

Kraków 29.06.2025 r.

dr hab. inż. Jacek Chmielewski, prof. PK
Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Lądowej
ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. **Dominiki Sławik** 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, prof. Ucz.

Promotor pomocniczy: dr inż. Tomasz Dybicz

1. Podstawa opracowania opinii

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. **Dominiki Sławik** pt.: „Metoda określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów z uwzględnieniem fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów” została wykonana na podstawie Uchwały nr 1026/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport z dnia 05.11.2024 (mail z dnia 06.11.2024).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr. inż. Dominiki Sławik pt.: „Metoda określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów z uwzględnieniem fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów”. Praca została opracowana na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Jerzy Chmiel, prof. Ucz., a promotorem pomocniczym dr inż. Tomasz Dybicz.

Rozprawa doktorska obejmuje 174 stron i składa się z: 7-miu rozdziałów merytorycznych, streszczenia w języku polskim i angielskim, spisu treści, wykazu wykorzystanych skrótów, bibliografii (24 pozycji zwartych, 90 pozycji artykułowych i konferencyjnych). W rozprawie zamieszczono 86 rysunków i 49 tabel odpowiednio ponumerowanych i opisanych. W zbiorze pozycje artykułowych znajduje się 1 współautorska publikacja Autorki rozprawy (pierwszy Autor, współautorstwo promotora i promotora pomocniczego, z roku 2022, 70 punktów - dyscyplina naukowa: geografia społeczno-ekonomiczna i gospodarka przestrzenna). W streszczeniu, zarówno w języku polskim jak i angielskim, jasno sformułowano cel badania, zakres, zastosowane dane i metody analizy, wyniki oraz znaczenie praktyczne. Całość opracowania zawarta jest na 197 stronach.

W pracy doktorskiej można wyróżnić zarówno części teoretyczne oraz eksperymentalne. W ramach części teoretycznych omówiono problematykę badań dotyczących wpływu warunków atmosferycznych na ruch drogowy. Dodatkowo określono podstawowe źródła w zakresie badań i zarządzania ruchem drogowym, pozyskiwania danych meteorologicznych, a także gromadzenia dużych zbiorów danych w ramach GIS. Część eksperymentalna dotyczy wyboru i gromadzenia danych dla odcinków poddanych analizie, co stanowi bazę do rozwiązania problemu badawczego. W pracy zidentyfikowano aktualny stan wiedzy w zakresie badań wpływu warunków atmosferycznych na ruch drogowy. Całość pracy zakończona jest podsumowaniem, w którym znajdują się m.in. podstawowe wnioski z przeprowadzonych prac, jak również wskazanie potrzeby dalszych, bardziej kompleksowych badań, obejmujących więcej lokalizacji, różne typy dróg, więcej klas warunków atmosferycznych oraz dodatkowe czynniki, jak natężenie ruchu czy struktura podróży.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

3.1. Struktura pracy

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów. W pierwszym, stanowiącym wstęp, zawarto wprowadzenie do problemu badawczego oraz opis struktury pracy. Przedstawiono w nim tematykę rozprawy, koncentrującą się na analizie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów w ruchu drogowym. Autorka podkreśla, że mimo powszechnej świadomości wśród kierowców i zarządców dróg, co do negatywnego wpływu niekorzystnych warunków pogodowych, nadal brakuje dokładnych metod ich ilościowego opisu i prognozowania. Dotychczasowe badania, zarówno krajowe, jak i zagraniczne, często ograniczają się do wąskiego zakresu przestrzennego lub czasowego, a klasyczne metody pomiarowe są kosztowne i trudne do wdrożenia na szeroką skalę. We wstępie zamieszczono także syntetyczny opis kolejnych rozdziałów pracy, ze szczególnym uwzględnieniem rozdziałów od trzeciego do szóstego, które prezentują wkład autorki w rozwój wiedzy w badanym obszarze.

