

Koszalin, 17.07.2026 roku

dr hab. inż. Norbert Chamier-Gliszczyński, prof. uczelni
Politechnika Koszalińska
e-mail: norbert.chamier-glisczynski@tu.koszalin.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

pt.: „*Metoda agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych*”,

autor rozprawy **mgr inż. Michał Zawodny**

1. Uwagi wstępne

Podstawę opracowania recenzji stanowi uchwała nr 355/28/RDND06/2024-2028 z dnia 13 maja 2026 roku Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Wrocławskiej w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport Panu mgr. inż. Michałowi Zawodnemu z Politechniki Wrocławskiej.

Recenzowana praca doktorska poświęcona jest problematyce zastosowania dużych wolumenów danych o zróżnicowanym pochodzeniu i strukturze na etapie udoskonalania i tworzenia modeli transportowych dla obszarów miejskich. Rozprawa została wydrukowana w formacie A4 i zawiera 157 stron.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Maciej Kruszyna, prof. uczelni.

2. Ocena doboru tematu rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska koncentruje się na zagadnieniach wykorzystania znacznej liczby źródeł danych identyfikowanych jako Big Data na etapie udoskonalania i tworzenia modeli transportowych. Istotnymi danymi w modelach transportowych są przemieszczenia podróżnych na wybranych obszarach. Pierwotnie do zbierania danych wykorzystywano badania ankietowe, ale rozwój technologiczny znacznie zwiększył liczbę dostępnych źródeł danych, które z powodzeniem można zastosować na etapie modelowania transportu. Takimi źródłami danych są m.in. sieć GSM, dane z kart miejskich i systemów rowerów miejskich, systemy zliczania pasażerów, skanery wykrywające urządzenia Bluetooth, dedykowane aplikacje, media społecznościowe i inne źródła. Wzrost liczby danych pozyskiwanych z różnych źródeł wygenerował problem braku ich kompatybilności. Niska integralność przy wzroście liczby źródeł danych uniemożliwia zastosowanie pozyskanych danych w procesie modelowania transportu. Zatem, w ujęciu naukowym istotnym działaniem jest opracowanie metody integrującej dane o zróżnicowanym pochodzeniu i strukturze, które z powodzeniem można zastosować na etapie modelowania transportu. Zdaniem Doktoranta takie zadanie spełnia autorska metoda agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struk-

tury. Zaproponowana metoda polega na łączeniu macierzy podróży ze źródeł Big Data pomimo ich niekompatybilności i zróżnicowanego pochodzenia.

Reasumując stwierdzam, że temat recenzowanej rozprawy doktorskiej jest aktualny i odpowiadający na zapotrzebowanie teoretyków oraz praktyków zajmujących się powyższym problemem. Tak więc podjęty przez Doktoranta problem badawczy jest jak najbardziej uzasadniony, a sformułowanie tematu właściwe.

3. Ogólna charakterystyka treści i ocena poszczególnych części rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska składa się z wykazu podstawowych skrótów i oznaczeń, wprowadzenia, ośmiu logicznie usystematyzowanych i ponumerowanych rozdziałów, spisu rysunków, tabel i załączników, wykazu literatury, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz załączników.

W **wprowadzeniu** Doktorant akcentuje, że na etapie budowy, remontów i modyfikacji infrastruktury transportu należy przyjąć wstępne założenia i zestawień oddziaływania zewnętrzne. Oddziaływaniem istotnym dla infrastruktury transportu są potoki podróźnych, które w przypadku remontów lub przebudowy można pozyskać na podstawie pomiarów ruchu i następnie odnieść do oddziaływania w założonym horyzoncie czasowym na konstrukcję jezdnii. Sytuacja jednak komplikuje się, gdy na etapie remontu dróg dokonuje się modyfikacji całej sieci transportowej nowymi połączeniami lub budowy nowych tras i połączeń. W takim przypadku podstawowe pomiary ruchu są niewystarczające i należy pozyskać większą liczbę danych z innych dostępnych źródeł. Celem pozyskania nowych i szczegółowych danych (np. o przemieszczeniach podróźnych na wybranych obszarach, połączeniach) zaczęto wykorzystywać źródła Big Data. W wyniku podjętych działań zauważono, że źródeł danych jest wiele tylko problemem jest brak kompatybilności pozyskanych danych.

