

Łódź, 05.07.2025 r.

dr hab. inż. Wojciech Stachurski, prof. PL
Politechnika Łódzka
Wydział Mechaniczny
Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn
ul. Stefanowskiego 1/15
90-537 Łódź

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra PUZIA

zatytułowanej:

„Predykcyjne monitorowanie emisji spalin z wykorzystaniem czujników tlenu w czasie rzeczywistym”

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawę opracowania stanowi pismo Przewodniczącego Komisji Doktorskiej prof. dr. hab. inż. Mirosława Urbaniaka, podyktowane uchwałą Senatu Akademii im. Jakuba z Paradyża z siedzibą w Gorzowie Wielkopolskim z dnia 15 kwietnia 2025 r. (Nr 12/000/2025) i dołączona do niego rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Puzia pt. „Predykcyjne monitorowanie emisji spalin z wykorzystaniem czujników tlenu w czasie rzeczywistym”. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Ryszard Wójcik, zaś promotorem pomocniczym jest dr inż. Aleksandra Radomska-Zalas.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska została napisana na 185 stronach maszynopisu formatu A4 w języku polskim i składa się z ośmiu numerowanych rozdziałów, w tym z czterech rozdziałów (1-4) przedstawiających stan wiedzy, rozdziału (5) zawierającego cel, tezę i zakres pracy oraz trzech rozdziałów (6-8) stanowiących zasadniczą część badawczą pracy. Poza wymienionymi rozdziałami w pracy zamieszczono także dwa rozdziały nienumerowane: „Wprowadzenie” i „Podsumowanie”. Ponadto recenzowana praca zawiera wykaz wybranych akronimów i oznaczeń, bibliografię, spis tabel, spis rysunków, załącznik oraz streszczenie w języku polskim i angielskim, przy czym abstrakt nie został ujęty w spisie treści. Spis literatury zawiera

178 pozycji, w tym 3 pozycje ze współautorskim udziałem Doktoranta (dwie jako pierwszy autor), powiązane tematycznie z problematyką ocenianej rozprawy doktorskiej.

We wprowadzeniu Doktorant podkreśla konieczność nowego podejścia do ochrony środowiska w zakresie kontroli emisji spalin silników samochodowych i wskazuje na potrzebę automatyzacji pomiarów i aktywnej analizy spalin, co pozwoli na zwiększenie dokładności i niezależności pomiarów od czynników zewnętrznych. Autor stwierdza, że tradycyjne metody okazują się niewystarczające, a dodatkowym problemem są manipulacje wynikami testów emisji podważające zaufanie do obecnych procedur. Kolejnym wyzwaniem jest skuteczna implementacja i egzekwowanie norm emisji, których praktyczne wdrożenie, mimo regulacji UE, napotyka trudności, a producenci muszą stosować coraz bardziej zaawansowane technologie oczyszczania spalin, co generuje nowe problemy techniczne i ekonomiczne. Obecne procedury testowe, choć stanowią postęp, nie w pełni odzwierciedlają rzeczywiste warunki użytkowania pojazdów i wymagają dalszego rozwoju. Zatem, ze względów środowiskowych, ekonomicznych i technicznych, istnieje realna potrzeba doskonalenia kontroli emisji spalin poprzez predykcyjne monitorowanie emisji spalin z wykorzystaniem czujników tlenu w czasie rzeczywistym, co stanowi o motywacji podjęcia opisywanych w dysertacji prac badawczych.

Ponadto, we wprowadzeniu Doktorant szczegółowo omawia zawartość poszczególnych rozdziałów rozprawy doktorskiej.

W pierwszym rozdziale Doktorant dokonuje przeglądu literatury dotyczącego systemów telemetrycznych i pomiaru emisji spalin. Na podstawie analizy źródeł wskazuje, że stan techniczny pojazdu jest kluczowym czynnikiem wpływającym na skuteczność działania tych systemów. Jednocześnie podkreśla, że czynniki takie jak styl jazdy, infrastruktura drogowa czy warunki atmosferyczne oddziałują na pojazd poprzez jego stan techniczny, co wpływa na emisję spalin. Doktorant zauważa, że pomijanie tego aspektu w badaniach może prowadzić do błędnych wniosków. Dlatego proponuje integracyjne podejście, łączące analizę różnych czynników z oceną stanu technicznego pojazdu co w jego ocenie pozwala na realistyczną ocenę emisji i opracowanie skutecznych strategii jej ograniczania. W ten sposób Autor identyfikuje lukę badawczą oraz wskazuje kierunek dalszych badań.

