Sokolnickiej-Popis uważam:

1. Przeprowadzenie szczegółowej analizy szerokiego spektrum literatury w zakresie badań nad rozwojem układów oczyszczania gazów wylotowych, emisji cząstek stałych z silników o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny, nośników filtra cząstek stałych oraz regeneracji filtrów cząstek stałych,
2. Przeprowadzenie badań symulacyjnych różnych wariantów filtracyjnych nośników metalowych, w ramach których:
  - przeanalizowano warianty kształtu kanałów nośnika;
  - dokonano analizy wpływu zastosowania perforacji jednej ze ścian na własności filtracyjne;
  - w oparciu o wyniki przeprowadzonych symulacji wskazano wariant o największej skuteczności gromadzenia PM
3. Zaproponowanie nowatorskiego rozwiązania oczyszczania gazów wylotowych z wykorzystaniem prototypowych nośników metalowych.
4. Dokonanie analizy wyników otrzymanych dla dwóch rodzajów filtrów tj. OEM (*Original Equipment Manufacturer*) oraz prototypowych nośników metalowych skonstruowanych w wyniku realizacji rozprawy doktorskiej

Wszystkie wymienione elementy rozprawy stanowią o dużej jej wartości merytorycznej.

Pod względem edytorskim uważam, że:

- kolejność rozdziałów i podrozdziałów tworzy logiczny układ,
- styl jest poprawny, stosowana terminologia nie budzi poważnych zastrzeżeń,
- praca napisana jest na starannym poziomie edytorskim,
- praca nawiązuje do aktualnych pozycji literatury światowej (kilka pozycji, które pochodzą sprzed ostatniej dekady, to głównie klasyka, przywoływana ze względów dydaktycznych).

Pewnym mankamentem układu rozprawy jest również jej niefortunny podział na 11 rozdziałów. Spowodowało to rozdrobnienie treści na rozdziały o objętości od 1 do 24 stron (np. rozdz. 9 - 24 str., rozdz. 11 - 1 str.).

Podsumowując ocenę dysertacji Pani mgr inż. Barbary Sokolnickiej-Popis, stwierdzam, że konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są dobre i właściwe dla tego rodzaju prac. Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod eksperymentalnych i analitycznych stosowanych w dyscyplinie *Inżynieria Lądowa i Transport*.

#### **4. Uwagi szczegółowe**

Pomimo wszystkich zalet i dobrej oceny rozprawy pod względem zawartości merytorycznej, dysertacja ma pewne niedostatki. Nie umniejszają one jednak wartości merytorycznej pracy, a utrudniają jedynie zrozumienie jej fragmentów. Niektóre z nich przytaczam poniżej.

1. Brak jakiegokolwiek opisu w tekście rysunków 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 oraz 7.7, jedynie w tabeli 7.3 zaznaczone zostały numery tych rysunków;
2. Brak spisu tabel i rysunków;
3. Brak zapisanych źródeł zamieszczonych niektórych rysunków np. 3.1, 3.4 oraz tabel, np. 7.1., 7.9;
4. Błędy edytorskie – brak interpunkcji (np. na str. 39, 59);

Analiza tekstu rozprawy rodzi kilka pytań szczegółowych, które nasunęły się w trakcie czytania. Odpowiedzi na pytania oczekuję podczas publicznej obrony:

1. Prototyp zbudowany jest z perforowanej blachy metalowej. Czy jest w stanie Pani określić jaka jest żywotność proponowanego przez Panią rozwiązania?
2. Czy prowadziła Pani badania, jak zastosowane przez Panią rozwiązanie wpływa na osiągi pojazdu?
3. Jaki jest koszt zastosowania zaproponowanego rozwiązania w porównaniu do rozwiązań alternatywnych?
4. Czy przewiduje Pani regenerację czy kompletną wymianę zaproponowanego rozwiązania? Co byłoby bardziej opłacalne?

#### **5. Wniosek końcowy oceny rozprawy**

Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa, mimo przedstawionych powyżej uwag krytycznych, które nie podważają zasadniczego dorobku Doktorantki,

została wykonana na dobrym poziomie merytorycznym. Wyznaczony przez mgr inż. Barbarę Sokolnicką-Popis cel rozprawy został osiągnięty.

Dokonując oceny całości rozprawy wyrażam opinię, iż stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wskazując na odpowiedni poziom wiedzy teoretycznej jej Autorki w reprezentowanej dyscyplinie nauki, dobrą znajomość przedmiotu badań, zdolność do analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Reasumując, stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Barbary Sokolnickiej-Popis pt. „Analiza ograniczenia emisji cząstek stałych z silników o zapłonie iskrowym z wtryskiem bezpośrednim za pomocą techniki filtracyjnej”, spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późniejszymi zmianami) oraz mieści się w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport.

Stawiam więc wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji – jako rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Sokolnickiej-Popis na stopień doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

  
/Ilona Jacyna-Gołda/