

Prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz
Instytut Silników Spalinowych i Napędów
Politechniki Poznańskiej

O C E N A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Strzałkowskiej pt. „Modelowanie emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych do celów oceny oddziaływania zanieczyszczeń ze źródeł motoryzacyjnych na środowisko”

podstawa opracowania: pismo Dziekana Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej, Umowa o Dzieło Nr 1150/000159/2020, do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej

1. UZASADNIENIE PODJĘCIA TEMATU ROZPRAWY

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

Obecnie największe problemy występują w zakresie emisji tlenków azotu (NO_x) oraz emisji cząstek stałych, określanymi masowo PM (Particle Mass) i liczbowo PN (Particle Number). Zatem kluczowe są zagadnienia, dotyczące emisji cząstek stałych związanej z eksploatacją pojazdów samochodowych, a szczególnie ocena ich emisji ze źródeł motoryzacyjnych z wykorzystaniem modeli emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych.

W rozprawie podjęty został bardzo aktualny i ważny z praktycznego punktu widzenia problem modelowania dyspersji zanieczyszczeń powietrza wprowadzanych przez motoryzację do środowiska (inventaryzacja emisji zanieczyszczeń powietrza). Ta ocena odbywa się na podstawie różnych modeli sformalizowanych, proponowanych przez różne ośrodki badawcze (są to modele bardzo skomplikowane i wymagające wielu danych wejściowych) oraz na podstawie danych z rzeczywistych warunkach pracy silników spalinowych w pojazdach trakcyjnych. Badanie emisji oraz imisji cząstek stałych jest istotne ze względu na szkodliwość pyłów dla zdrowia ludzi i środowiska. Jednocześnie, z powodu ogromnego nacisku przez społeczeństwa, problem ten jest rozwiązywany przez bardzo dużą liczbę ośrodków naukowych, badawczych i przemysłowych, dysponujących często ogromnymi możliwościami finansowymi. Duża liczba publikacji ukazujących się na całym świecie wskazuje na ogromną konkurencję. Nie ulega zatem wątpliwości, iż tematyka ocenianej rozprawy, jej cele i zakres są wybrane wyjątkowo trafnie i to zarówno ze względu na aspekt naukowy jak i użyteczny.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Rozprawę, liczącą 243 strony, podzielono na 11 rozdziałów oraz bibliografię, liczącą 118 pozycji, w tym wiele obcojęzycznych. Na szczególne podkreślenie zasługuje aktualność zebranej literatury, co świadczy o dobrym rozeznaniu Autorki w temacie.

Rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Strzałkowskiej dotyczy zagadnień emisji cząstek stałych związanej z eksploatacją pojazdów samochodowych. Celem rozprawy jest ocena emisji cząstek stałych ze źródeł motoryzacyjnych z wykorzystaniem modeli imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych. Modelowanie imisji cząstek stałych dotyczy frakcji o wymiarach charakterystycznych mniejszych od $10\ \mu\text{m}$ – PM10, mniejszych od $2,5\ \mu\text{m}$ – PM2.5 i mniejszych od $1\ \mu\text{m}$ – PM1. Do budowy modeli stworzonych zgodnie z kryterium podobieństwa funkcjonalnego wykorzystano zależność imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych od imisji tlenku węgla i imisji tlenków azotu.

Dla postawionego celu pracy związanego z opracowaniem metodyki oceny emisji cząstek stałych ze źródeł motoryzacyjnych z wykorzystaniem modeli imisji frakcji wymiarowych cząstek stałych, Autorka sformułowała trafnie następujące tezy pracy:

1. Istnieje rosnąca zależność imisji zanieczyszczeń od natężenia emisji tych zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych w okolicach tras komunikacyjnych. Umożliwia to wnioskowanie o emisji cząstek stałych PM10 na podstawie znajomości imisji cząstek stałych PM10, wyznaczonej z wykorzystaniem modeli imisji cząstek stałych PM10 zależnych od imisji innych zanieczyszczeń.
2. Skutecznym sposobem oceny emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych ze źródeł motoryzacyjnych jest wykorzystanie modeli imisji cząstek na podstawie znajomości imisji innych zanieczyszczeń motoryzacyjnych, która to imisja może być wyznaczona z wykorzystaniem dobrze zweryfikowanych modeli emisji zanieczyszczeń z samochodowych silników spalinowych.

3. Do modelowania emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych ze źródeł motoryzacyjnych może być wykorzystany fakt silnej korelacji emisji frakcji wymiarowej cząstek stałych oraz emisji tlenku węgla i emisji tlenków azotu.

