

dr hab. inż. Grzegorz Sierpiński, prof. PŚ
Katedra Systemów Transportowych,
Inżynierii Ruchu i Logistyki
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej
Politechnika Śląska

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Zawodnego
pod tytułem
„Metoda agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i
struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych”

1. Podstawa opracowania

Recenzję rozprawy doktorskiej wykonano na podstawie pisma W2-AD-ZEK.4110.8.2026 z dnia 14 maja 2026 prof. dr hab. inż. Wojciecha Puła, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej.

Rozprawę doktorską wraz z dokumentacją otrzymałem w dniu 28 maja 2026.

2. Ocena układu rozprawy

Tytuł przedstawionej do oceny rozprawy mgr inż. Michała Zawodnego brzmi: „Metoda agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych”. Promotorem był dr hab. inż. Maciej Kruszyna, profesor uczelni.

Rozprawa liczy 157 stron i składa się z ośmiu rozdziałów, wykazu skrótów i oznaczeń, spisu rysunków, spisu tabel, bibliografii, streszczenia oraz dwunastu załączników.

W pierwszych dwóch rozdziałach znalazło się wprowadzenie do zagadnienia oraz określenie stanu badań w zakresie modelowania podróży. Autor dokonując przeglądu

literatury przedstawił także różne formy kolekcjonowania danych, a tym samym możliwe źródła danych typu Big Data. Następnie zidentyfikował lukę badawczą i uzasadnił wybór tematu. W rozdziale trzecim Autor określił cele i tezy badawcze oraz zdefiniował układ pracy. Rozdział czwarty zawiera tytułową autorską metodę agregacji danych oraz szacowanie wartości współczynników przeliczeniowych oparte na literaturze. Kolejny rozdział stanowi realizację drugiego z celów, czyli opracowanie metody symulacji ośrodka miejskiego. W rozdziale znalazły się także opisy przygotowania macierzy podróży pochodzących z różnych źródeł. Rozdziały 6 i 7 dotyczą kolejno walidacji metody i dyskusji wyników. Przedstawiono tam różne warianty łączenia macierzy podróży wraz z porównaniem wyników pochodzących z autorskiej metody agregacji oraz modelu symulacji ośrodka miejskiego. Ostatni rozdział stanowi określenie realizacji celów oraz kierunki dalszych badań, w ramach których Autor wskazał możliwości dalszej rozbudowy metody agregacji oraz zastosowania jej dla rzeczywistego ośrodka miejskiego.

Układ pracy oceniam jako czytelny i uporządkowany.

Spis cytowanej w rozprawie literatury zawiera 175 pozycji, w tym odwołanie do 12 stron internetowych. Układ alfabetyczny.

Wykonana przez Autora analiza literatury oraz sprawne operowanie pojęciami z zakresu budowy modeli transportowych, w tym modelu czterostadiowego, wskazuje, że **Autor posiada dobrą ogólną wiedzę teoretyczną.**

3. Ocena założeń i procesu badawczego

Doktorant w rozprawie wykazał celowość podjęcia wskazanego tematu. Modelowanie podróży stanowi, a przynajmniej powinno stanowić, jeden z filarów planowania rozwoju współczesnych miast, w szczególności dostosowania elementów systemu transportowego do zmieniających się potrzeb, prowadząc do poprawy dostępności, bezpieczeństwa i dbałości o środowisko. Współczesna urbanistyka, dążąca do optymalizacji funkcjonalności systemów miejskich, wymaga precyzyjnego osadzenia procesów decyzyjnych w rzetelnej analizie ilościowej, której podstawę stanowi właśnie modelowanie podróży. Instrumenty te stanowią zaawansowane narzędzia diagnostyczne, pozwalając na symulację złożonych interakcji zachodzących między strukturą przestrzenną, a zachowaniami komunikacyjnymi

mieszkańców. Wprowadzenie zaawansowanych modeli, w tym modelu czterostadiowego umożliwia dekompozycję popytu transportowego na poziomie jednostkowym, co znacząco podnosi trafność prognoz.

Kluczowym elementem i wyzwaniem stojącym przed osobą budującą model jest pozyskanie rzetelnych danych. Jak Autor zauważył badania ankietowe, stanowiące dawniej główne źródło danych, stają się niewystarczające. Dodatkowo ich pozyskanie jest utrudnione z uwagi na niechęć społeczną do procesów ankietyzacji wywołaną m. in. przez liczne badania marketingowe. Rozwój technologiczny spowodował możliwość kolekcjonowania danych z wykorzystaniem różnych rozwiązań stanowiących stały monitoring miejski. Powoduje to powstanie dużych zbiorów danych, które archiwizowane są w wielu jednostkach, a ich wykorzystanie może być niezwykle cenne, jako uzupełnienie lub zastąpienie tradycyjnych metod. Często jednak takie źródła danych mają ograniczenia przestrzenne lub dotyczą tylko wybranego sposobu podróży. Problemem niezwykle ważnym staje się zatem sposób, w jaki można agregować dane z wielu dużych zbiorów (tzw. Big Data), uwzględniając ich ograniczenia, ale jednocześnie wykorzystując je do budowy pełnego obrazu podróży w mieście.

