

dr hab. inż. Anna Borucka
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Bezpieczeństwa Logistyki i Zarządzania
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa

Warszawa, 09.08.2024 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Mateusza Paszko

pt. Sterowanie przepływem powietrza w celu zmniejszenia oporów aerodynamicznych samochodu ciężarowego.

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną wykonania recenzji stanowi pismo Zastępcy Przewodniczącego ds. stopni naukowych Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej, Pana dr. hab. inż. Jarosława Bieniasia, profesora uczelni, nr RDN/IM/178/2024 z dnia 16.07.2024 r.

Niniejsza recenzja została opracowana zgodnie z wymaganiami określonymi w art. 219 Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.) oraz Procedurą postępowania w sprawie nadania stopnia naukowego doktora w Politechnice Lubelskiej, która stanowi załącznik do Uchwały Nr 48/2021/X Senatu Politechniki Lubelskiej z dnia 23 grudnia 2021 r.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska w postaci zwartej dzieła mgr. inż. Mateusza Paszko pt. *Sterowanie przepływem powietrza w celu zmniejszenia oporów aerodynamicznych samochodu ciężarowego*. Pracę przygotowano w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna, pod opieką naukową promotora Pana prof. dr. hab. inż. Mirosława Wendekera. Rozprawa została dostarczona w formie papierowej.

3. Zakres, układ i treść rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska obejmuje 202 strony tekstu, rysunków, tabel. Zawiera się w tym również spis treści, streszczenie, wykaz skrótów, wykaz symboli, literatura oraz osiem załączników z wynikami badań.

Podjęty przez Doktoranta temat rozprawy, dotyczący możliwości zmniejszenia oporu aerodynamicznego pojazdów komercyjnych o prostopadłościennym kształcie nadwozia, należy do grupy problemów ważnych poznawczo i utylitarnie, szczególnie w dobie aktualnych zmian prawnych i rosnących wymagań wobec pojazdów samochodowych, zwłaszcza w kontekście ekologii. Badania w zakresie rozwiązań sprzyjających minimalizowaniu oporu aerodynamicznego, a przez to umożliwiających obniżenie kosztów eksploatacji i ograniczenie negatywnego wpływu pojazdów na środowisko są bardzo ważne i pożądane, a jednocześnie, ze względu na swoją złożoność, wymagają wielu etapów badań, z których część zawarta jest w przedstawionej do oceny rozprawie.

Rozdział pierwszy zatytułowany jest *Wprowadzenie w tematykę rozprawy*. Zgodnie z tytułem, autor wprowadza w tematykę podejmowanych rozważań naukowych wskazując nieustającą potrzebę poszukiwania rozwiązań pozwalających na zwiększanie efektywności energetycznej pojazdów. Uzasadnia to słusznie przeglądem aktów prawnych, które obecnie kształtują politykę klimatyczną. Wykazuje przy tym, że przyszłość transportu naznaczona jest postępem technologicznym ukierunkowanym również na będące przedmiotem analizy w dysertacji technologie zmniejszające zapotrzebowanie energetyczne pojazdu, w tym rozwiązania zmniejszające opór aerodynamiczny. Zatem już w pierwszych zdaniach rozprawy Doktorant akcentuje ważność swoich badań i podjętej problematyki.

Nakreśla również wstępnie lukę badawczą twierdząc, że w większości rozwiązania dotyczące ograniczenia oporu aerodynamicznego pojazdów komercyjnych dotyczą poprawy właściwości aerodynamicznych strefy czołowej i podwoziowej, a strefa tyłu jest przedmiotem znacznie mniejszej liczby badań.