Rozdział **drugi** to przedstawienie stanu wiedzy z zakresu modelowania transportu, gdzie analizowano poszczególne obszary, tj. (1) modelowanie podróży, (2) analiza stanu wiedzy o wykorzystaniu Big Data w modelowaniu, (3) charakterystyka i symulowanie baz danych, (4) identyfikacja luki badawczej. W badaniu aktualnego stanu wiedzy Doktorant odniósł się do procesu modelowania transportu jako odwzorowania rzeczywistości. Wskazał na model makroskopowy, który został zastosowany w rozprawie. Przedstawił elementy klasycznego czterostadiowego modelu ruchu z analizą pierwszego stadium modelu (generowanie podróży), drugiego stadium (rozkład przestrzenny podróży), trzeciego stadium (wybór środka transportu) i czwartego stadium (rozkład ruchu na sieci transportowej).

W obszarze wiedzy o wykorzystaniu Big Data w modelowaniu podkreślono, że Big Data jest stosunkowo nowym elementem badań w modelowaniu ruchu, ale stanowi istotną część aktualnych badań w tym obszarze. Dokonano przeglądu podstawowych źródeł Big Data, które można zastosować na etapie modelowania podróży. Pierwszymi źródłami istotnymi w analizowanym procesie są kody QR i NFC, które zestawiono łącznie ze względu na podobne zastosowanie w publicznym transporcie zbiorowym. Następnie scharakteryzowano technologie Beacon Bluetooth, która nie rejestruje danych tylko je nadaje do aplikacji jako sygnał o realizacji podróży. Istotnym źródłem dla Big Data są dane pochodzące z Automatic Passenger Count (APC) i Automated Fare Collection (AFC). W przypadku APC źródłem danych są ankiety i systemy do zliczania pasażerów a AFC opiera się na danych pozyskanych bezpośrednio od operatora publicznego transportu zbiorowego np. dane oparte na systemie biletowania w transporcie publicznym. Źródłem danych są też informacje o lokalizacji kart SIM lub wy-

krywanie urządzeń Bluetooth podróży realizujący podróże. Istotnym źródłem danych dla Big Data są dane pochodzące z GPS telefonów komórkowych podróży, umiejscowionych w pojazdach pasażerów, operatorów transportu publicznego, taksówkach i innych. Jako źródło danych można wykorzystać również systemy do rozpoznawania tablic rejestracyjnych, które oprócz identyfikacji numerów rejestracyjnych, rozpoznają typ i klasę pojazdów. Źródłem danych Big Data w modelowaniu transportu mogą być dane pochodzące z mediów społecznościowych oraz dane o od operatorów hulajnóg elektrycznych i systemów rowerów miejskich.

W obszarze charakterystyk baz danych i symulowania baz danych przedstawiono przykłady surowych danych z różnych źródeł Big Data dostępnych w literaturze. Przedstawiono macierz podróży opartą na bazie danych pochodzących ze skanerów Bluetooth, dane pochodzące ze Smart Card Data, dane z sieci telefonii komórkowej, dane z AFC, CDR i taksówek. Podkreślono, że zazwyczaj analizowane bazy danych posiadają braki, które z powodzeniem można uzupełnić poprzez wdrożenie odpowiednich algorytmów symulacyjnych. W pracy wskazano na zastosowanie symulowanych baz danych, gdzie do tego celu wykorzystano metodę Monte Carlo i jej pochodne.

Na podstawie analizy literatury zidentyfikowano lukę badawczą jak potrzebę stworzenia usystematyzowanej metody łączenia zróżnicowanych źródeł Big Data w celu wykorzystania jak największej liczby dostępnych informacji w modelach transportowych i pozbycia się tendencyjnych danych, jeśli pochodzą tylko z jednego źródła. Uwzględniając zakres prac w rozprawie analizowany jest tylko rozkład przestrzenny ruchu, czyli drugi etap w czterostadiowym modelu ruchu. W rozprawie poruszono również elementy generowania ruchu przez rejony transportowe oraz atrakcyjność rejonów jako elementy pierwszego etapu klasycznego modelu ruchu.