Doktorantka sformułowała następujące zadania badawcze:

1. Opracowanie koncepcji modelowania emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych.
2. Opracowanie modeli emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych: PM10 i PM2.5.
3. Klasyfikacja charakteru ruchu pojazdów oraz przestrzennych właściwości dróg.
4. Identyfikacja oraz weryfikacja modeli emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych.

W podsumowaniu swojej dysertacji Autorka stwierdziła, że:

1. Dla opracowania metodyki oceny emisji cząstek stałych ze źródeł motoryzacyjnych wykorzystano modele emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych, zbudowane na zasadzie podobieństwa funkcjonalnego.
2. Emisja cząstek stałych jest znacząca z niezależnych źródeł o pochodzeniu innym niż sektor transportu, a zatem dodatkowo należałoby skategoryzować i określić tło zanieczyszczeń, jakie pochodzą z innych źródeł niż transport.
3. Stwierdzono korelację między emisją cząstek stałych PM10 i emisją tlenków azotu (dwutlenku azotu) oraz emisją tlenku węgla. Wynikiem oryginalnym w stosunku do wiedzy pochodzącej z innych środowisk jest silniejsza korelacja występująca między emisją cząstek stałych PM10 oraz emisją tlenku węgla. Modele emisji cząstek stałych PM10 mają parametry wrażliwe na natężenie ruchu pojazdów samochodowych oraz warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.
4. Modele emisji cząstek stałych PM10 dwuwymiarowe i stopnia drugiego są najbardziej zgodne z przedmiotem modelowania spośród rozpatrywanych modeli. Największą dokładność ma model, w którym emisja cząstek stałych PM10 jest przedstawiona w postaci wielomianu stopnia drugiego emisji tlenku węgla i emisji tlenków azotu.
5. Modele emisji cząstek stałych PM10, PM2.5 i PM1 mogą zostać wykorzystane do oceny zagrożenia środowiska przez pyły ze źródeł motoryzacyjnych.
6. Dla wyznaczenia uniwersalnych współczynników modeli emisji cząstek stałych, należałoby przeprowadzić znacznie większą liczbę badań na stacjach monitorowania jakości powietrza, uwzględniających aktualne natężenie ruchu samochodowego oraz jego charakter. Ponadto badania powinny uwzględniać aktualne warunki atmosferyczne.

3. OCENA ROZPRAWY

3.1. Uwagi ogólne

Pod względem merytorycznym i metodycznym pracę oceniam wysoko – zawiera ona nieliczne niedociągnięcia, błędy i usterki, które nie rzutują na ogólną ocenę pracy. Układ logiczny rozprawy odpowiada tokowi przeprowadzanych analiz i badań (analiza problemu –

postawienie tez – badania symulacyjne i ich weryfikacja w rzeczywistych warunkach – wnioskowanie) i jest typowym, klasycznie prawidłowym metodycznie ciągiem czynności badawczych, zapewniającym klarowny układ treści pracy bez luk i powtórzeń. Na podkreślenie zasługuje staranne „podbudowanie” sformułowania celu pracy oraz wynikającego stąd jej zakresu. Autorka przeprowadziła eksperymenty mające wartość zarówno naukową jak i użyteczną.

Osiągnięcia pracy:

1. Wykorzystanie modelowania emisji cząstek stałych jako skutecznego sposobu oceny szkodliwości dla środowiska zanieczyszczeń pyłowych pochodzących ze źródeł motoryzacyjnych.
2. Praca zawiera staranny przegląd stanu wiedzy na tematy związane z doktoratem, zarówno aktów prawnych, jak i publikacji. Analiza przeglądu wiedzy umożliwiła określenie zakresu pracy, sformułowanie jej tez, przyjęcia zadań i metod badawczych.
3. Istotną wartość pracy stanowią wnikliwe analizy wyników badań oraz umiejętność formułowania oryginalnych wniosków zarówno szczegółowych, jak i będących ich uogólnieniem. Na podkreślenie zasługuje syntetycznie sformułowane podsumowania pracy.
4. Tezy sformułowane w pracy są oryginalne. Na podkreślenie zasługuje teza druga, zgodnie z którą jest uzasadnione ocenianie emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych ze źródeł motoryzacyjnych dzięki wykorzystaniu modeli emisji cząstek. Ma to praktyczne znaczenie w wielu wypadkach, gdy istnieje duża trudność identyfikacji modeli emisji cząstek stałych zbudowanych na zasadzie podobieństwa strukturalnego. Na szczególne podkreślenie zasługują akapity dotyczące warunków udowodnienia tez pracy, rzadko spotykane w pracach promocyjnych.
5. Na podkreślenie zasługuje koncepcja klasyfikacji warunków emisji cząstek stałych z pojazdów samochodowych oraz warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, co umożliwiło agregację czynników determinujących zidentyfikowane parametry modeli emisji zanieczyszczeń. Jest to podejście całkowicie oryginalne, dotychczas niespotykane w literaturze.
6. Oryginalnym osiągnięciem Doktorantki jest opracowanie modeli matematycznych emisji cząstek stałych PM10, PM2.5 i PM1 oraz badania tych modeli.
7. Na wysokim poziomie jest statystyczne opracowanie wyników badań empirycznych, przede wszystkim wszechstronna analiza korelacyjna. Statystyczne opracowanie wyników badań umożliwiło identyfikację parametrów modeli.
8. Doktorantka przywiązuje dużą wagę do ścisłości wyrażania myśli i dbałości o język – zarówno naukowy, jak i o język polski. Skrupulatnie i konsekwentnie są stosowane specjalistyczne terminy.