Następnie Autor przedstawia przedmiot badań, wskazując na autorską metodę aktywnego sterowania aerodynamiką, dedykowaną pojazdom o prostopadłościennym kształcie nadwozia, która polega na wytwarzaniu dodatkowej bariery powietrznej, oddzielającej tył pojazdu od wpływu występujących za nim stref obniżonego ciśnienia i turbulencji. Kluczowy element bariery powietrznej stanowią sekcje spiętrzające, tworzone przez odpowiednio kierowane,

zderzające się strumienie powietrza. Zderzenia te modyfikują rozkłady ciśnienia na tylnej powierzchni pojazdu, ograniczając opór aerodynamiczny.

Praca badawcza przedstawiona w rozprawie koncentruje się na weryfikacji zaproponowanej metody, a badania realizowane są na przykładzie lekkiego samochodu ciężarowego. Kluczowy obszar badawczy stanowi testowanie różnych konfiguracji geometrycznych sekcji spiętrzających, w celu maksymalizacji ich efektywności w ograniczaniu oporu aerodynamicznego, przy jednoczesnym minimalizowaniu nakładu energetycznego, niezbędnego do wytwarzania dodatkowych strumieni powietrza.

Teza badawcza i cel rozprawy.

W ramach rozprawy postawiono następującą tezę: *Istnieje sposób aktywnego sterowania przepływem powietrza skutkujący zmniejszeniem oporu aerodynamicznego i istotnym zmniejszeniem mocy potrzebnej do jazdy z zadaną prędkością pojazdu ciężarowego.*

Jako praktyczny cel rozprawy Doktorant wskazuje: *Opracowanie takiego sposobu aktywnego sterowania przepływem i jego adaptacja na lekkim samochodzie ciężarowym.*

Naukowym celem rozprawy jest: *Opracowanie modeli matematycznych umożliwiających weryfikację koncepcji systemu aerodynamicznego opartą o ideę bariery powietrznej wytwarzanej za pomocą wzajemnie zderzających się strumieni.*

Warto było rozważyć uwzględnienie również problemu/problemów badawczych oraz szerzej omówić wykorzystywane w pracy metody badawcze.

Podsumowując pierwszy rozdział uważam, że metodologia badania jest sformułowana na akceptowalnym poziomie, chociaż można było ją uszczegółowić i rozbudować, a szczególnie podkreślić, jaki jest problem badawczy, planowany do rozwiązania w toku badań.

Rozdział drugi zatytułowany jest: *Wybrane zagadnienia aerodynamiki pojazdów komercyjnych.* Autor najpierw charakteryzuje pojęcie oporu aerodynamicznego (rozdział 2.1), posługując się w tym celu odpowiednią, aktualną literaturą, a także wykazując niewątpliwie posiadaną w tym obszarze wiedzę. Następnie (podrozdział 2.2) charakteryzuje wpływ oporu aerodynamicznego na moc napędową. Uzasadnia przy tym szczególny udział oporu aerodynamicznego w całkowitym oporze ruchu, którego wartość zmienia się istotnie wraz ze wzrostem prędkości, co jest szczególnie ważne wobec znacznie mniejszych w tym zakresie zmian w oporze toczenia. Doktorant przywołuje badania dotyczące procentowego udziału oporów aerodynamicznych w całkowitym oporze ruchu, po raz kolejny akcentując tym samym ważność swoich badań.

W podrozdziale 2.3 szczegółowo został scharakteryzowany opór strefy tylnej. Doktorant dowodzi, że ze względu na duże, płaskie powierzchnie strefy tylnej typowych pojazdów komercyjnych, obniżone ciśnienie powoduje powstawanie znaczącej siły aerodynamicznej. Omawia mechanikę oderwania przepływu i charakteryzuje przepływy spotykane w aerodynamice pojazdów drogowych.

