

Szczecin, 11.01.2025 r.

dr hab. inż. Paweł Zalewski, prof. PM  
Wydział Nawigacyjny  
Politechnika Morska w Szczecinie

## 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”**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport na Politechnice Warszawskiej z dnia 06.11.2024 r. (WTBD.521.DR.141.2024), nadesłane 18.11.2024 r., oraz uchwała nr 1025/2024 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport na Politechnice Warszawskiej z dnia 05.11.2024 r. w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy doktorskiej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora Pani mgr inż. Dominice Sławik.

### 1. Tematyka, cel i zakres rozprawy

Przedmiotem rozprawy Pani mgr inż. Dominiki Sławik jest określanie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów. Problematyka wpływu warunków meteorologicznych na ruch samochodowy rozważana jest w badaniach światowych od przynajmniej połowy XX wieku, o czym Autorka wspomina w rozprawie już we wprowadzeniu na str. 13. W przypadku modeli ruchu drogowego odzwierciedlających zależności pomiędzy takimi parametrami jak prędkość, natężenie i gęstość pojazdów uznaje się, że pierwszym był model Greenshields'a z 1935 r., a współcześnie stosuje się zazwyczaj zmodyfikowany model van Aerde z 1995 r. (wykorzystywany w amerykańskiej metodzie HCM i niemieckiej HBS), do którego także odwołuje się Autorka. Można postawić pytanie, czy określanie lub modelowanie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów jest współcześnie problemem dysertabilnym? W mojej opinii tak, jeżeli jego rozwiązanie doprowadzi do bardziej wiarygodnych niż dotychczas wyników w konkretnym systemie drogowym (np. charakteryzowanym przekrojem drogi, oznakowaniem, oświetleniem, zabudową, lokalizacją geograficzną itp.), a równocześnie kompleksowość modelu i możliwość pozyskiwania danych wejściowych pozwoli na jego uniwersalne zastosowanie także do innych dróg niż analizowane w rozprawie.

Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w rozważaną na poziomie światowym naukową problematykę związaną z inżynierią ruchu drogowego w ramach dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport. Analiza dotychczasowego piśmiennictwa Autorki niniejszej rozprawy wskazuje, że przedstawiona do oceny dysertacja jest wynikiem kilkuletnich poszukiwań badawczych Doktorantki rozpoczętych w 2020 r. współautorską publikacją z Promotorem: Jarmuż, D., Chmiel, J., 2020. *A review of approaches to the study of weather's impact on road traffic parameters*. *Transport Problems* 15 (4/2), 241-251 (pod nazwiskiem panięńskim).

Teza badawcza, którą zweryfikowała w rozprawie Autorka, brzmi: „Dostępne dane meteorologiczne oraz z sondowania pojazdów umożliwiają zbadanie wpływu warunków



atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów.”, natomiast zagadnienia naukowe, którymi zajęła się Autorka, można odnaleźć w hipotezach na str. 16. Tymi zagadnieniami są:

- 1) metoda fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów – hipoteza „*Można przeprowadzić fuzję danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów*”;
- 2) klasyfikacja warunków atmosferycznych dla dostępnych danych meteorologicznych,
- 3) badanie wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów.

W pracy nie sprecyzowano wprost problemów badawczych, jednakże można je zidentyfikować, na podstawie tematu, celów i zakresu rozprawy. Problem badawczy powinien nawiązywać do czterech elementów: 1) czynnika, którego wpływ badamy, 2) obiektu, którego reakcję na czynnik chcemy zaobserwować, 3) procesu oddziaływania czynnika na obiekt, 4) wpływu działania czynnika na proces dotyczący obiektu. Problem badawczy powinien więc być pytaniem postawionym w celu dowiedzenia się jak dany czynnik działa lub jaki ma wpływ na obiekt badań. Zdefiniowanym obiektem badań Doktorantki jest potok pojazdów samochodowych na autostradzie opisany takimi parametrami jak prędkość, gęstość i natężenie ruchu pojazdów, a procesem dotyczącym obiektu jest pokonanie określonego odcinka autostrady, na który to proces wpływ mają różnorodne warunki atmosferyczne (czynniki). Dlatego problemy badawcze powinny być według mnie sformułowane następująco:

- 1) *Jakie warunki atmosferyczne wpływają istotnie na parametry ruchu drogowego?*
- 2) *Jakie miary wpływu warunków atmosferycznych na prędkości potoku pojazdów powinny być stosowane?*
- 3) *Jaką wiarygodnością cechuje się model określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów?*

Zacytowana pierwsza hipoteza o możliwości przeprowadzenia fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów, aby mogła podlegać walidacji, również powinna być zapisana odmiennie. Przy jej dotychczasowej formule Autorce można postawić zarzut niemożności falsyfikacji postawionej hipotezy. Dokonanie fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów jest w aktualnym stanie wiedzy zdarzeniem niemalże pewnym, problem natomiast leży w wiarygodności i uniwersalności zbudowanego modelu wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów oraz w wiarygodności danych z sondowania pojazdów w stosunku do ewentualnych danych uzyskiwanych z pomiarów bezpośrednich w ramach generalnego pomiaru ruchu (GPR) oraz funkcjonujących od 2015 r. odcinkowych i punktowych pomiarów prędkości w ramach systemu CANARD (Centrum Automatycznego Nadzoru nad Ruchem Drogowym).

Cel rozprawy (str. 14) określony jako „*sformułowanie i zweryfikowanie takiej metody, która umożliwi wykorzystywanie nowych źródeł danych (big data z sondowań pojazdów) i przeprowadzenie ich fuzji z danymi meteorologicznymi*” został ustalony prawidłowo. Jest oryginalny i nietrywialny oraz wskazuje obszar i metodykę badawczą. Dostrzegam jednakże brak uzasadnienia i powołania źródłowego w przypadku arbitralnych stwierdzeń dyskredytujących tzw. klasyczne metody pomiarów ruchu drogowego w stosunku do metody sondowania pojazdów opartej na danych pozyskiwanych z samochodowych i osobistych aplikacji nawigacyjnych wykorzystujących system GPS (globalny system pozycjonowania / nawigacji satelitarnej). Autorka stwierdza, że barierą dla wykonania badań w szerokiej skali są dotychczas stosowane metody, bardzo wysoki koszt użycia klasycznych metod pomiarów ruchu drogowego oraz niedostateczne zasoby potrzebnej infrastruktury pomiarowej. Nie odnosi się jednakże po pierwsze do możliwości pozyskania danych i wielkości infrastruktury użytkowanej przykładowo w ramach systemu CANARD, złożonej w 2024 r. z 471 fotoradarów i 70 urządzeń do odcinkowego pomiaru prędkości oraz 33 pojazdów z mobilnymi urządzeniami rejestrującymi prędkość chwilową pojazdów, po drugie do przenoszenia (propagacji) błędów pomiarowych danych pozyskiwanych z systemu monitorowania flot pojazdów oraz z osobistych systemów nawigacyjnych przez czeską firmę CE-Traffic (tzw. danych z sondowania



pojazdów) – na uzyskane statystyki prędkości w przyjętych klasach warunków atmosferycznych. Autorka powołuje się jedynie na publikację z 2018 r. (Olszewski et al., *Assessing Highway Travel Time Reliability using Probe Vehicle Data, Journal of Transportation Research Record*) i ustalony 6 lat temu błąd średniokwadratowy dla danych z sondowania pojazdów o wielkości 5,5% dla interwału pomiarowego 1 godziny w porównaniu z wynikami manualnego pomiaru czasu przejazdu.

Kolejność realizacji zagadnień badawczych wynikających z celu pracy badawczej, wnioskowanie przyczynowo-skutkowe oraz powiązanie zagadnień kluczowych i drugorzędnych nie budzi większych wątpliwości.

Rozprawa ma charakter doświadczalny, a uzyskane wyniki są rezultatem badań rzeczywistych. Wyniki te można uznać za miarodajne dla dwunastu wybranych odcinków pomiarowych polskich autostrad, jednakże niekoniecznie dla innych odcinków prostych autostrad, gdyż cytując za Autorką, mimo iż do badań wytypowano fragmenty autostrad o takiej samej charakterystyce oraz budowie sugerującej identyczne możliwości przemieszczania się dla kierowców, to widoczne są w wynikach rozbieżności między poszczególnymi trasami w analogicznych warunkach meteorologicznych.

