

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Siedleckiego

pt. „**Emisja cząstek stałych z silników pojazdów pozadrogowych z użyciem retrofitingu w rzeczywistych warunkach eksploatacji**”

Recenzję wykonano zgodnie z pismem Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy z dnia 28.09.2020 roku (nr DR-63/576/2/2020).

1. Uwagi ogólne – ocena doboru tematu

Recenzowana praca będąca przedmiotem rozprawy dotyczy oceny emisji cząstek stałych z silników pojazdów z grupy non-road (pojazdów pozadrogowych) z użyciem retrofitingu w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Jak wskazują liczne badania z tego obszaru, to emisja związków toksycznych spalin determinuje prace badawczo-rozwojowe nad konstrukcją i rozwojem układów napędowych maszyn. W przypadku grupy non-road wykorzystuje się głównie silniki o zapłonie samoczynnym, co niesie ze sobą zarówno wiele korzyści np. zmniejszone zużycie paliwa czy korzystniejszy przebieg momentu obrotowego, ale również negatywnych skutków np. nadmierna emisja cząstek stałych (PM) i tlenków azotu (NOx).

Chociaż wprowadzane są coraz bardziej restrykcyjne przepisy dotyczące emisji zanieczyszczeń z silników, to wiele z nich dotyczy wyłącznie nowych maszyn, co nie przekłada się na zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko naturalne np. środków transportu z grupy non-road.

Doktorant, dostrzegając tę lukę badawczą proponuje przeprowadzanie procesu retrofitingu jako niskokosztowej metody ograniczania emisji cząstek stałych z pojazdów i maszyn będących w eksploatacji. To ambitne zadanie zrealizował



poprzez opracowanie i wytworzenie filtra cząstek stałych przeznaczonego do retrofitingu maszyn non-road wraz z oceną skuteczności jego działania.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że problem badawczy podjęty przez mgra inż. Macieja Siedleckiego jest aktualny, istotny i ważny z punktu widzenia ochrony środowiska podczas eksploatacji pojazdów z grupy NRMM (*Non-Road Mobile Machinery*), a samo sformułowanie tematu rozprawy uznaję za właściwe.

Recenzowana praca liczy 98 stron, w tym 96 rysunków oraz 28 tabel i bibliografię liczącą 106 pozycji (w jęz. polskim – 29 pozycji i w jęz. angielskim – 77), w tym 4 pozycje mgra inż. Macieja Siedleckiego jako współautora.

Przedstawiona do recenzji praca obejmuje:

- 104 strony wydruku komputerowego formatu A4, w tym 98 stron tekstu zasadniczego i 6 stron bibliografii, spisu rysunków, tabel, załączników,
- 86 rysunków, w tekście zasadniczym podpisanych oraz ponumerowanych,
- 42 tabele w tekście zasadniczym, które są ponumerowane i opisane,
- bibliografię liczącą 106 pozycji krajowych i zagranicznych.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest Pan prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz, a promotorem pomocniczym jest Pan dr inż. Łukasz Rymaniak.

2. Kryteria oceny rozprawy

Mając na uwadze wymagania ustawowe - Ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym (z późniejszymi zmianami) oraz Ustawy o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z 2018 r., przy ocenie rozprawy doktorskiej **mgr inż. Macieja Siedleckiego** przyjąłem następujące kryteria: znaczenie i oryginalność podjętej tematyki, stopień rozeznania Doktoranta w badanej tematyce, poprawność sformułowania celu i hipotez badawczych, zasadność zastosowania metodyki badań, spójność struktury rozprawy oraz jej stronę warsztatową.

3. Analiza zakresu, celu i treści rozprawy

Zasadnicza treść rozprawy doktorskiej, istotna z punktu widzenia realizacji celu to treści zawarte w rozdziałach 5-8. Pozostałe stanowią podbudowę tematu, w tym wprowadzenie do problemu badawczego, zdefiniowanie celu i zakresu rozprawy oraz



wnioski potwierdzające realizację celu. Rozprawa zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz ważniejszych skrótów i symboli.

Treść rozdziałów jest powiązana z tytułem rozprawy i stanowi jego rozwinięcie oraz odpowiada zdefiniowanemu celowi rozprawy, przy czym rozdziały 1-3 stanowią część teoretyczną pracy, rozdziały 5 - 7 to badanie emisji cząstek stałych z pojazdów non-road oraz budowa prototypu filtra cząstek stałych, natomiast rozdział 8 to weryfikacja zaproponowanego przez Doktoranta podejścia.

