Dr hab. inż. Aleksander Sobota, prof. PŚ.
Katedra Systemów Transportowych, Inżynierii Ruchu i Logistyki
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
Politechnika Śląska
ul. Krasińskiego 8
40-019 Katowice

Katowice, dn. 18.10.2022 r.

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. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej z dnia 28.06.2022 r. oraz pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej, prof. dra hab. inż. Jacka Pielechy z dnia 6.07.2022 r.

2. Wprowadzenie

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pani mgr inż. Barbary Sokolnickiej-Popis pt. **„Analiza ograniczenia emisji cząstek stałych z silników o zapłonie iskrowym z wtryskiem bezpośrednim za pomocą techniki filtracyjnej"**. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Paweł Fuć, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Andrzej Ziółkowski.

Dysertacja składa się z jedenastu rozdziałów, obejmujących wprowadzenie, osiem rozdziałów zawierających opis rozpatrywanego w dysertacji problemu badawczego, podsumowanie i wnioski oraz kierunki dalszych prac. Dodatkowo w pracy zamieszczono spis treści, streszczenie w języku polskim oraz angielskim, wykaz najważniejszych skrótów i symboli a także literaturę. Nie zamieszczono spisu tabel i rysunków co jest powszechną praktyką przy pisaniu rozpraw doktorskich w dyscyplinach technicznych.

Tekst rozprawy obejmuje 110 stron, 115 rysunków, 19 tabel, 2 wzory. W zbiorze przytoczonych 107 pozycji literaturowych rozprawy znajduje się 5 publikacji napisanych przy współudziale Autorki. Wśród nich są 2 współautorskie napisane w języku angielskim i 3 współautorskie napisane w języku polskim. Zawarte w pracy rysunki i tabele są należycie opisane i ponumerowane.

W streszczeniu, zarówno w języku polskim i angielskim, opisano tło do podjęcia tematu badawczego, cel realizowanej dysertacji, przedmiot prowadzonych rozważań, krótko

scharakteryzowano zasadnicze osiągnięcie będące wynikiem prowadzonych badań, a także syntetycznie opisano jej zakres.

Treść rozprawy można podzielić na dwie części. Pierwsza, teoretyczna obejmująca bardzo szeroką charakterystykę filtrów cząstek stałych oraz opis problemu emisji cząstek stałych. W tej części, po scharakteryzowaniu filtrów cząstek stałych do pojazdów z silnikiem o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny opisano warunki i parametry eksploatacyjne tych urządzeń a następnie przedstawiono elementy cyklu życia (produkcja, eksploatacja i recykling) filtrów cząstek stałych i komponentów wykorzystywanych do ich wytworzenia. W części drugiej, o zdecydowanie bardziej praktycznym charakterze, przedstawiono metodykę prowadzonych badań oraz prototypy nośników metalowych filtrów cząstek stałych. Ponadto w części tej zaprezentowano prowadzone badania oraz omówiono ich wyniki.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1 Ogólna charakterystyka rozprawy i jej struktury

Wprowadzenie (rozdział pierwszy rozprawy) zaczyna się od uzasadnienia potrzeby realizacji pracy. Jednym z podstawowych argumentów jest konieczność doskonalenia rozwiązań konstrukcyjnych w najczęściej stosowanych obecnie pojazdach z silnikami spalinowymi z uwagi na ich dominujący udział na rynku. Autorka w tej części akcentuje również fakt występowania norm dotyczących emisji toksycznych i szkodliwych składników gazów wylotowych, które definiują maksymalny, dopuszczalny poziom emisji zanieczyszczeń. Wskazuje, że rozwiązaniem mającym na celu spełnienie wymagań emisji (w szczególności cząstek stałych PM) jest stosowanie filtrów cząstek stałych, które powinny charakteryzować się wysoką sprawnością działania przy jak najmniejszych kosztach produkcji, eksploatacji i utylizacji tych urządzeń.

Rozdział drugi obejmuje opis wybranych aspektów dotyczących emisji cząstek stałych dla konkretnego typu silnika, tj. o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny. Rozpoczyna się od prezentacji przyczyn powstawania cząstek stałych w silnikach SI DI oraz klasyfikacji PM ze względu na wielkość. Następnie scharakteryzowano wybrane przepisy dotyczące emisji cząstek stałych z pojazdów zasilanych silnikami benzynowymi. Opisano również wartości dopuszczalne, w świetle norm Euro 5 i Euro 6, składników gazów wylotowych dla silników SI. Rozdział drugi kończy podrozdział zawierający charakterystykę metod badawczych i systemów homologacyjnych wykorzystywanych do badań emisji z pojazdów. W szczególności przedstawiono testy NEDC (z j. ang. *New European Driving Cycle*) oraz procedurę WLTC+RDE (z j. ang. *Worldwide Light Duty Test Cycle + Real Driving Emission*) charakteryzując walory użytkowe wspomnianych metod badawczych.

Trzeci rozdział obejmuje już techniczny opis badanych urządzeń, tj. filtrów cząstek stałych do pojazdów z silnikami o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny. Doktorantka, w tym rozdziale, prezentuje rozwiązania technologiczne dla filtrów z nośnikiem ceramicznym jako tych najczęściej stosowanych w samochodach osobowych. Podaje również

wady i zalety nośników ceramicznych i metalowych w filtrach cząstek stałych. Ponadto opisuje elementy konstrukcyjne filtrów. W rozdziale tym Autorka charakteryzuje także metody regeneracji filtrów cząstek stałych, tj. pasywną i aktywną.

Rozdział czwarty poświęcony jest opisowi parametrów termodynamicznych gazów wylotowych oraz charakterystyce sposobów filtracji cząstek stałych i utleniania cząstek stałych.