Oceniając zasadność podjęcia tematu uważam, że odpowiada on aktualnie realizowanej w świecie problematyce badawczej w zakresie inżynierii ruchu drogowego. Wyniki rozprawy, poza znaczeniem naukowym mogą znaleźć zastosowanie również w realizacjach praktycznych, co stanowi o użytecznym charakterze prowadzonych dociekań.

## 2. Struktura formalna rozprawy

Recenzowana rozprawa obejmuje 197 stron, 10 map, 86 rysunków, 49 tabel i literaturę liczącą 157 pozycji, w tym 5 aktów prawnych, 100 publikacji (w tym 2 współautorskie z Promotorem), 10 materiałów konferencyjnych oraz 42 źródła internetowe. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Jerzy Chmiel, promotorem pomocniczym dr inż. Tomasz Dybicz.

Rozprawa obejmuje tekst zasadniczy, spisy oraz wykazy. Do rozprawy dołączono streszczenia w j. polskim i angielskim. Treść rozprawy zawarta jest w pięciu rozdziałach merytorycznych poprzedzonych *Wstępem*, oznaczonym jako rozdział pierwszy, który wraz z rozdziałem drugim zawiera opis genezy problematyki badawczej. Rozprawę kończą *Podsumowanie i wnioski*, oznaczone jako rozdział siódmy, będące konkluzją przeprowadzonych w pracy rozważań i analiz.

Przyjęty układ pracy jest właściwy, a kolejne rozdziały stanowią logiczne rozwinięcie głównego wątku dysertacji. Treść rozdziałów jest zgodna z nadanymi im tytułami, natomiast mankamentem recenzowanej pracy jest brak jakiegokolwiek wprowadzenia w treść po tytułach głównych rozdziałów oraz niektórych podrozdziałów (np. 2. Wprowadzenie w tematykę pracy 2.1. Ruch drogowy 2.1.1. Inteligentne Systemy Transportowe) utrudniające jej czytanie i szybkie zapoznanie się z zagadnieniami poruszonymi w rozdziałach.

Konkludując, stwierdzam jednakże, że struktura formalna rozprawy nie budzi istotnych zastrzeżeń.

## 3. Ocena merytoryczna rozprawy

Praca jest ściśle związana z problematyką badawczą dyscypliny naukowej „inżynieria lądowa, geodezja i transport” obejmującą między innymi inżynierię ruchu i geoinformację w systemach transportowych. Przedstawione w pracy badania dotyczą zagadnień związanych z analizą danych przestrzennych będących źródłem geoinformacji, a w szczególności obejmują:

- 1) analizę statystyczną danych pochodzących z sondowania pojazdów w fuzji z danymi meteorologicznymi,
- 2) identyfikację potencjalnie sprzyjających i niesprzyjających warunków meteorologicznych dla badanego układu drogowego,
- 3) ustaleniem istotności wpływu poszczególnych czynników meteorologicznych na prędkość pojazdów lekkich i ciężkich dla badanego układu drogowego.

Do osiągnięć naukowych mgr inż. Dominiki Sławik w obszarze tematyki rozprawy zaliczam:

- 1) opracowanie metody fuzji danych z sondowań pojazdów (w formacie ITS Datex II xml) z danymi meteorologicznymi pozyskanymi z zasobów IMGW oraz amerykańskiego serwisu WU (Weather Underground) i zaprojektowanie odpowiednich skryptów przetwarzania i analizy danych w środowisku Python,
- 2) ustalenie statystycznej istotności wpływu wytypowanych 8 klas niesprzyjających warunków meteorologicznych (mały opad deszczu, duży opad deszczu, mały opad śniegu, duży opad śniegu, bardzo słaba widzialność, występowanie pokrywy śnieżnej, temperatura bliska 0°C, silny wiatr) na prędkość pojazdów lekkich ( $\leq 3,5t$ ) i ciężkich ( $> 3,5t$ ) w stosunku do warunków sprzyjających według schematu przedstawionego na rys. 3.4 (proces określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów),
- 3) określenie wielkości miar wpływu warunków atmosferycznych na prędkość pojazdów.

Rozdziały trzeci, czwarty, piąty i szósty stanowią indywidualny wkład Doktorantki w tym zakresie. Należy także podkreślić jej dużą umiejętność posługiwania się aparatem statystycznym.

