POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ I ŚRODOWISKA

Gdańsk, dn. 20.01.2025 r.

dr hab. inż. Jacek Oskarbski, profesor uczelni
Katedra Inżynierii Transportowej
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani **mgr. inż. Dominiki Slawik**

pt.: **„Metoda określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów z uwzględnieniem fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów"**

Promotor: dr hab. inż. Jerzy Chmiel

Promotor pomocniczy: dr inż. Tomasz Dybicz

1. PODSTAWA OPRACOWANIA RECENZJI

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dominiki Slawik zatytułowanej: "Metoda określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów z uwzględnieniem fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów" została wykonana na podstawie informacji Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Konrada Lewczuka z dn. 06.11.2024, zgodnie z uchwałą nr 1025/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej z dnia 5 listopada 2024 r.

2. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Dominiki Slawik zatytułowana: „Metoda określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów z uwzględnieniem fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów", która powstała w Politechnice Warszawskiej pod kierunkiem Promotora dr hab. inż. Jerzego Chmiel oraz Promotora pomocniczego dr inż. Tomasza Dybicza. Tematyka pracy dotyczy określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów.

Praca napisana jest w języku polskim. Rozprawa obejmuje 197 ponumerowane strony wraz ze spisem literatury, spisem map, rysunków i tabel. Podzielona została na 7 rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz spisem treści i wykazem

skrótów. Bibliografia obejmuje 157 pozycji literatury, w większości naukowej w języku angielskim i polskim. W rozprawie zamieszczono 10 map, 86 rysunków oraz 49 tabel.

Rozdział pierwszy przedstawia wprowadzenie do tematyki określania wpływu warunków atmosferycznych na warunki ruchu drogowego oraz przesłanki, które skłoniły Autorkę do podjęcia przedstawionych w rozprawie badań oraz ich cel naukowy i zarazem praktyczny (*sformułowanie i weryfikacja metody, która umożliwi wykorzystanie nowych źródeł danych i przeprowadzenie ich fuzji z danymi meteorologicznymi, co umożliwi prowadzenie badań wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów w szerokiej skali w sposób efektywny, relatywnie tani i wiarygodny*). W rozdziale pierwszym przedstawiono ponadto tezę i zakres pracy. Autorka wskazuje na problem dostępności danych oraz pojawiające się, wraz z postępem technologicznym, możliwości wykorzystania danych z systemów monitorowania flot pojazdów oraz osobistych systemów nawigacyjnych (dane z sondowania pojazdów) co znajduje odzwierciedlenie w sformułowanych celach i tezie pracy. Autorka postawiła tezę, *że dostępne dane meteorologiczne oraz z sondowania pojazdów umożliwiają zbadanie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów* poprzez równoczesną weryfikację następujących hipotez:

- *można przeprowadzić fuzję danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów,*
- *dostępne dane meteorologiczne umożliwiają wykonanie klasyfikacji warunków atmosferycznych,*
- *warunki atmosferyczne mają zróżnicowany wpływ na prędkość potoku pojazdów.*

W rozdziale drugim Autorka przedstawiła przegląd literatury w zakresie obszarów związanych z ruchem drogowym oraz wpływem warunków atmosferycznych na ten ruch. Pierwszy podrozdział dotyczy tematyki ruchu drogowego, w którym przedstawiono koncepcje Inteligentnych Systemów Transportowych, systemów nawigacji samochodowej oraz monitorowania flot pojazdów. Autorka wprowadza podstawowe definicje prędkości i omawia aspekty modelowania ruchu drogowego, a także opisuje strukturę sieci drogowej w Polsce, jej użytkowników oraz przeprowadzane pomiary ruchu. W kolejnym podrozdziale skoncentrowano się na przeglądzie wybranych parametrów meteorologicznych uznawanych za istotne dla badanego zagadnienia. Nakreślono metody przeprowadzania obserwacji meteorologicznych oraz ich wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka. Z uwagi na wykorzystanie danych przestrzennych z różnych źródeł, Autorka wyjaśnia, czym jest GIS oraz prezentuje obszary jego zastosowania, w tym terminy GIS-T, czyli GIS dla transportu, oraz Big Data. W dalszej części rozdziału zaprezentowano zebrane wyniki badań dotyczących wpływu warunków atmosferycznych na ruch drogowy, zaczynając od przeglądu kluczowych zagadnień z literatury zagranicznej. Omówiono wykorzystywane źródła danych i metody badawcze, a także aspekty warunków atmosferycznych, które są przedmiotem zainteresowania naukowców. Dokonano również przeglądu badań przeprowadzonych w Polsce, wskazując na zagadnienia analizowane przez krajowych badaczy oraz ośrodki naukowe zaangażowane w tę tematykę.