Piąty rozdział dotyczy nośników ceramicznych i metalowych. W początkowej części tego rozdziału Doktorantka opisuje proces wytwarzania nośników ceramicznych do filtrów cząstek stałych a także nośników metalowych. W szczególności odnosi się do technologicznych uwarunkowań realizacji tego procesu. Następnie Autorka przedstawia uwarunkowania odzysku metali szlachetnych z reaktorów katalitycznych lub filtrów cząstek stałych. W opinii recenzenta jest to istotny wątek z uwagi na potrzebę uświadamiania o występowaniu ograniczonych zasobów pierwiastków wykorzystywanych do produkcji tych urządzeń, a co za tym idzie potrzebie zwiększenia wskaźnika recyklingu. Zwłaszcza, że w świetle przedstawionych na rysunku 5.5 danych zapotrzebowanie na wybrane pierwiastki (platyna i pallad) jest większe od podaży. Dalej Doktorantka charakteryzuje metody recyclingu materiałów katalitycznych z nośników ceramicznych a także z nośników metalowych. Ostatni podrozdział w rozdziale piątym zatytułowany *„Analiza możliwości ponownego wykorzystania materiałów tworzących nośnik"* o objętości około połowy strony sprowadza się głównie do wskazania, że po zakończeniu eksploatacji reaktory katalityczne i filtry cząstek stałych najczęściej są usuwane, zbierane i wysyłane do odpowiednich zakładów w celu recyklingu. Zdaniem recenzenta podrozdział ten nie wnosi wiele wartości merytorycznych do treści rozprawy i mógłby zostać pominięty. Wydaje się, że głównym argumentem, który skłonił Doktorantkę do podjęcia problematyki tego podrozdziału było dopełnienie informacji do analizy cyklu życia filtrów cząstek stałych.

Jednym z istotniejszych rozdziałów rozprawy jest rozdział szósty zatytułowany *„Cel i zakres pracy"*. Autorka przedstawia krótkie uzasadnienie wyboru tematu, akcentując również podjętą współpracę z podmiotem gospodarczym zajmującym się produkcją pozasilnikowych układów oczyszczania gazów wylotowych różnego rodzaju. Opisuje ponadto problem badawczy i jednocześnie krótko charakteryzuje sposób jego rozwiązania. Problem konstrukcyjny wraz z krótką charakterystyką jego rozwiązania również został zdefiniowany i zaprezentowany w tej części pracy. Doktorantka także prezentuje cel główny, pięć celów szczegółowych, tezę i strukturę pracy (na rysunku 6.1). W opinii recenzenta w rozdziale tym nie opisano zakresu dysertacji.

Zasadniczą częścią siódmego rozdziału jest opis metodyki prowadzonych badań. Rozpoczyna się od przedstawienia pojazdu użytego do badań w warunkach rzeczywistych, charakterystyki dynamicznego stanowiska hamulcowego wykorzystywanego do obciążenia silnika a także prezentacji pięciu elementów układu oczyszczania gazów wylotowych, na które składają się trzy trójfunkcyjne reaktory katalityczne i dwa filtry cząstek stałych. Autorka w szczegółowy sposób opisuje proces realizacji pomiarów i przedstawia dane techniczne urządzenia pomiarowego. W podrozdziale drugim tego rozdziału Doktorantka omawia

badania w warunkach rzeczywistych, których celem było zarejestrowanie parametrów pracy silnika, które odwzorowano na dynamicznym stanowisku hamulcowym. Warto zaakcentować, że do badań wybiera trzy typy odcinków drogowych o zróżnicowanej charakterystyce ruchowej (ruch miejski, podmiejski i autostradowy). Dodatkowo prezentuję aparaturę wykorzystywaną do pomiarów w warunkach rzeczywistych. Ostatnim aspektem poruszanym w rozdziale siódmym była prezentacja opracowanego przez Doktorantkę autorskiego testu, którego założeniem było uproszczenie i skrócenie procedury badawczej wykonywanej w warunkach rzeczywistych do badań z wykorzystaniem hamowni silnikowej. Recenzenta zastanawia umiejscowienie w treści podrozdziału 7.3 akapitu[1], w którym Doktorantka uzasadnia przyjętą przez siebie metodykę badań i potrzebę opracowania autorskiego testu, który ma stanowić reprezentację warunków RDE na hamowni silnikowej. Akapit, o którym mowa znajduje się bowiem na końcu podrozdziału 7.3, a w opinii recenzenta właściwym byłoby przeniesienie tego tekstu na początek podrozdziału.

Ósmy rozdział odnosi się do wybranych aspektów zdefiniowanego i przedstawionego w rozdziale szóstym problemu badawczego a także do problemu konstrukcyjnego. Przedstawiono w nim badania symulacyjne różnych wariantów filtracyjnych nośników metalowych, a ściślej wyniki analizy numerycznej przepływu gazów wylotowych trzech wariantów metalowego nośnika filtra cząstek stałych. Badania prowadzono z wykorzystaniem oprogramowania Ansys Academic Research 2020 R2 i stanowiącego jego element narzędzia Fluent. Wykonano je w celu przedstawienia wpływu różnic w geometrii poszczególnych modeli nośników na rozkład prędkości i ciśnienia przepływu gazów wylotowych oraz skuteczność filtracji PM. Symulowano między innymi trzy warianty kształtu kanałów nośnika (wariant 1 z geometrią kanału o stałym kącie nachylenia perforacji na całym przekroju wzdłużnym nośnika, wariant 2 z geometrią kanału podzieloną na trzy odcinki o stałej długości i zmiennym kącie nachylenia perforacji: 20°, 25°, 30° na przekroju wzdłużnym nośnika oraz wariant 3 z geometrią kanału podzieloną na trzy odcinki o stałej długości i zmiennym kącie nachylenia perforacji). Przedstawiając wyniki symulacji Doktorantka scharakteryzowała rozkłady prędkości przepływu gazów wylotowych dla omawianych wariantów, rozkłady ciśnienia dynamicznego oraz statycznego gazów wylotowych a także ciśnienia całkowitego. Dodatkowo przedstawiono rozkłady energii kinetycznej turbulencji oraz stężenia cząstek stałych na powierzchni filtra. Druga część rozdziału ósmego obejmuje opis opracowanych przez Autorkę pięciu konfiguracji układów wylotowych zbudowanych z nośników metalowych z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych. Warto zauważyć, że drugi podrozdział tego rozdziału kończy się przedstawieniem rysunków i brakiem komentarza pod nimi. Według