3.2. Uwagi krytyczne

1. Praca jest bardzo obszerna. Wydaje się, że z korzyścią dla pracy byłoby bardziej syntetyczne ujęcie niektórych problemów. W samej pracy jest bardzo dużo wyników badań empirycznych, dodatkowo załącznik na płycie CD zawiera kompletne wyniki badań. Dla przejrzystości pracy można by w pracy pozostawić tylko te wyniki, które ilustrowałyby zastosowane metody, a wnioski sformułować na podstawie wszystkich wyników pracy.
2. Pewien niedosyt budzi fakt, że jednak nie udało się uzyskać uniwersalnych wyników identyfikacji parametrów modeli emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych dla wszystkich elementarnych warunków emisji zanieczyszczeń i ich rozprzestrzeniania się. Wynika z tego, że w celu uzyskania użytecznego wyniku jest konieczne przeprowadzenie badań w znacznie szerszym zakresie, co jednak jest możliwe tylko w ramach dużych projektów badawczych, a przekracza możliwości prac kwalifikacyjnych, do których zalicza się doktoraty.
3. Krytyka modeli emisji cząstek stałych PM10 jest oparta na wiedzy zaczerpniętej z literatury. Na pewno byłoby korzystne dla poparcia tej krytyki zamieszczenie konkretnych wyników. Z drugiej strony mam świadomość, że praca jest tak obszerna, iż umieszczenie takiego materiału musiałoby być wynikiem kompromisu – rezygnacji z innych wyników.
4. Wolałbym, aby w rozdziale „Posumowanie” wnioski były usystematyzowane w następujący sposób:
 - ogólne, w którym powinno być stwierdzenie, że zrealizowano cel pracy, udowodniono tezę i główne osiągnięcie rozprawy;
 - szczegółowe;
 - metodologiczne;
 - użyteczne, do wdrożenia w najbliższym czasie;
 - perspektywiczne, czyli kierunki dalszych badań, których nie sformułowano; mogłoby to być na przykład stwierdzenie: Celowa jest analiza natężenia ruchu pojazdów samochodowych w pobliżu stacji pomiarowych oraz sumy opadów atmosferycznych, temperatury powietrza i prędkości wiatru.

Uwagi szczegółowe:

- Brak tytułu rozprawy w języku angielskim (w "Summary");
- Niefortunne formatowanie, wiele pustych miejsc na stronach, które niepotrzebnie zwiększają objętość rozprawy;
- Rozdział 6 połączyłbym z rozdziałem 7;
- Według mnie niepotrzebny jest spis tabel i rysunków, które znowu niepotrzebnie zwiększa objętość rozprawy;
- Rażą niektóre sformułowania, np. „na rysunku zobrazowano”; na wykresach 10.37-10.72, a powinno być na rysunkach 10.37-10.72, itp.

3.3. Podsumowanie

Powyższe nieliczne uwagi krytyczne, niektóre dyskusyjne, nie wpływają na moją bardzo wysoką ocenę poziomu merytorycznego rozprawy, i to zarówno ze względu na intelektualny wkład Autorki i na zakres włożonej przez nią pracy. Na szczególne podkreślenie zasługuje oryginalnie i twórcze podejście do modelowania procesów całkowitej emisji zanieczyszczeń powietrza wprowadzanych przez motoryzację do środowiska, przede wszystkim cząstek stałych. Metodyka badań oraz otrzymane wnioski z badań eksperymentalnych stanowią w znacznej części oryginalny wkład Autorki.

