

Prof. dr hab. inż. Andrzej Świdorski
Instytut Transportu Samochodowego
03-301 Warszawa
ul. Jagiellońska 80

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Rykały
pt.: **„BADANIE EMISJI CO₂ POJAZDU OSOBOWEGO NA WYBRANYM PRZYKŁADZIE
Z ZASTOSOWANIEM METOD MATEMATYCZNYCH”**
Promotor: płk dr hab. inż. Anna Borucka, prof. WAT
Promotor pomocniczy: ppłk dr inż. Małgorzata Grzelak

Recenzja przygotowana została na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport” Wojskowej Akademii Technicznej (pismo przewodniczącego Rady Dyscypliny płk. prof. dr. hab. inż. Michała Kędzierskiego z dnia 03.03.2025 r.).

1. INFORMACJE WSTĘPNE

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Rykały poświęcona jest istotnym i bardzo interesującym, zarówno z poznawczego, jak i praktycznego punktu widzenia, problemom emisji CO₂ w transporcie drogowym, w kontekście wspomagania kierowców samochodów osobowych w zakresie ekologicznej jazdy.

Doktorantka dokonała analizy (również literaturowej) i wyjaśniła negatywny wpływ tej emisji na środowisko naturalne, uwzględniając cele polityki klimatycznej Unii Europejskiej. Na jej podstawie słusznie wykazała, iż *„kierowca swoim zachowaniem na drodze może znacząco przyczynić się do redukcji śladu węglowego związanego z transportem drogowym. Kluczowymi aspektami w tym obszarze są: prędkość pojazdu oraz dynamika jazdy”*. Dokonanie przeglądu aktualnej literatury i jej wieloletnie doświadczenie potwierdziły istnienie luki badawczej w obszarze związanym z niewielką liczbą metod, technik i narzędzi dedykowanych kompleksowemu modelowaniu emisji CO₂ z pojazdów samochodowych i poświęconych indywidualnym użytkownikom. Doktorantka podjęła się zatem próby wypełnienia tej luki poprzez zaproponowanie modelu oceny kształtowania emisji CO₂ na podstawie informacji pozyskanych z interfejsów diagnostycznych.

Poszukiwanie nowych metod ograniczania negatywnego wpływu środków transportu drogowego na środowisko naturalne, jest niezwykle ważne z punktu widzenia konieczności podejmowania skutecznych działań zapobiegawczych. W tę tematykę dobrze wpisuje się przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska.

Wszystko to, moim zdaniem, było główną inspiracją zajęcia się przez Doktorantkę powyższym tematem.

Stwierdzam, że wybór tematu rozprawy, problemu badawczego i obiektu implementacji należy uznać za trafny, w pełni uzasadniony aktualnym stanem wiedzy i potrzebami praktyki.

2. OCENA METODYCZNA

Rozprawa obejmuje łącznie 168 stron. Dzieli się na 6 zasadniczych rozdziałów, w tym wstęp i zakończenie oraz wykaz skrótów, wykaz oznaczeń, podsumowanie przeprowadzonych badań i wnioski oraz wykaz literatury. Między rozdziałami zachowano właściwe proporcje. Treść pracy zgodna jest z jej tytułem, a rozdziałów z ich nagłówkami, które dają syntetyczny pogląd na przedstawioną w nich zawartość merytoryczną. Kolejne tytuły rozdziałów reprezentują logiczne powiązanie całości rozprawy. Dysertację cechuje pragmatyzm naukowy, tzn. treść następnego rozdziału wynika z treści rozdziału poprzedzającego. Struktura rozprawy jest logiczna i racjonalna. Jest poprawna pod względem kolejności prezentowanych treści merytorycznych.

Rozprawa przygotowana została zgodnie z zasadami racjonalizmu metodologicznego przyjętymi w badaniach w obszarze nauk inżynierijno-technicznych. Podstawą opracowania głównych treści recenzowanej dysertacji m.in. było: rozpoznanie obszaru badań (przygotowanie jej genezy i przeprowadzenie analizy stanu), tym samym identyfikacja problemów naukowych, wskazanie przyczyn i możliwych rozwiązań, opracowanie celów badań (również w ujęciu poznawczym i użytkowym) oraz tezy. W konsekwencji tych działań Doktorantka skutecznie dążyła do rozwiązania problemów naukowych, realizacji celów i potwierdzenia tezy. Wykorzystała wiele cennych metod badawczych (teoretycznych i empirycznych, głównie matematycznych).

