

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kingi Skobiej
*Ocena emisji spalin pojazdów samochodowych
w warunkach ruchu drogowego*

Formalna podstawa opracowania recenzji: pismo RD/d/30/03/2023 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Pana prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy z dnia 8 listopada 2023 roku do którego dołączono egzemplarz rozprawy doktorskiej.

Prawna podstawa opracowania recenzji: Ustawa z dnia 20 lipca 2018 – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz. 742).

1. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Kingi Skobiej pt. „*Ocena emisji spalin pojazdów samochodowych w warunkach ruchu drogowego*” została wydana na Politechnice Poznańskiej, Wydziale Inżynierii Lądowej i Transportu w 2023 roku. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Łukasz Rymaniak, prof. PP, promotorem pomocniczym dr inż. Wojciech Cieślik. Praca liczy 123 strony wydruku komputerowego obejmującego 6 rozdziałów, wykaz oznaczeń, streszczenie w języku polskim i angielskim, spis literatury. Spis literatury zawiera 66 pozycji naukowych, 7 aktów prawnych oraz 10 materiałów o charakterze informacyjnym i technicznym w tym źródła internetowe. Publikacje mają ścisły związek z tematem rozprawy i w zdecydowanej większości mają zasięg międzynarodowy.

2. Ocena wyboru tematyki rozprawy

Wprowadzane zmiany w ustawodawstwie europejskim, uogólniając, ukierunkowane są na ograniczenie zastosowania tłokowych silników spalinowych jako źródeł napędów w pojazdach kosztem napędów elektrycznych. Obecnie dane wskazują, że pomimo zwiększenia popularności pojazdów elektrycznych, pojazdy konwencjonalne napędzane tradycyjnymi

silnikami spalinowymi, wciąż dominują na rynku samochodowym w Unii Europejskiej. Pewnym kompromisem pomiędzy samochodami zasilanymi tradycyjnymi silnikami spalinowymi, a pojazdami w pełni elektrycznymi są napędy hybrydowe, które wykorzystują połączenie silnika spalinowego i elektrycznego do napędu. Możliwość korzystania z silnika spalinowego znacząco zwiększa zasięg tego pojazdu, co pozwala na używanie go nie tylko w miastach, ale także na dłuższych trasach poza obszarem miejskim i na autostradach. Dodatkowo, rozwija się technologia pojazdów hybrydowych typu plug-in PHEV, w których zastosowano akumulatory o większej pojemności elektrycznej. Takie pojazdy mogą być ładowane również z sieci energetycznej, co pozwala na ich użytkowanie zarówno w miastach, jak i na obszarach podmiejskich. Wprowadzenie tych różnorodnych rozwiązań napędowych daje możliwość dostosowania pojazdu do różnych warunków użytkowania, jednocześnie przyczyniając się do redukcji emisji zanieczyszczeń do powietrza.

Jednym z podstawowych kryteriów oceny emisji źródeł napędu we współczesnych pojazdach samochodowych są drogowe testy emisyjne RDE. W wielu ośrodkach badawczych na świecie trwają prace nad poprawą odwzorowania realizowanych testów RDE do testów wykonywanych na hamowniach podwoziowych. Jednocześnie dąży się do ograniczenia kosztów realizacji testów RDE na przykład poprzez skrócenie poszczególnych części z jednoczesnym poszukiwaniem takiego ich przebiegu, aby w lepszy sposób odwzorowały rzeczywiste warunki ruchu drogowego zwłaszcza w zakresie części miejskiej.

Doktorantka w dysertacji podjęła się kompleksowej oceny ekologicznej tradycyjnych, elektrycznych i hybrydowych rodzajów napędów, które stanowią technologię pozwalającą na skuteczną transformację napędów w motoryzacji. Jednocześnie zaproponowała autorską skróconą wersję testów RDE, a także zdefiniowanie kategoryzacji emisyjnej pojazdów.

Biorąc pod uwagę powyższe przyjęty przez Doktorantkę temat jest bardzo aktualny.