Wszystkie wymienione powyżej elementy pracy świadczą o jej dużej wartości merytorycznej, a zwłaszcza dotyczą:

- podjętej tematyki, która wynika z wnikliwej analizy stanu wiedzy i wychodzi naprzeciw zapotrzebowaniu społeczeństwa na poprawę jego jakości życia,
- prawidłowego i skrupulatnego zdefiniowania celu i zakresu rozprawy,
- wysokiego poziomu merytorycznego pracy i obeznania z rozważaną tematyką,
- przeprowadzenia badań modelowych i identyfikacyjnych w zakresie rozważanej tematyki z uwzględnieniem wielu zmiennych,
- konsekwencji i precyzji w definiowaniu pojęć naukowych, zwłaszcza z dużym naciskiem na poprawne i jednoznaczne stosowanie terminów i określeń naukowych z szeroko pojętego obszaru inżynierii mechanicznej,
- umiejętności korzystania z literatury specjalistycznej, w tym pozycji literatury światowej,
- dbałości o poziom formalny i edytorski pracy,
- przejrzystej i logicznej struktury pracy.

W pracy Autorka podjęła się wyjątkowo trudnego i ambitnego zadania, które z oczywistych względów nie wyczerpuje całości skomplikowanych zagadnień związanych z modelowaniem i wpływem emisji/emisji zanieczyszczeń ze źródeł motoryzacyjnych na środowisko. Liczba czynników wpływających na te zjawiska jest znaczna, a otrzymywane dane wejściowe obciążone są wieloma błędami, co bardzo komplikuje zagadnienie. Trudne jest zdecydowanie wydzielenie wpływu jednego czynnika (tzw. analiza pierwiastkowa), ponieważ należy liczyć się z interakcją innych. Należy przy tym zaznaczyć, że obecny stan wiedzy o niektórych czynnikach, zwłaszcza związanych z warunkami atmosferycznymi, jest niewystarczający do pełnego ustalenia ich wpływu, stąd też tylko wybrane czynniki należy brać pod uwagę, dając możliwość uzupełnienia ich w dalszej pracy badawczej. Wynika z tego konieczność dalszych badań i analiz, które pozwolą w sposób jednoznaczny określić przydatność zaproponowanej w pracy metody do oceny emisji zanieczyszczeń motoryzacyjnych, w każdym warunkach atmosferycznym i terenowych.

4. PODSUMOWANIE I KONKLUZJA

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej stwierdzam, że:

- Autorka dokonała wyjątkowo trafnego wyboru tematyki swojej pracy, a jej zakres spełnia stawiane wymagania,
- zasadnicze cele pracy zostały w pełni osiągnięte w zakresie przyjętym przez Doktorantkę, bowiem uzasadnione zostały twierdzenia Autorki ujęte w tezach pracy, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonych studiach i eksperymentach własnych i mogą służyć do dalszych prac,
- formalny układ pracy jest prawidłowy,
- dysertacja dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, a w wielu elementach wnosi do nich nowe treści,
- znaczna akumulacja należycie ustalonych faktów sprawia, że zostało spełnione kryterium logicznej poprawności pracy.

Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktorantki w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jej dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Inżynieria mechaniczna”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą. W moim przekonaniu powyższe fakty świadczą o wystarczających kompetencjach Doktorantki w zakresie samodzielnego ustalania tematyki i prowadzenia badań naukowych.

W związku z powyższym uważam, że rozprawa **mgr inż. Katarzyny Strzałkowskiej pt. „Modelowanie emisji frakcji wymiarowych cząstek stałych do celów oceny oddziaływania zanieczyszczeń ze źródeł motoryzacyjnych na środowisko”** (promotor: prof. dr hab. inż. Zdzisław Chłopek, promotor pomocniczy: dr inż. Jakub Lasocki) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, w rozumieniu ustawy „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” z dnia 14 marca 2003 roku, a Autorka może być dopuszczona do jej publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę powyższe jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie rozprawy, oczywiście pod warunkiem pozytywnego wyniku obrony doktorskiej. Uzasadnieniem wniosku jest nowatorskie i unikatowe potraktowanie przez Doktorantkę problemu naukowego modelowania procesów całkowitej emisji zanieczyszczeń powietrza wprowadzanych przez motoryzację do środowiska. Kandydatka posiada wysokie umiejętności budowania matematycznych modeli procesów emisji i cechuje ją wyjątkowa dokładność w stosowaniu sformalizowanego ich opisu. Postawione zadania naukowe zostały przez nią kompleksowo zrealizowane z zastosowaniem współczesnych metod naukowych, zarówno w badaniach empirycznych – szczególnie rozbudowanych i profesjonalnych, jak i w oryginalnych badaniach rzeczywistych. Na szczególną uwagę zasługuje bardzo wysoki poziom metodyczny i merytoryczny rozprawy oraz niezwykła dbałość Doktorantki o formalizm matematyczny, a także o ścisłość wyrażania myśli i wysoki poziom języka polskiego ogólnego, w tym również technicznego. Powyższa praca ma również bardzo ważny i wartościowy aspekt użytkowy. Jej wyniki powinny być wykorzystane do modelowania infrastruktury miejskiej i drogowej, a także do projektowania systemów transportowych.

