

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej

mgr inż. Pauli Kurzawskiej-Pietrowicz

pt. Analiza zrównoważonych paliw lotniczych w kontekście modelowania emisji cząstek stałych
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa,
geodezja i transport.

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej, Pana prof. dr. hab. inż. Jacka Pielechy nr RD/d/44/01/2026 z dnia 28.01.2026 r.

Niniejsza recenzja została opracowana na podstawie ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.), a także zgodnie z Regulaminem nadawania stopnia doktora na Politechnice Poznańskiej, stanowiącym załącznik do Uchwały Nr 143/2020-2024 Senatu Akademickiego Politechniki Poznańskiej z dnia 5 lipca 2023 r.

Dokumentację merytoryczną do sporządzenia recenzji stanowił egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauli Kurzawskiej-Pietrowicz pt. *Analiza zrównoważonych paliw lotniczych w kontekście modelowania emisji cząstek stałych*. Pracę przygotowano w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport, pod opieką naukową promotora Pana dr hab. inż. Remigiusza Jasińskiego oraz promotora pomocniczego Pani dr inż. Marty Maciejewskiej. Rozprawa została dostarczona w formie papierowej.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska w formie dysertacji opartej na cyklu publikacji, którą stanowi część syntetyczna oraz sześć artykułów (A.1–A.6).

Część syntetyczna została opracowana w układzie obejmującym wprowadzenie wraz z uzasadnieniem podjęcia tematu, sformułowanie problemu badawczego oraz celu pracy, przegląd stanu wiedzy i tła regulacyjno-technicznego dotyczącego zrównoważonych paliw lotniczych (SAF), prezentację wyników badań własnych w zakresie emisji cząstek stałych oraz parametrów pracy silnika, etap modelowania i walidacji, a następnie wnioski oraz wskazanie kierunków dalszych badań.

Problem badawczy sformułowano jednoznacznie wskazując, że dotychczasowy stan wiedzy nie pozwala na dostatecznie precyzyjne określenie zależności między parametrami emisji cząstek stałych z silników lotniczych a właściwościami fizykochemicznymi SAF, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości opisu tych zależności za pomocą modeli liniowych oraz ich walidacji. Ponadto wskazano, że w literaturze przedmiotu brakuje zweryfikowanych modeli uwzględniających zarówno parametry pracy silnika, jak i skład oraz udział komponentów w mieszaninie paliwowej. W konsekwencji zasadniczym celem pracy jest *analiza zrównoważonych paliw lotniczych i opracowanie metodyki wyznaczania wskaźników emisji cząstek stałych oraz parametrów ich rozkładu wymiarowego w zależności od parametrów pracy silnika i właściwości fizykochemicznych zrównoważonych paliw lotniczych*.

Wszystkie artykuły ujęte w cyklu zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych, co potwierdza spełnienie standardów formalnych i merytorycznych dla doktoratu w takiej formule. Cztery prace ukazały się w czasopiśmie *Energies*, o wysokiej punktacji MNiSW (140 pkt) oraz współczynniku IF na poziomie 3,0–3,252, co należy ocenić jako publikowanie wyników w stabilnym i rozpoznawalnym międzynarodowo środowisku wydawniczym. Pozostałe publikacje opublikowano również w znaczących periodykach: *Advances in Science and Technology Research Journal* (IF 1,3; 100 pkt MNiSW) oraz *Combustion Engines* (70 pkt MNiSW). Dobór czasopism jest spójny tematycznie z problematyką modelowania emisji i badań silnikowych. Łączna punktacja MNiSW wynosi 730 pkt, natomiast sumaryczny IF wynosi 13,804.

Wykaz publikacji stanowiący cykl, dane bibliograficzne, nr DOI, deklarowany w rozprawie status publikacji oraz kontekst bibliometryczny przedstawiam w tab. 1.