Rozdział drugi, bardzo rozbudowany, zawiera wprowadzenie do tematyki pracy. Podzielony został na cztery podrozdziały, z których ostatni stanowi przegląd kluczowej literatury krajowej i zagranicznej pod tytułem „Badania dotyczące wpływu warunków atmosferycznych na ruch drogowy”. Rozdział ten obejmuje omówienie podstawowej wiedzy z zakresu inżynierii ruchu drogowego, badań i modelowania ruchu, analizy prędkości pojazdów, monitorowania ruchu, zagadnień meteorologicznych (w tym biometeorologii), jak również systemów gromadzenia danych GIS. Należy zaznaczyć, że przytoczone rozwiązania stanowią jedynie przykłady i nie wyczerpują całego spektrum możliwych podejść. Opisywane zagadnienia są powszechnie wykorzystywane w projektach badawczych, zwłaszcza wykorzystujących dane GIS i informacje pozyskane z sondowania pojazdów.

Rozdział trzeci, zatytułowany „Sformułowanie metody określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów”, stanowi – zdaniem recenzenta – kluczowy element pracy. Autorka przedstawia tu metodę integracji danych z sondowania pojazdów z danymi meteorologicznymi, schemat przetwarzania danych

źródłowych, zastosowane narzędzia statystyczne oraz sposób ustalania istotności wpływu poszczególnych czynników meteorologicznych na prędkość pojazdów. Definiuje także model określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów, przy czym należy zaznaczyć, że pojęcie „model” odnosi się tu do opisu procedury analitycznej, a nie do klasycznego modelu matematycznego w sensie formalnego zapisu matematycznego zjawiska. W tym rozdziale pojawia się również termin „fuzja danych”, którego wyjaśnienie przedstawione zostało dopiero w rozdziale czwartym, w kontekście skryptów analitycznych opracowanych przez Autorkę.

Rozdział czwarty zawiera opis narzędzi numerycznych służących do analizy danych, natomiast w rozdziale piątym opisano przebieg badań: przygotowanie danych (5.1), statystyki prędkości w klasach warunków atmosferycznych (5.2), a także liczne dystrybuanty prędkości (które być może warto przenieść do załącznika). Uwzględniono tu również statystyki różnic prędkości dla klas potencjalnie niekorzystnych warunków atmosferycznych, zilustrowane licznymi wykresami skrzynkowymi (Box plot). Dodatkowo zaprezentowano histogramy różnic prędkości w tych samych klasach. Łącznie, wykresy zawarte na 23 stronach (ok. 15% objętości rozprawy) mogą sugerować zasadność ich przeniesienia do załączników.

Rozdział szósty – „Analiza uzyskanych wyników” – zawiera zestawienie wyników w formie tabelarycznej wraz z komentarzami Autorki. Zwraca ona uwagę na zróżnicowanie wyników pomiędzy odcinkami pomiarowymi, podkreśla przypadki małej liczebności próby, a także identyfikuje sytuacje, w których zaobserwowano wzrost prędkości w niekorzystnych warunkach pogodowych – co może świadczyć o wpływie dodatkowych czynników nieuwzględnionych w analizie.

Ostatni, siódmy rozdział zawiera podsumowanie pracy, prezentację osiągnięć oraz wskazanie możliwych kierunków dalszych badań w obrębie poruszanego zagadnienia.

Podsumowując, należy stwierdzić, że struktura pracy jest poprawna. Tytuły rozdziałów i podrozdziałów odpowiadają ich zawartości merytorycznej i w sposób logiczny prezentują: problem badawczy, sposób jego rozwiązania oraz uzyskane rezultaty.

3.2. Dobór tematu i zakres pracy doktorskiej

Recenzowana praca doktorska dotyczy problematyki wpływu warunków atmosferycznych na prędkość pojazdów w ruchu drogowym. W swoich rozważaniach Doktorantka podejmuje próbę analizy danych prędkości pojazdów na podstawie obszernego zbioru danych pochodzących z sondowania pojazdów, zintegrowanych (w procesie tzw. fuzji danych) z informacjami o warunkach pogodowych pozyskanymi ze stacji meteorologicznych. Głównym celem pracy jest wykazanie, że warunki pogodowe mają istotny wpływ na prędkość przemieszczania się pojazdów. Badania zmierzają do potwierdzenia możliwości wykorzystania danych meteorologicznych do ilościowego określenia tego wpływu.

