

Poznań, 20 września 2025 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Puzio
pt. *Predykcyjne monitorowanie emisji spalin z wykorzystaniem czujników tlenu w czasie rzeczywistym*

1. Uwagi ogólne

Przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Puzio poświęcona jest predykcyjnemu monitorowaniu emisji spalin z wykorzystaniem czujników tlenu w czasie rzeczywistym.

Praca doktorska powstała w Akademii im. Jakuba z Paradyża z siedzibą w Gorzowie Wielkopolskim, zaś jej promotorami są prof. dr hab. inż. Ryszard Wójcik, a promotorem pomocniczym dr inż. Aleksandra Radomska-Zalas.

Przedstawiona rozprawa mieści się w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna – wg rozporządzenia MNiSW z dnia 25.09.2018 r., pkt 2, poz. 8 załącznika (Dz.U.2018.1818).

2. Zakres rozprawy

Rozprawa doktorska zawarta jest na 185 stronach, składa się z: wykazu wybranych akronimów i oznaczeń, wprowadzenia, ośmiu rozdziałów, podsumowania, bibliografii (178 poz. oraz 24 strony internetowe), spisu tabel (11), spisu rysunków (60) i załącznika (30 str.). Bibliografia zawiera 178 pozycji literaturowych z czego 25 tytułów jest obcojęzycznych i 24 strony internetowe.

W tym miejscu warto przypomnieć, jak jest rozumiane pojęcie predykcyjnego monitorowania emisji spalin. Systemy predykcyjnego monitorowania emisji to rozwiązania oparte na **oprogramowaniu**, które umożliwiają dostarczanie wiarygodnych szacunków emisji w czasie rzeczywistym, wykorzystując zaawansowane modele matematyczne lub statystyczne. Systemy PEMS

zapewniają dokładny monitoring emisji, radykalnie redukując nakłady inwestycyjne i bieżące koszty operacyjne związane z pracami konserwacyjnymi i częściami zamiennymi, minimalizując zakłócenia w pracy ocenianego układu. System ten pozwala na lepszą kontrolę kosztów, unikając nieprzewidzianych wydatków wynikających z nieprzewidzianych problemów z konwencjonalnymi analizatorami sprzętowymi. PEMS wykorzystuje zaawansowane modele matematyczne, które wykorzystują parametry procesu (np. ciśnienie, temperaturę, przepływ itp.) jako zmienne wejściowe w celu oszacowania emisji najczęściej występujących zanieczyszczeń powietrza (np. NO_x, SO₂, CO, CO₂ itp.) [Słownik PWN].

Z tego względu tytuł rozprawy nie jest najlepiej określony i sugeruje, iż podczas jej czytania należałoby oczekiwać znacznie więcej niż to obecnie wynika z jej treści. Trafniejsze określenie odpowiadałoby tytułowi np.: Badanie emisji spalin z wykorzystaniem czujników tlenu w czasie rzeczywistym.

We „Wprowadzeniu” autor popełnił wiele błędów związanych z brakiem przypisów. W pewnym miejscu (s. 5 wers 12 od dołu) autor pisze, „wbudowanych w pojazdy układów” ale nie określa jakich, można się tylko domyślać. Na s. 5 autor pisze, że warunki atmosferyczne...oddziałują „na jego stan techniczny”, lecz co miał autor na myśli można się tylko domyślać.

Zgadzam się z autorem rozprawy, że infrastruktura drogowa a szczególnie jakość nawierzchni mogą stan techniczny pojazdu znacznie pogorszyć, a nawet doprowadzić do uszkodzenia pojazdu a w szczególności jego zawieszenia.

Nie wiem co autor miał na myśli pisząc o „skutecznych strategiach zarządzania emisją spalin” (s. 6, wers 9 od góry). Dalej autor pisze o przypadkach „manipulacji wynikami testów emisji przez producentów samochodów” (s. 6, wers 16 od dołu) i nie podaje przypisów. Nie wiadomo zatem czy są to wyniki jego badań? Autor wskazuje na wiele poglądów i nie podaje przypisów jak chociażby odwołanie się do równania Nernsta (s. 7, wers 16 od dołu).

Pisząc „o obciążeniach silnika oraz w trudniejszych warunkach drogowych” (s.8, wers 16 od dołu) autor nie wyjaśnia ani nie przytacza przypisów z tym związanych. Nie wyjaśnia też co miał na myśli pisząc o „zróżnicowanym podejściu do zarządzania (emisjami)” s.8, wers 8 od dołu.

Pominięta została we „Wprowadzeniu” rola i znaczenie katalizatorów. Nawet najlepsze systemy telemetryczne nie zastąpią katalizatorów, które od wielu lat stanowią właściwe rozwiązanie dla eksploatowanych pojazdów samochodowych.