3. Analiza treści rozprawy

Rozdział pierwszy pt.: „*Wprowadzenie*” przedstawia problematykę zanieczyszczenia atmosfery produktami pochodzenia antropogenicznego ze szczególnym uwzględnieniem transportu drogowego. Autorka przedstawiła proces zastępowania w pojazdach klasycznych źródeł napędów jakimi są silniki spalinowe na rzecz napędów wyłącznie elektrycznych. Nie bez znaczenia wg doktorantki w procesie tym dużą rolę odegrają w fazie przejściowej samochody zasilane układami hybrydowymi, w szczególności systemy Hybryd typu Plug-in.. Wstępnie zostały również przedstawione priorytety dalszych działań Komisji Europejskiej w sprawie ograniczenia emisji spalin z sektora transportu.

Rozdział drugi to przedstawienie problematyki, celu i zakresu rozprawy. Głównym celem pracy była ocena emisji spalin pojazdów samochodowych z różnymi układami napędowymi w warunkach ruchu drogowego, obejmująca zastosowanie procedur homologacyjnych

zapropozowanie ich autorskiej skróconej wersji, a także zdefiniowanie kategoryzacji emisyjnej pojazdów.

Realizacja celu pracy polegała na rozwiązaniu trzech zadań badawczych oraz zadaniach analitycznych. Pierwsze zadanie badawcze związane było z przeprowadzeniem badań mających na celu określenie rzeczywistego poziomu emisji spalin (lub zużycia energii) dla pojazdów najbardziej reprezentatywnych w grupie samochodów osobowych. Drugie zadanie badawcze dotyczyło wyznaczenia wartości minimalnych i maksymalnych dla określonego poziomu wyjściowego emisji spalin które są możliwe do osiągnięcia w teście drogowym.

Trzecie zadanie polegało na porównaniu wartości emisji drogowej związków szkodliwych spalin w testach drogowych obecnie obowiązujących z wartościami możliwymi do uzyskania w zmienionych testach drogowych zaproponowanych przez Autorkę, które są przewidywane do wprowadzenia w przyszłości.

Ponadto zdefiniowane zostały trzy cele cząstkowe.

W rozdziale trzecim doktorantka omówiła możliwości oceny emisji spalin z pojazdów samochodowych bazując na dokonaniach badawczych w światowych ośrodkach naukowych. W pierwszym kroku przedstawiła zagadnienie oceny emisji spalin dla pojazdów samochodowych w drogowych testach jezdnych. W analizie literatury w tej części autorka wyraźnie uzasadniła swój wybór obiektów badań w realizacji drugiego etapu badań drogowych podkreślając, że pomimo dużej ilości badań realizowanych w warunkach rzeczywistego ruchu samochodu mało jest badań i porównań dla hybrydowych pojazdów elektrycznych, hybrydowych pojazdów elektrycznych typu plug-in i pojazdów elektrycznych. W kolejnej części tego rozdziału przedstawione zostały trendy zmian w pomiarach emisji spalin w warunkach drogowych. Przedstawiony przegląd literatury jednoznacznie wskazuje, że najnowsze pojazdy spełniające normę Euro 6d-temp są zgodne z wymaganiami emisyjnymi podczas testów w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego. Doktorantka zwróciła uwagę na fakt, że w przypadku realizacji testów, które nie spełniają wymagań RDE (oznaczonych jako N-RDE), tj. testów związanych z ekstremalnymi warunkami dynamicznymi lub szczegółowymi badaniami, na przykład dotyczącymi wpływu topografii terenu, emisja np. tlenków azotu znacznie przekracza dopuszczalne poziomy.

W rozdziale czwartym poświęconym metodyce badań doktorantka przedstawiła w pierwszej części w sposób bardzo szczegółowy procedury badawcze wykorzystywane w pomiarach emisji spalin w badaniach drogowych. W dalszej części przedstawione zostały wytypowane do badań pojazdy. Doktorantka analizując rynek pojazdów osobowych eksploatowanych w Polsce dokonała wyboru sześciu pojazdów. Obiektami badań były: jeden samochód zasilany klasycznie silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym, 4 pojazdy hybrydowe oraz jeden pojazd elektryczny. W pierwszym etapie badań pod uwagę wzięto samochód z zasilaniem silnikiem ZI, jeden samochód hybrydowy oraz samochód elektryczny. W drugim etapie badań

wykorzystano trzy samochody hybrydowe. W trzecim etapie badań obiektem badawczym był pojazd hybrydowy typu full-hybrid. Trzecia część tego rozdziału poświęcona została omówieniu trasy badawczej. Rozdział zakończony został przedstawieniem aparatury pomiarowej wykorzystywanej w badaniach drogowych.