[1] Doktorantka na str. 58 rozprawy pisze: *„Wybór metodyki badań wynika z konieczności opracowania rozwiązania stanowiącego połączenie zalet testów w warunkach ruchu drogowego i w laboratorium. Przeprowadzenie weryfikacji skuteczności konfiguracji badawczych w rzeczywistym pojeździe związane jest z koniecznością ingerencji w układ wylotowy. Dostosowanie oprogramowania sterowników silnika do komercyjnego układu oczyszczania gazów wylotowych wymaga nakładów finansowych przekraczających możliwości realizacji rozprawy doktorskiej. Aby uniknąć prezentowanych problemów przyjęto, że w ramach pracy zostanie opracowany autorski test badawczy, który będzie stanowił reprezentację warunków RDE na silnikowym stanowisku hamulcowym.".*

recenzenta tytuł podrozdziału 8.2 *„Zaprojektowanie wariantów nośników metalowych w oparciu o badania symulacyjne"* wydaje się być sformułowany nieco niefortunnie. W podrozdziale tym, napisanym na trzech stronach, Autorka charakteryzuje pięć badanych konfiguracji układów wylotowych a także parametry techniczne nośnika oraz obudowy filtra. Nie opisuje przebiegu procesu projektowania oraz wyników prac symulacyjnych. Recenzent uważa, że tytuł tego podrozdziału, bardziej uwypuklający jego treść, powinien brzmieć następująco: Założenia projektowe oraz konstrukcyjne dla nośnika i obudowy filtra wykorzystywanych w badaniach symulacyjnych.

W rozdziale dziewiątym Doktorantka prezentuje wyniki badań i ich analizę. W odniesieniu do badań na hamowni dynamicznej w warunkach rzeczywistych zaprezentowano wartości parametrów termodynamicznych dla każdej z pięciu konfiguracji układów oczyszczania gazów wylotowych. Przedstawiono zależność zmiany temperatury w czasie (odpowiednio przed i za filtrem) oraz zależność masowego natężenia przepływu (strumień masy) w czasie. Następnie przedstawiono wyniki badań emisji z użyciem komercyjnych nośników ceramicznych oraz zaprojektowanych przez Doktorantkę nośników metalowych. Przy czym w odniesieniu do tych pierwszych przedstawiono wyniki dla konfiguracji nr 1 i 2 układu wylotowego a tych drugich dla konfiguracji 3, 4 i 5.

Dziesiąty rozdział zawiera podsumowanie i wnioski. W rozdziale tym Autorka wyróżnia fragment tekstu opisany jako „wnioski szczegółowe". Przy czym w opinii recenzenta nie było takiej potrzeby.

Ostatni, jedenasty rozdział to opis kierunków dalszych badań. Autorka napisała go zaledwie w dziewięciu wierszach wskazując dość syntetycznie cztery obszary dalszych badań. Wskazano między innymi na zamiar prowadzenia prac naukowych nad rozwojem filtrów cząstek stałych w zastosowaniu do napędów hybrydowych.

Rozdziały siódmy, ósmy i dziewiąty mają wyjątkowe znaczenie dla oceny merytorycznej rozprawy, bowiem ukazują prace badawcze wykonane wyłącznie przez Doktorantkę.

Uważam, że przyjęty przez Autorkę układ pracy w większości jest poprawny. Wydaje się jednak, że podrozdział 5.3 mógłby być pominięty bez straty dla zawartości merytorycznej dysertacji a rozdział szósty powinien być przeniesiony do początkowej części rozprawy, co uzasadniam w dalszej części recenzji. Ponadto w rozdziale pt. *„Podsumowanie i wnioski"* uwidacznia się drobny brak konsekwencji Autorki. Po tytule podrozdziału występuje tekst zawierający dość ogólny opis potwierdzający zasadność wybranego problemu badawczego oraz ładnie wkomponowany tekst o wykonanych badaniach pięciu konfiguracji układów oczyszczania gazów wylotowych. Następnie Doktorantka formułuje wnioski odnoszące się do tezy. W kolejnej części tego rozdziału wyróżnia wnioski szczegółowe, przy czym w podobny sposób nie uwypukla treści przedstawionych na początku tego rozdziału. Ponadto rozdział jedenasty powinien być rozwinięty o uzasadnienie dla przedstawionym w nim kierunków dalszych badań, ponieważ jest za krótki.

Należy wyraźnie podkreślić, że w zdecydowanej większości treści zawarte w poszczególnych rozdziałach odpowiadają tytułom i stanowią logiczne rozwinięcie problematyki podjętej w rozprawie.

3.2 Ocena doboru tematu i zakresu pracy doktorskiej

Dbałość o środowisko naturalne stanowi współcześnie jedno z największych wyzwań, przed którymi stoją współczesne społeczeństwa nie tylko Europy, ale i świata. Jest to bardzo trudne zadanie z uwagi na coraz to wyższe wymagania w odniesieniu do jakości życia, które formułuje ludzkość. To z kolei przekłada się na konieczność wypracowywania coraz bardziej skomplikowanych technologicznie rozwiązań, które powinny jednocześnie cechować się długim cyklem życia, niezawodnością w działaniu czy też niskim kosztem produkcji, utrzymania i utylizacji lub recyklingu. Wyzwaniom tym próbuje sprostać szeroko rozumiany przemysł motoryzacyjny z uwagi na fakt, że transport, w stosunku do innych gałęzi gospodarki, jest źródłem dość dużej ilości emitowanych zanieczyszczeń. Jednym z mechanizmów ograniczenia emisji jest systematyczne wdrażanie do codziennego użytku pojazdów nisko- lub zeroemisyjnych. Drugim jest udoskonalanie rozwiązań technicznych dla pojazdów z silnikami zasilanymi nieodnawialnymi źródłami energii, bowiem są one jeszcze najczęściej wykorzystywanymi przez społeczeństwa środkami transportu indywidualnego. Taki właśnie był zasadniczy argument Doktorantki do podjęcia tematu dysertacji, skądinąd właściwy.

Autorka jako obiekt badawczy wybrała filtry cząstek stałych, czyli układy oczyszczania gazów wylotowych z pojazdów samochodowych, których głównym zadaniem jest ograniczenie emisji do atmosfery licznych, szkodliwych substancji takich na przykład jak: cząstki stałe (PM), dwutlenek węgla (CO_2) lub tlenki azotu (NO_X). Ograniczyła się do filtrów stosowanych w pojazdach z silnikami o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny. Prowadzenie badań w tym zakresie wychodzi naprzeciw oczekiwaniom związanym z potrzebą dbałości o środowisko naturalne. Niemniej jednak Doktorantka prowadzi badania naukowe biorąc pod uwagę także aspekty ekonomiczne, bowiem ma świadomość, że jest to istotne uwarunkowanie przy podejmowaniu decyzji o ewentualnym wdrożeniu danego rozwiązania na skalę przemysłową. Dlatego współpracuje z podmiotem gospodarczym, który jest producentem pozasilnikowych układów oczyszczania gazów wylotowych różnego rodzaju, przy zastosowaniu nośników wykonywanych z folii metalowych. Takie działanie zasługuje na uznanie, bowiem Autorka wykazuje się niezwykle cenioną współcześnie w środowisku akademickim umiejętnością polegającą na współpracy z szeroko rozumianym otoczeniem społeczno – gospodarczym.