W rozdziale **trzecim** Doktorant przedstawił uwagi wstępne, przedmiot pracy, cel pracy, tezy badawcze i układ pracy. Wskazał, że *celem pracy jest stworzenie metody agregacji danych ze zróżnicowanych źródeł danych Big Data w celu umożliwienia implementacji do modeli transportowych*. Mając na uwadze redukcję możliwych tendencyjności danych obrano za cel stworzenie drugiej metody, polegającej na zasymulowaniu realistycznego (pod kątem rozkładu podróży) ośrodka miejskiego.

Na podstawie celu pracy i kluczowych zagadnień modelowania transportu sformułowano dwie tezy badawcze.

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

Podsumowując stwierdzam, że rozdziały pierwszy, drugi i trzeci stanowią ważny element części teoretycznej recenzowanej rozprawy doktorskiej. Uzasadnienie podjęcia tematu, charakterystyka wybranych pojęć stosowanych w pracy, analiza stanu wiedzy z zakresu modelowania podróży, zastosowania Big Data i baz danych w procesie modelowania akcentują, jak ważnym problemem jest opracowanie metody agregacji danych ze zróżnicowanych źródeł Big Data na potrzeby modeli transportowych. Analiza treści zawartych w trzech rozdziałach pozwala na podkreślenie wysokiego nakładu pracy Doktoranta na etapie analizy stanu wiedzy w przyjętym zakresie. Ponadto na podstawie przeprowadzonej analizy stanu wiedzy autor recenzowanej pracy zidentyfikował lukę badawczą jako potrzebę opracowania usystematy-

zowanej metody łączenia zróżnicowanych źródeł Big Data w celu wykorzystania jak największej liczby dostępnych informacji w modelach transportowych. Na tej podstawie zdefiniował cel pracy i sformułował dwie tezy badawcze. Uważam, że przyjęty w recenzowanej rozprawie cel pracy został właściwie sformułowany a tezy w przytoczonym powyżej brzmieniu zostały prawidłowo postawione.

Zasadniczym elementem recenzowanej rozprawy doktorskiej są rozdziały od czwartego do szóstego, w których Doktorant przedstawił metodę agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych oraz metodę symulacji ośrodka miejskiego bazowaną na sposobie symulowania wartości liczbowych w metodzie Monte Carlo. Należy również wskazać na implementację opracowanych metod w praktycznym zastosowaniu.

W rozdziale **czwartym** Doktorant przedstawił opracowaną metodę agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych. Zaproponowana metoda łączenia danych to odpowiedź na problem jakim jest połączenie zróżnicowanych jakościowo i objętościowo macierzy podróży. W ujęciu praktycznym opracowana metoda tworzy nową macierz podróży, jak i pozwala na punktowe uzupełnienie brakujących połączeń w macierzy lub tylko na zastępowanie danych o nierealistycznych wartościach – znacząco zaniżonych lub zawyżonych liczb podróży na danych relacjach. Metoda polega na stworzeniu osobnej macierzy podróży na bazie dostępnych danych, która uwzględnia dane z dowolnej liczby źródeł Big Data, ale może być też uzupełniona o dane ze źródeł tradycyjnych. Formułę uzupełniania danych przedstawiono w postaci schematu blokowego a opracowaną metodę w postaci graficznej. Podkreślono również, że metodę oparto na danych pozyskanych z dziewięciu źródeł Big Data, które zasiły metodę danymi liczbowymi.