Rozdział piąty obejmujący blisko 1/2 objętości całej pracy dotyczy analizy otrzymanych wyników badań zrealizowanych w testach drogowych i jest najważniejszą częścią pracy.

W podrozdziale 5.1 przedstawiona została ocena emisji spalin i zużycia energii pojazdów w testach drogowych. W pierwszej kolejności przeprowadzona została weryfikacja formalna testów drogowych w celu oceny spełnienia wymagań testu RDE. W sposób bardzo szczegółowy została przeprowadzona analiza parametrów pracy biorąc pod uwagę porównanie 95-procentowego centyla iloczynu prędkości i przyspieszenia dodatniego w poszczególnych częściach testu RDE dla wszystkich badanych pojazdów oraz względnego przyspieszenia dodatniego w poszczególnych częściach testu RDE również dla wszystkich badanych pojazdów. Następnie została przedstawiona analiza wyników emisji spalin. Rozważania dotyczące emisji związków szkodliwych spalinach pojazdów konwencjonalnych oraz hybrydowych doprowadziły doktorantkę do stwierdzenia że znacząco mniejsze wyniki dla całego testu RDE otrzymuje się dla pojazdów hybrydowych. W ostatniej części rozdziału 5.1 doktorantka przeprowadziła analizy pomiarów energochłonności badanych pojazdów. Uzyskane wyniki analizy pokazały że pojazdy w pełni elektrycznie są obecnie najbardziej oszczędne w warunkach testu RDE. Wynika to głównie z rosnącej efektywności i zaawansowanych systemów ładowania akumulatorów w tych pojazdach w drodze odzysku energii.

Rozdział 5.2 poświęcony został kategoryzacji pojazdów pod względem ekologicznym w drogowych testach emisyjnych. Ponownie na początku tego podrozdziału została przeprowadzona weryfikacja poprawności wykonanych testów następnie doktorantka omówiła wyniki emisji drogowej trzech pojazdów hybrydowych dokonując w ostatniej części tego podrozdziału opracowania autorskiej kategorii emisyjnej pojazdów hybrydowych typu plug-in opisanej na stronie 92 i przedstawionej na rysunku 5.23.

Rozdział 5.3 dotyczył drugiego z celów utylitarnych jakim było zaproponowanie nowych wersji testów RDE. Doktorantka zaproponowała dwa nowe testy RDE o długości 16 km każdego z odcinków i długości 8 km każdego z odcinków. Jako poziom porównawczy wykonywany był również test spełniający wymagania RDE .

Przeprowadzone porównania wykazały że wykorzystanie krótkich testów drogowych do oceny emisji spalin wpływają na mniejszą stabilizację termiczną silnika spalinowego i układu oczyszczania spalin co powodowało zwiększenie emisji drogowej wszystkich składników spalin. Jednocześnie przedstawione wyniki badań wykazały że krótsze testy RDE zapewniają większą precyzję i dokładność pomiarów emisji zanieczyszczeń.

Rozdział szósty zawiera wnioski końcowe z przeprowadzonych analiz uzyskanych wyników badań oraz perspektywy dalszych prac.

4. Ocena pracy: osiągnięcia, uwagi ogólne i szczegółowe

Osiągnięcia pracy:

Jednym z głównych osiągnięć pracy było opracowanie oryginalnego zadania badawczego, podzielonego na trzy etapy, umożliwiającego realizację postawionych celów. Pierwszy etap pozwolił na określenie rzeczywistego poziomu emisji spalin lub zużycia energii dla pojazdów najbardziej reprezentatywnych w grupie samochodów osobowych. W drugim etapie badań oprócz przeprowadzenia badań doświadczalnych wytypowanych pojazdów hybrydowych, doktorantka wyznaczyła wartości minimalne emisji spalin które są możliwe do osiągnięcia w teście drogowym oraz wartości maksymalne. Taki tok postępowania posłużył do zaproponowania kategoryzacji badań pojazdów hybrydowych. 3 etap badań dotyczył porównania emisji drogowej związków szkodliwych spalin w testach drogowych wg obowiązujących przepisów z wartościami możliwymi do uzyskania w zmienionych testach drogowych.