Dlatego uważam, że temat podjęty przez Doktorantkę w recenzowanej rozprawie jest ważny zarówno z punktu widzenia dbałości o środowisko naturalne, jak również możliwości wdrożenia rezultatów dysertacji w praktyce.

Zakres rozprawy został podzielony na dwie zasadnicze części. Pierwszą, teoretyczną, w której opisano główne zagadnienia związane z funkcjonowaniem filtrów cząstek stałych takie między innymi jak przyczyny powstawania cząstek stałych w silnikach o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny bądź uwarunkowania formalno-prawne związane z dopuszczalnym poziomem emisji cząstek stałych z silników benzynowych. Dodatkowo w części tej opisano budowę i zasadę działania filtrów cząstek stałych a także metody ich regeneracji. Scharakteryzowano ponadto sposoby filtracji i utleniania cząstek

stałych a także omówiono wybrane uwarunkowania analizy, produkcji czy eksploatacji nośników stosowanych w filtrach.

W drugiej części rozprawy, o zdecydowanie bardziej praktycznym charakterze, przedstawiono prace wykonane wyłącznie przez Doktorantkę. Obejmują one opis opracowanej metodyki badawczej, prowadzonych badań na hamowni dynamicznej, wykonanych symulacji a także analizy wyników dla filtrów z nośnikiem produkowanym komercyjnie oraz tym opracowanym przez Autorkę rozprawy.

Podsumowując, problem badawczy rozprawy jest aktualny. Doktorantka zdefiniowała ambitne zadanie do rozwiązania.

Temat rozprawy Autorka sformułowała jako *„Analiza ograniczenia emisji cząstek stałych z silników o zapłonie iskrowym z wtryskiem bezpośrednim za pomocą techniki filtracyjnej"*. W opinii recenzenta nieco bardziej precyzyjnym wydaje się być temat sformułowany następująco: Analiza możliwości ograniczenia emisji cząstek stałych z silników o zapłonie iskrowym z wtryskiem bezpośrednim za pomocą techniki filtracyjnej. Nie należy jednak tego traktować w kategorii błędu, dlatego można uznać, że temat sformułowany został poprawnie a zakres przedmiotowy wykonanych prac badawczych jest zgodny z zasadami dociekań naukowych.

3.3 Ocena celów i tezy pracy doktorskiej

Pierwsza wzmianka na temat celu rozprawy doktorskiej pojawia się już na stronie 4 w streszczeniu, gdzie napisano *„...Wiąże się to bezpośrednio z celem realizowanej rozprawy doktorskiej, którym jest zaprojektowanie i wytworzenie filtra cząstek stałych z nośnikiem metalowym mogącym stanowić zamiennik dla filtrów z nośnikiem ceramicznym."*. Natomiast szersze omówienie celów pracy przedstawiono w dalszej części dysertacji.

Doktorantka sformułowała cele rozprawy poprzez zdefiniowanie problemów badawczego i konstrukcyjnego. Dodatkowo określiła tzw. *„część utylitarna pracy"*. Recenzent nie rozumie użycia przez Autorkę właśnie takiego sformułowania, bowiem opisując tzw. *„część utylitarną pracy"* Doktorantka przedstawia cel utylitarny. Ponad to wyróżnia cel główny, tj. *„Zaprojektowanie i wytworzenie filtra cząstek stałych do silników SI DI z nośnikiem metalowym stanowiącym zamiennik dla nośników ceramicznych oraz weryfikacja jego skuteczności."*. W opinii recenzenta cel główny sformułowano poprawnie. Natomiast niedosyt budzi brak wyjaśnienia w treści rozprawy użytego, w opisie celu głównego, sformułowania „skuteczność". Można co prawda domniemywać, czytając treść na stronie 97, analizując wyniki przedstawione w tabeli 8.4 a także studiując wnioski, że chodziło Autorce o miarę oceny opracowanego przez nią rozwiązania. Jednak w naukach technicznych pojęcie „skuteczność" ma na tyle szerokie znaczenie, że należałoby podać definicję odnoszącą się do kontekstu realizowanych badań naukowych.

W rozprawie Doktorantka określa pięć tzw. „celów szczegółowych". Pierwszy odnosi się do dostosowania dostępnych metod badawczych do realizacji prac będących przedmiotem rozprawy. Cele, drugi i trzeci także mają charakter badawczy, bowiem dotyczą prowadzenia

badań na stanowisku hamulcowym. Natomiast czwarty oraz piąty, według recenzenta najważniejsze spośród celów szczegółowych, uwzględniają aspekt analityczny prowadzonej rozprawy. Ich zrealizowanie pozwoliło jednocześnie potwierdzić osiągnięcie głównego celu dysertacji.

Nieco uwagi należy poświęcić strukturze rozprawy z punktu widzenia zdefiniowania celu dysertacji. Dopiero w rozdziale szóstym (od 43 strony) Doktorantka przedstawia cel i zakres rozprawy. Wcześniej czytelnik ma okazję zapoznać się z wprowadzeniem i czterema rozdziałami stanowiącymi przegląd literatury dotyczący wybranych aspektów dysertacji. W opinii recenzenta rozdział ten zdecydowanie powinien być przedstawiony we wcześniejszej części pracy, ponieważ:

- Czytelnik zostaje zapoznany z celem rozprawy po przeczytaniu połowy, tj. pięciu z dziesięciu rozdziałów dysertacji.
- Połowa treści zawartych na rysunku 6.1 zatytułowanym *„Struktura pracy"*, w którym pokazuje się najważniejsze etapy realizacji badań naukowych podzielone na cztery zasadnicze części (*„geneza"*, *„analiza teoretyczna i literaturowa"*, *„badania symulacyjne, eksperymentalne oraz analizy konstrukcyjne"*, *„podsumowanie"*) wydaje się być bezprzedmiotowa z uwagi na fakt, że Autorka najpierw opisuje we wprowadzeniu genezę wyboru tematu oraz w rozdziałach od drugiego do piątego *„analizę teoretyczną i literaturową"* a dopiero potem, w rozdziale szóstym, opisuje w sposób zwarty strukturę pracy.
- Zwyczajowo przyjęto, że zakres przedstawia się na początku dysertacji opisując w sposób syntetyczny zawartość poszczególnych rozdziałów. Tymczasem Autorka zamierzała przedstawić zakres rozprawy dopiero w rozdziale szóstym. Notabene w rozdziale szóstym nie opisano zakresu rozprawy, w klasycznym jego ujęciu.