Z kolei w rozdziale **piątym** Doktorant ze względu na brak dużej liczby źródeł danych z konkretnego ośrodka miejskiego opracował metodę symulacji ośrodka miejskiego i macierzy podróży z Big Data. Celem zaproponowanej symulacji było uniknięcie konkretnego studium przypadku ośrodka miejskiego i stworzenie sposobu agregacji danych pochodzących z Big Data w sposób uniwersalny dla wykorzystania w różnych ośrodkach miejskich. Zasympulowany ośrodek miejski zawiera do 100 rejonów transportowych, co dało adekwatną macierz podróży o rozmiarach 100×100. W ośrodku utworzono 10 rejonów ścisłego centrum o największej generacji podróży, 40 rejonów obszaru centralnego aglomeracji o średniej liczbie podróży, 40 rejonów poza głównym miastem aglomeracji o najmniejszej liczbie podróży i 10 rejonów reprezentujących drogi tranzytowe obejmujące podróże oddalonych rejonów aglomeracji oraz ruch pozaaglomeracyjny z wpływem na przepływy podróźnych w aglomeracji. Celem zróżnicowania liczby mieszkańców w poszczególnych rejonach transportowych zastosowano sposób generowania liczb podróźnych podobny do stosowanego w metodzie Monte Carlo. Wyniki generacji liczby mieszkańców dla poszczególnych rejonów przedstawiono w formie tabelarycznej. W dalszej kolejności przedstawiono model poglądowy symulowanego ośrodka miejskiego. Celem zaproponowanej symulacji ośrodka miejskiego było pokazanie przepływu podróźnych w analizowanych wariantach zestawienia źródeł danych jak i wariancie sprawdzającym całą zaproponowaną metodę. Badania symulacyjne przeprowadzono z zastosowaniem oprogramowania PTV Visum a wyniki przedstawiono w postaci graficznej. Układ graficzny obejmował m.in. układ rejonów transportowych w centrum aglomeracji, układ rejonów w całej aglomeracji, układ węzłów w całej aglomeracji, układ połączeń

w obszarze centralnym aglomeracji, układ połączeń w całej aglomeracji, układ połączeń bez siatki rejonów transportowych, wycinek modelu pokazujący sposób przyłączania rejonów do sieci, obszar centralny zasymulowanej aglomeracji, widok na obszar całej aglomeracji i macierz podróży w postaci mapy ciepła. Celem urealnienia wyników i problemów związanych z ich pozyskaniem wykorzystano dane dostępne w literaturze. Na podstawie dostępnych danych opracowano macierz podróży z sieci komórkowej, z GPS, z Bluetooth, z APC, z kart miejskich dla obszaru miejskiego, z kart miejskich dla obszaru podmiejskiego, z ANPR, z UTO i rowerów miejskich, z Taxi i z mediów społecznościowych. Poszczególne macierze przedstawiono w postaci graficznej jako mapy ciepła.

Praktyczne zastosowanie opracowanej autorskiej metody przedstawiono w rozdziale **szósty**. W celu sprawdzenia, czy łączenie wielu źródeł jest zasadne Doktorant opracował warianty wykorzystujące poszczególne źródła danych, które powinny w założeniu generować najlepsze wyniki. Na potrzeby badań wybrano dziewięć wariantów zestawienia źródeł Big Data, które odzwierciedlają przypadki z grup dających najbardziej zróżnicowane wyniki oraz z grup danych występujących w badaniach wspólnie. W zbiorze wariantów źródeł Big Data, które badano z zastosowaniem metody łączenia źródeł z dużych wariantów i zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych (metody pierwszej) określono dziewięć wariantów, tj. (wariant 1) uzupełnienie wszystkimi dostępnymi źródłami danych, (wariant 2) uzupełnienie źródłami symulowanymi na bazie map ciepła i charakterystyki źródła danych, (wariant 3) uzupełnienie danymi z wrocławskiego KBR z 2018 roku, (wariant 4) uzupełnienie źródłami danych z systemów GPS, (wariant 5) uzupełnienie danymi z połączonych źródeł Bluetooth + APC + Smart Card Data + ANPR, (wariant 6) uzupełnienie danymi z mediów społecznościowych, (wariant 7) uzupełnienie danymi z Taxi, (wariant 8) uzupełnienie danymi z systemu rowerów miejskich i urządzeń transportu osobistego, (wariant 9) uzupełnienie danymi z połączonych źródeł GSM + media społecznościowe + Taxi. Uwzględniając poszczególne warianty za pomocą menedżera scenariuszy w programie PTV Visum przeprowadzono proces porównania przyjętych wariantów do modelu bazowego, czyli użycie pełnej metody wykorzystującej dziewięć dostępnych źródeł danych z ośmioma wariantami konkurencyjnymi bazującymi tylko na poszczególnych źródłach danych. Ostatni dziewiąty wariant opracowano na podstawie doświadczeń z wcześniejszych wariantów, aby wyselekcjonować najlepsze źródła danych i porównać z wynikami modelu bazowego. W rozprawie każdy wariant został opisany i odzwierciedlony w postaci graficznej pokazujących wartości w obszarze centrum aglomeracji oraz na odnogach aglomeracji w wartościach podróży, a następnie wartościach procentowych zmian w stosunku do modelu bazowego. Poszczególne warianty podsumowane są mapą ciepła powstałej macierzy podróży. Dodatkowo w układzie tabelarycznym przedstawiono zestawienie i porównanie analizowanych wariantów z uwzględnieniem liczby podróży, różnicy procentowej i odchylenia standardowego. W końcowej części rozdziału przedstawiono podsumowanie badań i analizę wyników pod kątem spełnienia przyjętych w rozprawie tez badawczych. Analiza wyników badań potwierdza przyjęte w rozprawie hipotezy badawcze. Ponadto przyjęto stwierdzenie, że w przypadku kiedy dostępne będą ośrodki miejskie, z których będzie się dało pozyskać zbliżoną liczbę źródeł Big Data zaproponowaną metodę będzie można przetestować na danych rzeczywistych. Na bazie dostępnych danych i symulowanego charakteru ośrodka miejskiego uzyskano jednak najbliższy rezultat do modelu bazowego, co potwierdza tezę rozprawy.