Założenia badawcze wynikają z przyjętych celów: „stworzenie metody agregacji danych ze zróżnicowanych źródeł Big Data w celu umożliwienia implementacji do modeli transportowych”, oraz „tworzenie metody polegającej na zasymulowaniu realistycznego (pod kątem rozkładu podróży) ośrodka miejskiego”.

W rozprawie znalazły się też dwie tezy badawcze:

1. „Wykorzystanie źródeł Big Data w modelowaniu podróży pozwala uzyskać dokładniejsze wyniki”.
2. „Wartościowe jest łączenie wielu źródeł Big Data, ponieważ pozwala to uzyskać efekt synergiczny w uzupełnianiu brakujących lub eliminacji nieprawidłowych danych”.

Autor w rozprawie doktorskiej zastosował poprawny proces badawczy, na który złożyły się m. in. następujące elementy: przegląd literatury oraz identyfikacja źródeł Big Data możliwych do zastosowania w modelowaniu podróży, sformułowanie problemu badawczego, opracowanie metody agregacji danych, opracowanie na potrzeby walidacji metody symulacji ośrodka miejskiego, realizacja przykładu obliczeniowego i walidacja metody agregacji w

różnych wariantach wraz z wykonaniem obliczeń i interpretacja wyników. Obliczeniom towarzyszyło wykorzystanie metod statystycznych oraz narzędzia PTV VISUM.

Zarówno założenia, jak i przyjęty proces badawczy należy ocenić, jako poprawne. Uwzględniając realizację kolejno postawionych celów, co zostało przedstawione w pracy, stwierdzam, że **rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej Autora.**

4. Oryginalność rozprawy i ujęcie praktyczne

W mojej opinii na oryginalną wartość rozprawy doktorskiej składa się kilka elementów, w tym m. in.: identyfikacja możliwych do wykorzystania w modelowaniu podróży źródeł danych, opracowanie metody agregacji danych ze źródeł Big Data (stanowiące główny cel rozprawy) i opracowanie metody symulacji ośrodka miejskiego na cele modelowania podróży (drugi cel rozprawy). Istotny jest także przeprowadzony proces walidacji metody dla kilku wariantów łączenia źródeł danych.

Praktyczny wymiar rozprawy to przede wszystkim możliwość wykorzystania opracowanej metody przez podmioty bezpośrednio związane z opisanym problemem, w tym władze miast i zarządców dróg miejskich. Jak sam Autor zauważył, metoda jest elastyczna z uwagi na zastosowanie współczynników przeliczeniowych i w przyszłości możliwość dodania wag, a także możliwość agregacji jedynie takich źródeł, które okażą się najpełniejsze w dane. Sam Autor wyraził chęć dalszego rozwoju metody i przetestowania jej na rzeczywistym ośrodku miejskim, gdy tylko takie dane będą dostępne.

Biorąc pod uwagę opracowaną metodę, przeprowadzone analizy i zrealizowane badania bez wątplenia **recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.**

5. Uwagi do treści rozprawy

Przedstawione poniżej uwagi oraz pytania nie zmieniają pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej. Mają jedynie stanowić wskazówki dla Autora w przypadku przyszłych badań w tym zakresie.

Pytania i uwagi do Autora rozprawy:

1. Na stronie 34 Autor przedstawił tezy pracy. Pierwsza teza brzmi: „Wykorzystanie źródeł Big Data w modelowaniu podróży pozwala uzyskać dokładniejsze wyniki”. Należałoby rozwinąć to zdanie dodając „niż....” i wskazując od jakiego innego podejścia te wyniki są dokładniejsze. Z zapisów na stronach 117 i 121 wynika, że wyniki najbliższe do macierzy pochodzącej z modelu symulacyjnego ośrodka miejskiego miał wariant 1, czyli wykorzystanie konkretnej listy źródeł, wytypowanych przez Autora na początku rozprawy (wszystkich dziewięciu). Może zatem wskazane byłoby zmodyfikowanie tezy, uściślając listę źródeł?
2. Wariant 9 został wytypowany poprzez wybór źródeł, które dały najlepsze rezultaty w poprzednich wariantach dla przykładu obliczeniowego. Czy dla każdego zastosowania metody w przyszłości ten sam zestaw źródeł znalazłby się w wariantcie 9?
3. Autor w ramach pracy badawczej wybrał zastosowanie oprogramowania PTV VISUM. Czy poza powszechnym jego zastosowaniem przy innych modelach (o czym Autor wspomina na stronie 12) były też inne powody takiego wyboru?
4. Na stronie 37 Autor przedstawił wzór 4.1, jako podstawowy wzór umożliwiający agregację danych z różnych źródeł. W mianowniku znalazła się cyfra 9. Wzór ma zastosowanie jedynie, gdy uwzględnione zostaną wszystkie wybrane przez Autora źródła. Opcja bardziej elastycznego zapisu, gdzie uwzględniono możliwość korzystania z wybranych źródeł znalazła się na stronie 39. Chociaż Autor wykazał w rozprawie, że dla zastosowanego przykładu obliczeniowego wartości najbliższe macierzy pochodzącej z modelu symulacyjnego ośrodka miejskiego miał wariant z wykorzystaniem wszystkich źródeł, z uwagi na ograniczenia w dostępie do tak dużej liczby źródeł dla wybranego obszaru, oraz możliwe powstanie innych źródeł Big Data w przyszłości, warto przyjąć jako wzór uniwersalny ten bardziej elastyczny (str. 39).
5. W rozdziale 4.2 Autor oszacował wartości współczynników przeliczeniowych dla poszczególnych źródeł na podstawie literatury. Warto w przyszłości zastanowić się nad opracowaniem formalnego opisu metody szacowania wartości tych współczynników.