W drugim rozdziale pracy Doktorant dokonuje przeglądu aktów prawnych Unii Europejskiej regulujących normy emisji spalin (Euro 1–7) i zwraca uwagę na ich znaczący wpływ na rozwój technologii oczyszczania spalin w motoryzacji, ale także na trudności związane z ich skuteczną implementacją i egzekwowaniem, czego przykładem są przypadki manipulacji testami emisji przez producentów. Doktorant podkreśla również wyzwania

związane z projektowaniem testów emisji wiernie oddających rzeczywiste warunki drogowe oraz wskazuje na potrzebę ciągłego doskonalenia metod pomiarowych zaznaczając, że skuteczna kontrola emisji wymaga nie tylko regulacji, ale także bieżącego nadzoru i innowacji technologicznych, co jest kluczowe dla ochrony zdrowia ludzi i środowiska.

W kolejnym rozdziale (3) Doktorant analizuje nowoczesne metody testowania emisji spalin, skupiając się na procedurach opracowanych w odpowiedzi na potrzebę bardziej realistycznego odwzorowania warunków użytkowania pojazdów. W odróżnieniu od wcześniejszych testów laboratoryjnych, procedury WLTP i RDE uwzględniają zmienność rzeczywistych warunków jazdy, takich jak różnorodność tras, warunki atmosferyczne i styl jazdy kierowcy. Doktorant wykazuje, że każdy z tych czynników wpływa na poziom emisji i zużycie paliwa, co czyni analizę bardziej złożoną, ale też dokładniejszą. Podkreśla również konieczność dostosowywania systemów pomiarowych do zmieniających się technologii i norm emisyjnych wskazując na potrzebę ciągłych aktualizacji urządzeń pomiarowych oraz rozwijania metod umożliwiających jeszcze lepsze odwzorowanie rzeczywistych warunków eksploatacyjnych i w efekcie skuteczniejsze monitorowanie emisji i opracowywanie efektywnych strategii ich redukcji.

W czwartym rozdziale pracy Doktorant skupia się na sondach lambda, przedstawiając ich budowę, zasadę działania oraz znaczenie w systemach kontroli emisji spalin. Omawia ich umiejscowienie w układzie wydechowym oraz podstawy fizykochemiczne funkcjonowania, w tym zastosowanie równania Nernsta. Szczególną uwagę poświęca różnym typom sond: dwustanowym (cyrkonowym), rezystancyjnym (tytanowym) oraz szerokopasmowym. Każdy z tych typów został opisany pod kątem specyfiki działania, zalet i ograniczeń w precyzyjnym sterowaniu składem mieszanki paliwowo-powietrznej. Doktorant wykazuje, że sondy lambda odgrywają kluczową rolę w redukcji emisji szkodliwych substancji, umożliwiając dokładne dostosowanie parametrów pracy silnika do aktualnych warunków. Rozdział ten stanowi istotne uzupełnienie wcześniejszych analiz, podkreślając znaczenie czujników w nowoczesnych systemach kontroli emisji i ich wpływ na efektywność technologii oczyszczania spalin.

W rozdziale piątym Doktorant formułuje hipotezę badawczą mówiącą, że: *istnieje możliwość uzyskania wyraźnie wyższej skuteczności identyfikacji pojazdów o ponadnormatywnej emisji toksycznych składników spalin oraz przyczyn nadmiernej emisji zanieczyszczeń emitowanych przez silniki o zapłonie iskrowym dzięki połączeniu analizy w czasie rzeczywistym sygnałów z pokładowych sond lambda oraz jednoczesnego monitorowania parametrów pracy silnika wspomaganą algorytmami predykcyjnymi, co*

umożliwia szybką ocenę stanu technicznego układu wydechowego, predykcyjne wykrywanie potencjalnych usterek oraz redukcję emisji podczas codziennej eksploatacji pojazdu.