W rozdziale trzecim opisano założenia do analiz oraz metodykę określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. Rozpoczęto od charakterystyki dostępnych danych źródłowych, w tym danych z sondowania pojazdów oraz

meteorologicznych, a także innych danych związanych z tematyką badań. Ustalono przedział czasowy oraz lokalizacje, w których zostaną przeprowadzone badania, co pozwoliło wyznaczyć możliwy zakres fuzji danych. Następnie Autorka zdefiniowała klasyfikację warunków atmosferycznych, uwzględniając specyfikę prowadzonych badań. Określono parametry dla klasy sprzyjających warunków oraz klas potencjalnie niesprzyjających warunków atmosferycznych. W dalszej części rozdziału zaprezentowano schemat procesu przygotowania danych do fuzji i analiz, wraz z opisem modyfikacji danych, które wzbogacono o dodatkowe atrybuty umożliwiające filtrowanie podzbioru danych w zgodzie z zakresem analiz. Autorka opisała również metodę obliczania różnic prędkości pomiędzy wartościami zarejestrowanymi w godzinach potencjalnie niesprzyjających a tymi odnotowanymi w godzinach o sprzyjających warunkach atmosferycznych. Na końcu rozdziału zaproponowano statystyki do obliczenia miar wpływu warunków atmosferycznych na prędkości potoku pojazdów w segmentach pomiarowych. Ponadto zaprezentowano metodykę analizy wariancji oraz ustalenia istotności wpływu czynników meteorologicznych na prędkość pojazdów. Ostatecznie zaprezentowano schemat procesu określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów.

W rozdziale czwartym opisano wykorzystane podczas przetwarzania narzędzia oraz skrypty. Rozpoczęto od przedstawienia formatu zapisu plików zawierających dane do analiz, a także języka programowania, w którym napisano skrypty (Python), oraz wykorzystanych bibliotek. Kolejne podrozdziały poświęcone były autorskim skryptom, zaczynając od skryptów importujących i przetwarzających dane źródłowe. Opracowano skrypt do przetwarzania danych o lokalizacji pojazdów oraz obliczania prędkości na badanych segmentach pomiarowych, skrypt do przetwarzania plików z danymi IMGW oraz skrypt importujący dane z serwisu WU. Następnie opisano skrypt przetwarzający i integrujący zbiory danych. Jego funkcje obejmowały fuzję zbiorów danych, klasyfikację warunków atmosferycznych oraz określenie wartości atrybutów pomocniczych. Na zakończenie rozdziału zaprezentowano skrypty służące do obliczania różnic prędkości i podstawowych statystyk, a także skrypt wykonujący testy analizy wariancji. Rozdział ten dostarcza informacji na temat metodologii analizy danych oraz narzędzi wykorzystanych w badaniach.

W rozdziale piątym zamieszczono opis poszczególnych etapów realizacji badań. Rozpoczęto od opisu lokalizacji segmentów pomiarowych (analizie poddano 12 segmentów na autostradach A1, A4 i A8), a także przeprowadzenia fuzji zbiorów danych z wykorzystaniem skryptów opisanych w rozdziale 4. Autorka wyjaśniła w jaki sposób przygotowane i przetworzone dane zostały poddane szczegółowym analizom statystycznym, dzięki którym uzyskano miary i statystyki niezbędne do weryfikacji badanych tez i hipotez. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono statystyki prędkości w klasach warunków atmosferycznych, a także statystyki różnic prędkości w klasach potencjalnie niesprzyjających warunków atmosferycznych. Autorka zaprezentowała prędkości średnie, mediany prędkości, kwantyl 85 prędkości, odchylenie standardowe oraz dystrybuanty prędkości w klasach warunków atmosferycznych, ja również średnie różnice prędkości, mediany różnic prędkości, odchylenie standardowe różnic prędkości, wykresy skrzynkowe różnic prędkości oraz histogramy różnic prędkości w klasach potencjalnie niesprzyjających warunków atmosferycznych. Dodatkowo omówiono wyniki testów analizy wariancji, które zostały

przeprowadzone w celu oceny wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. Rozdział ten dostarcza informacji na temat wyników analiz statystycznych.

W rozdziale szóstym dokonano bardziej szczegółowej interpretacji uzyskanych wyników badań, które zostały przedstawione w rozdziale 5. Skupiono się na dwóch głównych aspektach: wpływie warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów oraz na zaproponowanej w rozprawie metodzie. W przypadku interpretacji wyników dotyczących wpływu warunków atmosferycznych na prędkość pojazdów Autorka wskazała ograniczenia dotyczące dostępności danych oraz niektórych cech, które mogą mieć wpływ na rezultaty, jak również porównała je do wyników z literatury naukowej. W części rozdziału poświęconej ocenie przyjętej metody Autorka powtórzyła ograniczenia dotyczące danych takie jak częstotliwość ich rejestrowania (np. w przypadku pokrywy śnieżnej) i brak informacji (np. o kierunku wiatru) oraz wskazała dodatkowe atrybuty, które mogą mieć wpływ na wyniki analiz. Autorka zasugerowała zasadność uzupełnienia zbiorów do analiz o inne źródła danych. Wyniki analizy umożliwiły zweryfikowanie tez i hipotez postawionych w pracy.

W rozdziale siódmym, który stanowi podsumowanie i wnioski, dokonano końcowej oceny przeprowadzonych badań. Zweryfikowano postawioną na wstępie tezę badawczą, stwierdzając, że dostępne dane meteorologiczne oraz dane z sondowania pojazdów umożliwiają zbadanie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. Rozdział ten zawiera ponadto propozycje kierunków możliwej kontynuacji i rozwoju badań, wskazując na obszary, które mogą być przedmiotem dalszej analizy.