Następnie charakteryzuje struktury wirowe powstające w śladzie aerodynamicznym, odnosząc je przede wszystkim do geometrii pojazdu. Rozważania poparte są literaturą naukową i badaniami własnymi autora. O ile na podstawie przytoczonej bibliografii można dociec, jakie badania były realizowane przez poszczególnych autorów, o tyle badania własne autora nie są scharakteryzowane i omówione. Przykładem jest zdanie:

W przypadku współczesnych samochodów dostawczych z zabudową skrzyniową, ze względu na inne proporcje geometryczne i mniejszy udział oporu ścian bocznych, dachu i podwozia, opór tyłu odpowiada za 33% całkowitego oporu aerodynamicznego (badania własne), co odpowiada zużyciu paliwa na poziomie 1,1 l/100 km.

Warto było dodać więcej szczegółów dotyczących własnego badania.

Trzy powyższe podrozdziały są dobrze zilustrowane, a najważniejsze zależności opisane wzorami.

W ostatnim podrozdziale rozdziału drugiego Autor dokonał *przeгляdu współczesnych technologii ograniczających opór strefy tylnej w odniesieniu do pojazdów komercyjnych o prostopadłościennym kształcie nadwozia*. W przeglądzie, analizując liczbę rozwiązań, odnosi się jedynie do listy Agencji Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (EPA), co jest moim zdaniem pewnym uproszczeniem. Oczywiście EPA jest uznanym i wiarygodnym źródłem informacji, szczególnie w kontekście regulacji i technologii związanych z ochroną środowiska w Stanach Zjednoczonych, jednak ograniczenie przeglądu technologii jedynie do tego źródła może pomijać ważne badania i innowacje, które są opracowywane lub stosowane w innych krajach czy przez inne organizacje.

Autor ponadto twierdzi, że *dostępne na rynku technologie dotyczące ograniczania oporu tylnej strefy sprowadzają się jedynie do różnego typu urządzeń pasywnych lub profilowania kształtu nadwozia w celu ograniczania wpływu przepływu oderwanego na kształtowanie ciśnienia za pojazdem*, powołując się na raport z 2012 oraz 2016 roku, co przy tak dynamicznym rozwoju rynku motoryzacyjnego poddaje w wątpliwość aktualność takich wniosków.

Następnie charakteryzowane są wybrane rozwiązania. Co ciekawe, ich skuteczność mierzona jest głównie w odniesieniu do redukcji paliwa, a nie zmniejszania oporu aerodynamicznego. Skoro Autor w pracy skupia się stricte na zmniejszaniu oporu, a nie minimalizowaniu ilości zużytego paliwa, tego samego aspektu powinien dotyczyć przegląd literatury.

Źródła, na które powołuje się autor, są nawet sprzed dekady. Na przykład większość prezentowanych w pozycji [64] badań dotyczących urządzeń aerodynamicznych to raporty sprzed 2014 roku. Podobna sytuacja dotyczy pozycji [67]. Przykładem niech będzie badanie z 2017 r. WABCO wykazujące redukcję paliwa na poziomie 4,3% czy badanie Rocketail z 2019 r, wykazujące redukcję paliwa na poziomie 3.36%.

W mojej ocenie warto było się powołać na aktualniejsze badania. Zabrakło mi również szerszego omówienia najnowszych osiągnięć w tym obszarze, jak na przykład tych, dotyczących tylko krótko wspomnianego przez Autora Volvo Super Truck 2. To prototyp, który zdaniem producenta stawia o 50 % mniejszy opór aerodynamiczny w porównaniu do seryjnego, amerykańskiego Volvo VNL. Warto było poddać głębszej analizie proponowane przez producenta rozwiązania.

Szerzej zaprezentowane mogłyby być również inne rozwiązania, stosowane w pojazdach ciężarowych. Doktorant wymienia i krótko omawia konstrukcje ogonowe (2.4.1), deflektory (2.4.2), profilowanie zabudów i tylnych krawędzi (2.4.3) oraz generatory wirów (2.4.4). W mojej ocenie przegląd literatury i stosowane obecnie rozwiązania powinny stanowić podłoże dla przeprowadzonych w dysertacji badań. Doktorant powinien na tym tle dokonać oceny własnego pomysłu, konfrontując go z rezultatami rynkowych rozwiązań w zakresie ograniczania oporu aerodynamicznego. Tymczasem zabrakło tego w rozprawie.