Jednocześnie Autor stawia następującą tezę:

Wdrożenie mobilnego systemu opartego na czujnikach tlenu (sondach lambda) oraz układach telemetrycznych realizujących pomiary w czasie rzeczywistym, pozwoli na sprawne i skuteczne monitorowanie składu spalin w warunkach trakcyjnych, co istotnie może wspomagać wczesne wykrywanie pojazdów przekraczających normy emisji i przyczynić się może do ograniczenia negatywnego oddziaływania transportu drogowego na środowisko naturalne.

W związku z tezą Autor wskazuje cel główny rozprawy jakim jest *opracowanie, wdrożenie oraz weryfikacja modelu predykcyjnego szacowania poziomu emisji spalin silnika o zapłonie iskrowym z wykorzystaniem napięcia sondy lambda oraz algorytmów predykcyjnych.*

Ponadto, Doktorant zakłada cele szczegółowe, wyznaczające jednocześnie zakres prac badawczych. Są to:

1. *analiza aktualnego stanu wiedzy na temat systemów telemetrycznych i pomiaru emisji spalin;*
2. *przegląd aktów prawnych regulujących normy emisji spalin;*
3. *przegląd procedur testowych w zakresie pomiaru emisji spalin;*
4. *opracowanie koncepcji systemu mobilnej analizy spalin z wykorzystaniem sondy lambda;*
5. *opracowanie algorytmu oprogramowania do archiwizacji, analizy i wizualizacji danych;*
6. *przeprowadzenie badań porównawczych na stacji diagnostycznej oraz w rzeczywistych warunkach trakcyjnych, pojazdów w różnym stanie technicznym (z konwerterem/bez) i pojemności silnika;*
7. *wyznaczenie zależności wpływu wartości napięcia sondy lambda na emisję szkodliwych czynników (CO, HC, NO_x).*

Realizację postawionego celu i udowodnienie tezy pracy prowadzono starannie, o czym świadczy przyjęty zakres badań oraz wykorzystane metody badawcze przedstawione w kolejnych rozdziałach.

W szóstym rozdziale pracy Doktorant przedstawia podstawy teoretyczne i obliczenia niezbędne do stworzenia algorytmu predykcyjnego emisji spalin, wyjaśnia konieczność przeliczania danych z analizatorów na jednostki zgodne z normami Euro, omawia stechiometrię spalania z wykorzystaniem uproszczonego modelu paliwa, a także przedstawia wzory na zapotrzebowanie na powietrze i skład chemiczny spalin. Ponadto opisuje mechanizmy

powstawania toksycznych składników, takich jak NO_x, CO i HC, oraz reakcje chemiczne zachodzące w trójfunkcyjnym konwerterze katalitycznym (TWC). Rozdział ten stanowi podstawę do dalszych prac nad algorytmem.

W rozdziale siódmym Doktorant prezentuje projekt innowacyjnego systemu mobilnej analizy emisji tlenku węgla (CO), umożliwiającego pomiar w czasie rzeczywistym podczas drogowej eksploatacji pojazdu. Kluczowym elementem systemu jest mobilna sonda oraz dedykowana aplikacja, która umożliwia użytkownikowi monitorowanie stężenia CO w różnych warunkach jazdy. Aplikacja prezentuje dane w formie graficznej i numerycznej, pozwala na rejestrację informacji o pojeździe (model, paliwo, norma Euro) oraz umożliwia interaktywną analizę danych. Wyniki testów wykazały, że stężenie CO znacząco wzrasta przy większym obciążeniu silnika, np. podczas jazdy pod górę, co sugeruje, że nawet pojazdy spełniające normy Euro mogą emitować znaczne ilości zanieczyszczeń w określonych warunkach. Wskazuje to na potrzebę uwzględniania rzeczywistych warunków jazdy w ocenie wpływu pojazdów na środowisko. Dodatkowo Autor opisuje system telemetryczny oparty na platformie Raspberry Pi z interfejsem ELM 327, komunikującym się z pojazdem przez złącze OBD-II. Aplikacja, napisana w języku programowania Python, obsługuje wiele formatów danych i umożliwia ich dynamiczną wizualizację. Projekt ten stanowi nowoczesne narzędzie wspierające rozwój precyzyjnych metod oceny emisji oraz może mieć istotne znaczenie dla polityki środowiskowej i zarządzania jakością powietrza.