3. OCENA ROZPRAWY

3.1 Temat pracy, układ pracy i problem naukowy

Rozprawa poświęcona jest interesującym, zarówno z poznawczego, jak i praktycznego punktu widzenia, problemom analizowania prędkości potoku pojazdów w różnych warunkach meteorologicznych, co wymaga opracowania metod i narzędzi efektywnej oceny zjawiska. Zagadnienia poruszane w rozprawie mogą być przydatne w wielu obszarach, zarówno naukowych, jak i praktycznym wykorzystaniu badań w zarządzaniu ruchem. Opracowana metoda pozwala na lepsze zrozumienie, jak różne warunki atmosferyczne wpływają na prędkość ruchu pojazdów, co może być wykorzystane w systemach zarządzania ruchem, prowadząc do bardziej efektywnego planowania tras i zarządzania ruchem w czasie rzeczywistym. Wiedza o wpływie warunków pogodowych na prędkość potoku pojazdów może pomóc w opracowywaniu strategii mających na celu zwiększenie poziomu bezpieczeństwa na drogach, na przykład poprzez informowanie kierowców o aktualnych warunkach oraz ograniczeniach prędkości wynikających z warunków meteorologicznych. Informacje z rozprawy mogą być wykorzystane do poprawy algorytmów w Inteligentnych Systemach Transportowych, które integrują dane z różnych źródeł, pomagając w lepszym prognozowaniu warunków ruchu. W kontekście zmieniającego się klimatu, praca może dostarczyć cennych informacji na temat tego, jak warunki pogodowe wpływają na ruch drogowy, co może być istotne dla polityki transportowej i klimatycznej. Praca przyczynia się do rozszerzenia wiedzy w obszarze badań nad wpływem warunków atmosferycznych na transport i może być punktem wyjścia dla dalszych badań w tym zakresie. Wszystkie te aspekty pokazują, jak istotna i wszechstronna jest tematyka podejmowana w rozprawie, co czyni ją wartościowym wkładem w istniejący stan wiedzy oraz praktykę w dziedzinie

transportu. Wskazując na możliwość wykorzystania danych z sondowania pojazdów, które w miarę rozwoju technologii będą dostępne w coraz szerszym zakresie, Doktorantka podjęła próbę zweryfikowania postawionej tezy badawczej. Problem jest ważny, niedostatecznie rozpoznany, a jego rozwiązanie miałoby duże znaczenie praktyczne oraz naukowe w aspekcie prowadzenia dalszych badań.

Należy stwierdzić, że praca ma właściwy i przemyślany układ. Kolejność rozdziałów i ich podział pozwalają na logiczne przedstawienie procesu dążenia do rozwiązania problemu naukowego, osiągnięcia celów pracy oraz weryfikacji postawionej tezy badawczej. Wnioskowanie statystyczne jest poprawne. Na wyróżnienie zasługuje opracowanie przez Autorkę i zastosowanie w analizach skryptów wymienionych w rozdziale 4.3.1. Autorka ustrzegła się poważniejszych błędów natury językowej zarówno stylistycznych jak i literowych, których nie znaleziono podczas recenzowania pracy. W pracy przedstawiono schematy blokowe i ilustracje, które tłumaczą czytelnikowi prezentowane zagadnienia (niemniej niektóre z rysunków nie są dostatecznie czytelne: rysunki 5.4-5.9 oraz wykresy dystrybuant i wykresy skrzynkowe w rozdziale 5). Między rozdziałami zachowano właściwe proporcje. Treść pracy zgodna jest z jej tytułem. Tytuły rozdziałów i podrozdziałów dają syntetyczny pogląd na przedstawioną w nich zawartość merytoryczną oraz reprezentują logiczne powiązanie całości pracy. W pracy zabrakło spisu podstawowych symboli i oznaczeń być może ze względu na to, że występują sporadycznie.

Podstawą opracowania głównych treści recenzowanej pracy doktorskiej było m.in.: rozpoznanie obszaru badań w studiach literatury. Podsumowanie przeglądu literatury nie wskazuje w sposób bezpośredni luk badawczych, których wypełnienie pozwoliłoby na wskazanie problemu badawczego. Problem badawczy został określony opisie celu pracy i znalazł potwierdzenie w przedstawionych tezach. Do realizacji celu dysertacji oraz weryfikacji postawionej tezy Autorka odniosła się w podsumowaniu pracy. W zakresie badań opisanych w poszczególnych rozdziałach Autorka przedstawiła metodologię prowadzenia badań oraz ich wyniki. Dążenie do udowodnienia i weryfikacji postawionej w pracy doktorskiej tezy podnosi walory merytoryczne rozprawy.

Wybór tematu oraz zakres rozprawy należy uznać za trafny oraz w pełni uzasadniony aktualnym stanem wiedzy i potrzebami praktyki. Założone przez Autorkę cele pracy zostały osiągnięte a teza została potwierdzona. Ze względu na powyższe, rozprawa zasługuje na pozytywną ocenę.