Z „Analizy stanu wiedzy” (s. 12-37) wynika, że autor przedstawił emisję zanieczyszczeń oraz smog na rys. 1, rys. 2, rys. 3 i rys. 4, ale nie porównał ich wartości i nie wskazał jakie zagrożenie zanieczyszczenia środowiska stanowią w Polsce. Poza tym dane dotyczące stężenia PM_{2,5} są z roku 2019 a to oznacza, że są one sprzed 6 lat. Z danych tych nie wynika, że dotyczą one pojazdów samochodowych. W tym kontekście zupełnie niezrozumiałe jest zamieszczenie rys. 2 (s.13). Zamieszczony rys. 3 na s.14 też jest ogólnikowy a poza tym dotyczy roku 2018, a więc danych przed 7 lat oraz nie prezentuje zagrożenia ze strony pojazdów samochodowych.

Powszechnie wiadomo, że najbardziej szkodliwe są zanieczyszczenia PM₁, czyli te poniżej 1 um. Jak dotąd nie określono w przepisach krajowych jak i unijnych dopuszczalnych wielkości emisji tych zanieczyszczeń choć istnieją międzynarodowe normy wyznaczające te wartości.

Na rys. 4 (s.14) ograniczono się do przedstawienia wartości emisji pyłów PM_{2,5} do roku 2019, a więc wyniki obejmujące dane sprzed 6 lat. Zupełnie zbędny jest rysunek 5, 6 zawarty na s.15, 16, gdyż on nic nie wnosi do przedłożonej pracy. Podobnie jest z rys. 7 s. 16, rys. 8 s.17 i rys. 9 s. 17. Autor nie przedstawił jak zawarte na rys. 10 s. 18 przekładają się na zanieczyszczenia spalin przedostających się do powietrza atmosferycznego a wskazane uszkodzenia (rys. 10) są powszechnie znane i związane z eksploatacją pojazdów.

Opisując „systemy telemetryczne i pomiar emisji spalin” autor pisze o problemach z charakterystyki eksploatacyjnej pojazdu, stan techniczny pojazdu,

korelacje i predykcje, diagnostykę, sondy Lambda. Nie znajdzie się w tym rozdziale nic na temat predykcyjnego modelowania spalin. Dalej w przeglądzie tych zagadnień opisuje znaczenie infrastruktury drogowej pomijając zagadnienie natężenia ruchu drogowego. Pisząc o „stylu jazdy” autor odnosi się „efektywności jazdy ekologicznej” oraz wskazuje aparaturę badawczą typu PEMS, którą można wykorzystać do realizacji pomiarów. Pisząc o „przebytej trasie” autor wskazuje w oparciu o literaturę na jej konfigurację choć pomija kwestię jej nawierzchni.

W „charakterystyce eksploatacji pojazdu” autor odnosi się do wyników analizy spalin i podkreśla, że zimny start silnika stanowi znaczny wzrost emisji zanieczyszczeń. Podkreśla jednak, że zastosowanie autorskiego filtra cząstek stałych ograniczyło emisję zanieczyszczeń. Autor nie podaje jednak w jakie filtry były wyposażone auta na których realizowano badania.

„Stan techniczny pojazdu” w oparciu o cytowaną literaturę autor podaje, że wadliwe konwertery katalityczne odpowiadają za 36 % całkowitych emisji NO_x. Ogólnie jednak autor w tej części pracy odnosi się do różnorodnych uchybień, ale pomija stan techniczny pojazdu. Nie pisze też na czym polegała wadliwość tych konwerterów katalitycznych (czyli katalizatorów). Ponadto dowolnie się odwołuje do różnych pojazdów tj. osobowych i ciężarowych (s. 24-26).

Przedstawiając „korelacje, predykcje” autor nie odnosi się do korelacji i predykcji a pisze o metodach monitorowania emisji NO_x oraz o diagnostyce pokładowej (OBD). Autor nie rozumie znaczenia zaawansowanych rozwiązań informatycznych i traktuje jako „lek” na powstające i emitowane do otoczenia zanieczyszczenia.

Przy omawianiu „diagnostyki” autor omawia różne procedury wskazując, że jedno z nich są lepsze zaś inne nie (s. 28-30).

Opisując „sondy Lambda” (s.30 – 37) podkreśla znaczenie stechiometrycznego stosunku powietrza do paliwa, co wpływa na optymalną pracę konwertera katalitycznego i wpływa na minimalizację emisji zanieczyszczeń. Autor pomija budowę sond Lambda i nie poddaje jej dyskusji a

tylko wspomina o tym, że ulegają one awarii, nie analizuje też procesów zachodzących w tych sondach.

W rozdziale drugim autor przedstawia „Akty prawne regulujące normy emisji spalin i cykle badawcze”. Przywołuje normy Euro (s.39) ograniczając się do silników benzynowych (tabela 1) i silników o zapłonie samoczynnym (tabela 2), podkreśla istotę cyklu badań, NEDC opisując znaczenie pomiarów w diagnostyce emisji zanieczyszczeń cytując właściwą literaturę.

„Cykl badań, WLTP-RDE” został opisany na s.42-45. Autor opisuje w oparciu o literaturę procedurę pomiarową w celu uzyskania homologacji. Przedstawione zostały cykle badawcze, które wpływają na masę i aerodynamikę pojazdu. W tabeli 3 (s. 43) przedstawiono różnice pomiędzy pomiarami NEDC a WLTP. Wskazano na ścisłe kryteria dotyczące prędkości i sposobu przyspieszania oraz zakresy temperatur w których takie badania mogą być realizowane.