W rozdziale (8) Doktorant przedstawia szczegółową procedurę badawczą, której celem była weryfikacja efektywności i poprawności działania dwóch zaproponowanych systemów monitorowania emisji spalin. W ramach przygotowań przeprowadzono testy wstępne z wykorzystaniem urządzeń renomowanych producentów, takich jak Autel, Unimetal i Bosch. Miały one na celu porównanie danych uzyskanych z autorskiego systemu z wynikami uzyskanymi za pomocą standardowych urządzeń diagnostycznych. Metodyka badań została podzielona na etapy obejmujące opis użytych technologii, procedury kalibracji oraz weryfikację danych telemetrycznych. Kluczowym elementem była analiza porównawcza wyników, która pozwoliła ocenić precyzję i wiarygodność systemów. Ostatecznym etapem była weryfikacja danych za pomocą analizatora spalin, co zapewniło obiektywność i dokładność pomiarów. Przeprowadzono również statystyczną ocenę zgodności danych, co potwierdziło skuteczność opracowanych rozwiązań. Dodatkowo, analiza przypadków odstających umożliwiła identyfikację obszarów wymagających dalszej optymalizacji. Rozdział ten stanowi istotny element pracy, ponieważ potwierdza, że zaproponowane systemy mogą

stanowiąc realną alternatywę lub uzupełnienie dla istniejących metod pomiaru emisji, szczególnie w kontekście rzeczywistych warunków eksploatacji pojazdów.

W ostatnim rozdziale przed bibliografią Doktorant przedstawia podsumowanie pracy wskazując tym samym zrealizowanie celu pracy oraz potwierdzając założoną tezę. W pracy wykazał, że wdrożenie mobilnego systemu opartego na czujnikach tlenu (sondach lambda) oraz układach telemetrycznych realizujących pomiary w czasie rzeczywistym pozwala na sprawne i skuteczne monitorowanie składu spalin w warunkach trakcyjnych, wspomaga wczesne wykrywanie pojazdów przekraczających normy emisji oraz może przyczynić się do ograniczenia negatywnego wpływu transportu drogowego na środowisko. Ponadto, Autor wskazuje zagadnienia wymagające podjęcia dalszych prac badawczych.

3. OCENA POZIOMU NAUKOWEGO I OSIĄGNIĘĆ ROZPRAWY

Recenzowana praca rozwiązuje problem związany z niedokładnym monitorowaniem emisji spalin w rzeczywistych warunkach eksploatacji pojazdów. Wykazano, że dzięki wykorzystaniu sond lambda i mobilnych systemów PEMS możliwe jest bieżące śledzenie emisji spalin a opracowany system pozwala na wczesne wykrywanie usterek układu spalania. Praca pokazuje, że sygnały z sond lambda są silnie skorelowane z poziomem emisji, co umożliwia predykcyjną diagnostykę. Zaproponowane przez Doktoranta rozwiązanie jest tanie, proste i możliwe do masowego wdrożenia dzięki wykorzystaniu istniejących czujników i interfejsu OBD-II. Ponadto, praca wypełnia lukę między testami laboratoryjnymi a rzeczywistym użytkowaniem pojazdów.

Tematyka pracy jest aktualna i interesująca, ponieważ dotyczy ograniczenia emisji spalin stanowiącego jedno z kluczowych wyzwań współczesnej motoryzacji. W obliczu zaostrzających się norm emisji i rosnącej świadomości ekologicznej, konieczne jest opracowanie skutecznych narzędzi diagnostycznych a tradycyjne metody laboratoryjne nie odzwierciedlają rzeczywistych warunków jazdy, co prowadzi do niedoszacowania emisji. Praca proponuje mobilny system monitorowania oparty na sondach lambda, umożliwiając bieżące wykrywanie usterek i ocenę stanu technicznego silnika. Rozwiązanie to może być stosowane w badaniach technicznych i zarządzaniu flotą pojazdów. Jego zaletą jest prostota, niski koszt i możliwość integracji z istniejącą infrastrukturą pojazdów. Tematyka pracy wpisuje się również w rozwój inteligentnych systemów transportowych i cyfryzację motoryzacji. Łączy zagadnienia z inżynierii mechanicznej, transportu, ekologii i technologii informacyjnych. Wyniki recenzowanej dysertacji wnoszą nowe elementy do wiedzy w tym zakresie. To sprawia, że praca ma duże znaczenie zarówno naukowe, jak i praktyczne.