3.2. Ocena zastosowanych metod

Celem badań zaprezentowanych w rozprawie doktorskiej była analiza wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów z wykorzystaniem fuzji danych meteorologicznych oraz danych uzyskanych z sondowania pojazdów co znalazło potwierdzenie w przyjętej tezie pracy. W rozdziale drugim Autorka przedstawiła przegląd literatury zarówno krajowej, jak i zagranicznej, koncentrując się na zagadnieniach związanych z ruchem drogowym i wpływem warunków atmosferycznych na ten ruch. Mimo tego, nie zidentyfikowano jednoznacznie luk badawczych, które ma wypełnić rozprawa, co mogłoby wzmocnić kontekst badań. Zidentyfikowano natomiast możliwość wykorzystania danych z sondowania pojazdów, które mogą zastąpić lub stanowić uzupełnienie danych pozyskiwanych z innych źródeł. Jako wypełnienie luki badawczej można zatem przyjąć

dążenie do weryfikacji postawionej tezy, niemniej należy zaznaczyć, że badania z wykorzystaniem takich danych są prowadzone od wielu lat, co potwierdza Autorka w przeglądzie literatury. Studia literatury zamieszczono w rozprawie po sformułowaniu celów i tezy pracy, co mogło pozwolić na bardziej dogłębne przedstawienie wyników dotychczasowych badań dotyczących powiązanych zagadnień. Wartościowa jest również przedstawiona przez Autorkę propozycja fuzji danych meteorologicznych i danych z sondowania pojazdów.

Rozdział trzeci rozprawy doktorskiej przedstawia założenia analityczne oraz metodykę określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. Zawiera on kluczowe komponenty, w tym charakterystykę dostępnych źródeł danych oraz ustalenie przedziału czasowego i lokalizacji badań, co stanowi podstawę dla prowadzonej analizy. Autorka skutecznie definiuje klasyfikację warunków atmosferycznych oraz określa parametry dla klas sprzyjających i potencjalnie niesprzyjających warunków atmosferycznych. Autorka przedstawia schemat procesu przygotowania danych do fuzji oraz analizy, skupiając się na modyfikacjach danych, które zostały wzbogacone o dodatkowe atrybuty. Te zmiany umożliwiają efektywne filtrowanie podzbioru danych zgodnie z założonym zakresem analizy. Ponadto została przedstawiona metoda obliczania różnic prędkości pomiędzy wartościami zarejestrowanymi w okresach o potencjalnie niesprzyjających warunkach atmosferycznych a wartościami rejestrowanymi w godzinach o sprzyjających warunkach. Autorka zaproponowała zestaw statystyk służących do obliczenia miar wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów w analizowanych segmentach. Wśród zaproponowanych miar znajdują się:

- różnice prędkości obliczone na podstawie wartości średnich prędkości w klasach warunków atmosferycznych,
- różnice prędkości obliczone z median prędkości w klasach warunków atmosferycznych,
- różnice prędkości obliczone z kwantyli 85 prędkości w klasach warunków atmosferycznych,
- średnie wartości ze zbioru różnic prędkości,
- mediana różnic prędkości.

Dodatkowo, w ramach tego rozdziału przedstawiona została metodyka analizy wariancji, mająca na celu ustalenie istotności wpływu czynników meteorologicznych na prędkość pojazdów, co jest metodologicznie właściwe. W końcowej części rozdziału zarysowano schemat procesu, który umożliwia określenie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. Rozdział trzeci stanowi istotny element rozprawy, w którym zdefiniowano metodykę badań. Niemniej pojawiają się wątpliwości dotyczące dostępności i weryfikacji wykorzystanych do analiz danych, które wskazano w uwagach krytycznych.

W rozdziale czwartym zaprezentowano szczegółowy opis narzędzi oraz skryptów wykorzystanych do przetwarzania danych, co w połączeniu z rozdziałem trzecim stanowi istotny element metodologiczny rozprawy. Rozdział ten zaczyna się od przedstawienia formatu zapisu plików oraz języka programowania, którym posłużono się przy tworzeniu skryptów (Python), co podkreśla nowoczesne podejście Autorki do analizy danych. Opis

używanych bibliotek również wskazuje na dbałość o wybór odpowiednich narzędzi w procesie przetwarzania i analizy danych. Dalsze części tego rozdziału koncentrują się na autorskich skryptach, które zostały opracowane do importowania oraz przetwarzania danych źródłowych. W szczególności, skrypty dotyczące obliczania prędkości na segmentach pomiarowych, a także skrypty do przetwarzania danych z IMGW i serwisu WU, a także skrypty do wyznaczania statystyk i testów analizy wariancji pokazują kompleksowość podejścia, jakie Autorka zastosowała. Przedstawienie skryptów integrujących zbiory danych oraz klasyfikujących warunki atmosferyczne świadczy o wszechstronności metodologii analizy. Warto odnotować, że wspomniane elementy stanowią kluczowy aspekt podstaw do przeprowadzenia analiz. Należy docenić opracowanie narzędzi badawczych przez Autorkę rozprawy. Jednakże, w rozdziale tym można zauważyć pewne niedociągnięcia. Zabrakło bardziej szczegółowej analizy zastosowanych narzędzi oraz ich zalet i wad, co mogłoby umożliwić czytelnikowi lepsze zrozumienie wyboru poszczególnych rozwiązań. Również opis skryptów powinien obejmować ewentualne trudności, które pojawiały się w procesie przetwarzania danych.