„Green NCAP” to metoda oceny pojazdów samochodowych pod względem bezpieczeństwa osób podróżujących, ale także emisji zanieczyszczeń, paliw, zużycia energii itp. (s. 44).

„Niektóre niedozwolone praktyki producentów samochodów’ (s. 45-46) zostały przedstawione głównie o cytowaną literaturę.

„Złożoność problemu procedur testowania silników pod kątem emisji spalin” przedstawiona została na s.47-49. Autor jednak nie podał przypisów które zawarł dopiero na s. 48. Można więc odnieść wrażenie, iż wcześniejsze informacje wynikają także ze stosownych przypisów, o których autor zapomniał. Istnieją też liczne błędy, o których już wypominano wcześniej.

W rozdziale trzecim „Urządzenia kontrolno-pomiarowe wykorzystywane w pomiarach emisji spalin” autor opisuje analizatory GUM, analizatory MID, urządzenia mobilne (PEMS) ilustrując stosownymi rysunkami (rys. 11 rys. 12, rys. 13, rys. 14, rys. 15, rys. 16). Autor nie wykonał zestawień porównawczych tych urządzeń oraz nie zamieścił wszystkich przypisów do tych urządzeń.

Rozdział 4 przedstawia „Sondy Lambda”, które zostały opisane w oparciu o literaturę. Autor przedstawił wygląd sondy lambda (rys. 17), schemat umieszczenia sond lambda w samochodzie (rys. 18) oraz ogólną postać równania Nersta (s. 57). Przedstawił sondy dwustanowe – napięciowe, rezystancyjne (cyrkonowe) na rys. 19 a na rys. 20 i 21 przebieg sygnału oraz wartości referencyjne sondy przed katalizatorem. Opisał także wartości mierzone sond za katalizatorem (rys. 22) oraz sygnał sondy przed katalizatorem (rys. 23). Poddane ocenie sondy rezystancyjne (tytanowe) zostały opisane przez autora bez stosownych przypisów a to wskazywać by mogło, iż jest to opinia autora. Tak też jest w przypadku sond szerokopasmowych (brak przypisów). Brak jest diagnostyki sond w oparciu, o które prowadzone były badania.

Rozdział piąty to „Cel, teza i zakres pracy” (s. 64-65). Autor pisze, że głównym celem rozprawy jest „opracowanie, wdrożenie oraz weryfikacja modelu predykcyjnego szacowania poziomu emisji spalin silnika”. Oczekiwać by należało, że autor wreszcie przedstawi modele predykcyjne monitorowania emisji oparte na **oprogramowaniu**, które umożliwiają dostarczanie wiarygodnych szacunków emisji w czasie rzeczywistym, wykorzystując zaawansowane modele matematyczne lub statystyczne. Niestety nic podobnego nie nastąpiło, pomimo że takie zadanie postawił sobie autor. Żadnych modeli ani programów w pracy nie znaleziono. Co do hipotezy badawczej to autor odwołuje się do algorytmów predykcyjnych, ale ich nie przedstawia. Cele szczegółowe nie zostały w pracy właściwie zrealizowane.

W rozdziale szóstym zapisano „Wyznaczenie podstawowych parametrów niezbędnych do budowy algorytmu predykcyjnego” i tu autor opisuje „obliczenia emisji w warunkach zachowania stechiometrii procesu spalania”. Warto jednak przypomnieć, że *„stechiometria spalania – do całkowitego i zupełnego spalania paliwa węglowodorowego, czyli do postaci niepalnych produktów CO_2 i pary wodnej H_2O potrzebna jest odpowiednia ilość powietrza. W spalaniu bierze udział tylko tlen. Zapotrzebowanie tlenu do pełnego spalania paliwa może być obliczone*

z równania reakcji chemicznej. W sytuacji, kiedy ilość powietrza podawanego do procesu spalania dobrana jest dokładnie według wartości wynikających ze stechiometrii, wtedy mówi się o spalaniu w warunkach stechiometrycznych ($\lambda=1$), a współczynnik nadmiaru powietrza jest równy jedności. Jeżeli do spalania używane jest więcej powietrza aniżeli wynika to ze stechiometrii, wtedy $\lambda>1$ (mieszanaka uboga), a gdy występuje niedomiar utleniacza, wtedy $\lambda<1$ (mieszanaka bogata)”¹. W rozdziale tym autor nie zamieścił jakichkolwiek przypisów. Sugeruje to, iż autor sam opracował wszystkie wzory i je w pracy zamieścił. Przy obliczeniach emisji w warunkach zachowania stechiometrii procesu spalania autor zamieścił równania równowagi chemicznej zarówno kinetyczne (s.66) jak i równowagowe (s.66-65). Opisując wpływ rodzaju paliwa na osiągnięte wyniki autor je wymienia nie podając przypisów. Podaje też skład chemiczny paliw wskazując stosowne oznaczenia także bez przypisów (s. 67-68). Określa udziały masowe poszczególnych składników w paliwach konwencjonalnych także nie podając przypisów (s.68). Wreszcie wylicza wartości opałowe i podaje gęstość paliwa nie odwołując się do przypisów. Dokonuje teoretycznego określenia zapotrzebowania na powietrze (s. 69) i prezentuje stosowne wzory także bez podania przypisów. Prezentuje skład chemiczny spalin i również nie podaje przypisów (s.69-70). Podaje także składniki molowe spalin, przedstawia stałą gazową spalin (s.70-71) także bez przypisów. Prezentuje autor toksyczne składniki spalin nie podając żadnych przypisów (s.71-73). Ponadto w pracy autor raz podaje ciśnienie w (atm) a innym razem w barach. W tabeli 4 istnieje błąd w tytule (s.73). Przy prezentacji „powstawanie tlenków azotu” autor przynajmniej podaje autora (Zeldowicz – s.73) z którego prac skorzystał podając stosowne wzory (s.73). Ale już przy opisie reakcji powstawania tlenków azotu autor również zignorował przypisy. Na s.75 autor odwołuje się do równania (s. 75 – 5.24), którego w pracy nie ma i pisze, że można je rozwiązać metodą Rungego-