Tabela 1. Wykaz publikacji stanowiący cykl

ID	Autorzy	Dane bibliograficzne	DOI	Status	Dane bibliometryczne
A.1	Kurzawska-Pietrowicz P., Jasiński R.	A Review of Alternative Aviation Fuels. <i>Energies</i> , 2024, 17(16), 3890, s. 1-22.	10.3390/en17163890	opublikowana	IF 3,0; MNiSW 140
A.2	Kurzawska-Pietrowicz P., Jasiński R.	Overview of Sustainable Aviation Fuels with Emission Characteristic and Particles Emission of the Turbine Engine Fueled ATJ Blends with Different Percentages of ATJ Fuel. <i>Energies</i> , 2021, 14(7), 1858, s. 1-18.	10.3390/en14071858	opublikowana	IF 3,252; MNiSW 140

ID	Autorzy	Dane bibliograficzne	DOI	Status	Dane bibliometryczne
A.3	Jasiński R., Kurawska-Pietrowicz P., Przysowa R.	Characterization of Particle Emissions from a DGEN 380 Small Turbofan Fueled with ATJ Blends. <i>Energies</i> , 2021, 14(12), 3368, s. 1-12.	10.3390/en14123368	opublikowana	IF 3,252; MNiSW 140
A.4	Kurawska-Pietrowicz P., Jasiński R.	Characterization of Particle Emissions from GTM 400 Fueled with HEFA-SPK Blends. <i>Energies</i> , 2025, 18(11), 2696, s. 1-11.	10.3390/en18112696	opublikowana	IF 3,0; MNiSW 140
A.5	Kurawska-Pietrowicz P., Szrama S., Jasiński R., Siedlecki M.	Evaluation of Jet Engine Performance Parameters Fueled with Sustainable Aviation Fuel. <i>Combustion Engines</i> , 2025, s. 3-10.	10.19206/CE-208774	in press	MNiSW 70
A.6	Kurawska-Pietrowicz P., Jasiński R., Maciejewska M.	Modeling the impact of hydroprocessed ester and fatty acids - synthetic paraffinic kerosene fuel properties and engine performance on emission characteristics and particle size distribution. <i>Advances in Science and Technology Research Journal</i> , 2025, 19(10).	10.12913/22998624/207916	opublikowana	IF 1,3; MNiSW 100

Odnosząc się do statusu publikacji wskazanej w pkt A.5 należy podkreślić, że w dysertacji została ona oznaczona jako „in press”, zatem w momencie składania rozprawy publikacja mogła nie posiadać jeszcze formalnego statusu „opublikowana”. Niemniej jednak na dzień sporządzenia niniejszej recenzji artykuł jest już opublikowany, co usuwa potencjalną niepewność w zakresie spełnienia tego kryterium.

3. Ocena części syntetycznej

Część syntetyczna rozprawy pełni rolę metodologicznego i interpretacyjnego elementu integrującego cykl publikacji. Porządkuje kolejność prac, wiąże poszczególne artykuły z kolejnymi etapami badań oraz umożliwia odtworzenie logiki prowadzonych analiz - od identyfikacji luki badawczej i ugruntowania teoretycznego, poprzez wytworzenie materiału empirycznego, aż po modelowanie i uogólnienie wyników. W konsekwencji przyjęta struktura syntezy jest funkcjonalna i kompletna.

W rozdziale 1 *Wprowadzenie* Autorka najpierw uzasadnia wybór problematyki, osadzając ją w kontekście roli SAF jako narzędzia redukcji oddziaływań środowiskowych lotnictwa. Następnie precyzuje problem badawczy i cel pracy. Kolejne podrozdziały porządkują konstrukcję dysertacji i wskazują, że rozprawa ma formę cyklu sześciu artykułów oraz objaśniają, jak poszczególne rozdziały syntezy odpowiadają publikacjom i etapom badań.

Rozdział 2 *Zrównoważone paliwa lotnicze* pełni funkcję teoretyczno-przeglądową. Obejmuje podstawowe definicje w zakresie SAF, charakteryzuje proces certyfikacji, produkcji, ocenę cyklu życia oraz tło mechanizmów emisji cząstek stałych. Co istotne, prezentowana narracja wiąże ten rozdział wprost z publikacjami A.1–A.4, tworząc podstawę pojęciową i regulacyjno-

technologiczną, na której później budowana jest interpretacja wyników empirycznych i modelowych.