Rozdział piąty rozprawy doktorskiej przedstawia szczegółowy opis poszczególnych etapów realizacji badań. Autorka rozpoczęła od zaprezentowania poligonu badawczego, lokalizacji segmentów pomiarowych (12 segmentów na autostradach A1, A4 i A8). W kontekście przetwarzania danych, rozdział dostarcza informacji na temat fuzji zbiorów danych przy wykorzystaniu skryptów przedstawionych w rozdziale 4. Autorka szczegółowo opisuje proces przetwarzania oraz przygotowania danych do dalszych analiz. Wykorzystanie konkretnych analiz statystycznych, takie jak obliczenia średnich, median czy odchyleń standardowych wraz z zaprezentowaniem dystrybuant prędkości w klasach warunków atmosferycznych, ukazuje kompleksowy charakter podejścia badawczego. Istotne jest przedstawienie statystyk prędkości w różnych klasach warunków atmosferycznych oraz różnic prędkości w kontekście potencjalnie niesprzyjających warunków. Takie podejście umożliwia formułowanie wniosków dotyczących wpływu tych warunków na prędkości w ruchu drogowym. Zróżnicowanie przyjętych miar, w tym obliczenia median, kwantyli oraz odchylenia standardowego świadczy o rzetelności przeprowadzonych analiz. Przywołanie wykresów skrzynkowych i histogramów różnic prędkości w klasach niesprzyjających warunków atmosferycznych dodatkowo podkreśla dobrą praktykę analityczną. Występują niemniej problemy z czytelnością niektórych rysunków. W rozdziale omówiono również wyniki testów analizy wariancji, co jest ważne dla oceny wpływu i istotności wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. To wprowadzenie do statystyki w kontekście problemu badawczego jest wartościowe, ponieważ pozwala na szczegółową analizę czynników wpływających na uzyskane wyniki. Jednak należy zauważyć, iż rozdział ten nie jest wolny od pewnych wątpliwości. W zakresie przygotowania danych brakuje informacji na temat parametrów geometrycznych segmentów pomiarowych, takich jak promienie łuków, położenie względem węzłów (możliwa zmiana prędkości na dojeździe lub wyjeździe z obszaru węzła w zależności od gęstości ruchu) oraz charakterystyka przekrojów podłużnych. Te czynniki mogą mieć istotny wpływ na prędkość różnych typów pojazdów w zróżnicowanych warunkach atmosferycznych. Dodatkowo, zasadne byłoby przeprowadzenie dokładniejszej analizy związku między reprezentatywnością danych z sondowania a uzyskanymi wynikami, aby zapewnić pełniejszy kontekst badań. Rozdział piąty jest kluczowym elementem pracy, prezentującym zdobytą wiedzę oraz zastosowane metody

analizy. Mimo to pewne obszary wymagałyby dodatkowej uwagi i uszczegółowienia, aby zapewnić lepszą jakość prezentowanych informacji oraz ich interpretacji. Zagadnienia budzące wątpliwość przedstawiono w uwagach krytycznych. Wprowadzenie większej precyzji w opisie segmentów pomiarowych oraz zapewnienie reprezentatywności danych podniosłoby wartość naukową wyników pracy.

Rozdział szósty rozprawy doktorskiej koncentruje się na szczegółowej interpretacji uzyskanych wyników badań, które zostały przedstawione w rozdziale piątym. Autorka skupia się na dwóch istotnych aspektach: wpływie warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów oraz na zaproponowanej metodzie badawczej. W rozdziale przedstawiono wyniki analizy wpływu czynników meteorologicznych na prędkość pojazdów, które zostały podzielone na czynniki istotnie wpływające oraz te, które mają mniejszy wpływ. Autorka demonstruje, że najważniejszymi czynnikami wpływającymi na prędkość pojazdów lekkich są opady w klasach niesprzyjających oraz silny wiatr. Porównanie wyników badań przeprowadzonych przez Autorkę z danymi dostępnymi w literaturze naukowej zarówno krajowej, jak i zagranicznej, potwierdza poprawność przyjętej metody oraz sugeruje, że trudniejsze warunki atmosferyczne prowadzą do redukcji prędkości. Jednakże wyniki dotyczące poszczególnych segmentów autostrad są zróżnicowane, co może budzić pewne wątpliwości. Autorka nie wyjaśnia jednoznacznie, dlaczego te różnice występują, co ogranicza pełne zrozumienie uzyskanych rezultatów. Jest to istotne zagadnienie, które powinno być rozwinięte, biorąc pod uwagę, że duże zróżnicowanie wyników może wpływać na szczegółową interpretację wpływu warunków atmosferycznych na skalę redukcji prędkości. W części rozdziału dotyczącej oceny przyjętej metody, Autorka wskazuje na wyniki testów analizy wariancji, które dowodzą, że dostępne dane meteorologiczne umożliwiają klasyfikację warunków i wykazują różnice pomiędzy nimi. O ile sama metodologia jest zgodna z zaplanowanym schematem, brakuje jednak dogłębnej analizy wpływu innych czynników, takich jak natężenie ruchu oraz struktura rodzajowa pojazdów, które mogą również znacząco wpływać na prędkość potoku. Dlatego zaleca się, aby przyszłe analizy uwzględniały te istotne elementy w celu uzyskania bardziej kompleksowego obrazu. Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że Autorka skutecznie wykorzystuje statystyki do analizy wpływu warunków atmosferycznych, jednakże by poprawić rzetelność wyników i wniosków, przyszłe badania powinny bardziej dokładnie badać interakcje między różnymi czynnikami wpływającymi na prędkość pojazdów. Rozdział szósty stanowi istotny krok w analizie wyników badań i dostarcza cennych informacji na temat wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. Mimo to, konieczne są dalsze prace nad wyjaśnieniem zróżnicowania widocznych wyników oraz uwzględnieniem wpływu innych, kluczowych zmiennych.

