



dr hab. inż. Paweł Woś, profesor uczelni

Rzeszów; 22.05.2023 r.

**POLITECHNIKA RZESZOWSKA**  
im. Ignacego Łukasiewicza  
**WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I LOTNICTWA**  
**Katedra Pojazdów Samochodowych  
i Inżynierii Transportu**

Al. Powstańców Warszawy 12  
35-959 Rzeszów  
tel. 17 865 1355, [pwos@prz.edu.pl](mailto:pwos@prz.edu.pl)

## RECENZJA

### rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Kurtyki pt. „Ekologiczna ocena samochodów osobowych o różnych napędach w drogowych testach emisyjnych”

#### 1. Formalna podstawa opracowania recenzji

Podstawę do opracowania i wydania niniejszej recenzji stanowi pismo z dnia 28.03.2023 r. Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej, Pana prof. dr. hab. inż. Jacka Pielechy (znak pisma DR-63/628/1/2023) w sprawie sporządzenia recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Kurtyki pod wymienionym tytułem.

#### 2. Przedmiot i ocena istotności problemu naukowego rozprawy

Rozwój motoryzacji na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci, podobnie jak wielu innych dziedzin gospodarki i całości życia społecznego, jest bardzo silnie uwarunkowany względami ochrony środowiska naturalnego i minimalizacji negatywnego oddziaływania na zdrowie publiczne i jakość życia społeczeństw. Wśród najistotniejszych zagrożeń generowanych przez transport drogowy w tym zakresie wymienia się w pierwszej kolejności emisję szkodliwych składników spalin powstających w wyniku eksploatacji pojazdów, napędzanych wciąż w znakomitej większości silnikami spalinowymi.



Spaliny samochodowe zawierają w swym składzie liczne związki i substancje chemiczne m.in. tlenek węgla (CO), węglowodory (HC), tlenki azotu (NO<sub>x</sub>), cząstki stałe (PM) oraz wiele innych, które przyczyniają się do pogorszenia jakości powietrza a w bezpośrednim oddziaływaniu mogą prowadzić do poważnych problemów zdrowotnych u ludzi - schorzeń układu oddechowego, alergii, chorób nowotworowych. Z kolei emisja dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), jako wynik spalania paliw kopalnych uznawana jest za główną przyczynę globalnego efektu cieplarnianego.

W następstwie rozpoznania i ciągłego narastania skali problemu emisji spalin samochodowych prowadzi się od wielu lat intensywne badania nad metodami skutecznego ograniczania tych niekorzystnych zjawisk powodowanych eksploatacją pojazdów samochodowych. Głównym celem tych badań jest zrozumienie mechanizmów powstawania szkodliwych składników spalin, rozwój technologiczny pojazdów samochodowych i opracowanie skutecznych technologii redukcji poziomu emisji spalin, wprowadzenie odpowiednich regulacji i norm dotyczących dopuszczalnych poziomów emisji spalin oraz metod i procedur pomiarowych w tym zakresie. Wynikiem tych działań są przyjęte w większości państw świata odpowiednie legislacje odnośnie specyfikacji metod pomiarowych i limitów emisji spalin. Obecnie równoważnie stosowanymi procedurami pomiarowymi są metody badań emisji spalin na stanowiskach hamownianych oraz w rzeczywistych testach drogowych.

Niniejsza praca mgr inż. Karoliny Kurtyki zatytułowana „*Ekologiczna ocena samochodów osobowych o różnych napędach w drogowych testach emisyjnych*”, realizowana pod opieką naukową promotora prof. dr. hab. inż. Jacka Pielechy oraz przy wsparciu merytorycznym i metodycznym promotora pomocniczego dr hab. inż. Andrzeja Ziółkowskiego dotyczy sedna powyższych zagadnień. Jej tematyka wpisuje się bowiem w obszary problemowe z zakresu realizacji i oceny procedur pomiarowych, realizowanych w warunkach symulowanych (tj. hamownianych - WLTC) i rzeczywistych (tj. drogowych - RDE) testów emisyjnych dla samochodów osobowych o różnych napędach. Cel naukowy pracy określono następująco: **„Opracowanie metody określającej emisję spalin z pojazdów samochodowych w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego na podstawie wyników uzyskanych w teście homologacyjnym”**. W szczególności praca ta jest próbą, a jak w treści pracy wykazano udaną, poszukiwania korelacji wynikowej pomiędzy tymi obydwojma rodzajami procedur pomiarowo-badawczych. Przełożyło się to w efekcie na opracowanie nowego narzędzia badawczego, uzupełniając niejako lukę poznawczą w zakresie spójności obecnych procedur homologacyjnych pojazdów w zakresie emisji składników spalin.