W rozdziale 3 *Emisja cząstek stałych i parametry pracy silnika zasilanego zrównoważonymi paliwami lotniczymi* synteza przechodzi do badań własnych w części empirycznej. Przedstawiono w nim wyniki dotyczące emisji cząstek stałych (w ujęciu liczbowym i masowym, z analizą rozkładu wymiarowego cząstek) dla mieszanin SAF i paliwa konwencjonalnego, odwołując się do publikacji A.2, A.3 i A.4. Część tę uzupełniono następnie o omówienie parametrów pracy silnika (publikacja A.5), co domyka empiryczną część badań, w której emisje są interpretowane w odniesieniu do warunków pracy układu napędowego, a nie wyłącznie jako wynik pomiarowy.

Rozdział 4 *Modelowanie parametrów emisji cząstek stałych* stanowi metodologiczną kulminację cyklu badań (publikacja A.6). Został uporządkowany w sposób typowy dla opracowań modelowych. Najpierw przedstawiono metodykę opracowania modeli, następnie wyniki modelowania (osobno dla wskaźników emisji oraz parametrów rozkładu wymiarowego), a ostatecznie zaprezentowana jest walidacja opracowanych modeli. Taki układ sprzyja ocenie spójności i trafności wnioskowania.

Rozdział 5 *Wnioski i kierunki dalszych prac* domyka część syntetyczną. Zawiera podsumowanie, wnioski końcowe oraz wskazanie kierunków dalszych badań, co nadaje pracy nie tylko charakter sprawozdawczy, ale i dyskusyjny, połączony z identyfikacją ograniczeń i kierunkami dalszych badań. Całość dysertacji uzupełniają elementy istotne formalnie, które stanowią publikacje tworzące cykl oraz oświadczenia współautorów. Występuje tu drobna niezgodność, ponieważ Załącznik A to tylko wykaz tytułów i abstraktów a nie – jak zadeklarowano w spisie – publikacji. Te dołączone są na końcu dysertacji, po oświadczeniach współautorów, bez oznaczenia.

Z perspektywy oceny standardów rozprawy opartej na cyklu publikacji należy stwierdzić, że synteza obejmuje wszystkie kluczowe komponenty. Obecne jest wprowadzenie teoretyczne i aktualny stan badań, które stanowią właściwe osadzenie problemu. Następnie prezentowany jest opis badań własnych i zastosowanych metod oraz prezentacja wyników, które zostały przedstawione w sposób umożliwiający prześledzenie procedury badawczej i odtworzenie związku między danymi a wnioskami. Część podsumowująco-dyskusyjna porządkuje uzyskane rezultaty, wskazuje ograniczenia i proponuje kierunki dalszych badań.

Elementem, który mógłby zostać wzmocniony dla zwiększenia dowodowości narracji, jest sformułowanie szczegółowych pytań badawczych lub hipotez, wyraźnie i jednoznacznie powiązanych z poszczególnymi publikacjami oraz z zależnościami, testowanymi w części empirycznej i modelowej. Cel i problem badawczy są sformułowane jasno, jednak ich szczegółowe doprecyzowanie pozwoliłoby wykazać, w jakim stopniu poszczególne wyniki

stanowią potwierdzenie lub falsyfikację założeń oraz gdzie przebiegają granice uogólnienia wniosków.