Jak już wspomniałam rozdziały 1-3 stanowią część teoretyczną pracy.

I tak w **rozdziale 1** (6 stron) zatytułowanym „Wprowadzenie”, Doktorant dokonał krótkiego wyjaśnienia pojęcia pojazdów z grupy NRMM (*Non-Road Mobile Machinery*) oraz prognozy przyrostu liczby tego typu maszyn w kolejnych latach. Ponadto wskazuje retrofitting jako metodę/proces doposażania konstrukcji będących w eksploatacji, wyprodukowanych zgodnie ze starszymi normami homologacyjnymi w nowoczesne układy oczyszczania spalin, bez wprowadzania zmian konstrukcyjnych w silniku.

Rozdział drugi (12 str. - „*Emisja składników szkodliwych spalin z pojazdów o zastosowaniu pozadrogowym*”) – to analiza i opis składników szkodliwych zawartych w spalinach, ich wpływu na zdrowie i życie człowieka oraz sposoby ich ograniczania. Autor rozprawy skupił się w szczególności na cząstkach stałych, których emisja jest głównym problemem silników o zapłonie samoczynnym. W rozdziale tym przybliżony został problem nowoczesnych rozwiązań stosowanych w silnikach, które zapobiegają tworzeniu się składników toksycznych (metody silnikowe) oraz wpływające na już wytworzone związki (metody pozasilnikowe).

Natomiast w **rozdziale trzecim** (10 str. - „*Regulacje prawne dotyczące ograniczania szkodliwych składników spalin z pojazdów o zastosowaniu pozadrogowym*”) mgr Maciej Siedlecki przedstawia opis badań emisji składników toksycznych spalin z dwóch maszyn NRMM oraz rejestracji ich punktów pracy za pomocą nowoczesnej aparatury PEMS (*Portable Emission Measurement System*). Doktorant podkreśla, że otrzymane wyniki jednoznacznie wskazały na nadmierną emisyjność PM (*Particulate Matter*) i PN (*Particulate Number*) obydwu maszyn w warunkach rzeczywistych w porównaniu do limitów zawartych w normach homologacyjnych. Ponieważ warunki rzeczywiste w niewielkim stopniu odwzorują



3

punkty zawarte w statycznym, homologacyjnym cyklu badawczym, Doktorant zdecydował o modyfikacji cyklu statycznego, który w lepszy sposób odzwierciedlił rzeczywiste punkty pracy silników w czasie użytkowania maszyn. Opracowany test został w dalszej części rozprawy wykorzystany do weryfikacji skuteczności działania proponowanego rozwiązania.

W kolejnym podrozdziale mgr inż. Maciej Siedlecki przybliżył aktualne i przyszłe przepisy dotyczące emisyjności pojazdów z grupy NRMM w Europie, a także przedstawił ich podział, ze względu na różnice między parametrami silników maszyn oraz zadaniami, do których są one przeznaczone. W ostatniej części rozdziału Doktorant opisał przykłady retrofitingu na świecie jako sposobu na ograniczenie emisji przez doposażanie starszych silników w nowoczesne układy oczyszczania spalin. W tym miejscu powstaje pytanie, *w jakim stopniu retrofiting wpływa na zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska i czy to jest opłacalne z ekonomicznego punktu widzenia?*

Rozdział czwarty to zdefiniowanie celu rozprawy i jej zakresu. W rozdziale tym Doktorant stwierdza, że celem rozprawy jest cyt.(str.38) „**Opracowanie i wytworzenie filtra cząstek stałych przeznaczonego do retrofitingu maszyn non-road z oceną skuteczności jego działania**”.

Jednocześnie Autor rozprawy wskazuje, trzy cele badawcze ważne do jego realizacji:

1. Opracowanie konstrukcji filtra w środowisku CFD (*Computational Fluid Dynamics*) na podstawie badań w warunkach rzeczywistych pracy maszyn i wytworzenie prototypów.
2. Badania weryfikacyjne obejmujące wpływ zastosowania autorskiego rozwiązania na emisję związków toksycznych na stanowisku „hamownianym”.
3. Ocena oddziaływania filtrów zabudowanych na rzeczywistych pojazdach na emisję związków toksycznych oraz porównanie do rozwiązania „producentckiego”.