Analizując bardziej szczegółowo treści przedstawione na rysunku 6.1 można odnieść wrażenie, że Doktorantka planowała przedstawić cel i zakres we wcześniejszej części rozprawy. Na rysunku tym, prostokąt opisujący *„cel i zakres pracy"* znajduje się po prostokącie *„wprowadzenie"* (w części *„geneza"*) co jest niezgodne ze stanem faktycznym.

Uważam, że wyżej omówione cele pracy odnoszą się do najważniejszych zadań zrealizowanych w rozprawie. Warto dodać, że cele pracy są zasadne i ważne zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia.

Teza została sformułowana następująco: *„Nośnik metalowy stanowi zamiennik nośnika ceramicznego do ograniczania emisji PM_m i PN z wykorzystaniem innych mechanizmów filtracji niż przepływ przez ściankę (wall-flow)"*. Można odnieść wrażenie, że tak sformułowana teza akcentuje bardziej charakter aplikacyjny recenzowanej dysertacji aniżeli naukowy. Należy dodać, że została sformułowana poprawnie.

Ważnym jest, że w tekście, który recenzent uznaje jako uzasadnienie do przyjętej tezy, Autorka podkreśla na konieczność znalezienia kompromisu pomiędzy miarą, określaną przez nią jako „sprawność" a kosztami wytworzenia filtra. Dowodzi to dużej dojrzałości naukowej Doktorantki ukierunkowanej na poszukiwanie rozwiązań, które mają szansę być zaimplementowane w praktyce.

3.4 Ocena doboru metod do rozwiązania problemu badawczego

Podjęty w rozprawie problem badania możliwości udoskonalenia filtrów cząstek stałych pod względem efektywności realizowanych przez nich zadań poprzez zastąpienie nośników ceramicznych, które są powszechnie stosowane, metalowymi wymagał od Autorki spojrzenia na ten problem szeroko. Dlatego Doktorantka rozpoczęła prace badawcze od przeglądu literaturowego, który został wykonany dość skrupulatnie. Po pierwsze obejmuje najważniejsze aspekty związane z funkcjonowaniem filtrów cząstek stałych wymagające odniesienia do sformułowanych celów pracy. Świadczy to o umiejętności syntetycznego i jednocześnie precyzyjnego opisu procesów i zjawisk odnoszących się do badanego problemu naukowego.

Z punktu widzenia oceny dobranych metod badawczych istotne są treści rozdziałów od siódmego do dziewiątego, bowiem prezentują wykonane przez Doktorantkę badania oraz ich analizę. Autorka przeprowadziła następujące typy badań:

- w warunkach rzeczywistych (na sieci drogowo-ulicznej aglomeracji poznańskiej),
- laboratoryjne na hamowni silnikowej,
- symulacyjne przy użyciu specjalistycznego oprogramowania.

Badania w warunkach rzeczywistych prowadzono z wykorzystaniem samochodu osobowego wyposażonego w silnik SI DI o objętości skokowej 1197 cm^3 (pojazd marki Volkswagen). Natomiast do badań na hamowni silnikowej Autorka wykorzystuje pojazd *„o tożsamych danych technicznych"* jednak nie prezentuje samego pojazdu, w przeciwieństwie do danych technicznych hamowni silnikowej.

Przedmiotem badań było pięć układów oczyszczania gazów wylotowych. Dwa komercyjne, jednoelementowe z nośnikiem ceramicznym różniące się liczbą CPSI oraz trzy z nośnikiem metalowym zaprojektowane przez Doktorantkę, spośród których dwa dwuelementowe i jeden jednoelementowy. Pomiarów mierzonych cech dokonywano w trzech miejscach, tj. przed TWC/GPF, za TWC/GPF i wewnątrz przepływomierza gazów wylotowych.

Oceny zawartości związków toksycznych i szkodliwych w gazach wylotowych dokonano zgodnie z procedurą RDE. W warunkach rzeczywistych rejestrowano parametry pracy silnika, które następnie odwzorowano na dynamicznym stanowisku. Dlatego badaniom poddano trzy typy odcinków obsługujących ruch drogowych o różnym charakterze: miejski, pozamiejski i autostradowy co pozwoliło na odwzorowanie działania filtrów cząstek stałych w różnych warunkach środowiska pracy.

Jednym z najistotniejszych osiągnięć Doktorantki było opracowanie autorskiego testu, którego założeniem było uproszczenie i skrócenie procedury badawczej. Widać, że podjęcie próby takiego działania przez Doktorantkę kolejny raz świadczy o uwzględnieniu aspektów praktycznych w realizacji badań naukowych. Opracowując ten test Autorka chciała połączyć zalety prowadzenia pomiarów w warunkach rzeczywistych i laboratoryjnych. W opinii recenzenta autorski test powinien być opisany bardziej szczegółowo, aby podkreślić istotne z punktu widzenia naukowego osiągnięcie Doktorantki.

Autorka w realizowanej rozprawie wykorzystała także metody symulacyjne analizując trzy warianty kształtów nośników metalowych z różną perforacją folii metalowej tworzącej kanały

filtracyjne. Wynikiem tej pracy jest prezentacja rozkładów prędkości przepływu gazów wylotowych, rozkładów ciśnienia dynamicznego i statycznego tych gazów, ciśnienia całkowitego, rozkładów energii kinetycznej a także stężenia cząstek stałych na powierzchni filtra. Wykorzystanie symulacji komputerowej przy realizacji badań prowadzonych przez Doktorantkę jest uzasadnione, ponieważ daje możliwość analizy rozpatrywanego problemu badawczego przy uwzględnieniu różnych uwarunkowań, danych wejściowych i ich charakterystyk co jest niewątpliwie istotną zaletą tej metody badawczej.