6. Rozdział 5.1. zawiera założenia dotyczące symulacji ośrodka miejskiego. Skąd wynikają założone przez Autora wartości służące do generowania liczby mieszkańców (S i Z)?
7. Nawiązując jeszcze do rozdziału 5.1 – na jakiej podstawie przyjęto wartości współczynników ruchliwości, a także atrakcyjności rejonów?
8. Czy symulowana sieć transportowa (str. 54) ma odpowiednik w rzeczywistości, czy została zaprojektowana tylko na potrzeby tego przykładu obliczeniowego?
9. Na stronie 56 Autor napisał: „Po wprowadzeniu zasymulowanej macierzy podróży przeliczono model”. Proszę podać więcej szczegółów.
10. W rozdziale 5.3 Autor przetwarza dostępne dane na potrzeby wykorzystania w przykładzie obliczeniowym. Czy wartości podróży między konkretnymi typami rejonów np. centrum – obszar podmiejski) przyjęto jednakowe, czy z konkretnego zakresu i dlaczego?
11. Dane do walidacji pochodzące z różnych źródeł dotyczyły pierwotnie różnych miast. Dlaczego ich wykorzystanie po przetworzeniu przez Autora na potrzeby jednego symulowanego ośrodka miejskiego jest zasadne?
12. Czy wszystkie zbiory danych, które Autor wykorzystał w rozprawie były pierwotnie w postaci macierzy, czy Autor przetwarzał je do takiej postaci?
13. Na rysunkach z modelem miasta i sieci transportowej zabrakło skali. Byłoby to przydatne dla czytelnika, gdy Autor pisze np. o generacji podróży UTO wykorzystując zależność od odległości.
14. Część ze źródeł danych, jakie Autor wykorzystał w przykładzie obliczeniowym zawiera braki. Jak Autor ocenia – czy gdyby do analiz w przyszłości wziąć dane z podobnego źródła, ale bez tylu braków, to użyteczność takiego źródła pod kątem szacowania liczby podróży byłaby wyższa?
15. Ostatnie zdanie podsumowania (str. 118) brzmi: „Na bazie dostępnych danych i symulowanego charakteru ośrodka uzyskano jednak najbliższy rezultat do modelu bazowego, co potwierdza tezę rozprawy”. Proszę o szersze wyjaśnienie stwierdzenia „najbliższy rezultat”.
16. Na stronie 14 Autor podał jeden przykład rozprawy doktorskiej o modelowaniu ruchu. Dlaczego podano akurat ten przykład?

17. W tytule podrozdziału 6.2.1 zabrakło określenia „Wariant 1”, co stanowiłoby konsekwencję wobec kolejnych podrozdziałów.
18. Brak akronimu NFC (str. 15) w spisie skrótów na początku rozprawy.
19. Rozprawa napisana jest poprawnym językiem. Stwierdzono bardzo nieliczne błędy językowe, które w żaden sposób nie wpływają na pozytywną ocenę rozprawy. Tekst jest zwarty, układ klarowny, a Autor prowadzi czytelnika w sposób płynny przez kolejne rozdziały.
20. Przy niektórych pozycjach literaturowych brak danych bibliograficznych.
21. Ponieważ część z wybranych przez Autora źródeł danych jest dedykowana konkretnemu środkowi transportu w przyszłości warto wykorzystać te dane także rozwijając metodę o inne stadia modelu czterostadiowego.

6. Wnioski końcowe

Recenzowana praca mgr inż. Michała Zawodnego spełnia wymogi przewidziane dla prac doktorskich. Stwierdzam, że Autor wykazał się dobrą ogólną wiedzą teoretyczną, a przedstawione w rozprawie wyniki stanowią oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz potwierdzają umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wobec powyższego wnioskuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Zawodnego pod tytułem „Metoda agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych” do dalszego postępowania, a także dopuszczenie do publicznej obrony.