**Można zatem stwierdzić, że przedstawiona praca doktorska Pani mgr inż. Karoliny Kurtyki wpisuje się swoją tematyką i zrealizowanym zakresem prac w interesujące i aktualne obszary badań poznawczych i aplikacyjnych nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport, w szczególności**

zakresie dotyczącym oceny zgodności homologacyjnej pojazdów samochodowych z bieżącymi i przyszłościowymi limitami emisji spalin.

### **3. Charakterystyka rozprawy i ocena strony metodycznej – uwagi o charakterze redakcyjnym**

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera w swojej treści część studialną, opartą na analizie dostępnego materiału źródłowego z zakresu problematyki pracy oraz część eksperymentalno-obliczeniową, która dotyczy przeprowadzonych badań według symulowanych i rzeczywistych testów drogowych emisyjności spalin dla trzech pojazdów, różniących się układem konstrukcyjnym zespołu napędowego. Na podstawie uzyskanych wyników, wykorzystując metody statystyczne opracowano następnie narzędzie analityczne pozwalające na porównywanie obu rodzajów testów pod kątem przewidywanego poziomu emisji szkodliwych składników spalin w rzeczywistych warunkach drogowych, bazując na wynikach uzyskiwanych w testach laboratoryjnych.

Całość opracowania zawiera 106 stron tekstu skonfigurowanego w formacie A4, łącznie ze spisem treści, streszczeniem w języku polskim i angielskim, wykazem ważniejszych skrótów i symboli, bibliografią oraz załącznikiem zawierającym dwanaście tabel przedstawiających charakterystykę testów jezdnych dla badanych pojazdów. W pracy przedstawiono 74 wykresy i 11 tablic. Rozprawa jest podzielona na 6 rozdziałów, w większości rozbudowanych o kilka podrozdziałów.

Treść pracy rozpoczynają jednostronne streszczenia w językach polskim i angielskim, w których w sposób syntetyczny określono tematykę pracy, jej cel i zakres merytoryczny oraz najważniejsze osiągnięcia poznawcze i aplikacyjne wynikające z przeprowadzonych badań i analiz. Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do tematyki pracy, w którym poruszono problematykę emisji zanieczyszczeń powietrza z różnych źródeł antropogenicznych, w tym z sektora transportu oraz działania legislacyjne w krajach Unii Europejskiej, mające na celu ograniczanie negatywnych skutków zanieczyszczenia środowiska naturalnego i docelowo osiągnięcie neutralności klimatycznej środków transportu drogowego.

W rozdziale 2 przedstawiona jest dyskusja uzasadniająca wybór podjętej problematyki, gdzie zidentyfikowane zostały przez Doktorantkę pewne braki i niedoskonałości proceduralne, a przede wszystkim złożoność obecnie stosowanego systemu homologacji pojazdów samochodowych pod kątem emisji zanieczyszczeń powietrza. Pozwoliło to na sformułowanie podstawowego celu rozprawy jakim jest **opracowanie metody określającej emisję spalin z pojazdów samochodowych w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego na podstawie wyników uzyskanych w teście homologacyjnym**. Zasadnicza korzyść z realizacji celu pracy miałyby polegać na poprawie i ujednoczeniu procedur do monitorowania i kontroli emisji spalin z transportu drogowego poprzez zmniejszenie liczby

wykonywanych testów, co bezpośrednio wpłynie na skrócenie czasu badań i ograniczenie ich kosztów. Opisano zakres pracy, który podzielono na trzy etapy obejmujące badania na hamowni podwoziowej, badania w warunkach rzeczywistego ruchu drogowego oraz analizę wyników i skorelowanie procedur homologacyjnych i drogowych.