Kolejny - trzeci rozdział, to charakterystyka zaproponowanego systemu aktywnej aerodynamiki. Doktorant przedstawia ogólną koncepcję jego budowy i zasadę działania, podkreślając również, że jest to rozwiązanie chronione patentem. Opracowany system aerodynamiczny składa się z *urządzeń i przestrzeni przepływowych montowanych w części podwoziowej oraz tylnej pojazdu i dedykowany jest lekkim i ciężkim pojazdom komercyjnym o prostopadłościennym kształcie zabudowy lub nadwozia*. Autor szczegółowo wyjaśnia zasadę działania i dobrze obrazuje opracowaną koncepcję. Zabrakło mi szerszego omówienia zastosowanych kierownic. W przypadku niektórych rysunków warto było dodać, czy jest to widok z góry, czy z boku – ułatwiłoby to ich interpretację. Nie wszystkie z wykorzystanych zmiennych są również wytłumaczone w tekście, są one wprawdzie zamieszczone w wykazie

symboli, jednak wyjaśnienie w tekście byłoby dużym ułatwieniem dla czytelnika. Na przykład na rys 3.9 nie jest wyjaśnione co to jest n_{SP} czy n_K .

Istotnym aspektem tego rozdziału są wyzwania badawcze i konstrukcyjne (3.3). Wdrożenie proponowanego przez Autora systemu związane jest z pokonaniem wielu trudności, a dostępne możliwości konstrukcyjne wymagają znacznej ingerencji w pojazd. Autor proponuje powiązanie systemu aerodynamicznego z układem napędowym pojazdu, czy zastosowanie dodatkowych alternatorów.

Mocno podkreślam, że wskazanie ograniczeń związanych z implementacją proponowanego rozwiązania jest bardzo ważną częścią badania. Identyfikacja wyzwań na wczesnym etapie ułatwia późniejsze zarządzanie projektem i decyduje o jego powodzeniu, jednak jest często pomijanym elementem. Dlatego charakterystykę potencjalnych barier uważam za duży atut rozprawy.

Rozdział czwarty został zatytułowany *Metody numeryczne w badaniach aerodynamiki pojazdów* i zawiera szczegółowy opis stosowanej w rozprawie metodyki badawczej. Autor wyjaśnia wykorzystywane narzędzie, jakim jest Komputerowa Mechanika Płynów. Wskazuje również wady i zalety poszczególnych metod badawczych w odniesieniu do prowadzonych badań i certyfikacji pojazdów ciężarowych. Trudno nie zgodzić się z Autorem, że metody badania aerodynamiki pojazdów opierające się na testach drogowych są kosztowne, czasochłonne i uzależnione od warunków pogodowych, a także trudniejsze w standaryzacji, w porównaniu do technik komputerowych. Podobnie skalowanie i uproszczenia stosowane w badaniach w tunelach aerodynamicznych mogą nie odzwierciedlać w pełni zachowania rzeczywistych obiektów w naturalnych warunkach. Kryterium kosztów, czasu a przede wszystkim poziom rozważań, na jakim znajduje się proponowane przez Doktoranta rozwiązanie, w pełni uzasadnia zastosowanie symulacji komputerowej, nawet przy jej ograniczeniach, które Autor sam podkreśla w dysertacji, co również uważam za duży atut recenzowanej pracy. Warto było, udowadniając zasadność prowadzenia tego typu badań, powołać się nie tylko na wyniki producentów pojazdów ciężarowych (o których Autor sam mówi, że większość z nich nie jest publikowana w celu zachowania konkurencyjności) i rozprawy doktorskie, a również na badania w tym obszarze zawarte w publikacjach naukowych, ukazujących się w renomowanych czasopismach naukowych. Uważam to za znaczną stratę dla prezentowanych treści szczególnie, że w wielu artykułach naukowych autorzy stosują te same narzędzia badawcze, dzieląc się wnioskami i wskazując problemy

z jakimi mieli do czynienia w prowadzonym eksperymencie. Przegląd takiej literatury w różnych częściach niniejszej rozprawy byłby bardzo wartościowym uzupełnieniem.