4. Ocena spójności naukowej cyklu

Cykl publikacji ma spójną problematykę i wyraźną oś narracyjną. Można go interpretować jako badania o trzech kolejnych etapach. Etap I to uporządkowanie obszaru badawczego i identyfikacja luki badawczej, realizowany w publikacjach A.1–A.2. Publikacja A.1 obejmuje szeroką syntezę stanu wiedzy o SAF (definicje i typologie, ścieżki wytwarzania, certyfikacja, LCA oraz przegląd wyników emisyjnych). Publikacja A.2 uzupełnia tę syntezę i koncentruje się na wymaganiach i charakterystykach emisyjnych SAF, a jednocześnie stanowi przejście do części empirycznej, poprzez prezentację wyników emisji cząstek dla silnika zasilanego mieszkankami ATJ-SPK. Etap II, realizowany w publikacjach A.2–A.4, obejmuje pozyskanie danych empirycznych z badań eksperymentalnych w zakresie emisji cząstek stałych i parametrów rozkładu wymiarowego w spalinach silników zasilanych dwiema klasami SAF: ATJ-SPK (A.2: GTM 120; A.3: DGEN 380) oraz HEFA-SPK (A.4: GTM 400), w zdefiniowanych punktach obciążenia jednostek. Etap III dotyczy formalizacji zależności i ujęcia modelowego poprzez identyfikację i analizę parametrów pracy silnika, istotnych z punktu widzenia dalszego modelowania (publikacja A.5), a następnie opracowania modeli emisji cząstek stałych i parametrów rozkładu wymiarowego jako funkcji właściwości paliwa i parametrów eksploatacyjnych, wraz z walidacją statystyczną modeli (publikacja A.6).

Tak skonstruowana sekwencja spełnia kryterium spójności tematycznej i metodologicznej. A.1–A.2 tworzą ramę teoretyczną i regulacyjno-technologiczną, A.2–A.4 dostarczają danych dotyczących emisji i rozkładu wymiarowego cząstek, A.5 kontroluje aspekt eksploatacyjny, a A.6 domyka cykl poprzez modelowanie. W efekcie powstaje spójny ciąg argumentacyjny, od zdefiniowania luki badawczej, po wskazanie sposobu jej wypełnienia.

5. Ocena wkładu Doktorantki

W rozprawach opartych na cyklu publikacji kluczowe znaczenie ma dowodowe wykazanie wkładu Doktorantki w poszczególne artykuły, zwłaszcza przy współautorstwie. Analiza cyklu wskazuje, że Doktorantka jest pierwszą Autorką w pięciu z sześciu publikacji (A.1, A.2, A.4–A.6), w A.3 występuje jako drugi Autor. Pierwsze autorstwo w praktyce inżynierskiej jest silnym wskaźnikiem wiodącego wkładu w koncepcję, analizę oraz przygotowanie manuskryptu, chociaż oczywiście samo w sobie nie zastępuje formalnego rozliczenia.

Istotne w tym zakresie są oświadczenia współautorów (Załącznik B), które dokumentują zakres wkładu poszczególnych współautorów w publikacjach. Wskazywane obszary obejmują m.in. współtworzenie koncepcji i metodyki, walidację oraz analizę danych (w tym weryfikację

analiz), udział w przygotowaniu tekstu wraz z edycją i zatwierdzeniem wersji końcowej, a w części prac także pozyskanie surowców do badań lub kontrolę procesu tworzenia publikacji. Umożliwia to odtworzenie podziału ról i stanowi podstawę do oceny wkładu Doktorantki w warunkach współautorstwa.

Niezależnie od powyższego, również część syntetyczna dysertacji dostarcza istotnych przesłanek warsztatowej samodzielności Doktorantki, co wskazuje na dojrzałe opanowanie metod modelowania oraz umiejętności krytycznej interpretacji wyników. W związku z powyższym, na podstawie deklaracji współautorstwa i zawartości części syntetycznej można zasadnie przyjąć istotny (w wielu pracach wiodący) wkład Doktorantki w powstanie cyklu publikacji stanowiących podstawę rozprawy.

6. Ocena merytoryczna rozprawy

Część teoretyczna, oparta na publikacjach A.1–A.4, dokumentuje szeroką i uporządkowaną wiedzę Doktorantki w obszarze SAF. Autorka przedstawia kompleksową analizę zrównoważonych paliw lotniczych, obejmującą definicje i kryteria zrównoważenia, wymagania oraz proces certyfikacji i dopuszczenia do eksploatacji, a także ocenę cyklu życia oraz zestawienie certyfikowanych ścieżek produkcji wraz z limitami mieszania. Szczególnie wartościowe jest osadzenie w praktyce normalizacyjnej i wskazanie konsekwencji technicznych. W obszarze emisji cząstek stałych Autorka przedstawia mechanizmy ich tworzenia, zwraca uwagę na różnice między ujęciem liczbowym i masowym oraz podkreśla rolę właściwości paliwa. Elementy te nie mają charakteru wyłącznie opisowego – są wykorzystywane do uzasadnienia obserwowanych trendów w danych empirycznych. Bibliografia w publikacjach jest rozbudowana, co stanowi dodatkową przesłankę rzetelnej pracy ze stanem badań. W konsekwencji stan ogólnej wiedzy teoretycznej oceniam jako spełniony w stopniu wysokim.