Rozdział siódmy stanowi podsumowanie i prezentuje wnioski dotyczące przeprowadzonych badań, a jego struktura i treść zostały skonstruowane w sposób, który pozwala na klarowną prezentację osiągniętych rezultatów. Autorka skutecznie weryfikuje postawioną tezę, stwierdzając, że dostępne dane meteorologiczne oraz dane z sondowania pojazdów umożliwiają analizę wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. Takie potwierdzenie jest ważnym krokiem w kontekście przeprowadzonych badań i stanowi solidny fundament dla dalszych analiz w tej dziedzinie. W rozdziale podkreślono, że jako pierwszą potwierdzono hipotezę, iż możliwe jest przeprowadzenie fuzji danych

meteorologicznych z danymi z sondowania pojazdów, co potwierdza możliwość powiązania tych dwóch źródeł. Ważnym uwarunkowaniem jest dostęp do danych źródłowych z tego samego okresu pomiarowego i obszaru, co jest kluczowe dla uzyskania wiarygodnych rezultatów. Autorka uzasadnia, że dostępne wartości parametrów meteorologicznych pozwoliły na skuteczną klasyfikację warunków atmosferycznych, co potwierdza, iż dane te są wystarczające dla realizacji postawionych celów badawczych. Dodatkowo, uzyskane wyniki badań potwierdzają tezę, że warunki atmosferyczne mają zróżnicowany wpływ na prędkość potoku pojazdów, co jest istotnym spostrzeżeniem w kontekście analizy ruchu drogowego. Autorka analizuje różnice prędkości w różnych klasach warunków, co dostarcza cennych informacji o tym, jak zmienne meteorologiczne wpływają na dynamikę ruchu drogowego. Jednakże w ocenie rozdziału pojawiają się pewne wątpliwości. Zauważa się, że zróżnicowanie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów występuje również na jednorodnych segmentach autostrad dla tych samych klas niesprzyjających warunków. Brak jednoznacznego wyjaśnienia powodów takich zróżnicowań w wynikach może ograniczać pełne zrozumienie mechanizmów wpływających na obserwowane zmiany prędkości. Należy zgodzić się z twierdzeniem Autorki, że dane meteorologiczne oraz z sondowania pojazdów mają istotne znaczenie dla analizy wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. Niemniej, warto podkreślić potrzebę uwzględnienia dodatkowych źródeł danych oraz szerszego zakresu czynników, które mogą wpływać na prędkość ruchu. Takie podejście zwiększyłoby wiarygodność oraz precyzję uzyskiwanych wyników, co powinno zostać uwzględnione w przyszłych badaniach. Rozdział siódmy skutecznie podsumowuje osiągnięcia pracy, dostarczając cennych wniosków i rekomendacji. Jednakże, dalsza analiza zróżnicowania wyników oraz uwzględnienie większej liczby zmiennych mogą znacząco przyczynić się do wzmocnienia ogólnej wartości badań oraz umożliwić bardziej kompleksowe rozumienie badanych zjawisk.

3.3 Osiągnięcia Autorki

Najważniejsze osiągnięcia Autorki przedstawione w rozprawie to:

- Autorka skutecznie weryfikuje tezę, że dostępne dane meteorologiczne oraz dane z sondowania pojazdów umożliwiają analizę wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów,
- opracowana metoda fuzji danych meteorologicznych z danymi uzyskanymi z sondowania pojazdów potwierdza możliwość integracji różnych źródeł informacji w celu uzyskania możliwości przeprowadzenia kompleksowej analizy,
- Autorka za pomocą dostępnych danych meteorologicznych określa klasy warunków atmosferycznych, co umożliwia systematyczne podejście do analizy ich wpływu na ruch drogowy,
- w rozprawie wykorzystano dane z systemów monitorowania flot pojazdów oraz osobistych systemów nawigacyjnych, co jest nadal nowatorskim podejściem na polskim rynku badań dotyczących ruchu drogowego, pomimo tego, że takie dane były już wykorzystywane wcześniej,

- Autorka identyfikuje najważniejsze czynniki meteorologiczne wpływające na prędkość pojazdów, takie jak opady i siła wiatru, co pozwala na lepsze zrozumienie dynamiki ruchu w kontekście tych zmiennych,
- praca dostarcza statystyk dotyczących różnic prędkości pomiędzy różnymi klasami warunków atmosferycznych, co jest istotne dla praktyków zajmujących się zarządzaniem ruchem,
- Autorka wykorzystuje różnorodne miary statystyczne (średnie, mediany, kwantyle) oraz analizę wariancji, co podnosi jakość analizy danych i pozwala na bardziej precyzyjne wnioskowanie,
- praca jest jednym z pierwszych kompleksowych badań w Polsce, które analizuje wpływ warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów na podstawie danych z sondowania, co stanowi cenny wkład w dziedzinie.