Reasumując należy podkreślić znaczący wkład pracy Doktoranta w przygotowanie rozdziału czwartego, piątego i szóstego. Wymienione trzy rozdziały stanowią część użyteczną rozprawy doktorskiej, a opracowana metoda agregacji danych ze zróżnicowanych źródeł Big Data w celu umożliwienia implementacji do modeli transportowych stanowi specjalistyczne narzędzie wspomagające procesy na etapie udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych. Również druga metoda, której celem było zasymulowanie realistycznego (pod kątem rozkładu podróży) ośrodka miejskiego spełniła założone oczekiwania. Należy również podkreślić zaangażowanie autora w opracowanie interpretacji graficznej poszczególnych etapów pracy. Uważam, że układ poszczególnych rozdziałów w pełni odzwierciedla użyteczny charakter recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Elementem kończącym rozprawę doktorską jest dyskusja (rozdział **siódmy**) oraz wnioski końcowe i kierunki dalszych badań (rozdział **ósmym**). W dyskusji odniesiono się do opisu rezultatów i oceny metody. Podkreślono, że rezultatem są opracowane dwie metody do badania źródeł Big Data w modelowaniu transportu. Pierwsza metoda łączenia źródeł z dużych wolumenów i zróżnicowanego pochodzenia na poziomie liczby podróży pomyślnie posłużyła do opracowania macierzy podróży z wykorzystaniem dziewięciu zróżnicowanych źródeł danych. Druga metoda, symulacji ośrodka miejskiego pozwoliła stworzyć ośrodek miejski o racjonalnych parametrach dotyczących generacji i rozkładu przestrzennego podróży. Z kolei ocena metody wskazała, że zaletą metody jest jej niewielki koszt finansowy, metoda jest również elastyczna, pozwala uwzględniać i wykluczać poszczególne bazy danych i nie ogranicza się tylko do zastosowanych w rozprawie dziewięciu źródeł Big Data. Podkreślono również, że metoda może korzystać ze źródeł szczątkowych lub niepokrywających całej macierzy podróży.

Z kolei wnioski końcowe odniesiono do realizacji założonego w rozprawie celu głównego i celu pobocznego. Podkreślono, że aby zrealizować przyjęty cel główny przeprowadzono analizę literatury w zakresie tematyki rozprawy oraz analizę aktualnej wiedzy z zakresu modelowania ruchu z zastosowaniem źródeł Big Data. Uzupełnieniem realizacji założonego celu głównego w postaci stworzenia metody łączenia wielu zróżnicowanych źródeł danych z dużych wolumenów oprócz pozyskania dziewięciu źródeł danych do badań, dodatkowo założono cel poboczny, którym było opracowanie metody symulacji ośrodka miejskiego na potrzeby modelowania ruchu. Ponadto na podstawie modelu symulacyjnego przeprowadzono wizualizację wyników działania opracowanej metody. W końcowej części rozdziału przedstawiono kierunki dalszych prac, gdzie wskazano na realizację dalszych prac badawczych w zakresie rozwinięcia metody w celu uwzględnienia innych stadiów czterostopniowego modelu ruchu oraz na rozbudowę metody o dodatkowe wagi nadane poszczególnym źródłom danych. Wskazano również, że kierunkiem dalszych prac będzie sprawdzenie metody na realnych źródłach danych w przypadku, gdy dla konkretnego istniejącego ośrodka miejskiego lub aglomeracji będzie dostępna większa liczba źródeł danych. Inne kierunki badań mogą dotyczyć metody symulacji ośrodka miejskiego w zakresie rozszerzenia danych i wykorzystania narzędzi heurystycznych na etapie losowego generowania sieci transportowej miast.