W rozprawie zrealizowano także część eksperymentalną i analityczno-modelową. Badania empiryczne obejmują spójne kampanie pomiarowe dla mieszanin ATJ-SPK oraz HEFA-SPK na różnych jednostkach napędowych, prowadzone w szerokim zakresie nastaw siły ciągu. Zastosowanie analizatora EEPs 3090 umożliwia rejestrację rozkładów wymiarowych cząstek w szerokim zakresie średnic, a tym samym wyznaczenie ich parametrów, co jest adekwatne do postawionego celu badań.

W części modelowej zastosowano transparentną procedurę badania opartą na wielorakiej regresji liniowej krokowej wstecznej. Wszystkie zmienne objaśniające i objaśniane poddano standaryzacji, a dobór predyktorów realizowano iteracyjnie, przy kryterium istotności $p < 0,05$. Równolegle weryfikowano współliniowość zmiennych wejściowych na podstawie współczynnika VIF. Jako miary dopasowania raportowano m.in. R^2 oraz błąd standardowy oszacowania, a poprawność założeń sprawdzano w oparciu o analizę reszt, z wykorzystaniem

testu Shapiro–Wilka. Istotność modeli weryfikowano testem F. Modele poddano walidacji na odrębnym zbiorze danych (losowo wydzielone 20% obserwacji), prezentując parametry walidacyjne (m.in. R^2 , RMSE i MAE). Co istotne, wskazano przypadki słabszego dopasowania oraz omówiono możliwe przyczyny (w tym potencjalną nieliniowość relacji sugerowaną układem reszt).

Zastosowana procedura jest metodologicznie poprawna i zgodna z dobrą praktyką w budowie empirycznych modeli regresyjnych. Na uwagę zasługuje krytyczne omówienie przypadków słabszego dopasowania, co świadczy o świadomym podejściu do ograniczeń modelu liniowego. Wnioski formułowane są z należytą ostrożnością, przy wyraźnym uwzględnieniu ograniczeń zastosowanej metodyki. Autorka wskazuje również trafne kierunki dalszych prac, w tym przejście do modeli nieliniowych, rozszerzenie bazy paliw i jednostek napędowych oraz uwzględnienie szerszego zestawu właściwości chemicznych paliwa. W konsekwencji uważam, że przedstawione badania mają istotny wkład metodyczny i aplikacyjny. Łączą systematyczne wyniki empiryczne dla mieszanin SAF z jednoznacznie opisaną procedurą budowy i walidacji modeli predykcyjnych parametrów emisji oraz rozkładu wielkości cząstek. Oryginalność rozprawy przejawia się przede wszystkim w uporządkowanym przełożeniu właściwości paliwa i parametrów pracy silnika na parametry emisyjne oraz w krytycznej analizie ograniczeń zastosowanego podejścia. Zaproponowane modele i wnioski mają potencjał praktyczny, jako narzędzie wstępnej oceny wpływu składu paliwa i warunków pracy na emisję cząstek stałych. Istotnym elementem nowości jest objęcie modelowaniem nie tylko wskaźników emisji, ale również parametrów opisujących rozkład wielkości cząstek, co poszerza użyteczność podejścia w porównaniu z analizami ograniczonymi do pojedynczych metryk. Dodatkową wartością jest przejrzysta prezentacja założeń, kryteriów selekcji i walidacji modeli, co ułatwia weryfikację oraz potencjalną replikację wyników. Z tego względu kryterium oryginalności i znaczenia badan również oceniam jako spełnione w stopniu wysokim. W mojej ocenie zaproponowana metodyka stanowi oryginalne dokonanie Doktorantki i odpowiada na lukę badawczą zidentyfikowaną w dysertacji.