Uzyskane wyniki, opisane w rozdziałach siódmym, ósmym i dziewiątym, pozwalają wysnuć wniosek, że Doktorantka umiejętnie posłużyła się metodami badawczymi do realizacji celu rozprawy. Natomiast podsumowanie i wnioski opisane w rozdziale dziesiątym pozwalają na sformułowanie stwierdzenia, że Doktorantka potrafi dobrać właściwie metody i narzędzia do rozwiązywania problemów o naukowym charakterze. Wysoko oceniam jej umiejętności w zakresie prowadzenia badań w warunkach rzeczywistych, laboratoryjnych i z wykorzystaniem metod symulacyjnych.

3.5 Ocena oryginalności i naukowej wartości rozprawy

Opracowanie prototypu filtra cząstek stałych z nośnikiem metalowym do pojazdów z silnikami SI DI niewątpliwie świadczy o oryginalności rozprawy. Urządzenie to może stanowić tańszy zamiennik stosowanych komercyjne nośników ceramicznych przy jednoczesnym zachowaniu właściwości pracy odpowiadające obowiązującym współcześnie normom.

Do najistotniejszych osiągnięć naukowych Doktorantki przedstawionych w rozprawie zaliczam:

- uporządkowanie wiedzy z zakresu:
  - charakterystyki procesu powstawania cząstek stałych w silnikach SI DI,
  - uwarunkowań formalno-prawnych związanych z emisją cząstek stałych,
  - budowy i zasady działania filtrów cząstek stałych stosowanych w pojazdach z silnikami SI DI,
  - regeneracji filtrów cząstek stałych,
  - warunków i parametrów eksploatacyjnych tych urządzeń,
  - sposobów filtracji i utleniania cząstek stałych,
  - analizy cyklu życia nośników ceramicznych i metalowych wykorzystywanych w filarach cząstek stałych,
- opracowanie autorskiego testu do badania układów oczyszczania gazów wylotowych (emisji poszczególnych składników gazów wylotowych), którego celem było wykorzystanie dynamicznej hamowni silnikowej do odwzorowania testów prowadzonych w warunkach rzeczywistych a tym samym umożliwienie wykonywania badań przy niższych kosztach,
- opracowanie geometrii kanału w nośniku metalowym umożliwiającej filtrację i porównywalną jakość działania jak w filtrach z nośnikiem ceramicznym,

- wskazanie zasadności stosowania nośnika metalowego zamiast ceramicznego w filtrach cząstek stałych.

4. Uwagi krytyczne

4.1 Uwagi o charakterze redakcyjnym i edycyjnym

Ogólnie recenzowana rozprawa doktorska jest napisana poprawnym językiem na dobrym poziomie. Jednak nie jest pozbawiona błędów redakcyjnych i edycyjnych. Do najważniejszych zaliczam:

- występowanie błędów interpunkcyjnych i drobnych błędów edycyjnych, czego przykładem są te przedstawione na stronie 16, tj. *„Euro 6d-temp"* i *„Euro 6d--temp"*;
- brak odniesień do konkretnych aktów normatywnych. Na przykład na str. 51 i 52 pisze *„...Przejazdy przeprowadzono zgodnie z wytycznymi procedury, według której zaprojektowano trasę zawierającą odcinki o dopuszczalnych prędkościach poruszania się po drogach charakterystycznych dla jazdy miejskiej, pozamiejskiej i autostradowej (tab. 7.5). W celu spełnienia wymagań procedury, każda z części musi stanowić 33% całości trasy."*. W opinii recenzenta brakuje odniesienia do procedury, na którą powołuje się Doktorantka;
- brak konsekwencji w budowaniu wykazu skrótów i symboli, czego przykładem są treści zapisane w podrozdziale 2.3 *„Metody badawcze oraz testy homologacyjne"*, w którym Autorka używa skrótów dla testów ECE+EUDC (*Economic Commission for Europe + Extra Urban Driving Cycle*) nie zestawiając ich w omawianym wykazie. Natomiast kilka wierszy niżej w tekście charakteryzuje test NEDC (*New European Driving Cycle*) i umieszcza skrót NEDC w wykazie. Co prawda wykaz, o którym mowa, Doktorantka tytułuje jako *„Wykaz najważniejszych skrótów i symboli"*, a to poniekąd usprawiedliwia pominięcie wszystkich użytych w rozprawie skrótów. Jednak brak konsekwencji uwidacznia się również w odniesieniu do innych, bowiem skrót WLTC (*Worldwide Light Duty Test Cycle)* jest w wykazie a RDE (*Real Driving Emission*) nie. Oba przedstawione skróty są często stosowane w rozprawie;
- brak konsekwencji w budowaniu struktury rozprawy, ponieważ w podrozdziale 8.1 wyróżnia podsumowanie, czego nie robi w innych rozdziałach i podrozdziałach pracy (z wyjątkiem rozdziału dziesiątego);
- błędy stylistyczne tak jak na str. 60 w opisie rysunku 8.3 pt. *„Wariant 3 – geometria kanału podzielona na trzy odcinki o stałej długości i zmiennym kącie nachylenia perforacji, pierwszy odcinek to kąt nachylenia rosnący co 1° na każdym rzędzie perforacji (od 20° do 30°), pozostałe dwa odcinki to kąt nachylenia perforacji 30°"*, przy czym w opinii recenzenta powinno być napisanie: ... co 1° w każdym rzędzie perforacji (od 20° do 30°), pozostałe dwa odcinki o kącie nachylenia perforacji wynoszącym 30°;
- nieprecyzyjne używanie sformułowań przez Autorkę. Na przykład na str. 70 napisano *„...Pomimo tego, że nie był to wariant o największej sprawności filtracji (89%), wpływ*

na decyzję miały także pozostałe parametry charakteryzujące symulowane nośniki, takie jak równomierny rozkład prędkości przepływu gazów wylotowych, bardziej efektywne wykorzystanie przestrzeni kanałów filtracyjnych oraz wpływ stopniowej zmiany kąta nachylenia perforacji dla każdej z 3 części nośnika...". Z treści i kontekstu trudno domyśleć się jaką decyzję Autorka miała na myśli? Recenzentowi wydaje się, że chodzi o decyzję uzasadniającą wykorzystanie filtra GPF w konfiguracjach od 3 do 5;

- brak konsekwencji w opisie jednostek, jak na przykład w odniesieniu do zmiennej PN, w tablicy 8.1 na stronie 61 napisano, że wartości PN wyraża w [-], natomiast na rysunku 8.5 znajdującym się także na stronie 61 napisano, że wartości PN wyraża w [cm^3].