Uznaję, że tematyka rozprawy doktorskiej jest nośna i przyszłościowa, nieopisana wcześniej w wyczerpujący sposób w literaturze światowej, a treść rozprawy nie budzi poważnych zastrzeżeń merytorycznych, poza mniej istotnymi wskazanymi w p. 1 recenzji i uwagach szczegółowych.

#### 4. Uwagi szczegółowe

Niezależnie od wymienionych w punkcie pierwszym i drugim recenzji ogólnych uwag do pracy mam jednakże również kilka uwag szczegółowych:

- 1) Str. 54: W przypisie 10 występuje odwołanie do ograniczenia prędkości na autostradach dla pojazdów lekkich i ciężkich według Dz. U. z 2023 r., poz. 1047, art. 20, pkt 3, wynoszące odpowiednio 140 km/h i 80 km/h. W badaniach wykorzystano jednakże dane z lat 2014-2017, czyli powołanie powinno dotyczyć stanu prawnego z lat 2014-2017. Dodatkowo Autorka wskazuje, w przypisie na str. 25, że do pojazdów ciężkich zalicza się pojazdy ciężarowe bez przyczep i z przyczepami/naczepami, autobusy oraz ciągniki rolnicze. Autorka nie wskazuje jednakże, że dla wielu autobusów, jeżeli były one zaliczone do pojazdów ciężkich, obowiązuje i obowiązywało inne ograniczenie prędkości – 100 km/h. Czy w związku z tym autobusy spełniające dodatkowe warunki techniczne określone w przepisach nie powinny być zaliczone do kategorii pojazdów innej niż lekkie i ciężkie?
- 2) Str. 56, 57 i 72: Usłonecznienie – to według słownika pojęć AGROMETEO IMGW oraz GUS liczba godzin w określonym przedziale czasu (dniu, miesiącu, roku), w którym do powierzchni Ziemi w danym punkcie dochodziło bezpośrednie promieniowanie słoneczne (wyrażane np. w h na dzień), natomiast nasłonecznienie jest wielkością opisującą ilość energii słonecznej przypadającej na powierzchnię w danym okresie czasu - najczęściej wyrażane jest w kWh/m<sup>2</sup> na rok. Proszę o wyjaśnienie wielkości usłonecznienia rzędu 0,33 – nie podano jednostki, należy uznać, że jest nią h/h.



- 3) Str. 68: Jednym z elementów procesu określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów (nazywanego przez Doktorantkę modelem) jest ustalenie prędkości przejazdów na odcinkach pomiarowych. Podzielenie przejazdów na osobne podróże występuje, gdy różnica odczytu pomiędzy kolejnymi „sygnałami” to odpowiednio: czas > 4 min., odległość > 5 km, Proszę o wyjaśnienie pojęcia sygnał. Czy Autorka ma na myśli odbiór danych z sondowań tego samego pojazdu, czy różnych pojazdów?
- 4) Str. 163: Autorka podkreśla, iż pomimo, że do badań wytypowano fragmenty autostrad o takiej samej charakterystyce oraz budowie sugerującej identyczne możliwości przemieszczania się dla kierowców, to widoczne są w wynikach rozbieżności między poszczególnymi trasami w analogicznych warunkach meteorologicznych. Brakuje jednak w pracy naukowej próby uzasadnienia tego twierdzenia. Można postawić tezę, że przyczynami rozbieżności pomiędzy statystykami z poszczególnych badanych odcinków dróg są nieuwjęte w dokonanej analizie czynniki: zależne od auta i kierowcy (badania transportu drogowego wskazują np. na statystyczną korelację prędkości pojazdu z wiekiem i płcią kierowcy) i niezależne. Wśród czynników niezależnych, w mojej opinii, przede wszystkim należałoby uwzględnić natężenie i gęstość ruchu. Co prawda Autorka wykonuje analizę z wykorzystaniem danych pomocniczych, które miały na celu zniwelowanie wpływu czynników innych niż meteorologiczne na wyniki, a w szczególności usuwa z obserwacji dni, w których na segmentach pomiarowych notowano zdarzenia ogłaszane przez GDDKiA oraz dni świąteczne i weekendy w celu zniwelowania wpływu zmian w natężeniu oraz charakterze ruchu. Nie bierze jednak pod uwagę różnych natężeń ruchu na różnych autostradach i gęstości ruchu na badanych odcinkach. Przedstawione w rozdziale 5.1.4. liczebności prób pomiarowych istotnie różnią się dla segmentów 11 i 13 (autostrada A1) od pozostałych segmentów. Czy na podstawie zarejestrowanych danych Autorka mogła oszacować gęstości ruchu pojazdów lekkich i ciężkich oraz całościową gęstość ruchu w odpowiednich próbach pomiarowych? Czy można wysnuć wniosek, że gęstość ruchu na odcinkach 11 i 13 była istotnie mniejsza od pozostałych? Czy według Autorki mógł występować wpływ gęstości ruchu pojazdów ciężkich na prędkość pojazdów lekkich?