Najważniejszą część pracy stanowi rozdział piąty, zatytułowany *Weryfikacja systemu aktywnej aerodynamiki za pomocą komputerowej mechaniki płynów*. Zawiera on wyniki badań w zakresie autorskiego pomysłu ograniczającego opór aerodynamiczny lekkiego pojazdu ciężarowego.

To, co zwraca uwagę, to racjonalność w podejściu do projektowania, realizacji i analizy wyników badań. Nie po raz pierwszy w rozprawie Autor wykazuje umiejętność krytycznego myślenia, uwzględnienia kontekstu oraz potencjalnych ograniczeń badania.

Na wstępie rozdziału przedstawiona została strategia której pierwszym, kluczowym etapem (po doborze pojazdu ciężarowego do badania i opracowaniu trójwymiarowego modelu) jest wyznaczenie, za pomocą symulacji, wartości siły oporu aerodynamicznego oraz jej składowych, w tym wartości siły działającej na tylną strefę dla pojazdu referencyjnego przy prędkości 90 km/h. Obliczono również całkowitą moc oporów aerodynamicznych pojazdu dla przyjętych warunków symulacji. Wartości te będą stanowiły w kolejnych etapach badania punkt odniesienia i porównania. W drugim etapie opracowano zestaw dwuwymiarowych, sparametryzowanych modeli, reprezentujących pojedynczą sekcję spiętrzącą, dla 8 wariantów, obejmujących odpowiednio od 1 do 128 sekcji spiętrzących. W trzecim etapie dokonano adaptacji utworzonych modeli sekcji spiętrzących do trójwymiarowego modelu pojazdu, a następnie wykonano symulacje opływu pojazdu dla każdej z opracowanych konfiguracji.

Zabrakło mi w tym rozdziale szczegółowego omówienia wyników. W znacznej części jest to jedynie ich prezentacja. Wiele rysunków i tabel pozostało bez komentarza, a jedyna informacja dotyczy wyjaśnienia, co zawierają poszczególne tabele i rysunki, jednak bez interpretacji. Ponieważ są to kluczowe dla rozprawy badania, należało je w mojej opinii opatrzyć chociaż minimalnym komentarzem. Uwaga dotyczy całego rozdziału, jednak szczególnie podrozdziału 5.4.3 *Wyniki*. Autor wymienia w nim, co znajduje się w poszczególnych tabelach, a następnie następuje ponad 20 stron rysunków, bez omówienia wyników, wyciągania szczegółowych wniosków, interpretacji czy konkluzji. Dopiero po tym ciągu rysunków ma miejsce się krótkie omówienie, jednak w żadnym stwierdzeniu Autor nie wskazuje, do którego dokładnie odnosi się rysunku, co utrudnia zrozumienie. Moim zdaniem, każde wykonane badanie dla danego

wariantu powinno być dokładnie omówione i wykazane podobieństwa i różnice między nimi. Zbyt wiele kwestii pozostawiono czytelnikowi do własnej oceny i interpretacji.

Konkluzją tej części badania jest stwierdzenie, że najbardziej obiecującym rozwiązaniem jest wariant 5, a do dalszego badania zakwalifikowały się warianty od 1 do 6. W dalszej części prezentowane są kolejne wyniki. Autor zaznacza, że zaprezentowane modele stanowią wstępne symulacje i mają na celu ogólną weryfikację idei wytwarzania bariery powietrznej i stanowią niejako preludeum do dalszych badań. Następnie ma miejsce kolejny ciąg kilkunastu stron rysunków, tym razem zakończonych bogatszym, ale wciąż raczej przytoczeniem wyników, niż ich omówieniem i wnioskowaniem. Co więcej, nadal bez odniesienia do konkretnych rysunków.