4.2 Uwagi o charakterze merytorycznym

1. str. 10 – Rysunek 1.4 Autorka tytułuje jako „*Wzrost liczby GPF w milionach sztuk rocznie z prognozą do końca 2022 r. na świecie [126]*" natomiast w tekście nad rysunkiem wskazuje, że dane za okres 2018 – 2022 są prognozowanymi pisząc „*...Prognoza dotycząca liczby produkowanych filtrów cząstek stałych GPF sugeruje rocznie dziewięciokrotny wzrost ich liczby od 2017 r., w którym wprowadzono obowiązek montażu, do 2022 r. (rys. 1.4). ...*". Wydaje się, że właściwszym byłoby zaprezentowanie danych rzeczywistych, zwłaszcza że obejmują okres od 2018 roku. Prognoza powinna wówczas obejmować rok 2022.
2. str. 17 – Doktorantka opisując najważniejsze założenia procedury RDE za publikacją [81] stosuje sformułowania „badanie" i „test" jako synonimy. Recenzent ma wątpliwości co do prawidłowości takiego podejścia.
3. str. 24 – Autorka tytułuje rozdział czwarty następująco „*Analiza warunków i parametrów eksploatacyjnych filtrów cząstek stałych*". W treści tego rozdziału opisuje co prawda parametry termodynamiczne gazów wylotowych a także charakteryzuje sposób filtracji cząstek stałych oraz utleniania cząstek stałych. Wątpliwości recenzenta budzi wykorzystanie słowa „Analiza" w tytule tego rozdziału, bowiem w świetle definicji przedstawionej w Słowniku języka polskiego pod red. W. Doroszewskiego[2] analiza to „*rozpatrywanie jakiegoś problemu, zjawiska z różnych stron w celu jego zrozumienia lub wyjaśnienia; bądź wyjaśnienie lub opis, będące wynikiem takiego rozpatrywania*". Według recenzenta treści przedstawione w tym rozdziale mają postać prezentacji, charakterystyki stanu wiedzy opracowanej na podstawie studiów literaturowych i nie stanowią analizy w świetle przedstawionej definicji. Doktorantka bowiem opisuje omawiane procesy występujące podczas eksploatacji filtrów cząstek stałych a także parametry eksploatacyjne a nie dokonuje ich analizy. Mając powyższe na uwadze właściwszym, w opinii recenzenta, byłoby użycie słowa „*charakterystyka*" zamiast „*analiza*" w tytułach rozdziału 4 i podrozdziałów 4.2 oraz 4.3. Podobne uwagi można wnieść do tytułu rozdziału 5 i podrozdziałów 5.2.1 i 5.3.

[2] https://sjp.pwn.pl/slowniki/analiza.html

4. str. 33 i 34 – W podrozdziale 5.1 Autorka opisuje proces wytwarzania nośników ceramicznych i metalowych do filtrów cząstek stałych. Koncentruje się przy tym na technologicznych uwarunkowaniach produkcji nośników. Natomiast we wprowadzeniu (na str. 10) pisze *„Ze względu na konkurencyjność koncernów samochodowych, ważnym czynnikiem decydującym o wyborze producenta filtrów cząstek stałych jest koszt ich wytworzenia"*. Według recenzenta, chcąc podnieść walory użytkowe rozprawy, treść podrozdziału mogłaby zostać wzbogacona o informacje związane z kosztami wytwarzania obu typów nośników.
5. str. 61 – W tabeli 8.1 Doktorantka prezentuje skład gazów wylotowych zmierzonych w rzeczywistych warunkach eksploatacji. W kolumnie *„Udział [%]"* podaje udział procentowy poszczególnych składników gazów wylotowych. W kolumnie tej podaje również wartości PM_m oraz PN. Jednak jednostki obu wartości podaje w wierszach odpowiednio wyrażając je w [mg/m^3] i w [-]. W opinii recenzenta taka forma prezentacji danych może wprowadzać w błąd, bowiem wartości PM_m oraz PN mogą być niepoprawnie zinterpretowane.

Proszę, aby Doktorantka nie ustosunkowywała się do tych uwag podczas publicznej obrony, lecz ewentualnie uwzględniła je w przyszłych publikacjach.

5. Pytania do Autorki rozprawy

1. Str. 6. W wykazie skrótów i symboli Autorka przedstawia następujące: *„LCV - Light Commercial Vehicle – lekkie pojazdy użytkowe"* oraz *„LDC - Light-Duty Vehicle – pojazd lekki"*. Oba typy pojazdów kategoryzuje jako pojazdy lekkie. Proszę podać czym w opinii Autorki różnią się oba typy pojazdów?
2. Str. 8. Autorka pisze *„...w najbliższych latach należy skupić się na doskonaleniu rozwiązań konstrukcyjnych silników spalinowych."* Powołuje się przy tym na publikację Shao H., Remias J.E., Roos J.W., Testing Tomorrow: Gasoline Particulate Filter and Emerging Technology, Afton Chemical Corporation 2019. Jak przedstawiona i zacytowana wyżej teza odnosi się do zapisów dokumentów strategicznych w Unii Europejskiej i w Polsce dotyczących rozwoju pojazdów zasilanych tzw. alternatywnymi źródłami energii?
3. Str. 8 – Na rysunku 1.1, który Autorka nazywa *„Kierunki rozwoju zasilania pojazdów osobowych w latach 2010 – 2025"* przedstawiono dane na podstawie pracy [18] datowanej na 2015 rok. Wydaje się, że w świetle obserwowanych zmian w zakresie kształtowania polityki klimatycznej, rozwoju technologii i dostępności źródeł energii przytaczanie danych z 2015 roku, które odnoszą się do lat 2020 i 2025 może być obarczone błędem. Czy znane są Autorce publikacje wydane po 2015 roku potwierdzające prognozy przedstawione w rozprawie na rysunku 1.1?
4. Str. 45 – Na rysunku 6.1 w zakresie *„Analizy teoretycznej i literaturowej"* Autorka deklarowała wykonanie *„Analizy energochłonności produkcji, eksploatacji i utylizacji"*. Na str. 100 w opisie kierunków dalszych badań wskazano, że jednym z nich jest *„Analiza*

LCA i energochłonności procesu produkcji filtrów.". Proszę o wskazanie w rozprawie - jak można wnioskować w rozdziale piątym zatytułowanym „*Analiza produkcji, eksploatacji i recyklingu nośników ceramicznych i metalowych*" - treści przedstawiających przeprowadzenie analizy energochłonności produkcji nośników ceramicznych i metalowych.