Rozdział 3 to obszerna część studialna z zakresu rozwoju procedur i legislacji odnośnie pomiarów i ograniczania emisji spalin z transportu drogowego. Oprócz podania zasadniczych wiadomości i przepisów normatywnych szczególną uwagę zwrócono na poszukiwanie potwierdzonych eksperymentalnie modeli zgodności pomiędzy testami emisji wykonywanymi w warunkach laboratoryjnych i drogowych. Wykazano, że pomimo zrealizowania wielu prac naukowych, problem dokładności i powtarzalności pomiarowej emisji spalin z samochodów osobowych oraz rozbieżności w wynikach uzyskanych na hamowni podwoziowej i w testach drogowych wciąż nie został dostatecznie rozpoznany i usystematyzowany.

Rozdział 4 rozpoczyna część eksperymentalno-obliczeniową pracy. Zawiera on opis zastosowanych narzędzi i procedur badawczych, charakterystykę pojazdów poddanych testom na hamowni podwoziowej oraz w rzeczywistych warunkach drogowych, a także szczegółowy opis metodyki służącej analizie porównawczej wyników emisji szkodliwych składników spalin uzyskanych w różnych warunkach testowych.

Rozdział 5 stanowi szczegółową analizę uzyskanych wyników pomiarowych łącznie z określeniem poziomu korelacji pomiędzy nimi oraz wykorzystaniem i oceną opracowanej metodyki predykcji wartości rzeczywistych emisji spalin w ruchu drogowym na podstawie wyników uzyskanych w testach homologacyjnych na hamowni podwoziowej.

Podsumowanie pracy, syntetyczna prezentacja wyników i najważniejszych osiągnięć oraz określenie kierunków dalszych badań jest przedmiotem ostatniego, szóstego rozdziału, po którym zamieszczono wykaz materiału źródłowego. Spis literatury zawiera 64 pozycji uporządkowanych wg kolejności cytowania, z czego 15 pozycji to rozporządzenia i regulaminy, 8 to źródła internetowe, pozostałe 41 stanowią artykuły i publikacje zwarte. Zacytowano w tym 6 prac naukowych, w których Doktorantka występuje jako współautorka.

Całość opracowania zredagowana jest generalnie poprawnym językiem w sensie stylistycznym i terminologicznym. Strona redakcyjna dowodzi staranności Autorki i dbałości o jakość przekazu czytelniczego. Materiał ilustracyjny zamieszczony w pracy i dotyczący danych będących przedmiotem analiz oraz opracowanych wyników (tabele, wykresy) jest w większości czytelny, co pozwala na prawidłową interpretację wartości oraz tendencji zmian analizowanych parametrów. Pod względem metodycznym praca stanowi dzieło naukowe bez większych zastrzeżeń - struktura podziału treści na poszczególne rozdziały i podrozdziały oraz układ logiczny pracy odpowiada wymaganiom prac badawczych, w tym rozprawom doktorskim o profilu technicznym.

Oczywiście jak w każdej pracy można dostrzec pewne błędy i niedociągnięcia, w większości o charakterze omyłek stylistycznych czy redakcyjnych, które jednak nie umniejszają znacząco jakości przekazu i wartości merytorycznej całości opracowania. Wskazanie ich pozwoli jednak uniknąć powielenia błędów w przypadku przygotowywania przyszłych publikacji o charakterze naukowym, bazujących na treściach przedstawionych w niniejszej pracy. Są to między innymi wymienione niżej uwagi:

- na stronie 8 zamiast sformułowania „Zjawisko gwałtownego *przyspieszenia* urbanizacji” może lepiej byłoby użyć „Zjawisko gwałtownego *wzrostu* urbanizacji”,
- na stronie 19 zauważono błąd stylistyczny we frazie „...zawierał limity emisji spalin dla NO<sub>x</sub> odpowiadające wymaganiom normy emisji Euro 6 *pomnożonemu* przez współczynnik zgodności”, gdzie poprawnie byłoby napisać „...zawierał limity emisji spalin dla NO<sub>x</sub> odpowiadające wymaganiom normy emisji Euro 6 *pomnożonym* przez współczynnik zgodności”,
- na stronie 82 zapisano „Maksimum natężenia liczby cząstek stałych występują...” gdzie powinno być raczej „Maksima natężenia liczby cząstek stałych występują...” lub „Maksimum natężenia liczby cząstek stałych występuje” – w zależności od kontekstu dot. liczby wartości maksymalnych poddanych analizie,
- na stronie 86 fraza „...charakteryzują się współczynnikiem większym od 0,7, który sugerowałby dobre skorelowanie *porównywanie* danych” powinna brzmieć „...charakteryzują się współczynnikiem większym od 0,7, który sugerowałby dobre skorelowanie *porównywanych* danych”,
- w rozdziale 4 zastosowano tę samą numerację do dwóch różnych rysunków tj. użyto dwukrotnie oznaczenia „rys. 4.9” zamiast kolejno „rys. 4.9” i „rys. 4.10” – w efekcie dalsza sekwencja numeracyjna rysunków powinna ulec odpowiedniej zmianie,
- w rozdziale 5, na stronie 66 oraz w tytule rysunku 5.19 użyto pojęcia „liczby drogowej cząstek stałych”, najpewniej za zasadzie analogii do pojęcia masowej „emisji drogowej”; w ocenie recenzenta lepiej stylistycznie byłoby użyć pojęcia „drogowej emisji liczby cząstek stałych”,
- w rozdziale 5 wskazane byłoby przeskalowania rysunków 5.9 – 5.11 oraz 5.25 – 5.36 do większego rozmiaru celem poprawy ich czytelności,
- w tytule rysunków 5.34 – 5.36 pojawia się określenie o wydźwięku oksymoronu, tj. „natężenie liczby cząstek stałych azotu”, będące zapewne przeoczeniem redakcyjnym przy kopiowaniu i przenoszeniu stałych fragmentów tekstu – oczywiście chodzi o „natężenie liczby cząstek stałych” co wynika z kontekstu treści samych rysunków.

#### 4. Ocena merytoryczna rozprawy i uwagi dyskusyjne

Rozpatrywany w recenzowanej rozprawie doktorskiej problem dotyczy złożonych zagadnień oceny parametrów ekologicznych samochodów osobowych wyposażonych w różne systemy układów napędowych na podstawie drogowych testów emisji spalin. Głównym i też zarazem niosącym pokąźny potencjał aplikacyjny celem pracy było opracowania metody określającej emisję zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego na podstawie wyników uzyskanych w testach homologacyjnych. Istnieje bowiem pomiędzy tymi dwiema metodami badawczymi dosyć duża rozbieżność, zarówno pod względem metodologii, wymagań aparaturowych, kosztochłonności i dostępności operacyjnej a przede wszystkim pod względem uzyskiwanych wyników. Natomiast możliwość skorelowania tych procedur mogłaby wpłynąć na zmniejszenie liczby wykonywanych testów badawczych w procesie homologacji pojazdów i znaczące obniżenie kosztów tych badań.

Osiągnięcie założonego celu pracy Doktorantka zrealizowała poprzez konsekwentne rozwinięcie i szczegółową analizę problematyki z wykorzystaniem eksperymentu badawczego i metod statystyczno-obliczeniowych. Podbudowę teoretyczną i prezentację aktualnego stanu wiedzy w aspekcie tematyki pracy zawarto w rozdziale trzecim. Wykorzystano tutaj i przedyskutowano informacje na temat metod pomiarowych emisji spalin, wymagań legislacyjnych w krajach Unii Europejskiej odnośnie dopuszczalnych limitów emisji oraz postępu prac naukowo-badawczych dotyczących poszukiwań uniwersalnej metody konwersji wyników otrzymywanych w stanowiskowych procedurach homologacyjnych i podczas rzeczywistych testów drogowych. Wobec stwierdzenia istotnych braków poznawczych w tym obszarze sformułowano cel naukowy dysertacji.