W tej części rozprawy Autor komentuje również całościowy wynik badań, chociaż wskazane byłoby odniesienie się dokładnie do tezy i przyjętego celu. Niemniej jednak stwierdzenie, że *udało się dla wariantu 3 osiągnąć ograniczenie całkowitego oporu aerodynamicznego pojazdu o 12,4%*, potwierdza przyjęte założenia badawcze. Warto było podać wartości procentowe również dla innych wariantów, wówczas wyniki w tab. 5.10. byłyby czytelniejsze. Autor twierdzi również, że jego rozwiązanie *stanowi blisko dwu i półkrotnie większą wartość względem najbardziej efektywnych technologii pasywnych dostępnych na rynku*. Stwierdzenie to, wobec dość oszczędnego, moim zdaniem, przeglądu literatury może budzić pewne wątpliwości.

Na zakończenie – w podrozdziale 5.6 *Wstępna identyfikacja sposobu dostarczania powietrza zasilającego* Doktorant podejmuje próbę zaproponowania rozwiązania dla źródła mocy niezbędnej do zasilenia systemu aerodynamicznego. Jedną z propozycji jest przeprojektowanie wlotu powietrza w celu zmniejszenia oporu i poprawy efektywności aerodynamicznej pojazdu. Autor zakłada, że *właściwe zaprojektowanie i implementacja wlotów powietrza może znacznie poprawić efektywność aerodynamiczną pojazdu, obniżając opór i potencjalnie zwiększając wydajność systemu*. Należy więc sądzić (podążając za Autorem), że obecne rozwiązanie, będące wynikiem prac projektantów mających na celu pogodzić cechy konstrukcyjne pojazdów z wymaganiami bezpieczeństwa, aerodynamiki i funkcjonalności są nieefektywne? Szczególnie, że zmniejszenie oporów powietrza i obniżenie zużycia paliwa, jest jednym z najważniejszych zagadnień dotyczących projektowania pojazdów, szczególnie dostawczych i ciężarowych.

Nie budzi wątpliwości natomiast fakt, że autorska koncepcja strumieni spiętrzających została zweryfikowana i potwierdzona i - pomimo pewnych niedoskonałości odnalezionych w pracy - świadczy o dużej innowacyjności i potencjale praktycznym proponowanych rozwiązań. Wpływ tej koncepcji na rozwój analizowanej dziedziny może być znaczący, szczególnie w toku dalszego udoskonalania, prowadzącego do jej większej efektywności.

Autor wykazał się również wyjątkowym potencjałem oraz naukowym zacięciem, co jest widoczne w rzetelności przeprowadzonych badań, pomimo ograniczonego raportowania wyników. W pracy widoczne jest zaangażowanie i pasja w dążeniu do rozwiązywania skomplikowanych problemów badawczych, co zapowiada dalszą obiecującą karierę naukową i kolejne osiągnięcia.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Treść i zakres sporządzonej rozprawy dobrze odzwierciedlają tytuł pracy i przyjęte przez Doktoranta (nie zawsze *explicite*) założenia metodologiczne, chociaż mogły one zostać zaprezentowane w szerszym wymiarze. Zaprezentowana metoda stanowi utylitarne rozwiązanie, które powstało z wykorzystaniem autorskiego pomysłu Doktoranta i to uważam za największy atut rozprawy. Doktorant wykazał się pomysłowością i umiejętnością innowacyjnego podejścia do problemu. Zaproponowana metoda jest nowatorska i ma znaczny potencjał praktyczny, dzięki czemu może znacząco przyczynić się do postępu w danej dziedzinie. Opracowanie autorskiego rozwiązania wskazuje na znaczną wiedzę i głębokie zrozumienie tematu. Rozprawa nie tylko wnosi istotny wkład w istniejącą wiedzę, ale również otwiera nowe możliwości dla przyszłych badań. Warto również podkreślić wagę podjętej tematyki, istotną w obliczu szczególnej troski poświęcanej kwestiom środowiskowym.