7. Ocena formalna i redakcyjna

Struktura dokumentu jest logiczna i spójna. Zachowano przejrzysty układ rozdziałów, czytelny spis treści oraz konsekwentną numerację i odwołania wewnętrzne. Pozytywnie oceniam włączenie spisu skrótów i oznaczeń, co jest szczególnie istotne przy rozbudowanym aparacie metrycznym i znacznej liczbie stosowanych parametrów. Język rozprawy jest poprawny, terminologia stosowana konsekwentnie, a styl narracji zachowuje jednolity, rzeczowy charakter. Część syntetyczna jest czytelna i dobrze zorganizowana, co ułatwia śledzenie toku wywodu oraz powiązań między publikacjami a wnioskami dysertacji. W celu zachowania

pełnej przejrzystości redakcyjnej zabrakło jedynie wspomnianego wcześniej prawidłowego oznaczenia i konsekwentnych odniesień do załączników, zgodnie ze spisem treści.

8. Uwagi szczegółowe

1. W rozprawie oraz w publikacji A.6 przyjęto walidację przez wydzielenie zbioru testowego polegającą na losowym podziale punktów pomiarowych, gdzie 80% danych wykorzystano do budowy modeli, a 20% do ich walidacji. Takie podejście stanowi poprawną, podstawową procedurę oceny dopasowania i wstępnej zdolności uogólniania modeli w obrębie dostępnego zbioru obserwacji, nie może jednak zastępować walidacji zewnętrznej, tj. weryfikacji na danych niezależnych. Postulat ten jest szczególnie istotny, ponieważ modele opracowano na danych z laboratoryjnego silnika GTM 400, zasilanego sześcioma mieszankami paliwowymi, a z rozprawy wynika wprost, że uzyskane modele są prawidłowe jedynie dla konkretnej jednostki napędowej. Dodatkowo, przy losowym wydzielaniu 20% punktów walidacyjnych z danych pochodzących z tych samych serii pomiarowych, pojawia się ryzyko, że część zależności specyficznych dla stanowiska/układu pozostaje wspólna dla zbioru uczącego i walidacyjnego. W konsekwencji ocena predykcyjności może być zbyt optymistyczna, a stabilność doboru zmiennych w regresji krokowej wrażliwa na strukturę danych. Z perspektywy zastosowań predykcyjnych zasadne byłoby więc uzupełnienie analizy o walidację zewnętrzną, co pozwoliłoby bardziej jednoznacznie ocenić odporność modeli na zmianę warunków pracy i składu paliwa oraz wzmocnić wiarygodność wniosków o ich praktyczną użyteczność.
2. W rozprawie wskazano, że dla części modeli dopasowanie w walidacji (wartości R^2) jest istotnie słabsze (tab. 13 w rozprawie, tab. 15 w A.6). Autorka trafnie interpretuje ten fakt sugerując, że model liniowy może nie być adekwatny dla tych parametrów – zwłaszcza dla wskaźników masy cząstek stałych – oraz że o możliwej nieliniowości świadczą m.in. uporządkowane (nielosowe) wzorce w rozkładzie reszt. Wobec takich wniosków zasadne byłoby doprecyzowanie, które wnioski mają charakter jakościowy i można je uznać za względnie stabilne, niezależnie od klasy modelu, a które mają charakter ilościowy i wynikają bezpośrednio z przyjętej postaci modelu liniowego, a zatem wymagają ostrożności interpretacyjnej oraz dodatkowej weryfikacji. W szczególności - tam gdzie walidacja jest słabsza - wskazane jest wyraźne rozdzielenie

wnioskowania diagnostyczno -interpretacyjnego od predykcji warunkowej w granicach domeny danych uczących.