Praca kończy się spisem rysunków, tabel i załączników oraz wykazem literatury liczącym 175 pozycje, które starannie dobrano i zestawiono. Zbiór ten stanowi cenne kompendium wiedzy w zakresie problematyki agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych. Uzupełnie-

niem recenzowanej rozprawy jest streszczenie w języku polskim i angielskim oraz dwanaście załączników.

Podsumowując powyższy układ recenzowanej rozprawy doktorskiej należy stwierdzić, że Doktorant w sposób wnikliwy przeanalizował dane konieczne do opracowania metody łączenia źródeł z dużych wolumenów i zróżnicowanego pochodzenia na poziomie liczby podróży oraz metody symulacji ośrodka miejskiego. Opracowany układ pracy jest logiczny i wyrazisty, a wywód prowadzony jest konsekwentnie, co świadczy o dojrzałości naukowej Doktoranta.

4. Ocena rozprawy doktorskiej

Recenzowaną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Zaproponowany przez Doktoranta układ pracy, format i podział treści na rozdziały i podrozdziały w sposób całościowy ujmując wszystkie elementy istotne dla tematu dysertacji. Równocześnie nie ulega wątpliwości, że recenzowana rozprawa doktorska stanowi autorskie ujęcie problematyki wykorzystania dużej liczby źródeł danych wpisujących się w definicję Big Data w celu implementacji w modelach transportowych.

Uwzględniając aspekt naukowy oraz praktyczny, zasadniczym i najważniejszym dorobkiem przedstawionym w recenzowanej rozprawie doktorskiej jest: (1) analiza aktualnego stanu wiedzy w zakresie wykorzystania Big Data w modelowaniu, (2) analiza literatury w zakresie modelowania podróży, (3) opracowanie metody agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych, (4) opracowana metody symulacji ośrodka miejskiego i macierzy podróży z Big Data, (5) implementacja opracowanej metody łączenia macierzy podróży ze źródeł Big Data pomimo ich niekompatybilności i zróżnicowanego pochodzenia w zasymulowanym realistycznym ośrodku miejskim.

Istotną zaletą recenzowanej rozprawy jest jej znaczny potencjał aplikacyjny. Potwierdza to weryfikacja praktyczna przedstawiona w rozdziale szóstym, która została przeprowadzona na zasymulowanym realistycznym ośrodku miejskim.

W procesie oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej za główne osiągnięcia, które Doktorant przedstawił w pracy uważam:

1. Przeprowadzenie szczegółowej analizy aktualnego stanu wiedzy z zakresu problematyki zastosowania źródeł Big Data w modelowaniu transportu.
2. Opracowanie autorskiej metody agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych.
3. Opracowanie metody symulacji ośrodka miejskiego i macierzy podróży ze źródeł Big Data.
4. Identyfikacja i zestawienie dziewięciu charakterystycznych wariantów źródeł Big Data, które odzwierciedlają najbardziej zróżnicowane wyniki i grupy danych występujących w badaniach wspólnie na potrzeby weryfikacji opracowanej metody agregacji danych.
5. Przeprowadzenie weryfikacji opracowanej metody łączenia macierzy podróży ze źródeł Big Data pomimo ich niekompatybilności i zróżnicowanego pochodzenia w zasymulowanym realistycznym ośrodku miejskim.

Podsumowując uważam, że konstrukcja dysertacji, sposób opracowania materiału empirycznego oraz forma przeprowadzonej analizy i podjęta metodyka badań są właściwe dla prac doktorskich. Ponadto analizując recenzowaną rozprawę doktorską stwierdzam, że Doktorant

opracowując dysertację wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną, dobrą znajomością przedmiotu badań, jak również opanowaniem metod eksperymentalnych i analitycznych stosowanych w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport.