Doktorantka motywuje potrzebę podjęcia tego tematu rosnącym znaczeniem analiz opartych na danych z sondowania pojazdów. Bez wątpienia, poruszana problematyka jest istotna z punktu widzenia analiz przepustowości infrastruktury

transportowej, zwłaszcza w kontekście coraz częstszych, nagłych zjawisk atmosferycznych, które wpływają na niezawodność sieci transportowej.

Rozważania autorki skupiają się na integracji dużych zbiorów danych z sondowania pojazdów oraz danych meteorologicznych, skategoryzowanych według klas warunków atmosferycznych. Analizy zostały przeprowadzone dla trzech wybranych odcinków autostrad. Należy jednak zaznaczyć, że w analizach pominięto inne potencjalne czynniki wpływające na prędkość pojazdów, takie jak natężenie ruchu, struktura floty czy stan nawierzchni.

W Polsce problematyka ta nie cieszy się jeszcze dużym zainteresowaniem, chociaż prowadzone były już prace dotyczące wpływu pogody na ruch drogowy. W dotychczasowych badaniach nie wykorzystywano jednak danych z sondowania pojazdów, które – jak słusznie zauważa Autorka – charakteryzują się specyfiką dotyczącą reprezentatywności: znaczna część pojazdów rejestrowanych w tych zbiorach to pojazdy flotowe. Może to tłumaczyć niską liczebność prób obserwowaną w niektórych analizach.

Tematyka pracy została szeroko zaprezentowana, a Autorka szczegółowo omówiła zarówno możliwości wykorzystania dużych zbiorów danych z sondowania pojazdów, jak i potencjał analiz statystycznych w określaniu zależności pomiędzy prędkościami pojazdów a warunkami atmosferycznymi. Szkoda jednak, że nie podjęto próby sformułowania bardziej formalnych, matematycznych zależności opisujących ten wpływ, co mogłoby znacząco zwiększyć wartość praktyczną pracy – zwłaszcza w kontekście analizy niezawodności infrastruktury transportowej.

Podsumowując, należy stwierdzić, że zaprezentowany problem badawczy jest aktualny zarówno z punktu widzenia nauki, jak i zastosowań praktycznych. Temat został trafnie dobrany, a zakres przeprowadzonych rozważań odpowiada wymaganiam stawianym pracom naukowym. Niemniej jednak, zebrane dane zostały w ograniczonym stopniu wykorzystane do matematycznego opisu rzeczywistego wpływu warunków atmosferycznych na prędkość pojazdów.

3.3. Ocena doboru metod do rozwiązania problemu badawczego

Podjęta w pracy doktorskiej tematyka jest ambitna i wymagała od Autorki wiedzy oraz umiejętności z różnych dziedzin. Doktorantka wykazała się interdyscyplinarnym podejściem, łącząc kompetencje z zakresu inżynierii ruchu drogowego, statystyki, analizy dużych zbiorów danych (big data) oraz meteorologii. Takie podejście jest zgodne z obecnymi trendami w badaniach naukowych, w których rośnie znaczenie integracji danych pochodzących z różnych źródeł w celu uzyskania pogłębionej wiedzy o złożonych zjawiskach.

Autorka zastosowała innowacyjne metody pozyskiwania i analizy danych, w szczególności wykorzystując dane z sondowania pojazdów oraz dane meteorologiczne ze stacji pogodowych. Dzięki temu możliwe było stworzenie obszernej bazy danych, co stanowi istotną wartość pracy. Należy jednak zaznaczyć, że pomimo szerokiego zakresu danych, w niektórych analizowanych przypadkach liczebność próby była niewystarczająca. Wynika to m.in. ze specyfiki danych z sondowania pojazdów,

które w dużej mierze obejmują flotę komercyjną, a nie pełne spektrum pojazdów poruszających się po drogach. Taki stan rzeczy ograniczył możliwość uzyskania pełnych i jednoznacznych rezultatów oraz przeprowadzenia pogłębianych analiz modelowych.