Rozprawa stanowi oryginalne, wartościowe, autorskie opracowanie spełniające warunki stawiane rozprawom doktorskim. Autorka wykazała umiejętność zastosowania narzędzi z zakresu statystyki matematycznej.

Ogólna pozytywna ocena rozprawy nie wyklucza występowania szeregu uwag o charakterze krytycznym. Niektóre uwagi przedstawiono przy ocenie metodyki (punkt 3.2). Pozostałe uwagi i pytania sformułowano lub powtórzono poniżej w punkcie 4.

4. UWAGI

4.1. Uwagi krytyczne

1. W rozdziale 3 Autorka zauważa, że rejestracja położenia pojazdów dokonywana jest z dokładnością do 1 sekundy. Należy jednak upewnić się, czy ta informacja została zweryfikowana w kontekście wykorzystywanych zbiorów danych. Jakie potencjalne błędy mogą wynikać z tej dokładności i w jaki sposób mogą one wpłynąć na uzyskane wyniki analizy? Korzystne byłoby dostarczenie konkretnych danych na temat tolerancji błędów w kontekście rejestracji położenia. W jaki sposób i z jaką dokładnością rejestrowana jest prędkość chwilowa, czy dokładność została zweryfikowana, czy też przyjęto założenie, że weryfikacji dokonano w projekcie RID „Nowoczesne metody obliczania przepustowości i oceny warunków ruchu...", na który powołuje się Autorka. Czy dane pochodziły z tego samego źródła? W przypadku, gdy stanowiły odmienną grupę danych nie wskazuje to na konieczność weryfikacji danych wykorzystanych w rozprawie?
2. Kwestią istotną jest także weryfikacja wykorzystanych danych meteorologicznych. W jaki sposób Autorka sprawdziła adekwatność tych danych do warunków panujących na badanych odcinkach dróg? Wziąwszy pod uwagę, że stacje pomiarowe są oddalone od segmentów pomiarowych o 3-23 km, jakie analizy mogą wspierać wnioski o reprezentatywności tych danych?
3. Przy wyznaczaniu klasy 6 odnoszącej się do pokrywy śnieżnej, powstają wątpliwości dotyczące regularnego odśnieżania dróg, szczególnie na autostradach i drogach ekspresowych. Jak Autorka uzasadnia obecność pokrywy śnieżnej w analizowanych danych, jeżeli teoretycznie powinna ona być usuwana? Dodatkowo, wyniki wskazujące na

wyższą średnią prędkość w klasie 6 w porównaniu do klasy 0 są niejasne i wymagają wyjaśnienia.

4. Na jakiej podstawie przyjęto założenie o granicznej sile wiatru (39 km/godz.) oraz granicę pomiędzy wysokością opadu deszczu równą 2mm (niską w klasie 1 i wysoką w klasie 2) oraz opadem śniegu – 1 mm pomiędzy klasą 3 i 4?

5. Czy w kontekście klasy 7, dotyczącej temperatur bliskich zamarzaniu, zbadano związek między wilgotnością a temperaturą? Jak ten związek wpływa na ryzyko wystąpienia gołoledzi na drogach? Punkt rosy wydaje się kluczowym wskaźnikiem przy szacowaniu ryzyka oblodzenia drogi, ponieważ określa temperaturę, w której powietrze staje się nasycone parą wodną, co prowadzi do kondensacji i potencjalnego tworzenia się lodu.

6. Rozdział 3.4 „W następnym etapie dla każdej mediany prędkości wyliczonej dla danej godziny i przypisanej do jednej z klas warunków atmosferycznych poszukiwano odpowiadającej mediany prędkości zarejestrowanej w godzinie sprzyjających warunków atmosferycznych. Do wyznaczenia odpowiadającego rekordu wykorzystano atrybut określający godzinę zarejestrowania przejazdu. Przejazdy odpowiadające określono jako przejazdy, które wykonano w tych samych godzinach pomiarowych i w dniach z okresu możliwie najbliższego i nie dłuższego niż miesiąc." Ponieważ w rożnych dniach natężenia mogą się różnić nawet w dniach następujących po sobie, a prędkość zależy od natężenia ruchu, czy dokonano porównania natężeń ruchu w celu potwierdzenia porównywalności wielkości natężenia ruchu? Na prędkość potoku ma również wpływ struktura rodzajowa ruchu (udział pojazdów ciężkich), czy dokonano takiego porównania i czy uwzględniono to w badaniach?

7. W pracy porusza się kwestię dostępności danych z flot. Jakie są konkretne mechanizmy, na podstawie których firma CE TRAFFIK uzyskuje dostęp do tych informacji? Czy są one udostępniane bezpłatnie, czy mogą istnieć bariery dla powszechnego wykorzystania tych danych do celów badawczych? W jaki sposób dostępność tych danych może wpływać na ogólną weryfikację wyników i ich wykorzystanie w przyszłych badaniach?