W pracy poza paroma „literówkami” nie występują praktycznie błędy o charakterze językowo-edytorskim.

## 5. Pytania do Autorki

Podczas publicznej obrony proszę Doktorantkę o ustosunkowanie się i odpowiedź na następujące pytania:

- 1) Proszę o zajęcie stanowiska w kwestii uwag dotyczących problemów badawczych i hipotezy rozprawy.
- 2) Proszę o skomentowanie możliwości pozyskania danych odpowiadających danym z sondowań pojazdów z systemu CANARD.
- 3) Czy wiarygodność danych z sondowania pojazdów została uwzględniona w wyliczonych statystykach? W jakim stopniu, ze względu na przeniesienie błędu mierzonej prędkości, wpływa ona na wyliczone statystyki, czyli jaką wiarygodnością cechuje się zbudowany model?

- 4) Czy autobusy spełniające dodatkowe warunki techniczne określone w przepisach nie powinny być zaliczone do kategorii pojazdów innej niż lekkie i ciężkie?
- 5) Jaką przyjęto jednostkę miary usłonecznienia?
- 6) Czy Autorka używając pojęcie sygnał ma na myśli odbiór danych z sondowań tego samego pojazdu, czy różnych pojazdów?
- 7) Czy na podstawie zarejestrowanych danych Autorka mogła oszacować gęstości ruchu pojazdów lekkich i ciężkich oraz całościową gęstość ruchu w odpowiednich próbach pomiarowych?
- 8) Czy można wysnuć wniosek, że gęstość ruchu na odcinkach 11 i 13 była istotnie mniejsza od pozostałych?
- 9) Czy według Autorki mógł występować wpływ gęstości ruchu pojazdów ciężkich na prędkość pojazdów lekkich?

## 6. Wnioski końcowe

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Dominiki Sławik dotyczy ważnego zarówno poznawczo, jak i aplikacyjnie problemu oraz stanowi wartościowe osiągnięcie Autorki. Zagadnienie naukowe rozpatrzone w rozprawie zostało dostatecznie jasno sformułowane. W pracy przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań). Wnioski sformułowano w sposób jasny i wystarczająco przekonywujący. Doktorantka zweryfikowała postawione hipotezy używając do tego właściwych metod i przyjmując uzasadnione założenia. Opracowanie metody fuzji danych z sondowań pojazdów oraz ustalenie statystycznej istotności wpływu wytypowanych 8 klas niesprzyjających warunków meteorologicznych na prędkość potoku pojazdów stanowią samodzielny dorobek badawczy Autorki. Jest to oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej, będące wkładem mgr inż. Dominiki Sławik w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport. Rozprawę należy usytuować na pozycji odpowiadającej stanowi wiedzy i poziomowi techniki reprezentowanych w literaturze światowej, zaś stopień realizacji celu uzasadnia stwierdzenie, że Doktorantka posiada w wystarczającym stopniu wiedzę teoretyczną, zdolności koncepcyjne oraz umiejętności niezbędne do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

W związku z powyższym, pomimo zamieszczonych uwag, uważam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Dominiki Sławik pt. „Metoda określania wpływu warunków atmosferycznych na prędkość potoku pojazdów z uwzględnieniem fuzji danych meteorologicznych i z sondowania pojazdów” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport określone na podstawie Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024 poz. 1571, tekst jednolity) i wnoszę o przyjęcie jej przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Warszawskiej oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

Paweł Zelenko