Doktorantka sformułowała następujący problem badawczy: *W jaki sposób można wpływać na emisję dwutlenku węgla z pojazdów osobowych na poziomie pojedynczego użytkownika?* Określiła też problemy cząstkowe:

- 1) *Jakie mierzalne i sterowalne na poziomie użytkownika pojazdu osobowego czynniki mają największy wpływ na poziom emisji CO₂?*
- 2) *W jaki sposób wbudowane systemy diagnostyczne w pojeździe mogą wspierać monitorowanie emisji CO₂ i jakie mają znaczenie dla modelowania parametrów eksploatacyjnych pojazdów?*
- 3) *Jakie praktyczne rekomendacje wynikają z uzyskanych modeli dla pojedynczego użytkownika ruchu oraz strategii obniżenia emisji gazów cieplarnianych w kontekście zrównoważonego rozwoju?*

Do tak sformułowanych problemów badawczych uwag nie wnoszę.

Cel główny rozprawy, to *opracowanie modelu oceny kształtowania poziomu emisji CO₂ na podstawie informacji pozyskanych z interfejsów diagnostycznych* (rozdział 3., str. 64). Cele szczegółowe, to:

- 1) *Określenie mierzalnych i sterowalnych czynników mających wpływ na poziom emisji CO₂ na poziomie użytkownika pojazdu samochodowego oraz ich analiza.*
- 2) *Zbadanie roli systemów diagnostycznych w monitorowaniu i analizie emisji CO₂ oraz opracowanie modeli emisji CO₂ w odniesieniu do poszczególnych trybów jazdy*

z wykorzystaniem interfejsu OBD wraz z określeniem wpływu wybranych parametrów eksploatacyjnych pojazdu na wyznaczanie poziomu emisji CO₂.

- 3) *Opracowanie rekomendacji dla pojedynczego użytkownika ruchu oraz wytycznych redukcji gazów cieplarnianych w odniesieniu do strategii zrównoważonego rozwoju.*

Uwaga krytyczna:

Treść głównego celu rozprawy, zamieszczona w rozdziale 3., str. 64, nie jest spójna z celem naukowym pracy, zapisanym w streszczeniu (str. 5) – „*opracowanie modelu oceny kształtowania poziomu emisji CO₂ na przykładzie wybranego pojazdu osobowego na poziomie pojedynczego uczestnika ruchu drogowego*”.

Do celów szczegółowych uwag nie mam.

Doktorantka przyjęła następującą tezę badawczą: *Możliwe jest opracowanie modelu matematycznego kształtowania poziomu emisji CO₂ z wykorzystaniem dostępnych w pojeździe osobowym systemów dla pojedynczego użytkownika.*

Jej treść jest dla mnie akceptowalna.

Metody badawcze, które zostały zastosowane przez Doktorantkę dla rozwiązania problemów badawczych, osiągnięcia celów rozprawy oraz potwierdzenia tezy, dobrane zostały w sposób właściwy. Pozytywnie oceniłem również założenia badawcze.

Bibliografia obejmuje 130 pozycji literaturowych, w tym publikacje zwarte, artykuły naukowe oraz strony internetowe. Literatura została dobrana właściwie i należyte wykorzystana, choć można dostrzec i takie pozycje bibliograficzne, które można uznać za zbędne. Jednak uważam to za aspekt pozytywny – Doktorantka dokonała analizy literatury w szerszym obszarze. Będzie to przydatne w realizacji dalszych badań, zapowiedzianych w zakończeniu rozprawy. W spisie literatury znalazły się też pozycje zagraniczne.

Wnioskowanie jest poprawne, a znajomość szczegółowych technik analityczno–ocenowych zadowalająca. Język rozprawy jest prosty i komunikatywny.

Z metodologicznego punktu widzenia, pomimo zapisanej uwagi krytycznej, rozprawa zasługuje na pozytywną ocenę.

3. OCENA MERYTORYCZNA

Przedstawiona rozprawa doktorska pt. „Badanie emisji CO₂ pojazdu osobowego na wybranym przykładzie z zastosowaniem metod matematycznych” mgr inż. Magdaleny Rykały jest konsekwencją dorobku naukowego Doktorantki. Dotyczy to zarówno studiów teoretycznych, jak i badań eksperymentalnych.

Rozdział pierwszy stanowi wstęp do pracy i przybliża przedstawioną w niej tematykę.