Do wymiernych i znaczących osiągnięć pracy należy ponadto zaliczyć:

- obszerny materiał badawczy i analityczny,
- opracowanie autorskiej metodyki badań w warunkach drogowych, umożliwiającej wprowadzenie wartościowania pojazdów w testach drogowych, na podstawie którego można zakwalifikować pojazd do opowiadającej mu klasy ekologicznej pojazdu (tzw. kategoryzacja pojazdów),
- określenie wpływu zapowiadanych zmian w odniesieniu do procedury RDE, w postaci autorskich skróconych wersji testów emisyjnych na wyniki emisji spalin pojazdów samochodowych, z jednoczesnym zwróceniem uwagi na zwiększony udział fazy zimnego rozruchu w krótszych testach na emisję związków szkodliwych spalin,
- opracowanie procedury według której można ocenić, czy wykonany test emisyjny dla pojazdu jest wiarygodny, jednocześnie wskazano zakres spełnienia wymagań w ruchu drogowym,
- określenie energochłonności pojazdów w teście RDE z podziałem na fazy testu dla pojazdów z różnymi źródłami napędu: silnik benzynowy, napęd hybrydowy PHEV, silnik elektryczny,
- weryfikacja poprawności wykonywania testów drogowych podczas realizacji badań.

Zrealizowany proces badawczy należał do bardzo trudnych, ponieważ jego realizacja wymagała zastosowania specjalistycznych technik pomiarowych i wykonania skomplikowanych badań, a następnie dużej liczby zawiłych obliczeń, co potwierdza umiejętność prowadzenia unikalnych eksperymentów badawczych przez doktorantkę.

Pod względem merytorycznym i metodycznym oceniam pracę bardzo wysoko, ponieważ odpowiada postawionemu celowi, przyjętym zadaniom badawczym i jest dostosowana do obowiązujących w tym zakresie wymogów, co świadczy o wysokiej wiedzy teoretycznej doktorantki.

Na uwagę zasługuje wysoka jakość opracowania redakcyjnego. Układ logiczny treści rozprawy jest czytelny, a zawarte w kolejnych rozdziałach treści są ze sobą dobrze powiązane i tworzą logiczną całość. Praca została napisana poprawnym stylem z wykorzystaniem właściwego nazewnictwa inżynierskiego.

Uwagi ogólne:

Pomimo wysokiej wartości merytorycznej czytając pracę nasuwają się następujące uwagi.

Tytuł rozprawy chociaż w pełni oddaje zakres jej realizacji, to nie wskazuje głównych osiągnięć autorki jakim jest zaproponowanie autorskiej wersji testu RDE oraz kategoryzacji emisyjnej pojazdów.

We wstępie doktorantka odnosi się bardzo szczegółowo do trendów w ustawodawstwie europejskim dążących do zastąpienia tradycyjnych silników spalinowych napędami elektrycznymi w pojazdach, jednocześnie w sposób niewystarczający przedstawiając najnowsze kierunki w rozwoju zasilania źródeł napędu jakim jest zasilanie silników spalinowych paliwami alternatywnymi oraz wodorem, które uznaje się za paliwa niskoemisyjne.

W pracy brak jest jednoznacznej informacji o przeprowadzonych testach WLTC, których wyniki doktorantka używa jako odniesienie np. w rozdziale 5.1.2.

W pomiarach energochłonności najgorszy wynik osiągnął samochód napędzany silnikiem spalinowym z zasilaniem benzynowym, najkorzystniej zaś wypadł samochód z napędem elektrycznym i to o 30% w stosunku do tego pierwszego. Masa samochodu z silnikiem benzynowym z kolei była jedną z najmniejszych. Uwzględniając nawet odzysk podczas hamowania w samochodach z silnikami elektrycznymi to uzyskane wartości i tak budzą wątpliwości. Na początku rozdziału 5.1.3 jest mowa o wyznaczaniu mocy chwilowej silnika spalinowego na podstawie danych z systemu pokładowego jak również ze spalania paliwa. Być może określenie „ze spalania paliwa” to tylko przyjęty przez doktorantkę sposób określania źródła energii. W przeciwnym wypadku byłby to znaczący błąd, gdyby uwzględniać energię zawartą w paliwie nie odnosząc się do sprawności wytwarzania energii elektrycznej jaka jest dostarczana do baterii pojazdów elektrycznych podczas ładowania przed wykonaniem testów. Proszę o dokładniejsze wyjaśnienie również podczas publicznej obrony przyczyny takich wyników i szczegółowo procedurę określania energochłonności.