Na uwagę zasługuje przedstawiony schemat realizacji rozprawy doktorskiej, z którego jasno wynika zarówno przedmiot badań jak i rodzaj przeprowadzonych badań.

Kolejne rozdziały to zasadnicza część badawczo-eksperymentalna autorskich dokonań Doktoranta. W rozdziałach 5-7 Autor rozprawy dokonuje badań emisji cząstek stałych z eksploatowanych pojazdów, przedstawia koncepcję wirtualnego modelu filtra



przeznaczonego do retrofitingu maszyn pozadrogowych, natomiast w rozdziale 8 weryfikację i ocenę zaproponowanego przez siebie podejścia.

W rozdziale piątym (11 stron - „*Badanie emisji cząstek stałych z eksploatowanych pojazdów o zastosowaniu pozadrogowych*”) mgr inż. Maciej Siedlecki opisuje zastosowaną aparaturę pomiarową PEMS (*Portable Emission Measurement System*) do badań emisji składników toksycznych spalin z dwóch maszyn NRMM oraz rejestracji ich punktów pracy. Otrzymane wyniki jednoznacznie wskazały na nadmierną emisyjność PM (*Particulate Matter*) i PN (*Particulate Number*) obydwu maszyn: ciągnika rolniczego i koparki w warunkach rzeczywistych w porównaniu do limitów zawartych w normach homologacyjnych. Autor rozprawy wskazuje, że warunki rzeczywiste w niewielkim stopniu odwzorowują punkty pracy zawarte w statycznym, homologacyjnym cyklu badawczym. Dlatego dokonał modyfikacji cyklu statycznego, dla lepszego odzwierciedlenia rzeczywistych punktów pracy silników w czasie użytkowania maszyn. Na podkreślenie zasługuje opracowany test NRSC-PUT stanowiący lepsze odwzorowanie rzeczywistych punktów pracy silników NRMM, który posłużył Doktorantowi jako sposób weryfikacji działania filtrów w warunkach statycznych.

Zmierzony skład spalin posłużył Autorowi rozprawy do opracowania geometrii filtra cząstek stałych w środowisku ANSYS, co zostało zawarte w **rozdziale szóstym** (20 stron - „*Opracowanie wirtualnego modelu filtra przeznaczonego do retrofitingu maszyn pozadrogowych*”). W tym rozdziale mgr inż. Maciej Siedlecki przedstawia analizę numeryczną przepływu przez zaprojektowaną konstrukcję filtra cząstek stałych oraz opracowaną geometrię kanałów przepływowych. Na podstawie opracowanego wirtualnego modelu filtra cząstek stałych, mgr inż. Maciej Siedlecki wykonał prototypowy model rzeczywisty, który następnie poddał badaniom eksperymentalnym.

Analizę numeryczną przepływu Doktorant wykonał z wykorzystaniem czterech zredukowanych wymiarowo modeli geometrycznych nośnika. Obliczenia przeprowadził w środowisku Fluent 14.5, będącego częścią pakietu ANSYS, w wersji Academic Research. W podsumowaniu Doktorant wskazuje, że wybraną geometrią do opracowania rzeczywistego nośnika filtra DPF jest **model 4 z danymi z przypadku D04** jako połączenie wysokiej filtracji i niskiego oporu przepływu. Powstaje pytanie –



-5

czym wyróżnił się model 4 w odniesieniu do pozostałych trzech modeli lub co przeważało o wyborze tego modelu?

Rozdział siódmy (3 strony - „*Opracowanie prototypów filtrów cząstek stałych*”) przedstawia krótki opis kilkietapowego procesu wykonania filtrów. Mgr inż. Maciej Siedlecki w ramach prac badawczych rozprawy wykonał siedem filtrów, w tym sześć przeznaczonych do maszyn non-road oraz jeden przeznaczony do badań na hamowni silnikowej. Filtry różnią się objętością nośnika reakcyjnego celem dopasowania opracowanego rozwiązania do różnej objętości skokowej silników oraz średnic układów wylotowych maszyn.