W dalszej kolejności opisano przebieg prac badawczo-obliczeniowych. Obiektami badań były trzy rodzaje samochodów osobowych o zbliżonej masie własnej i mocy maksymalnej silnika spalinowego, posiadające tę samą klasę emisji spalin - Euro 6d. Cechą odróżniającą każdy z tych pojazdów to rodzaj zastosowanego układu napędowego. Były to bowiem pojazdy wyposażone w silnik o zapłonie iskrowym, samoczynnym oraz samochód z napędem hybrydowym.

Badania poziomu emisji zanieczyszczeń realizowano na hamowni podwoziowej wg procedury homologacyjnej WLTP oraz w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego RDE z wykorzystaniem mobilnego systemu pomiarowego PEMS. Rejestracji i analizie podlegały składniki spalin, które są parametrami normatywnymi przy rejestracji w testach drogowych – tlenek węgla CO, dwutlenek węgla CO<sub>2</sub>, tlenki azotu NO<sub>x</sub> oraz liczba cząstek stałych PN. Na podstawie danych pomiarowych wyznaczano emisję drogową poszczególnych zanieczyszczeń w każdej fazie testu hamownianego oraz testu drogowego. Dokonywano przy tym analizy parametrów dynamicznych pojazdu (m.in. prędkości jazdy, przyspieszenia dodatniego) w czasie realizacji poszczególnych testów badawczych celem określenia korelacji (zgodności) poszczególnych faz w obu rodzajach testów jezdnych i poprawności ich realizacji. W analizie



korelacji wykorzystywano wartości współczynnika determinacji  $R^2$ . Na podstawie zbioru danych pomiarowych przystąpiono następnie do określenia korelacji wyników emisji drogowej zanieczyszczeń między poszczególnymi testami zarówno dla wartości końcowych uzyskiwanych w obu testach, jak i wartości cząstkowych dla poszczególnych faz testów. Również tutaj do oceny korelacji danych wykorzystywano wartości współczynnika determinacji  $R^2$ .

Wnioski z przeprowadzonych w analiz w pewnym zakresie potwierdziły istnienie istotnej korelacji pomiędzy wynikami emisji spalin, a w szczególności natężenia emisji wybranych składników spalin uzyskanych w obydwu procedurach badawczych. Pozwoliło to na sprecyzowanie zakresu aplikacyjnego opracowanej metody badawczej i potwierdzenie osiągnięcia założonego celu pracy.

Oceniając wartość merytoryczną rozprawy można zatem stwierdzić, że podjęta problematyka i uzyskane efekty końcowe są istotne zarówno z naukowego punktu widzenia jak i posiadają niezwykle ważną wartość praktyczną dla systemu badań homologacyjnych pojazdów samochodowych i innych obszarów transportu drogowego. Głównym walorem opracowania jest dostarczenie narzędzi pozwalających na predykcję parametrów rzeczywistej emisji drogowej szkodliwych składników spalin w pojazdach, dla których określone są wartości emisji wg stanowiskowych procedur homologacyjnych. Ponadto na pozytywną ocenę zasługuje m.in.:

- wnikliwa i rzeczowa analiza stanu wiedzy z zakresu problematyki pracy oparta na materiale źródłowym wymienionym w spisie literatury, co potwierdza istotę i wagę badań emisyjności spalin pojazdów samochodowych,
- realizacja badań z wykorzystaniem zaawansowanej aparatury i złożonych systemów pomiarowych zarówno według procedury WLTP jak i RDE,
- szczegółowa analiza wyników pomiarowych z zastosowaniem narzędzi statystycznych,
- graficzna prezentacja wyników badań w układzie dwuwymiarowych charakterystyk z dyskretnym podziałem zakresów pomiarowych.