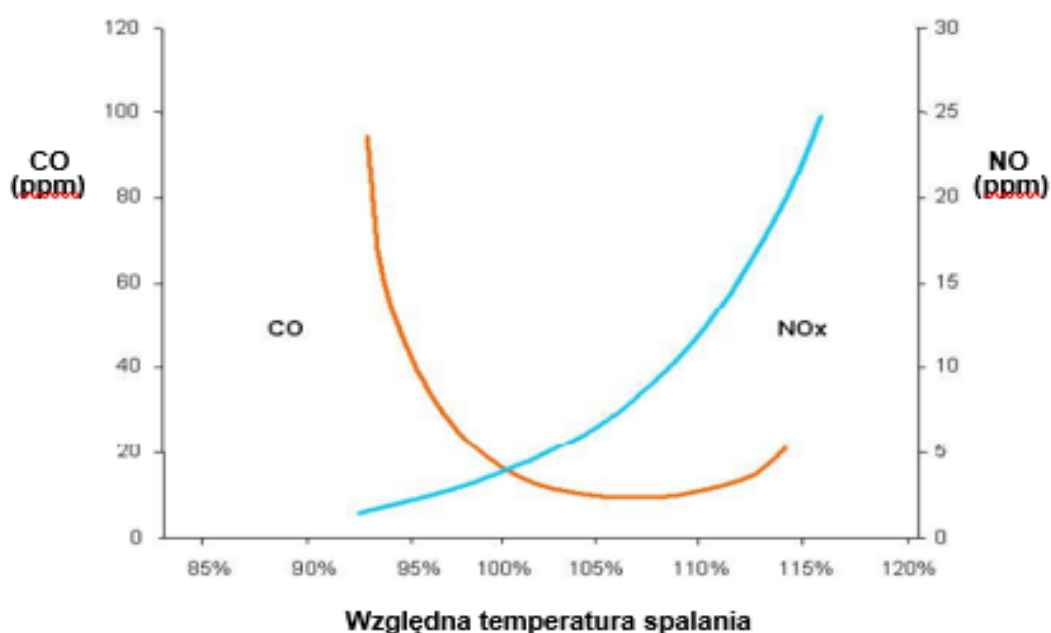
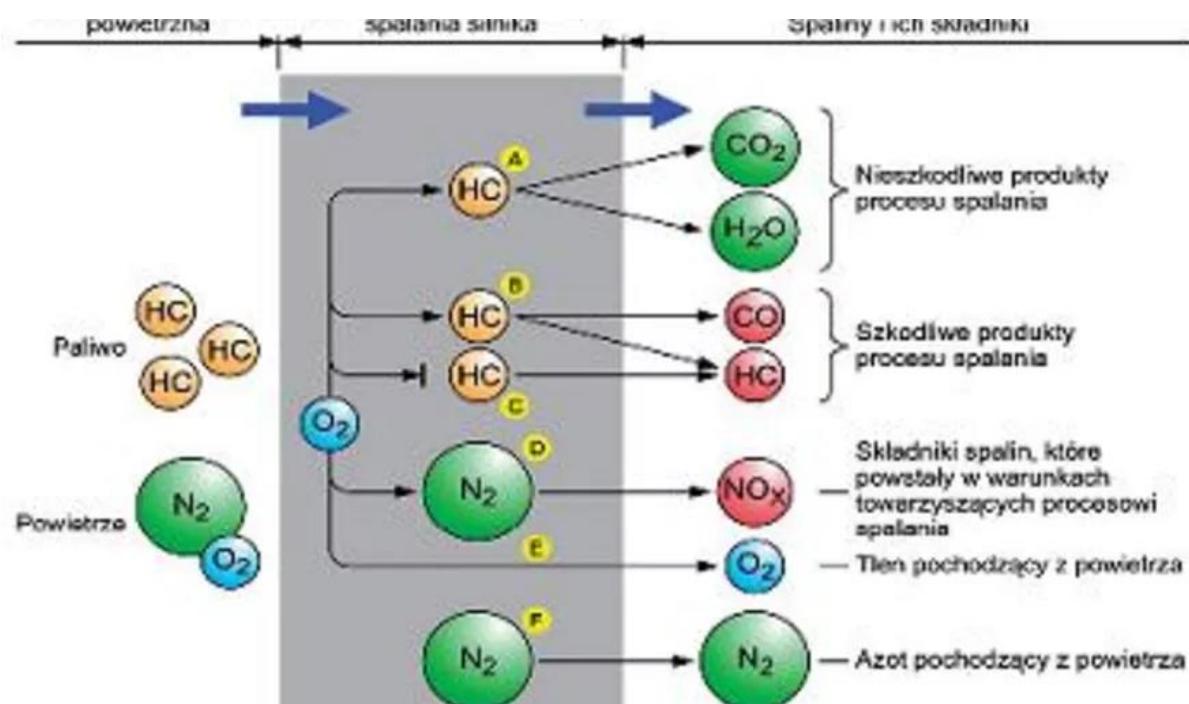
¹ Atkins P. W., Paula J. de. Chemia fizyczna. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2015