W drugim rozdziale Autorka dokonała analizy stanu zagadnienia, w której omówiła rodzaje gazów cieplarnianych, scharakteryzowała ich znaczenie oraz opisała, w jaki sposób poruszana tematyka wpisuje się w cele polityki klimatycznej Unii Europejskiej (UE). Zwróciła również uwagę na zagadnienie emisji CO₂ w Polsce na tle innych krajów UE. Wytypowała i omówiła trzy obszary związane z emisją CO₂ dotyczące: stylu jazdy, zużycia paliwa oraz pokładowych systemów diagnostyki silnika.

Rozdział trzeci zawiera cel i założenia badawcze pracy. Przeprowadzona w rozdziale drugim analiza stanu zagadnienia posłużyła do określenia parametrów wejściowych, tj. prędkość pojazdu, prędkość obrotowa silnika, względne obciążenie silnika, moment obrotowy, moc silnika, względne położenie przepustnicy oraz wyjściowych, tj. emisja CO₂ modelu. W celu realizacji badań eksperymentalnych Doktorantka dokonała serii przejazdów pojazdem osobowym z benzynowym silnikiem spalinowym. W celu rejestracji wytypowanych wcześniej zmiennych wejściowych oraz wyjściowych wykorzystała bezprzewodowy interfejs pomiarowy OBD.

Czwarty rozdział pracy opisuje metodykę badań, która rozpoczyna się od opisu teoretycznych aspektów modelowania. Doktorantka opisała wejścia i wyjścia z modelu z uwzględnieniem występujących w nich zjawisk fizycznych, stanowiących podstawę zależności matematycznych. Przedstawiła algorytm badań, zawierający opis stosowanych metod badawczych oraz wybranych metod modelowania, tj. regresji wieloczynnikowej oraz regresyjnych drzew decyzyjnych.

Rozdział piąty zawiera opis tworzonych modeli emisji CO₂ z pojazdu osobowego do środowiska. Doktorantka dokonała wstępnej analizy danych oraz, w kolejnym kroku, zidentyfikowała grupy o zbliżonych charakterystykach. Dokonała też podziału obserwacji na jednorodne grupy obiektów przy pomocy metody k-średnich. Wytypowała trzy grupy, związane z pracą silnika: podczas ruszania pojazdu i jazdy z niskimi prędkościami (tryb ruszania pojazdu), w trybie jazdy miejskiej oraz podczas jazdy w trybie pozamiejskim. Dla wymienionych grup utworzyła modele regresji wieloczynnikowej, dla których oszacowała parametry, a następnie dokonała ich oceny i porównania. Do badania wpływu omawianych czynników na emisję CO₂ zastosowała modele drzew decyzyjnych z wykorzystaniem algorytmu CART, model lasu losowego oraz drzew wzmacnianych. Określiła również ranking ważności predyktorów, który umożliwił ocenę wpływu poszczególnych zmiennych objaśniających na badane zjawisko.

W rozdziale szóstym zawarto podsumowanie uzyskanych wyników badań oraz przedstawiono wnioski końcowe. Wskazano również kierunki dalszych badań.

Analizę literatury, jak już wspomniałem w części mojej recenzji, dotyczącej oceny metodycznej, opracowano w sposób zadowalający.

Spośród problemów, które zostały zawarte w treści rozprawy, pragnę wyeksponować przykłady, które moim zdaniem zasługują na najwyższą ocenę:

- 1) Rozbudowana warstwa matematyczna, która występuje zarówno w opisach teoretycznych oraz w dokonanych analizach w postaci wykonanych modeli matematycznych wraz z opracowaniem ich wyników. Świadczy to o dużej wiedzy Doktorantki w obszarze statystyki oraz modelowania matematycznego. Całość przeprowadzonych analiz matematycznych jest spójna i służy do wyciągnięcia praktycznych wniosków.
- 2) Interdyscyplinarność pracy. Podstawą pracy jest gruntowna analiza stanu zagadnienia w tematyce łączącej ekologię, transport oraz inżynierię mechaniczną. Doktorantka w celu realizacji badań eksperymentalnych musiała przeanalizować, dobrać i skonfigurować dedykowany hardware (układ pomiarowy w postaci interfejsu diagnostycznego OBD) oraz software (oprogramowanie umożliwiające zapis wybranych sygnałów diagnostycznych). Ta część pracy jest opisana dość lakonicznie, jednak z pewnością wymagała dużego

zaangażowania, ponieważ sama lista sygnałów dostępnych z interfejsów diagnostycznych jest bardzo duża. Identyfikacja sygnałów, dobór właściwej częstotliwości próbkowania, filtracja danych, przejazdy testowe stanowią elementy łączące przetwarzanie sygnałów, mechatronikę układów samochodowych oraz mechanikę ruchu. Pozostała część pracy wykorzystuje narzędzia matematyki stosowanej w celu formułowania wniosków.