Szczegółowa analiza rozprawy, biorąc pod uwagę opracowaną problematykę, w niektórych fragmentach i sformułowaniach nasuwa jednak pewne wątpliwości o charakterze dyskusyjnym, wobec których oczekuje się stosownego odniesienia Doktorantki podczas publicznej obrony pracy doktorskiej, a mianowicie:

- pomimo stosunkowo obszernej prezentacji metodyki badawczej nie zostały podane istotne z punktu widzenia warsztatu badawczego i jakości wyników (szczególnie gdy w grę wchodzi ich porównywanie z wynikami z badań drogowych) informacje odnośnie sposobu odwzorowania oporów ruchu badanych pojazdów w cyklu jezdnym WLTC na hamowni podwoziowej – jaką zastosowano zatem tutaj metodę?

- zastanawiające są wartości ujemne współczynnika determinacji  $R^2$  dla kilku oszacowań korelacji – czy wynika to z błędów edytorskich, obliczeniowych, czy zastosowano tutaj po prostu inny parametr statystycznej oceny zgodności danych?
- pewne wątpliwości budzą rozbieżności obliczonych wartościach m.in. przebiegowego zużycia paliwa w niektórych tabelach załącznika do pracy; proste przeliczenie przez podstawienie danych pomiarowych zużycia paliwa i przejechanego dystansu dają nieco inny wynik niż podany w tabeli – jak wyjaśnić te niewielkie, ale jednak różnice,
- na stronie 86 brzmienie sentencji podsumowującej osiągnięcia pracy – cyt. *„Dokonana analiza natężenia emisji poszczególnych składników spalin pozwala na stwierdzenie, że możliwe jest szacowanie tej wartości w teście RDE na podstawie wartości uzyskiwanych w teście WLTC dla wszystkich rodzajów napędów, natomiast dla pozostałych związków – jest możliwa taka sytuacja ale w bardzo ograniczonym zakresie”* – jest nie do końca zrozumiałe; o jakie pozostałe związki chodzi jeśli wcześniej wymienia się wszystkie, tj. „poszczególne” składniki spalin.

Wymienione powyżej niejasności i uwagi nie wpływają jednak znacząco na pozytywny odbiór i ogólnie wysoką ocenę całości rozprawy.

## **5. Podsumowanie oceny rozprawy doktorskiej i wnioski końcowe**

Zrealizowana praca doktorska mgr inż. Karoliny Kurtyki pt. *„Ekologiczna ocena samochodów osobowych o różnych napędach w drogowych testach emisyjnych”* wpisuje się w prorozwojowe tendencje dotyczące doskonalenia procedur oceny emisji spalin ze źródeł mobilnych w transporcie samochodowym. Stanowi oryginalne opracowanie naukowe i jednocześnie istotne rozwiązanie aplikacyjne. Sformułowany problem badawczy i założone cele zostały osiągnięte - efektem użytecznym pracy jest zaproponowanie nowego narzędzia badawczego do predykcji emisji drogowej spalin pojazdów samochodowych w warunkach ruchu drogowego na podstawie wartości homologacyjnych określanych na stanowisku hamownianym.

Doktorantka wykazała się znajomością podjętej problematyki, umiejętnością prowadzenia eksperymentów dotyczących badań emisji spalin wg różnych procedur, analizy wyników oraz poprawnym formułowaniem wniosków. Świadczy to o posiadaniu ugruntowanej wiedzy teoretycznej i kompetencjach Autorki rozprawy do samodzielnego prowadzenia prac badawczych w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych.



Podsumowując stwierdzam zatem, że **rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Kurtyki pt. „Ekologiczna ocena samochodów osobowych o różnych napędach w drogowych testach emisyjnych”** spełnia warunki zapisane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2018r., poz. 1668 z późn. zm.) i na tej podstawie **wniosuję o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej.**

Rzeszów, 22 maja 2023 r.

Handwritten signature in blue ink, reading "Paweł Nos".