Do oryginalnych i wartościowych osiągnięć Doktoranta zaliczam:

- Opracowanie mobilnego systemu monitorowania emisji spalin w czasie rzeczywistym, wykorzystującego sygnały z sond lambda oraz czujniki tlenu, jako alternatywy dla kosztownych systemów PEMS.
- Udowodnienie, że nawet podstawowe czujniki fabryczne mogą stanowić źródło wartościowych danych diagnostycznych, co czyni system łatwym do wdrożenia na szeroką skalę.
- Wykazanie silnej korelacji między napięciem sondy lambda a poziomami emisji CO, HC i NO_x, co umożliwia predykcyjne diagnozowanie stanu technicznego silnika.
- Opracowanie metody statystycznej do wyznaczania przedziałów emisji na podstawie sygnałów diagnostycznych, co zwiększa precyzję oceny stanu technicznego pojazdu.
- Przeprowadzenie badań warsztatowych i drogowych, które potwierdziły skuteczność i praktyczną użyteczność zaproponowanego rozwiązania.
- Zaproponowanie zastosowania systemu w diagnostyce flot pojazdów oraz wstępnej selekcji pojazdów podczas badań technicznych, bez konieczności pełnej analizy spalin.
- Wskazanie możliwości integracji systemu z inteligentnymi systemami transportowymi, co otwiera drogę do jego wykorzystania w zarządzaniu jakością powietrza w miastach.

W przedstawionej do oceny rozprawie doktorskiej, mgr inż. Piotr Puzio podjął się udowodnienia postawionej tezy, stosując w tym celu odpowiednie metody analityczne, eksperymentalne i statystyczne, co w pełni potwierdziło umiejętność doboru technik badawczych i projektowania badań eksperymentalnych, które były logiczne i uporządkowane.

Doktorant posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Układ jego dysertacji jest dostatecznie logiczny, poprawny i czytelny. Badania zawarte w pracy są celowe i ważne ze względów poznawczych oraz praktycznych.

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi wkład Autora w rozwój inżynierii mechanicznej poprzez opracowanie mobilnego, niskokosztowego systemu predykcyjnego monitorowania emisji spalin, umożliwiającego diagnozowanie stanu technicznego silnika w rzeczywistych warunkach eksploatacji z wykorzystaniem sygnałów z sond lambda. Wyniki badań wnoszą nowe elementy do wiedzy o diagnostyce emisji spalin i mogą przyczynić się do poprawy jakości powietrza w środowisku miejskim.

Biorąc pod uwagę powyższe osiągnięcia Doktoranta oraz fakt, że założony cel pracy został osiągnięty wyrażam pozytywną ocenę naukowej wartości recenzowanej rozprawy.

4. UWAGI

Recenzowana rozprawa jest opracowaniem obszernym z zauważalnym podziałem na część studialną, doświadczalną i praktyczną. W tym względzie rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Niemniej, w trakcie czytania i analizowania treści pracy nasunęły mi się uwagi, z których najważniejsze przedstawiam poniżej.

4.1. UWAGI REDAKCYJNE

Generalnie, układ rozprawy doktorskiej jest poprawny i zawiera elementy stosowane w tego typu pracach. Należy jednak zauważyć, że:

- 1) Spis treści pomija Abstarct/Streszczenie zamieszczone w pracy na stronie 11.
- 2) Zwyczajowo Abstract/Streszczenie umieszcza się na początku pracy, przed „Wprowadzeniem” lub na końcu pracy, po „Bibliografii”. Umieszczenie go pomiędzy „Wprowadzeniem” a rozdziałem 1 jest co najmniej nietypowe.
- 3) Zwyczajowo akronimy i oznaczenia umieszcza się w osobnych spisach, głównie w celu łatwiejszego odnalezienia szukanego skrótu lub symbolu. Ponadto, oznaczenia powinny posiadać jednostkę miary, np. n – prędkość obrotowa w [obr/min].
- 4) Akronimy powinny być objaśniane w miejscu pierwszego pojawienia się w tekście akapitowym, np. WLTP zamieszczony na stronie 5 jest rozwinięty pod koniec strony 6. Ponadto nie ma go w spisie wybranych akronimów i oznaczeń, choć często występuje w tekście.
- 5) Brakuje konsekwencji w stosowaniu wcięć akapitowych, raz są stosowane a raz ich nie ma.
- 6) Sposób zapisu pozycji źródłowych zamieszczonych w „Bibliografii” sprawia wrażenie sporządzonego niedbale. Jest to związane głównie z tym, że duża część pozycji nie posiada pełnych danych bibliograficznych, w tym tak istotnych jak numer lub strony czasopisma (np. poz. [7]), autora/ów (np. poz. [10]) lub linku do pobrania (np. poz. [1]). Taki zapis danych co najmniej utrudnia odnalezienie źródła.
- 7) Pozycje od [33] do [38] w „Bibliografii” są podkreślone bez uzasadnionego powodu.
- 8) W tekście akapitowym nie można odnaleźć 22 pozycji zamieszczonych w „Bibliografii”. Są to pozycje: [36] – [38], [44], [94], [103], [118], [137], [141], [142], [144], [147] – [149], [153], [158], [163], [167], [168], [172], [175], [178]. To wymaga wyjaśnienia/komentarza.
- 9) W części podpisów pod rysunkami podane są źródła, które nie występują w „Bibliografii”, np. rysunek 2 posiada [WHO]? To należy wyjaśnić/skomentować.

- 10) Należy sprawdzić czy poz. [140] podana na stronie 39 na pewno powinna być umieszczona w tym miejscu (to samo dotyczy poz. [133] na stronie 44 i poz. [18] na stronie 76). Jeżeli nie, to należy podać właściwe źródło w odpowiedziach na recenzję.
- 11) W rozprawie znajdują się dość liczne błędy interpunkcyjne, stylistyczne, edytorskie, które jednak nie mają znaczącego wpływu na pozytywną ocenę pracy. Uwagi zostaną bezpośrednio przekazane Doktorantowi, aby unikał ich w przyszłości.
- 12) Wartość liczbową powinna być oddzielona spacją od jednostki (zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z 5 czerwca 2020 roku w sprawie legalnych jednostek miar, Dz. U. z dnia 10.06.2020 r, poz. 1024).
- 13) Zgodnie z polskim zwyczajem typograficznym separatorem dziesiętnym jest przecinek a nie kropka. Ten błąd występuje w tekście pracy w wielu miejscach.
- 14) Co oznacza zapis „Trzeba dopisać założenia tego systemu – to do aneksu” na dole strony 80? To należy skomentować.
- 15) Część wykresów jest mało czytelnych, np. rys. 25, rys. 29, rys. 30, rys. 37, rys. 38. Główną przyczyną jest zbyt mały rozmiar czcionki lub źle dobrane, „zlewające się” kolory.
- 16) Nie usunięto ramki okalającej rys. 41 i rys. 44.
- 17) Rysunek 43 na stronie 104 nie jest wprowadzony w tekście akapitowym.
- 18) Wydaje się, że rys. 54 i rys. 60 to tabele.
- 19) Niektóre wykresy nie posiadają poprawnych opisów osi, np. rys. 9 na stronie 17.
- 20) Na rys. 22 brakuje wyjaśnienia oznaczeń (A, B, C) w podpisie rysunku.
- 21) Opisy na rys. 1 na str. 12 oraz w tabeli 14 na str. 128 powinny być w języku polskim.

4.2. UWAGI MERYTORYCZNE I DYSKUSYJNE

- 1) Praca zawiera istotne oznaczenia i skróty, które nie zostały ujęte w „Wykazie wybranych akronimów i oznaczeń”. Oczywiście ich wybór należy do Autora, jednak uwzględnienie większej liczby oznaczeń i akronimów w ich spisie ułatwiłoby percepcję treści obszernego opracowania.
- 2) Większą część rozdziału „Wprowadzenie” zajmuje szczegółowe omówienie zawartości poszczególnych rozdziałów pracy. Informacje w takiej formie powinny być umieszczone w Streszczeniu.
- 3) Jakiego obszaru dotyczą dane przedstawione na rys. 2 (str. 13)? Jeżeli są to dane globalne, to czy znane są dane dotyczące Europy lub Polski? Proszę o komentarz.
- 4) Na rysunku 3 na str. 14 powinna być dodana linia trendu.