Charakterystyka proponowanych autorskich tras badawczych N-RDE 16 i N-RDE 8 mogła być zamieszczona w rozdziale 4.3 Trasy badawcze.

Opisując elementy aparatury badawczej autorka ograniczyła się do przedstawienia dokładności pomiarowej urządzeń nie przeprowadzając analizy błędów pomiarowych.

Wybrane uwagi szczegółowe:

Praca zawiera również drobne usterki redakcyjne przedstawione poniżej:

- Str. 14, drugi akapit od góry, nie tylko dobry zasięg, ale przede wszystkim niższy koszt zakupu,
- Sstr. 22, drugi akapit od dołu, zamiast na wielu frontach lepiej było użyć w wielu obszarach,
- str. 22, pierwszy akapit od dołu, pierwsze zdanie, zbyt nagromadzenie w jednym zdaniu wyrażen „różnych” i „różnorodnych”,
- str. 26, pierwszy wiersz od góry, proponuję zamiast wyrazu badacze używać badający lub inżynierowie (występuje to często w pracy),
- str. 26, pierwszy akapit od dołu, jest sprawą oczywistą nie wymagająca badań naukowych stwierdzenie, że wartości względnej emisji drogowej zależą bardziej od dystansu testu niż od czasu jego trwania,
- str. 43, pierwszy wiersz od góry, proponuję zamiast sformułowania w większości to hybrydy użyć w większości są z napędem hybrydowym (tzw. żargon gazetowy sformułowanie hybrydy),
- str. 61, rysunek 5.6 brak wykresu współczynników RF_k ,
- str. 73 rys. 5.15 wykres a) i str. 80, rysunek 5.20, wykres a) w legendzie powinno być w trzecim wierszu Pojazd D,
- str. 79 , osiemnasty wiersz od dołu, styl w zdaniu „Wynik końcowy emisji ...”,
- Str. 82, pierwszy wiersz od góry, raczej CO, emisja NO_x była większa,
- Str. 100, rysunek 5.29, górny wykres jest z rysunku 5.31, powinien być RDE z 90 km drogi.

Przedstawione powyżej uwagi dotyczą w głównej mierze kwestii edytorskich i w żaden sposób nie obniżają poziomu merytorycznego ocenianej dysertacji.

5. Ocena końcowa

W oparciu o przeprowadzoną analizę przedstawionej do oceny dysertacji stwierdzam, że:

- Doktoranta bardzo trafnie dokonała wyboru tematyki pracy, której zakres spełnia stawiane wymagania,
- dysertacja stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, swą treścią dobrze nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, a miejscami ją wzbogaca,
- przyjęte cele zostały osiągnięte, dzięki realizacji precyzyjnie określonych zadań badawczych oraz wykonania działań analitycznych w oparciu o wyniki uzyskanych badań,

Powyższe wskazuje, że przedstawiona do recenzji praca prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki oraz umiejętność samodzielnego formułowania oryginalnych problemów naukowych i prowadzenia unikalnych eksperymentów badawczych w obszarze Inżynierii Lądowej, Geodezji i Transportu.

Stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Kingi Skobiej pt. „Ocena emisji spalin pojazdów samochodowych w warunkach ruchu drogowego” spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz. 742).

Rozprawa stanowi podstawę do dopuszczenia do publicznej obrony mgr. inż. Kingi Skobiej oraz nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie w Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport i taki wniosek stawiam do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej.

Biorąc pod uwagę wysoką wartość merytoryczną recenzowanej pracy doktorskiej, zastosowanie nowoczesnych narzędzi badawczych oraz oryginalność uzyskanych wyników wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej o jej wyróżnienie.


Dariusz Pietras