Kutty 4 rzędu, ale już tego równania nie zamieścił tylko przedstawił wyliczoną wartość równanie (6.32 i 6.33)². Mechanizm obliczeń nie został przedstawiony w pracy. „Formowanie się tlenku węgla” autor przedstawił na s.75, ale też nie podaje żadnych przypisów. Co prawda powołuje się na Howarda i cytując jego równania zawarte na s.75, wzór 6.34. Autor prezentuje „Powstanie węglowodorów” odwołując się do Edelmana i wreszcie podaje przypis. Tylko przy podawaniu jednostek miary ciśnienie podał w (atm) zamiast w barach. Prezentacja „Reakcji w trójfunkcyjnym konwerterze katalitycznym (TWC)” została dokonana na s. 76-77. Tutaj autor także pominął przypisy. W przypadku „testu sprawności katalizatora” autor zaprezentował rozwiązanie Bosha (rys. 24). Choć tytuł zapowiadał się interesująco to trudno tu szukać testu sprawności katalizatora.

W rozdziale 7 autor przedstawił „Mobilny system telemetryczny” który został opisany na s. 70-96. Na wstępie tego rozdziału autor pisze o systemie OBM, ale nie podaje żadnych przypisów. Podkreśla rolę tego systemu w świetle normy Euro 7. Przy opisywaniu „Mobilnego systemu monitorowania CO” autor odwołuje się do zgłoszenia patentowego P.436184 i pomija przypisy związane z tym zagadnieniem. Pisze, że trwałość urządzenia jest „narażona na uszkodzenia mechaniczne”, ale nie pisze jakie i co je może powodować. Nie ma w tym zakresie badań, które by uwiarygodniały to przypuszczenie. Przy opisie „Konstrukcji mobilnej sondy zawartości tlenku węgla (CO)” autor odwołuje się do literatury. Swoje wywody uzupełnia diagramem zamieszczonym na rys. 25 (s.83). W tej części pracy autor prezentuje dostęp do aplikacji (rys. 26), ekran główny (rys. 27) oraz informacje dostarczane po wyborze pojazdu (rys. 28) i informacje dostarczane podczas pomiarów stężenia tlenku węgla a także analizy porównawcze (rys. 29, rys. 30). W zasadzie dopiero „Analiza wyników pomiarów emisji CO, weryfikacja działania dynamicznego pomiaru zawartości tlenku węgla w spalinach” chociaż i to wątpliwe w porównaniu z tytułem pracy. W tej części

² https://home.agh.edu.pl/~chwiej/imn/imn1/16/4_metody_rk.pdf

pracy autor prezentuje uzyskane wyniki z testowych jazd próbnych z wykorzystaniem mobilnej sondy, ale nie dodaje nic więcej i nawet przypisów brak. Wyróżnia tylko cztery etapy badań i je opisuje (s.87). W zasadzie jednak dokonuje pomiaru tlenku węgla chociaż w tytule pracy pisze o pomiarach tlenu. Istnieje jednak subtelna różnica między tlenem a tlenkiem węgla co obrazuje niżej zamieszczony rysunek³ i wykres⁴.



³ Stefan Mieszkowski. Czujniki układu wlotowego. **autoEXPERCT 3/2012**

⁴ <https://www.merserwis.pl/>

Na rys. 31 autor zaprezentował trasę jaką przyjął do badań. Na rys. 32 przedstawiony został wykres wskazujący wyniki etapów badań dla pierwszego pojazdu według norm Euro. Niestety autor nie podał odchyłeń statystycznych ani przedziałów ufności. Na rys. 33 podane zostały wyniki badań dla pierwszego pojazdu według normy Euro 4. Tu także zabrakło oceny odchyłeń statystycznych i przedziałów ufności. Dalej na stronie 89 autor pisze, że „w badaniu tym wartości pokrywały się z przypuszczeniami autorów”, ale nie podaje przypisów (wers 9 od dołu). Nie jest wiadome, czy chodzi o autora piszącego tą pracę, czy o inny autorów. Wreszcie autor pisze, że należy zadać sobie pytanie: „jak często, podczas jazdy w mieście, stoimy na światłach, jak często ruszamy i przyspieszamy dynamicznie”. Problem polega na tym, że autor nie wykorzystał wiedzy zawartej w książce Z. Polańskiego. Planowanie doświadczeń lub wiedzy na ten temat zawartej w innych publikacjach. Przy analizie „systemu telemetrycznego monitorowania sond lambda”, iż badania okresowe pojazdu prowadzone są dość sporadycznie. Nie wiadomo na jakie podstawie autor tak twierdzi, nie podał przypisu. Wiedzę na ten temat autor nie oparł na żadnych przypisach, zatem są to tylko dywagacje autora. Na rys. 34 autor prezentuje układ monitorowania z czytnikiem OBD oraz architekturę systemu telemetrycznego (rys. 35). Nie podaje autor żadnych przypisów, więc należy przypuszczać, iż jest to opracowanie autorskie (tez nie podano źródła). Rys. 36 jest zbędny a rys. 37 i 38 są nieczytelne oraz brak przypisów. Autor odwołuje się do zastosowanych algorytmów, których w przedstawionej pracy nie odnaleziono (s. 95, wers 7-8 od dołu).