- 5) Jak rozumieć produkty odpadowe, o których mowa na str. 14? Proszę o komentarz.
- 6) Co oznacza jednostka [P/h] zamieszczona na str. 28 do opisu natężenia ruchu? Proszę o komentarz.
- 7) Na str. 31 i str. 58 podano informację o problemach związanych z niepoprawnym działaniem sondy lambda skutkującym koniecznością ich regularnej wymiany lub naprawy. Jednocześnie na str. 38 wskazano, że producenci muszą zapewnić, że urządzenia kontrolujące zanieczyszczenia będą wytrzymywać 160 000 km. Czy da się pogodzić te informacje w kontekście zaproponowanego rozwiązania? Proszę o komentarz.
- 8) W celu zwiększenia przejrzystości pracy poszczególne rozdziały powinny kończyć się krótkim podsumowaniem, stanowiącym także uzasadnienie do zamieszczenia kolejnego rozdziału.
- 9) Przegląd literatury (rozdziały od 1 do 4) powinien zakończyć się podsumowaniem, które ułatwiłoby zrozumienie przesłanek do postawienia hipotezy badawczej, tezy pracy i jej celu.
- 10) W hipotezie jest mowa o tym, że *istnieje możliwość uzyskania wyraźnie wyższej skuteczności identyfikacji pojazdów o ponadnormatywnej emisji toksycznych składników spalin (...)*. Jakie jest kryterium uznania, że skuteczność ta jest wyraźnie wyższa i do jakiej normy jest porównywana? Proszę o komentarz.
- 11) Na str. 88 podano informację, że *przy znacznym zwiększeniu obrotów w krótkim odstępie czasu czujnik przekazywał informacje, które znacznie wybiegały poza jego zakres mierzenia, a wartości zarejestrowane nie mogły zostać odczytane*. Czy można zastosować czujnik nie powodujący takich problemów?. Proszę o komentarz.
- 12) Na str. 89 czytamy, że *w przypadku przejazdu długich tras, gdzie poruszamy się po autostradach i drogach szybkiego ruchu, można przypuszczać, że normy Euro są spełniane*. Jak jest przesłanka do takiego przypuszczenia? Proszę o komentarz.
- 13) Na str. 90 zamieszczono zdanie: *Jego podstawową zaletą w stosunku do tradycyjnych urządzeń pomiarowych...* Proszę o przedstawienie wspomnianej zalety.
- 14) Przebiegi samochodów podane na str. 100 i w tabeli 5 na str. 101 mają różne wartości. Które są poprawne? Proszę o komentarz.
- 15) Na str. 101 podano informację, że *w ramach eksperymentu wykonano pomiary w pojeździe bez konwertera katalitycznego*. O jaki pojazd chodzi? Proszę o komentarz.

- 16) Autor recenzowanej rozprawy umieścił wnioski w rozdziale „Podsumowanie”, co nie ułatwia ich odnalezienia. Praca powinna zawierać rozdział, którego tytuł wskazuje na zamieszczenie w nim wniosków.
- 17) Umieszczenie w pracy rozdziału/podrozdziału „Metodyka badań” w znaczący sposób uporządkowałoby treści dotyczące przeprowadzonych badań, użytych stanowisk i metod badawczych.

5. PODSUMOWANIE I KONKLUZJA

Na podstawie powyższej opinii pragnę podkreślić oryginalność tematu i trafność doboru odpowiedniej metodyki badań dla założonego celu pracy. Stwierdzam, że mgr inż. Piotr Puzio wykazał się wiedzą umożliwiającą prowadzenie samodzielnych badań naukowych oraz umiejętnością ich analizy i interpretacji. Pragnę również podkreślić wartości poznawcze opiniowanej dysertacji oraz jej użyteczny wymiar umożliwiający wdrożenie zaproponowanego rozwiązania.

Podsumowując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Puzia pt. „Predyktoryjne monitorowanie emisji spalin z wykorzystaniem czujników tlenu w czasie rzeczywistym”, **spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim** określone w ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. 2018, poz. 1668 z późniejszymi zmianami) i **wnioskuję o dopuszczenie do jej publicznej obrony.**

Z poważaniem

Wojciech Stachurski