Najważniejsza **część rozprawy będąca oryginalnym osiągnięciem** mgr inż. Macieja Siedleckiego **to, moim zdaniem, rozdział ósmy** (21 stron – „*Badania weryfikacyjne*”), w którym Doktorant dokonał weryfikacji stworzonego rozwiązania w rzeczywistych pojazdach, przy użyciu aparatury do pomiaru związków toksycznych spalin. Autor rozprawy opisuje w nim badania własne na hamowni silnikowej Politechniki Poznańskiej według zmodyfikowanego cyklu NRSC–PUT. Na podkreślenie zasługuje zastosowanie przez Doktoranta autorskiego rozwiązania w układzie wylotowym silnika fabrycznie niewyposażonego w filtr. Na odpowiednio przygotowanym stanowisku - na hamowni – mgr inż. Maciej Siedlecki przeprowadził badania emisji zanieczyszczeń według opracowanego testu NRSC–PUT bez nagrzewania i z nagrzanym układem. Otrzymane wyniki badań wskazują, że zaprojektowany filtr w znaczny sposób przyczynił się do zmniejszenia emisji PM i PN. Ponadto widoczny był wpływ zwiększonej temperatury spalin na jego skuteczność działania. Wcześniejsze nagrzanie filtra również pozytywnie wpływa na sprawność działania.

W dalszej kolejności Doktorant dokonał weryfikacji działania filtrów w układach wylotowych rzeczywistych maszyn z grupy NRMM. Obydwie jednostki spełniały normę Stage IIIA i nie były wyposażone w filtry cząstek stałych. Podobnie, jak w przypadku testów na hamowni silnikowej, Doktorant dokonał porównania emisji gazowych związków toksycznych oraz cząstek stałych. W układach wylotowych dwóch maszyn – ciągnika rolniczego oraz koparki umieszczono zaprojektowane filtry cząstek stałych o różnych wymiarach. Badania zostały przeprowadzone z zastosowaniem cyklu NRSC–PUT, a obliczone punkty pracy były uzyskiwane przez obciążanie napędów



pomocniczych maszyn. W tym przypadku weryfikację rozszerzono o porównanie jednostkowej emisji uzyskanej w teście do maszyny fabrycznie wyposażonej w filtr cząstek stałych.

Wnioski i kierunki dalszych badań (str.3) to rozdział dziewiąty, w którym mgr inż. Maciej Siedlecki sformułował wnioski i zaproponował kierunki dalszych badań.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Układ całości rozprawy jest logiczny i czytelny a ogólna jej forma, zakres oraz podział treści na rozdziały ujmują wszystkie istotne elementy tematu rozprawy. Właściwy podział to konsekwencja analizy literatury, przedstawienia autorskich analiz oraz modelu i ich weryfikacji na danych rzeczywistych. Całość rozprawy, jak już wcześniej podkreśliłam w swojej recenzji, została ukierunkowana na realizację celu pracy.

W przedstawionej do recenzji rozprawie, Autor podjął się rozwiązania złożonego zagadnienia dotyczącego opracowania i wytworzenie filtra cząstek stałych przeznaczonego do retrofitingu maszyn roboczych non-road i realizacji zaplanowanych badań weryfikacyjnych określających ocenę skuteczności ich działania w warunkach rzeczywistej eksploatacji.

Na podkreślenie zasługuje opracowany przez Doktoranta test NRSC-PUT stanowiący lepsze odwzorowanie rzeczywistych punktów pracy silników środków transportu z grupy NRMM, który następnie wykorzystał do weryfikacji działania filtrów w warunkach statycznych. Ważnym etapem w realizacji celu pracy było opracowanie wirtualnego modelu filtra cząstek stałych, który stanowił podstawę do wykonania prototypowego modelu rzeczywistego, niezbędnego dla przeprowadzenia badań eksperymentalnych.

Przeprowadzone badania w pełni potwierdzają realizację celu rozprawy, a Doktorant, w swoich badaniach dowiódł skuteczności procesu retrofitingu środków transportu z grupy NRMM fabrycznie niewyposażonych w filtr cząstek stałych.