W rozdziale 8 „Procedura badawcza” (s.97-135) autor opisuje różne związki i zależności powołując się na opracowany system telemetryczny, mobilnej sondy CO, mobilnych i stacjonarnych analizatorów spalin oraz systemu akwizycji danych z OBD. Autor określił cel badań, zakres badań, metodykę badań, analizę danych i ocenę wyników, przedstawił wnioski i rekomendacje. Ponadto określił pojazdy wytypowane do badań, zaprezentował opis stanowiska badawczego, przedstawił pomiary drogowe, przykładowe wyniki badań, badania drogowe.

Przejazdy testowe - Renault Modus, przejazdy drogowe. Przejazdy testowe -Fiat Punto, zestawienie wartości zmierzonych emisji toksycznych składników spalin, weryfikację otrzymanych wyników pomiarów, obliczenie masy i objętości zużytego paliwa, obliczenie całkowitej masy i objętości spalin (v_{total}), wyznaczenie emisji jednostkowej dla pojazdów bez czujnika MAF, zestawienie wartości v_{total} do obliczenia emisji jednostkowej.

Na s. 136-140 przedstawił podsumowanie bez odwołania się do przypisów i własnych badań.

3. Ocena merytoryczna

Jak autor podaje w tytule swojej pracy należałoby oczekiwać algorytmów, które pozwoliłyby na budowę oprogramowania prowadzącego do analizy wyników badań umożliwiającą operowanie na dużych zbiorach. Niestety mimo takiej zapowiedzi w tytule pracy w jej treści nie znaleziono tego typu opracowań. Zdecydowanie lepiej do tego typu analiz przydatne byłyby zbiory rozmyte^{5,6}. Właśnie modelowanie rozmyte służy do analizy dużych baz danych i jest niezmiernie przydatne w ich ocenie.

Ostatecznie mimo różnych dywagacji w pracy autor przyjął rozwiązanie zaprezentowane w procedurze na s. 98. Określił tam cel badań jako:

- określenie skuteczności i precyzji telemetrycznego systemu w monitorowaniu sygnałów sond lambda w czasie rzeczywistym,
- porównanie wyników pomiarów z różnych metod (mobilna sonda emisji, analizatory spalin, hamownia, SKP) dla oceny spójności i wiarygodności danych.

Autor na s. 98 określił także zakres badań i wskazał jego istotne elementy:

⁵ A.Korzyk. Metody inżynierii wiedzy. Systemy rozmyte. AGH Kraków 2015

⁶ G. Dudek. Modelowanie rozmyte. Politechnika Częstochowska, 2022

- ustalenie scenariuszy pracy silnika do badań: rozruch zimnego silnika, praca jałowa, obciążenia stałe, przyspieszenia, praca na różnych obrotach (chodzi chyba autorowi o prędkości obrotowe silnika),
- wykonanie obliczeń w celu ustalenia danych do algorytmów predykcyjnych niezbędnych do szacowania emisji toksycznych składników spalin,
- określenie metody szybkiego przeliczania danych pozyskanych z analizatorów spalin do wymagań norm Euro,
- ustalenie zakresu pomiaru sygnałów sond lambda (np. napięcie, częstotliwość przełączania) oraz stężeń gazów spalinowych.

W metodyce badań (s.98) autor podaje, że:

- badania wstępne – główny cel badań weryfikacja poprawności działania systemu dynamicznego pomiaru CO oraz poprawności działania systemu telemetrycznego monitorowania sond lambda,
- synchronizacja zastosowanych układów pomiarowych.

Określił też „przygotowanie pojazdu i systemu pomiarowego (s.89)”, a mianowicie:

- instalacja telemetrycznego systemu kontroli sond lambda: podłączenie sond lambda do systemu telemetrycznego, zapewnienie stabilnego zasilania i transmisji danych,
- instalacja mobilnej sondy emisji CO: montaż sondy w układzie wydechowym pojazdu w sposób minimalizujący wpływ na przepływ spalin,
- instalacja analizatorów spali: przygotowanie sprzętu do pomiaru CO, HC, NO_x, CO₂ zgodnie z wymaganiami,
- kalibracja wszystkich urządzeń: sprawdzenie poprawności pomiarów, regulacja czynników,

- testy wstępne: krótkie testy działania systemów pomiarowych bez obciążenia silnika.