3. W rozprawie oraz w publikacji A.6 jako podejście wiodące przyjęto regresję liniową wieloraką z selekcją krokową wsteczną, przy kryteriach modelowania ukierunkowanych na maksymalizację R^2 oraz utrzymanie istotności statystycznej uwzględnionych predyktorów na poziomie $p < 0,05$. Opisano też iteracyjne usuwanie zmiennych o wartości p powyżej progu. Równolegle zastosowano kontrolę współliniowości z użyciem VIF (w rozprawie przyjmując jako docelowe predyktory o $VIF < 5$), a w przypadkach przekroczeń podkreślono ograniczenia interpretacyjne współczynników. W mojej ocenie wartościowe byłoby uzasadnienie wyboru tej metody w części metodologicznej. Należało wskazać, jakie przesłanki (np. interpretowalność modelu, kontrola współliniowości, łatwość implementacji) zdecydowały o preferencji takiego podejścia. Zasadne byłoby również krótkie odniesienie do rozważanych alternatyw nieliniowych i metod uczenia maszynowego wraz z syntetycznym wskazaniem potencjalnych korzyści oraz ryzyka w kontekście wykorzystywanych danych oraz celu pracy.
4. Zastosowanie testu Shapiro–Wilka jako elementu diagnostyki reszt oceniam pozytywnie. Analiza założeń modelu regresji powinna jednak zostać uzupełniona o ocenę homoskedastyczności, a także o weryfikację niezależności reszt. Dodatkowo wskazana jest identyfikacja obserwacji wpływowych. Uzupełnienie diagnostyki o te elementy zwiększyłoby wiarygodność wniosków, ponieważ heteroskedastyczność, autokorelacja reszt oraz obserwacje wpływowe mogą istotnie zaburzać stabilność estymacji współczynników i jakość predykcji w modelach emisyjnych.

9. Kwestie do omówienia podczas publicznej obrony

1. Podczas obrony proszę o wskazanie, które właściwości paliwa – w szczególności parametry o charakterze chemicznym - należałoby włączyć do kolejnej iteracji modelowania, aby zwiększyć zdolność wyjaśniania zmienności oraz możliwość uogólnienia wyników opracowanych modeli. W modelowaniu uwzględniono szeroki zestaw parametrów, ale sama rozprawa wskazuje, że rozszerzenie o parametry chemiczne mogłoby poprawić modelowanie.
2. Podczas obrony proszę o doprecyzowanie, jakie minimalne wymagania dotyczące danych i walidacji (w szczególności walidacji zewnętrznej) Autorka uznałaby za

niezbędne, aby modele mogły być w sposób odpowiedzialny stosowane w praktyce do wstępnej oceny emisji dla nowych paliw, partii paliwa lub mieszanin.

3. Podczas obrony proszę o omówienie ograniczeń przenoszenia wyników uzyskanych na silnikach miniaturowych do warunków silników pełnoskalowych. W szczególności proszę wskazać, które różnice fizyczne i konstrukcyjne Autorka uznaje za kluczowe dla emisji cząstek stałych oraz jak – metodycznie i eksperymentalnie – można te ograniczenia przewyżczać.
4. Podczas obrony proszę o uzupełniające uzasadnienie wyboru wielorakiej regresji liniowej z selekcją krokową wsteczną jako metody wiodącej oraz o krótkie odniesienie do rozważanych alternatyw nieliniowych i metod uczenia maszynowego. Proszę wskazać spodziewane korzyści oraz ryzyka w kontekście dostępnej liczby obserwacji i celu predykcyjnego modeli.

10. Ocena końcowa

Sformułowane uwagi nie umniejszają wartości naukowej pracy, którą oceniam bardzo pozytywnie. Nie budzi wątpliwości, że recenzowana dysertacja tworzy zwarte, spójne merytorycznie i metodologicznie opracowanie naukowe. Włożony wysiłek i zaprezentowane badania mają znaczny wkład w rozwój nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport. Stanowią przy tym osiągnięcie warte rozwijania w kolejnych badaniach naukowych. Warto przy tym, w dalszych pracach badawczych i publikacjach, uwzględnić wniesione przeze mnie sugestie.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska w postaci cyklu publikacji naukowych Pani mgr inż. Pauli Kurzawskiej-Pietrowicz pt. *Analiza zrównoważonych paliw lotniczych w kontekście modelowania emisji cząstek stałych*, stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorantka posiada wiedzę teoretyczną oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Pozwala to uznać, że zostały spełnione wszystkie wymogi Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571, z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Pauli Kurzawskiej-Pietrowicz do dalszych etapów postępowania doktorskiego, w tym publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.