W moim przekonaniu przedstawiona do recenzji praca jako rozprawa doktorska mgra inż. Macieja Siedleckiego jest oryginalnym i autorskim ujęciem retrofitingu jako skutecznego sposobu ograniczenia emisji związków toksycznych i tym samym poprawiającego parametry ekologiczne maszyn pozadrogowych (NRMM) będących



w eksploatacji. Autor potwierdził skuteczność działania opracowanego filtra cząstek stałych wykorzystanego do retrofitingu NRMM w aspekcie zmniejszenia PM i PN, a także wykazał, że emisja związków toksycznych w warunkach polowych oraz punkty pracy silnika znacznie odbiegają od cykli homologacyjnych przewidzianych dla środków grupy NRMM. Przedstawiona dyskusja wyników przy przeprowadzonych badaniach empirycznych oraz podsumowanie i wnioski potwierdzające realizację celu rozprawy i wskazują na duży potencjał naukowy mgr inż. Macieja Siedleckiego.

Za najważniejsze i autorskie osiągnięcie mgr inż. Macieja Siedleckiego uważam:

1. Opracowanie autorskiej metody weryfikacji skuteczności działania filtrów cząstek stałych z wykorzystaniem aparatury PEMS i sygnałów dostępnych z pokładowych systemów diagnostycznych.
2. Zastosowanie testu statycznego NRSC-PUT podczas badania maszyn poddanych retrofitingowi jako alternatywy dla kosztownych i czasochłonnych badań w rzeczywistych warunkach eksploatacji.
3. Opracowanie i wytworzenie filtra cząstek stałych przeznaczonego do retrofitingu maszyn roboczych non-road.
4. Przeprowadzenie szeroko zaplanowanych badań weryfikacyjnych.

Oczywiście Doktorant nie uchronił się od małych niedociągnięć. Nie wpływają one na ocenę merytoryczną rozprawy, ale utrudniają właściwy odbiór treści rozprawy. Wśród tych niedociągnięć należy wymienić m.in.:

1. Błędy stylistyczne np. str. 41 w tytule rozdziału 5 „...*eksploatowanych pojazdów o zastosowaniu pozadrogowych*” powinno być „...*eksploatowanych pojazdów o zastosowaniu pozadrogowym*”, podobnie jak to jest w rozdziale 2 czy 3; str. 38 „... na stanowisku *hamownianym*” czy „...do rozwiązania *producentckiego*” – dale Autor rozprawy używa pojęcia „*hamowni silnikowej*”, „*stanowisku hamowni silnikowej*” itp.
2. Str. 17 wzór (2.2) – zapis oznaczeń we wzorze i w wyjaśnieniach inną czcionką
3. Str. 59 - wzór (6.1) w objaśnienie oznaczeń znajdują się oznaczenia które nie występują we wzorze (6.1) – dopiero w kolejnych wzorach wprowadzane są oznaczenia objaśnione we wzorze (6.1).

Pomimo wskazanych drobnych niedociągnięć stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska jest ambitnie zamierzoną i w pełni poprawnie zrealizowaną dysertacją. Uwagi szczegółowe mają głównie charakter redakcyjny, mogą być wykorzystane w poprawie jakości, w tym czytelności zamierzonych publikacji obejmujących poszczególne fragmenty dysertacji.



8

Podsumowując uważam, że omówiona konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są właściwe dla tego rodzaju prac. Autor wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod eksperymentalnych i analitycznych stosowanych w dyscyplinie *Inżynieria Lądowa i Transport*.

5. Wniosek końcowy oceny rozprawy

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

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań są oryginalnym dorobkiem naukowym jej Autora, a rezultaty pracy mogą być wykorzystane w praktyce gospodarczej, co potwierdza realizację wyznaczonego celu rozprawy.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa mgra inż. Macieja Siedleckiego pt. *„Emisja cząstek stałych z silników pojazdów pozadrogowych z użyciem retrofitingu w rzeczywistych warunkach eksploatacji”* spełnia warunki przewidziane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. Nr 65, poz. 595 (z późniejszymi zmianami) oraz Ustawy o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z 2018r.

Stawiam więc wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji – jako rozprawy doktorskiej mgra inż. Macieja Siedleckiego nt. *„Emisja cząstek stałych z silników pojazdów pozadrogowych z użyciem retrofitingu w rzeczywistych warunkach eksploatacji”* na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *Inżynieria Lądowa i Transport* i dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Poznańskiej w dyscyplinie: *Inżynieria Lądowa i Transport*.

Prof. dr hab. inż. Marianna Jacyna