- 3) Konsekwencja w doborze treści poszczególnych rozdziałów. Każdy kolejny rozdział wynika z wniosków przedstawionych w poprzedzających go rozdziałach. Dzięki temu praca ma czytelną strukturę. Rozdziały teoretyczne wnoszą opisy tłumaczące najważniejsze problemy, natomiast większość przytaczanych i opisywanych zależności matematycznych jest użyta w dalszej części pracy.

Moje uwagi krytyczne są następujące:

- 1) W wyniku przeprowadzonej analizy stanu zagadnienia oraz rozpoznania dostępnych sygnałów pochodzących z interfejsów diagnostycznych dokonano wyboru sygnałów do budowy modeli emisji CO₂. W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej odrzucono szereg zmiennych, tj. prędkość obrotową, moc silnika i moment obrotowy, co zostało uzasadnione i opisane w recenzowanej pracy. Zwiększenie liczby zmiennych z pewnością mogłoby rozbudować tworzone modele emisji CO₂, biorąc pod uwagę, iż wyjściowo modele te posiadały jedynie 3 zmienne.
- 2) Realizacja eksperymentu jest opisana dość lakonicznie. Przedstawia ona najważniejsze informacje, jednak można odnieść wrażenie, iż dokładniejszy opis tego elementu pracy mógłby zwiększyć jej czytelność. Doktorantka opisała, w jaki sposób uzyskała bazę danych stanowiącą podstawę niniejszej pracy, jednak w porównaniu z niektórymi opisami matematycznymi zawartymi w pracy, opis ten wydaje się zbyt krótki i ogólny.
- 3) Doktorantka nie ustrzegła się problemów dotyczących zachowania konsekwencji nazewnictwa. Pomimo przygotowania wykazu najważniejszych skrótów i oznaczeń, niektóre terminy, szczególnie dotyczące pokładowych systemów diagnostycznych OBD, występują w różnych formach: najczęściej OBD, ale czasami OBD-II, czy EOBD.

W kontekście zapisanych uwag krytycznych, proszę Doktorantkę o udzielenie, podczas publicznej obrony, odpowiedzi na następujące pytania (problemy):

- 1) Z czego wynikał opisany w pracy dobór sygnałów wejściowych do budowy modelu emisji CO₂? Dlaczego wybrano akurat te zmienne, a inne odrzucono?
- 2) Dlaczego za wartość prędkości pojazdu przyjęto sygnał pochodzący z GPS telefonu komórkowego, a nie pokładowego systemu diagnostycznego?
- 3) Jakie są, wg Pani, ograniczenia stosowania opracowanych modeli emisji CO₂ w praktyce?
- 4) Testowy pojazd miał manualną skrzynię biegów. Czy zaprezentowane modele będzie można również odnieść do pojazdów z automatyczną skrzynią biegów?

Pomimo wymienionych przeze mnie uwag, rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Rykały zasługuje na pozytywną ocenę.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Rykały wnosi znaczący wkład teoretyczny i praktyczny w rozwój *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria lądowa, geodezja i transport*.

Wykonana praca o bogatym dorobku teoretyczno-eksperymentalnym dowodzi, że jej Autorka potrafi samodzielnie prowadzić badania naukowe i rozwiązywać złożone problemy teoretyczne i eksperymentalne.

Stwierdzam, że oceniana rozprawa spełnia wymagania formalne oraz kryteria merytoryczne stawiane rozprawom doktorskim oraz kandydatom do otrzymania stopnia doktora, a Pani mgr inż. Magdalena Rykała zasługuje na stopień naukowy doktora w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych*, w dyscyplinie *inżynieria lądowa, geodezja i transport*.

Ze względu na wagę podjętego w rozprawie problemu badawczego i znaczenie dla praktyki, a przede wszystkim na pozytywną ocenę wartości merytorycznej i metodologicznej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że **rozprawa spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce** (Dz.U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.) i mieści się w dziedzinie **nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport**.

Wnoszę o dopuszczenie Panią mgr inż. Magdalenę Rykałą do publicznej obrony. W przypadku pozytywnego przebiegu obrony rozprawy doktorskiej będę głosował za nadaniem stopnia doktora *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria lądowa, geodezja i transport*.

.....
prof. dr hab. inż. Andrzej Świdorski