Rozważmy teraz wszystkie założenia zapisane w celach badań. Autor zakłada w celu pierwszym określenie skuteczności i precyzji telemetrycznego systemu monitorowania sygnałów sond lambda w czasie rzeczywistym, ale nie interesuje go stan katalizatora. Może to doprowadzić do błędnych odczytów pomiarów. Jedna sonda lambda może przedstawić poprawny pomiar na wejściu a druga sonda lambda na wyjściu może pokazać negatywny wynik po przejściu przez katalizator. Czy w związku z tym możemy być pewni, że otrzymany wynik z obu sond lambda jest poprawny? Cel badań jest słuszny tylko co z katalizatorem? Podobnie jest przy realizacji celu drugiego. Możemy prowadzić porównania wyników pomiarów wykonane różnymi metodami, ale pamiętać należy o katalizatorze! Wyniki badań nie będą ani wiarygodne, ani spójne. Niezrozumiałe jest pominięcie przez autora w badaniach katalizatora a także sprawdzenia sond lambda.

Przy określaniu zakresu badań autor odwołuje się do ustalenia scenariuszy pracy silnika i podaje, że chodzi o: rozruch zimnego silnika, pracę jałową, obciążenia stałe, przyspieszenia, pracę na różnych obrotach. Z analizy wyników badań zawartych w pracy nie wynika, aby sondy przedtem były poddane badaniom podobnie jak i katalizator. Nie odnaleziono też wyników badań zanieczyszczeń spalin podczas rozruchu zimnego silnika, natomiast w przypadku pracy jałowej wyniki takich badań są zawarte na rys. 45. Obliczenia w celu ustalenia danych do algorytmów predykcyjnych, niezbędnych do szacowania emisji spali zostały przedstawione na s.109-115, ale odwołał się tylko do przypisów na s. 109 oraz 113 i 114. Obliczone wyniki dotyczą spalania przy założeniu $\lambda=1$, a co w przypadku, gdy $\lambda<1$ lub $\lambda>1$. Niestety algorytmów predykcyjnych autor w pracy nie przedstawił. Autor podał także, iż „określi metody szybkiego przeliczania danych pozyskanych z analizatorów spalin do wymagań norm Euro” Niestety w pracy nie doszukano realizacji tego zadania.

Dalej autor pisze, że dokona „ustalenia zakresu pomiaru sygnałów sond lambda (np. napięcie, częstotliwość przełączania) oraz stężeń gazów spalinowych” s.98). Nie wiadomo tylko, czy autorowi chodzi o wszystkie rodzaje sond czy tylko o sondy zainstalowanych w badanych pojazdach. W pracy nie ma wyników badania sond zainstalowanych w badanych pojazdach.

Przy założeniach ujętych w ‘Metodyce badań’ (s.98) autor pisze o badaniach wstępnych i sugeruje jako główny cel badań weryfikację poprawności działania systemu dynamicznego pomiaru CO oraz poprawności działania systemu telemetrycznego monitorowania sond lambda. Nie przedstawia planu badań wstępnych i nie opisuje jakie elementy będzie ten plan zawierał. Nie wiadomo też, czy sondy o których autor pisze zostały przedtem zbadane, czy badania prowadzono na sondach zainstalowanych w wymienionych w pracy samochodach. Na czym ma polegać synchronizacja zastosowanych układów pomiarowych odpowiedzi w pracy trudno szukać.

Następnie autor przedstawia pojazdy wytypowane do badań (s.100) a ich stan określa w tabeli 5 powołując się w przypisach na dane [Auto Centrum], co może wskazywać, iż nie są to aktualne odczyty z liczników obu pojazdów. Ponadto autor informuje, że są to pojazdy z zapłonem iskrowym. Limity emisji toksycznych dla badanych aut zaprezentowane zostały przez autora w tabel 6 dla normy Euro 4. Następnie autor prezentuje na rys. 39 obiekty badań z wykorzystaniem analizatora Gasbox.

Dokonuje opisu stanowiska badawczego na SKP FG/08/Pw. Do testów wykorzystano urządzenie Bosch KTS 560, co przedstawiono na rys. 40. W badaniach na hamowni autor użył diagnostyk stacjonarny FSA 740 (rys. 41) i wykorzystał analizator spalin Texa GASBOX Autopower (rys. 42). Na fot. 43 przedstawiony został kompletny układ mobilnego pomiaru toksyczności spali zamontowany a aucie, a wybrane parametry metrologiczne analizatora spalin przedstawione zostały w tabeli 7 (s. 105).

Pomiary drogowe zostały przeprowadzone zgodnie z rys. 47. Na s. 114 w tabeli 9 autor podaje wartości zmierzonych emisji cytując stosowną literaturę, zaś w tabeli 10 podaje szacowaną emisję dla wartości $\lambda=1,07$, natomiast wartości zmierzonych emisji zostały zawarte w tabeli 11 (s.115) i okazało się, iż są one zgodne z normą Euro 4.