8. W rozdziale 5.1.1 brakuje kluczowych informacji na temat parametrów geometrycznych segmentów. Brakuje informacji na temat parametrów w planie (promienie łuków – nie wszystkie analizowane segmenty zlokalizowane są na odcinku prostym, brak informacji o położeniu względem węzłów, na dojazdach do węzłów oraz odcinkach za węzłami zróżnicowanie prędkości może być większe), przekroju podłużnego (pochylenia podłużne jezdni, które mogą mieć wpływ na prędkość pojazdów w różnych warunkach atmosferycznych) oraz otoczenia drogi (czy droga jest prowadzona w nasypie czy wykopie co może mieć wpływ na prędkość i kierunek wiatru). Ponadto wpływ na występowanie pokrywy śnieżnej, utrzymującego się oblodzenia mogą mieć czynności utrzymaniowe zarządcy drogi. Jak te parametry mogą wpływać na prędkość pojazdów, zwłaszcza dla segmentów, które nie są zlokalizowane na odcinkach prostych? Czy Autorka rozważała konieczność uwzględnienia tych informacji w analizach?

9. Z tabel 5.3, 5.4 i 5.5 wynika, że dane z sondowania stanowią znikomy udział wielkości potoku ruchu pomierzonego podczas GPR w 2015 roku (szczególnie w przypadku pojazdów lekkich, gdzie udział wynosi 1-1,5%, w przypadku pojazdów ciężkich jest większy

od 5 do 5,5%). Czy tak znikomy udział pozwala na wnioskowanie? Czy nie jest potrzebna dodatkowa weryfikacja wyników z innego źródła danych?

10. W rozdziale 5.3.6, w którym autorka przedstawia przykładowe histogramy różnic prędkości w klasach potencjalnie niesprzyjających warunków atmosferycznych pada stwierdzenie „w przypadku licznych zbiorów ocena wizualna histogramów różnic prędkości pojazdów ciężkich pozwala uznać, że są one zbliżone do rozkładu normalnego". Czy ocena wizualna bez przeprowadzenia analizy rozkładów uzasadnia takie stwierdzenie, biorąc pod uwagę, że zgodnie z informacją podaną w rozdziale 5.4.1 „zdecydowano o przeprowadzeniu analizy wariancji wyłącznie dla pojazdów lekkich". Czy nie warto było przeprowadzić testów, które określiłyby, czy dane pochodzą z innych rozkładów? W przypadku małych próbek, które mogą nie spełniać założeń normalności, można zastosować testy nieparametryczne, które nie zakładają określonego rozkładu.

11. W rozdziale szóstym zauważono duże zróżnicowanie wyników między poszczególnymi segmentami na autostradach, jednak nie przedstawiono szczegółowej dyskusji, która mogłaby wyjaśnić powody tych różnic. Czy Autorka mogłaby podać konkretne czynniki, które mogły mieć wpływ na te zróżnicowane wyniki?

4.2. Pozostałe uwagi

- W tabeli 4.4 przedstawiono schemat klasyfikacji warunków atmosferycznych, który opisano w rozdziale 3. W tabeli brakuje klasy 7, dla której wyniki przedstawiono w rozdziale 5 (nie przypominając jakich warunków dotyczy klasa), taki sposób prezentacji założeń powoduje utrudnienia w analizie wyników.
- Rysunki, szczególnie niektóre dystrybuanty, wykresy skrzynkowe i histogramy, są słabo czytelne.

4.3. Podsumowanie

Przyjęte w recenzowanej pracy podejście pozwala na weryfikację przedstawionych tez w obszarze przedstawionym w osiągnięciach Autorki.

Pomimo wymienionych w recenzji uwag, z merytorycznego punktu widzenia rozprawa zasługuje na pozytywną ocenę.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska wnosi oryginalny wkład teoretyczny i praktyczny w rozwój nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Doktorantka wykazała się dobrą znajomością stanu wiedzy w obszarze tematyki pracy doktorskiej. W dążeniu do realizacji celów pracy oraz weryfikacji postawionych tez zastosowała poprawne metody badawcze, wykazując jednocześnie umiejętności planowania, prowadzenia badań oraz rozwiązywania problemów teoretycznych. Wyniki badań oraz sposób ich realizacji wskazują na umiejętności analizowania, krytycznej oceny rezultatów badań oraz formułowania wniosków. Pomimo przedstawionych w recenzji uwag krytycznych i wątpliwości należy stwierdzić, że Autorka ocenianej pracy doktorskiej prowadziła badania na odpowiednim poziomie merytorycznym. Powyższe świadczy o odpowiednim

przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych.

Uwagi krytyczne wymienione w recenzji, nie obniżają poziomu merytorycznego i pozytywnej oceny pracy doktorskiej, mają charakter porządkowy, stanowią sugestie, które mogą zostać wykorzystane w przyszłych badaniach lub podlegać dyskusji.

Biorąc pod uwagę powyższe, stwierdzam, że rozprawa spełnia obecnie obowiązujące wymagania stawiane stosownymi przepisami pracom doktorskim. Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr. inż. Dominiki Slawik do publicznej obrony.

Jacek Oskarbski

.....

Dr hab. inż. Jacek Oskarbski,

profesor Politechniki Gdańskiej

POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk

tel. +48 604 475 876
e-mail: jacek.oskarbski@pg.edu.pl
www.pg.edu.pl