5. Str. 47 – W tabeli 7.3 Doktorantka opisuje konfiguracje układów oczyszczania gazów wylotowych wykorzystane do badań. Proszę o wyjaśnienie na podstawie jakiego kryterium wybrano do badań komercyjne układy katalityczne TWC oraz GPF/TWC?
6. Str. 55 – Opisując proces odwzorowania wyników pomiarów prowadzonych w warunkach rzeczywistych na hamowni silnikowej Doktorantka pisze o opracowaniu autorskiego testu wykorzystywanego do uproszczenia i skrócenia procedury badawczej podzielonego na trzy cykle odpowiadające podziałowi uwzględnionemu w procedurze RDE. Dodatkowo pisze o korelacji między zużyciem paliwa a emisją CO_2 mierzonej wartością współczynnika determinacji w przedziale $0{,}975<R^2<0985$. Proszę o bardziej szczegółowe scharakteryzowanie autorskiego testu i przedstawienie wyników badań, zależności między zużyciem paliwa a emisją CO_2, na podstawie których uzyskano przedstawione w rozprawie wartości współczynnika determinacji.
7. Str. 55 – Czy opracowany przez Doktorantkę autorski test na hamowni silnikowej oparty o zarejestrowany przebieg pojazdu poruszającego się po sieci drogowo-ulicznej aglomeracji poznańskiej zgodnie z procedurami RDE można uznać za reprezentatywny np. dla testów RDE wykonanych w innych aglomeracjach miejskich?
8. Str. 62 – W tabeli 8.2 Autorka podaje „*Parametry modelu DPM odpowiedzialne za odzwierciedlenie przepływu PM*". Jednym z nich jest parametr opisany jako „*Masa [kg/s]*". Masa to jednostka wyrażana w [kg], natomiast w [kg/s] wyraża się strumień masy. Dlaczego Autorka wyraża masę w [kg/s]? Czy w tabeli 8.2 prezentowane są wartości masy, czy strumienia masy?
9. Str. 97 – We wnioskach Autorka stwierdza, że wyniki prowadzonych badań potwierdzają możliwość stosowania nośników metalowych jako zamienników powszechnie używanych filtrów z nośnikami ceramicznymi. Czy Doktorantka prowadziła rozważania na temat możliwości komercjalizacji wyników prowadzonych badań, których efektem byłoby wprowadzenie do seryjnej produkcji filtrów cząstek stałych z nośnikami metalowymi? Jeśli tak to jakie są wybrane wnioski owych rozważań?
10. Str. 100 – W rozdziale opisującym kierunki dalszych prac Doktorantka nie wskazuje na potrzebę badania wpływu zastosowania opracowanego układu katalitycznego w układzie wylotowym pojazdu na parametry użyteczne silnika takie jak moment obrotowy czy moc użyteczna. Czy Autorka widzi potrzebę realizacji takich badań?

6. Ocena rozprawy i wniosek końcowy

Autorka dysertacji wykazała się bardzo dobrą znajomością podejmowanej w rozprawie problematyki. Dowiodła, że umiejętnie przeprowadziła badania w warunkach rzeczywistych, laboratoryjnych i badania z wykorzystaniem narzędzi symulacyjnych. Mimo przedstawionych uwag krytycznych, recenzowaną rozprawę doktorską pani mgr inż. Barbary SOKOLNICKIEJ-POPIS oceniam pozytywnie. Uważam, że przedstawiona do recenzji rozprawa została wykonana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Wyznaczone przez Autorkę cele rozprawy zostały osiągnięte, a teza udowodniona.

Oceniając całość rozprawy stwierdzam, że stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, który został zdefiniowany na podstawie dużej wiedzy i prawdopodobnie zamiłowania Autorki do problematyki budowy i eksploatacji pojazdów samochodowych. Co więcej w rozprawie można zauważyć spojrzenie Doktorantki na problem zarówno z naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Autorce bardzo zależało na tym, aby opracowane przez nią rozwiązanie cechowało się nie tylko lepszą jakością działania, ale było również konkurencyjne pod względem finansowym niż te stosowane komercyjnie. Takie podejście jest wynikiem współpracy Doktorantki z szeroko rozumianym otoczeniem społeczno-gospodarczym.

Należy zaakcentować, że Autorka wykazała się dojrzałością badawczą w samodzielnym prowadzeniu badań naukowych. Problem badawczy został poprawnie sformułowany i rozwiązany. Jednym z elementów dochodzenia do tego rozwiązania było opracowanie autorskiej metody badania emisji poszczególnych składników gazów wylotowych na dynamicznej hamowni silnikowej będącej odwzorowaniem badań prowadzonych w warunkach rzeczywistych.

Praca wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Lądowa i Transport w zakresie wiedzy na temat układów oczyszczania gazów wylotowych stosowanych w pojazdach samochodowych z silnikiem SI DI.

Konkludując, stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Barbary SOKOLNICKIEJ-POPIS pt. **„Analiza ograniczenia emisji cząstek stałych z silników o zapłonie iskrowym z wtryskiem bezpośrednim za pomocą techniki filtracyjnej"** spełnia wymogi formalne stawiane pracom doktorskim w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Lądowa i Transport zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478, z późniejszymi zmianami).

Stawiam wniosek o przyjęcie recenzowanej rozprawy przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej i dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.

Mając na uwadze wysoką wartość merytoryczną pracy informuję, że jeśli Doktorantka odpowie poprawnie na zadane jej pytania, obrona przebiegnie pomyślnie oraz spełni stosowne wymagania zdefiniowane przez Radę Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej, wówczas złożę wniosek o wyróżnienie dysertacji.

Aleksander Sobota