W zakresie analiz statystycznych Autorka zastosowała standardowe miary statystyczne, umożliwiające identyfikację zróżnicowania prędkości pojazdów w zależności od warunków pogodowych. Wyniki zostały zilustrowane licznymi wykresami (m.in. dystrybucjami, wykresami skrzynkowymi, histogramami) oraz opatrzone komentarzami i wnioskami. Analizy przeprowadzono dla trzech wybranych odcinków autostrad. Jednak zaobserwowane rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskanymi dla różnych lokalizacji wskazują, że prędkość pojazdów zależy nie tylko od warunków atmosferycznych, ale również od innych czynników, które nie zostały uwzględnione w analizie – takich jak natężenie ruchu, struktura pojazdów, specyfika infrastruktury czy pora dnia.

3.4. Ocena celów i tezy pracy doktorskiej

Doktorantka sformułowała w pracy jeden cel główny, jakim jest wykazanie, iż *Dostępne dane meteorologiczne oraz z sondowania pojazdów umożliwiają zbadanie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów*, który odpowiada tematyce całości dysertacji. Ponadto Autorka zdefiniowała trzy hipotezy pośrednie, tj.:

1. „*Można przeprowadzić fuzję danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów*”.
2. „*Dostępne dane meteorologiczne umożliwiają wykonanie klasyfikacji warunków atmosferycznych*”.
3. „*Warunki atmosferyczne mają zróżnicowany wpływ na prędkość potoku pojazdów*”.

Przedstawione cele pośrednie budzą jednak wątpliwości. Główna hipoteza: „**Dostępne dane meteorologiczne oraz z sondowania pojazdów umożliwiają zbadanie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów**” jest trafnym stwierdzeniem metodologicznym, ale nie jest hipotezą badawczą w sensie naukowym. To raczej opis założeń lub potencjału badawczego danych. Nie zawiera przypuszczenia, które można potwierdzić lub obalić, opisuje możliwość analizy, a nie przewidywany wynik tej analizy, jest ogólna i niesprawdzona – nie wskazuje kierunku wpływu ani relacji.

Hipoteza: „**Można przeprowadzić fuzję danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów**” nie jest dobrą hipotezą badawczą – to raczej stwierdzenie technicznej możliwości lub opis założenia metodycznego, a nie hipoteza w sensie naukowym. Hipoteza badawcza musi być weryfikowalna empirycznie (dać się potwierdzić lub obalić) i powinna wyrażać zależność lub związek między zmiennymi. Co więcej zwykle ma ona postać twierdzenia lub przypuszczenia naukowego, które podlega testowaniu. Kolejna z nich:

„**Dostępne dane meteorologiczne umożliwiają wykonanie klasyfikacji warunków atmosferycznych**” również nie jest poprawną hipotezą badawczą – to stwierdzenie faktu lub założenie metodyczne, a nie weryfikowalne przypuszczenie naukowe.

Hipoteza ta nie zawiera zmiennych, między którymi można wykazać zależność, nie zakłada możliwości falsyfikacji – czyli jej obalenia przez wyniki badań, nie wyraża związku przyczynowo-skutkowego lub korelacyjnego.

Ostatnia: „**Warunki atmosferyczne mają zróżnicowany wpływ na prędkość potoku pojazdów**” to dobry punkt wyjścia, ale jeszcze nie w pełni poprawna hipoteza badawcza – to raczej ogólne stwierdzenie kierunku badania. Nie wskazuje konkretnych zmiennych, które można mierzyć (np. *jaka* pogoda, *jakie* zmiany prędkości), nie daje się łatwo sprawdzić empirycznie w takiej formie – nie wiadomo, co dokładnie oznacza „zróżnicowany wpływ”, brakuje elementu falsyfikowalności – czyli potencjalnej możliwości obalenia.

W oparciu o postawione cele pracy, w niniejszej pracy podjęto próbę udowodnienia ww. założeń.

W całej pracy przewija się jeden cel użyteczny, wykazanie zależności pomiędzy prędkościami pojazdów a warunkami pogodowymi.