Przeprowadzone „badania drogowe. Przejazdy testowe – Renault Modus” zostały przedstawione na rys. 49 (zmiennosc prędkości obrotowej silnika w funkcji czasu), na rys. 59 przedstawiony został wykres charakterystyki napięciowej sond, która świadczy o poprawnej, dynamicznej regulacji układu sterowania silnikiem. Ustabilizowane napięcia sond mogą świadczyć właściwych warunkach pracy silnika. Rys. 51 wskazuje badany poziom emisji przez pojazd P1, rys. 52 określa poziom emisji HC dla pojazdu P1, rys. 53 wskazuje na poziom emisji NOx dla pojazdu P1, zaś rys. 54 rozkład emisji ogółem.

Przeprowadzone „badania drogowe. Przejazdy testowe – Fiat Punto”, których wyniki przedstawiono na rys. 55 wykazały skokowy wzrost wartości sugerują, iż mamy do czynienia z etapami nagrzewania się silnika, zaś wykres charakterystyki napięciowej sond (rys. 56) sugeruje, że układ działa poprawnie dla $\lambda=1$. Wyniki badań (rys. 57) przedstawiają poziom emisji CO dla pojazdu P2 i potwierdzają poprawną pracę silnika. Przedstawiony rys. 58 ilustruje poziom emisji HC dla pojazdu P2 i potwierdza nieoptymalny przebieg procesu spalania w silniku. Następnie autor poddał badaniom emisję NOx dla Pojazdu P2 (rys. 59), co wskazuje na powstanie bardzo wysokich poziomów wartości, ale normy nie zostały przekroczone. Na rys. 60 został przedstawiony rozkład emisji dla Fiata Punto, ale nie przekraczają one wartości normy Euro 4.

Zestawienie wartości zmierzonych emisji toksycznych składników spalin autor przedstawił w tabeli 13 i tabeli 14, a w tabeli 15 przedstawiono zestawienie otrzymanych z pomiarów pojazdów P1 i P2.

Na s. 129 autor przedstawił weryfikację otrzymanych wyników pomiarów i zawarł to w obliczeniach na dalszych stronach pracy (s.129-140). Pojawia się szereg wątpliwości, o których piszę w uwagach do dyskusji.

W „podsumowaniu” pracy autor podkreśla znaczenia monitorowania emisji spalin oraz swoje osiągnięcia w prowadzonych badaniach, ale brak jest wniosków o walorach poznawczych i wniosków użytkowych. Należy podkreślić, iż wnioski poznawcze podsumowują istotne ustalenia i bezpośrednio odpowiadają na pytania badawcze oraz są oparte na konkretnych danych a także unikają nadmiernych uogólnień i przedstawiają znaczenie wyników dla danej dziedziny. Podkreślenia wymaga fakt, że wnioski poznawcze muszą zawierać odniesienie do istniejącej literatury, krytyczną analizę słabych stron badania i sugestie dotyczące przyszłych kierunków badań. Wnioski użytkowe to praktyczne propozycje wynikające bezpośrednio z wyników badań i noszą potencjał do wykorzystania w praktyce. Muszą podsumowywać istotne ustalenia badawcze oraz oceniać weryfikację hipotez a także przedstawiać sugestie obejmujące dalsze działania.

W tej pracy autorowi zabrakło pomysłu do opisanie tych kwestii, chociaż takie próby czynił, co wynika z niniejszego rozdziału.

4. Uwagi dyskusyjne

- ☐ Autor pisze o pojęciu badań związanych z oceną procesu spalania i pomija w nim całkowicie badania katalizatorów w samochodach poddanych badaniu. Nie wiadomo jaki jest stan tych katalizatorów. Nie podano metod i urządzeń którymi posłużono się w ich badaniu.
- ☐ dlaczego nie przeprowadzono badań sondy na wejściu tej sondy. Brak bliższych informacji, jedynie na podstawie przebiegu samochodu można przypuszczać, iż nie jest to nowa sonda
- ☐ dlaczego nie przedstawiono wyników badań sondy użytej na wyjściu z katalizatora. Nie wiadomo jaki był jej stan i czy nadawała się ona do badań

- ☐ dlaczego pominięto stan techniczny pojazdu P1 i P2 mimo, że autor miał do dyspozycji urządzenia pomiarowe
- ☐ czy wytłumiono drgania przenoszone na urządzenia pomiarowe znajdujące się w samochodzie podczas jego ruchu
- ☐ brak wykresu prędkości i przyspieszeń dla obu pojazdów
- ☐ dlaczego w pracy nie zawarto algorytmów, o których autor tyle pisze w pracy.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Niezależnie od przedstawionych wyżej uwag, należy stwierdzić, iż przedstawiona do recenzji rozprawa zawiera wnioski przedstawione przez autora, chociaż brak w nich aspektów poznawczych i użytkowych.

Doktorant rozwiązał postawiony problem. Po zapoznaniu się z treścią recenzowanej rozprawy stwierdzam, że może na stanowić przyczynek do dalszych badań.

Przedstawiona do oceny praca mgr inż. Piotra Puzio pt. ***Predykcyjne monitorowanie emisji spalin z wykorzystaniem czujników tlenu w czasie rzeczywistym***, spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Recenzja zawiera 17 stron.