Lektura rozprawy doktorskiej doprowadza do wniosku, że Autor posiada wiedzę teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna, jak również umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z tym uważam, że rozprawa spełnia wymagania zamieszczone w art. 187. ust. 1 ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.).

W rozdziale 3 niniejszej recenzji wykazano pewne niedociągnięcia, jednak wynikają one przede wszystkim z niekompletnej sprawozdawczości i niedostatecznej precyzji w analizie i ocenie zrealizowanych badań, niż błędów merytorycznych, a wskazane nieścisłości w żaden sposób nie przekreślają wysiłku badawczego Autora. Warto przy tym zaznaczyć, że poznanie naukowe

musi spełniać założenie intersubiektywnej komunikowalności i sprawdzalności (słaba zasada racjonalności). Zatem założenia i wyniki prac naukowych muszą być możliwe do zweryfikowania ich prawdziwości przy zastosowaniu właściwych procedur dowodowych (również przez innych badaczy), co moim zdaniem zostało osiągnięte.

Oprócz raportowania wyników i uzupełnienia przeglądu literatury uwagę moją zwróciły kwestie dotyczące odnoszenia się do poszczególnych tabel i rysunków. Zdecydowana większość z nich pozostaje bez odwzorowania w tekście (np. rys od 5.2 do 5.8), a niektóre odniesienia są błędne (np. w podrozdziale 5.4.3 odniesienie do rys. 5.12 – 3.37).

W tekście występują również literówki i błędy gramatyczne, jednak są nieliczne. Autor nie zawsze poprawnie stosuje rzeczowniki „ilość” i „liczba”. Słowo „auto” warto zamienić na formalny i odpowiedniejszy w kontekście akademickim „pojazd” lub „samochód”. Niektóre opisy na rysunkach mogłyby być czytelniejsze (np. na rys. 5.29, rys. 5.31, rys. 5.33, rys. 5.35, rys. 5.37, rys. 5.39, rys. 5.41, rys. 5.43). W tekście są dwa rys. o numerze 5.11. Pomimo tych drobnych niedociągnięć, praca utrzymuje wysoki poziom językowy i jest dobrze napisana.

Konkludując, recenzowana dysertacja tworzy zwarte, spójne merytorycznie i metodologicznie opracowanie naukowe. Pozwala to uznać, że przedmiotem rozprawy jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, które spełnia wymagania art. 187. ust. 2 Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.).

5. Ocena końcowa

Sformułowane uwagi nie umniejszają wartości naukowej pracy, którą oceniam pozytywnie. Włożony wysiłek i zaprezentowane badania mają znaczny wkład w rozwój nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna. Stanowią przy tym koncepcję wartą rozwijania w kolejnych badaniach naukowych. Jest to niewątpliwie szansą na opracowanie uzasadnionych pod względem ekonomicznym i energetycznym rozwiązań, możliwych do zastosowania w nowoczesnych samochodach. Warto przy tym, w dalszych pracach badawczych i publikacjach, uwzględnić wniesione przeze mnie uwagi.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska Pana mgr. inż. Mateusza Paszko pt. *Sterowanie przepływem powietrza w celu zmniejszenia oporów aerodynamicznych samochodu ciężarowego*, **stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorant 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 2023 r. poz. 742 z późn. zm.). W związku z powyższym wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej o dopuszczenie Pana mgr. inż. Mateusza Paszko do dalszych etapów postępowania doktorskiego, w tym publicznej obrony przedstawionej rozprawy doktorskiej.

Anne Bonche