Cele pracy zostały zrealizowane, jednak dostrzegalny jest istotny brak praktycznej implementacji uzyskanych wyników. Autorka nie podjęła próby budowy modelu matematycznego opisującego wpływ warunków ruchu drogowego na prędkości pojazdów, co mogłoby stanowić naturalne i wartościowe zwieńczenie przeprowadzonych analiz oraz wniosków przedstawionych w rozprawie. Ujęcie takiego modelu nie tylko wzbogaciłoby aspekt aplikacyjny pracy, ale również podniosłoby jej wartość naukową i użyteczność w kontekście praktycznego zastosowania w inżynierii transportu.

3.5. Wartość naukowa i oryginalność rozprawy - Osiągnięcia Autora

Autorka proponuje metodę określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów opartą na fuzji danych PVD (Probe Vehicle Data) i pomiarów meteorologicznych IMGW oraz Weather Underground. Analizy wykonano dla 1-km odcinków autostrad A1, A4 i A8 w latach 2014-2017, w godzinach dziennych dni roboczych. Zdefiniowała dziewięć klas pogody (od „warunków sprzyjających” po „silny wiatr”) i zbadała:

- rozkłady prędkości w każdej klasie,
- różnice prędkości między klasami niesprzyjającymi a sprzyjającą,
- istotność statystyczną czynników pogodowych (jednoczynnikowa ANOVA na próbach $N = 100$).

O ile badania dotyczące wpływu warunków atmosferycznych na prędkości pojazdów nie stanowią nowości – zarówno w skali krajowej, jak i międzynarodowej – to zastosowanie fuzji danych w tym kontekście należy uznać za interesujące i perspektywiczne podejście. Wskazuje ono na potencjał dalszego wykorzystania analogicznych zasobów danych w przyszłości. Sama technika fuzji danych nie jest oczywiście rozwiązaniem nowym i znajduje szerokie zastosowanie w różnorodnych analizach transportowych. Warto jednak zaznaczyć, że próby integracji danych

pochodzących z systemów ITS, zawierających m.in. informacje o prędkościach pojazdów oraz warunkach atmosferycznych, były już podejmowane przez inne krajowe ośrodki badawcze.

Do najistotniejszych osiągnięć naukowych Doktorantki przedstawionych w rozprawie można zaliczyć

- a) Interdyscyplinarne podejście do statystycznej oceny wpływu warunków atmosferycznych na zachowania kierowców
- b) Wykazanie możliwości stosowania dużych zbiorów danych z sondowania pojazdów na potrzeby analiz zachowań transportowych kierowców,
- c) Dokładna eksploracja statystyczna - równoległe wykorzystanie średnich, median, kwantyli 85 i odchyłeń standardowych ogranicza ryzyko przeoczenia efektów zależnych od rozkładu
- d) Otwarte przyznanie się do ograniczeń - Autorka sama wskazuje problemy z normalnością danych, małymi próbami w klasach 6 i 8 oraz ważny wpływ natężenia ruchu .

3.6. Kluczowe uwagi merytoryczne

Z naukowego punktu widzenia istotnym ograniczeniem pracy jest brak opracowania matematycznego modelu opisującego wpływ warunków atmosferycznych na prędkość pojazdów. Autorka przedstawiła procedurę analityczną i krok po kroku zaprezentowała sposób obróbki danych, ale nie sformułowała zależności matematycznych w postaci funkcji, równań lub modeli predykcyjnych. Tego rodzaju model miałby istotną wartość aplikacyjną, zwłaszcza w kontekście projektowania i zarządzania infrastrukturą transportową oraz w systemach wczesnego ostrzegania czy planowania ruchu drogowego.

Problem badawczy i cel pracy

Choć temat rozprawy dotyczący wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoków ruchu jest istotny praktycznie, to brakuje precyzyjnego uzasadnienia, dlaczego wybrano właśnie te trzy lokalizacje (A1, A4, A8). Brak tego uzasadnienia podważa reprezentatywność wyników dla całej sieci drogowej w Polsce.

Cel pracy określony jest dość szeroko („określenie wpływu warunków atmosferycznych”), ale w praktyce ogranicza się głównie do opisowej analizy statystycznej bez wniknięcia w mechanizmy przyczynowo-skutkowe (czyli, jakie mechanizmy fizyczne lub behawioralne powodują zmiany prędkości).

Metodologia badań

Kluczową słabością jest ograniczona reprezentatywność danych wejściowych, które obejmują tylko około 3% ogółu pojazdów (dane flotowe). W konsekwencji badanie może

być podatne na duże zniekształcenia związane z typem pojazdów, stylem jazdy kierowców flotowych oraz ich motywacjami biznesowymi (np. presja czasu).

Krytycznie należy ocenić zastosowanie parametrycznych testów ANOVA przy wyraźnym naruszeniu założeń o normalności rozkładu prędkości, co autorka sama przyznaje w tekście rozprawy. Powoduje to, że uzyskane wyniki statystyczne mogą być niepoprawne lub w najlepszym przypadku wątpliwe.

Dobór próbek po 100 obserwacji jest arbitralny i nieuzasadniony statystycznie, nie ma analizy wrażliwości na wielkość próbki, co istotnie wpływa na stabilność wyników.

Wartość aplikacyjna wyników

W praktyce transportowej największą wartość mają metody, które pozwalają na prognozowanie i zarządzanie ruchem. W pracy brakuje jednak jakiegokolwiek próby przełożenia wyników na modele predykcyjne czy narzędzia praktyczne (np. systemy ITS, VMS czy aplikacje mobilne). Pozostawienie wyników jedynie na poziomie opisowym mocno ogranicza praktyczną wartość rozprawy.

Autorka wskazuje na potencjalną przydatność wyników w zarządzaniu ruchem, jednak nie przedstawia nawet zarysu procedury integracji wyników z istniejącymi systemami zarządzania ruchem (KSZR).

Rozprawa, mimo ciekawego i praktycznie istotnego tematu, zawiera poważne luki metodologiczne, które mogą wpływać na jakość, wiarygodność oraz uniwersalność wyników. Szczególnie problematyczne są:

- a) ograniczona reprezentatywność danych (mała próba pojazdów flotowych),
- b) brak weryfikacji zgodności danych z zdanymi ze stacji SCPR,
- c) zastosowanie nieadekwatnych testów statystycznych (parametryczna ANOVA mimo braku spełnienia założeń),
- d) brak uwzględnienia ważnych zmiennych zakłócających,
- e) brak analizy błędów danych meteorologicznych,
- f) brak przełożenia wyników na modele predykcyjne.

Rekomenduje się uwzględnienie tych uwag w późniejszych publikacjach oraz w dalszych etapach badawczych.

4. Uwagi szczegółowe i pytania do rozprawy

4.1. Uwagi o charakterze merytorycznym i wątpliwości

Biorąc pod uwagę wątpliwości, które pojawiły się w trakcie przygotowywania niniejszej recenzji, poniżej zestawiono uwagi i pytania o charakterze merytorycznym, które – zdaniem recenzenta – wymagają doprecyzowania lub dodatkowego wyjaśnienia:

- a) **Ograniczona reprezentatywność danych wejściowych** stanowi kluczową słabość pracy. Dane obejmują jedynie około 3% ogółu pojazdów i dotyczą głównie flot komercyjnych. Czy wyniki analizy nie są zatem podatne na zniekształcenia wynikające z charakterystyki flotowych użytkowników dróg – takich jak typ pojazdu, styl jazdy, presja czasu czy motywacje biznesowe?
- b) **Dokładność danych meteorologicznych** budzi wątpliwości. Na ile dane pozyskane ze stacji meteorologicznych rzeczywiście odzwierciedlają lokalne warunki pogodowe – szczególnie te „odczuwalne”, o których pisze Autorka? Jakie jest ich rzeczywiste pokrycie przestrzenne względem analizowanych odcinków? Czy interwał godzinowy jest rzeczywiście wystarczający? W ciągu godziny obserwuje się często wielokrotne zmiany warunków atmosferycznych - od opadów (o różnej intensywności) po słoneczny dzień – czy zostało to uwzględnione?
- c) **Błąd pomiarowy stacji meteorologicznych** oraz jakość pozyskanych danych nie zostały ocenione. Czy zweryfikowano dokładność i rzetelność tych danych? Brak takiej oceny podważa wiarygodność wniosków dotyczących wpływu pogody. W pracy brakuje także analizy wpływu odległości pomiędzy stacjami pomiarowymi a analizowanymi lokalizacjami drogowymi.
- d) Czy **nie należałoby wprowadzić analizy wrażliwości wyników** na potencjalne błędy w danych meteorologicznych? Tego rodzaju podejście mogłoby znacząco zwiększyć wiarygodność wyników i uodpornić je na zakłócenia w danych wejściowych.
- e) **Dobór próbki 100 obserwacji** został przyjęty arbitralnie. Jakie jest jego uzasadnienie statystyczne? Czy nie należałoby przeanalizować wrażliwości wyników na wielkość próbki?
- f) Czy nie warto było **rozważyć przeprowadzenia badań terenowych** na wybranych poligonach badawczych? Pozwoliłoby to na weryfikację wyników i ich lepsze osadzenie w realiach drogowych.
- g) Czy istnieje możliwość **rozszerzenia analizy na inne typy dróg** (np. ekspresowe, krajowe, miejskie)? Czy na obecnym etapie pracy takie rozszerzenie byłoby możliwe technicznie i merytorycznie?
- h) Czy **rozważano integrację wyników z międzynarodowymi danymi porównawczymi**? Takie podejście mogłoby służyć ocenie uniwersalności zastosowanej metody i wskazaniu ewentualnych lokalnych uwarunkowań wpływu pogody na prędkość pojazdów.
- i) **Brakuje analizy efektów interakcyjnych** pomiędzy różnymi czynnikami atmosferycznymi. Wzajemne oddziaływanie np. opadów i temperatury może wpływać na zachowania kierowców w sposób nieliniowy i wymaga odrębnego potraktowania.

- j) Praca **ogranicza się do opisowej analizy spadków prędkości**, pomijając wpływ zmiennych zakłócających, takich jak pora dnia, natężenie ruchu czy inne kontekstowe czynniki behawioralne. Może to prowadzić do nadinterpretacji wyników przy pominięciu kluczowych zmiennych objaśniających.
- k) **Nie uwzględniono zmienności przestrzennej**. Wszystkie odcinki drogowe traktowane są jako jednorodne, co znacząco upraszcza rzeczywistość. Należałoby rozważyć wpływ lokalnych warunków geometrycznych drogi (łuki, spadki, warunki widoczności) na podatność prędkości na zmiany pogodowe.
- l) **Interpretacja wyników jest bardzo ogólna** i nie odwołuje się w wystarczającym stopniu do mechanizmów behawioralnych czy psychologicznych, o których mowa w przeglądzie literatury. Autorka przyjmuje bezpośredni związek między pogorszeniem pogody a spadkiem prędkości, jednak nie analizuje szczegółowo takich czynników, jak ograniczenia widoczności, komfort psychiczny kierowcy czy stan nawierzchni (np. mokrość, śliskość), które mogą istotnie wpływać na podejmowane decyzje o prędkości jazdy.

4.2. Uwagi o charakterze redakcyjnym

Przedstawiona do recenzji praca doktorska została napisana poprawnym językiem, jednak nie jest wolna od błędów stylistycznych, redakcyjnych i edycyjnych, które częściowo zostały wskazane poniżej:

- a) **Streszczenie w języku angielskim** wymaga korekty gramatycznej (np. wyrażenie „has appeared in the literature” należałoby zastąpić bardziej precyzyjnym „has been discussed in the literature”).
- b) **Niewłaściwe są nieprecyzyjne i potoczne sformułowania**, takie jak: „jednak rozkłady czynników zmiennej odpowiedzi ledwie przechodziły testy normalności” czy „oba przypadki odrzucenia hipotezy zerowej mają p-wartość wcale nie wyjątkowo małą”. Rozprawa doktorska powinna posługiwać się językiem precyzyjnym i zgodnym ze standardami publikacji naukowych wysokiej rangi.
- c) **Brakuje przypisów do literatury w kilku miejscach**, co jest niezgodne z zasadami pracy naukowej. Przykładowo, *Tabela 2.5. Przykładowe wyniki analiz wpływu opadów deszczu na prędkości w ruchu* opiera się na danych literaturowych, jednak brak jest jasnego przypisania do odpowiednich źródeł.
- d) **Rysunki 3.3 i 3.4 wymagają korekty graficznej**. Jako elementy kluczowego rozdziału dotyczącego metody określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów, powinny przedstawiać klarowny schemat blokowy metodologii, co obecnie nie zostało w pełni zrealizowane.
- e) **W tekście występują zbędne powtórzenia**, np. „użycie dostępnych, już istniejących danych źródłowych” – wystarczy jedno z określeń: „dostępnych” lub „już istniejących”. Podobnie, nie ma potrzeby pisać „średnia wartość wyliczona” – poprawnie: „średnia prędkość” lub „średni wzrost prędkości”.

- f) **Rozdział teoretyczny (Rozdział 2) jest zbyt obszerny** i zawiera wiele informacji podręcznikowych z zakresu meteorologii, które nie znajdują bezpośredniego zastosowania w dalszych analizach. Zaleca się jego skrócenie i ograniczenie do treści mających bezpośrednie odniesienie do problematyki badawczej.
- g) **Wizualizacje wyników (boxploty, histogramy)** są liczne, jednak często trudno czytelne – zwłaszcza w wersji drukowanej. Warto rozważyć ich uproszczenie graficzne lub przedstawienie wyników w bardziej zagregowanej i przejrzystej formie.
- h) **W tekście występują również pojedyncze błędy językowe i interpunkcyjne**, np.:
- „dokładnej odpowiedzi jakiej wielkości jest ten wpływ.” → „dokładnej odpowiedzi, jakiej wielkości jest ten wpływ.”
 - „zachowana była ciągłość organizacji ruchu Jako źródło...” – brak przecinka lub kropki po „ruchu”,
 - „Niniejsza rozprawa jest pierwszym w Polsce badaniem...” → poprawnie: „pierwszą w Polsce rozprawą”,
 - „postępując się pakietem statystycznym R obliczono statystyki” → poprawnie: „postępując się pakietem statystycznym R, obliczono statystyki”,
 - „Drugie z zastosowanych zbiorów” – forma liczby mnogiej „zbiorów” sugeruje potrzebę korekty: „Drugim z zastosowanych zbiorów danych...”.

Powyższe uwagi i zastrzeżenia mają w większości istotny charakter i wpływają na jakość niniejszej rozprawy doktorskiej. Ich uwzględnienie może znacząco podnieść poziom pracy i wpłynąć pozytywnie na jej dalsze wykorzystanie, np. w formie publikacji naukowych.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została wykonana na akceptowalnym poziomie merytorycznym i spełnia w stopniu minimalnym wymagania stawiane pracom doktorskim. Wyznaczone przez mgr. inż. Dominikę Sławik cele rozprawy, mające walory naukowe, zostały częściowo osiągnięte. Cel pracy określony jest dość szeroko - „określenie wpływu warunków atmosferycznych”, ale w praktyce ogranicza się głównie do opisowej analizy statystycznej bez wniknięcia w mechanizmy przyczynowo-skutkowe - czyli, jakie mechanizmy fizyczne lub behawioralne powodują zmiany prędkości. Całość rozprawy doktorskiej dotyczy niewątpliwie ważnego problemu naukowego, ale nie został on w pełni rozwiązany przez Autora. Niewątpliwie jednak rozprawa ma bardzo duży potencjał do dalszych prac i przyszłych aplikacji do celów praktycznych.

Rozprawa mgr. inż. Dominiki Sławik pt.: „**Metoda określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów z uwzględnieniem fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów**” w minimalnym stopniu spełnia warunki określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 z późn. zm) oraz uwzględniając art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.) **wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej o jej przyjęcie i dopuszczenie Pani mgr inż. Dominiki Sławik do publicznej obrony.**

dr hab. inż. Jacek Chmielewski. prof. PK