5. Uwagi krytyczne

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest napisana poprawnym językiem na dobrym poziomie edytorskim. Niemniej jednak w kilku miejscach wystąpiły drobne błędy językowe, stylistyczne i redakcyjne. Poniżej umieszczono wybrane uwagi szczegółowe:

- na stronie 10 występuje błędne odniesienie do rys. 1, a powinno być do rys. 1.1,
- w tekście pracy występują liczne przypadki pozostawienia na końcu wersów pojedynczych liter (np. w, z, i, o), które powinny zostać przeniesione na początek kolejnego wersu,
- w pracy są stosowane nieuzasadnione puste przestrzenie na końcu strony, na stronach: 15, 16, 25, 28, 40, 47, 49, 50, 52, 53, 55, 59, 63, 66, 67, 76, 78, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113,
- w tekście pracy brak odniesienia do rys. 2.2,
- nieuzasadnione odstępki od górnego marginesu, np. na stronie 21, 27 i 28,
- na stronie 37 oznaczenia M_{ij} , M_{ij}^{GSM} , i , j nie są tożsame z oznaczeniami M_{ij} , M_{ij}^{GSM} , i -tego oraz j -tego,
- umieszczone na rysunku 4.2 oznaczenia nie są tożsame z oznaczeniami zastosowanymi w równaniach matematycznych 4.1, 4.2, 4.3 i 4.4,
- na stronie 46 i 47 oznaczenia S , Z nie są tożsame z oznaczeniami S , Z .

Reasumując stwierdzam, że Doktorant sprawnie posługuje się językiem naukowym, a praca jest napisana w sposób przejrzysty oraz czytelny. Natomiast drobne potknięcia językowe, stylistyczne oraz formalne nie obniżają wartości dysertacji. Równocześnie uwagi krytyczne nie obniżają wartości merytorycznej recenzowanej rozprawy doktorskiej, powinny one pomóc Doktorantowi uniknąć podobnych usterek w przyszłych pracach.

Analizując treść pracy wydaje się zasadnym zadanie kilku uzupełniających pytań. Odpowiedzi na zadane poniżej pytania oczekuję podczas publicznej obrony:

1. Czy agregacja danych z definicji prowadzi do wzrostu jakości opracowanych modeli transportowych, czy może istnieje punkt, po przekroczeniu którego dodatkowe źródła danych pogarszają zdolność modelu do generalizacji?
2. Czy opracowana metoda agregacji danych ze zróżnicowanych źródeł danych Big Data służy lepszemu odwzorowaniu rzeczywistości, czy raczej zwiększeniu zdolności predykcyjnej modelu? Czy te cele są zawsze zgodne?
3. Czy były podejmowane próby zastosowania opracowanej metody agregacji danych ze zróżnicowanych źródeł danych Big Data w celu umożliwienia implementacji do modeli transportowych w działaniach praktycznych dla konkretnego istniejącego ośrodka miejskiego lub aglomeracji innej niż Wrocław?

Ponieważ w rozprawie dwukrotnie odniesiono się tylko do jednego ośrodka miejskiego:

- celem symulacji jest uniknięcie konkretnego studium przypadku ośrodka miejskiego, czyli ze względu na afiliację autora – Aglomeracji Wrocławskiej na bazie Kompleksowych Badań Ruchu z 2018 roku,

- kierunkiem dalszych prac będzie sprawdzenie metody na realnych źródłach danych, gdy dla konkretnego istniejącego ośrodka miejskiego lub aglomeracji będzie dostępna większa liczba źródeł danych, ..., autor pokłada nadzieję m.in. na wprowadzenie systemów ANPR we Wrocławiu przy planowanej Strefie Czystego Powietrza.
4. Czy istnieje szansa, że opracowana metoda agregacji danych ze zróżnicowanych źródeł danych Big Data zostanie wdrożona w działaniach praktycznych, na etapie udoskonalania i budowy modeli transportowych na rzeczywistych obszarach miejskich?
 5. Czy istnieje teoretyczna lub praktyczna granica liczby źródeł danych, po przekroczeniu której dalsza integracja nie przynosi już dodatkowej wartości informacyjnej, a może nawet prowadzić do degradacji jakości modelu transportowego?
 6. Czy obecnie głównym ograniczeniem procesu udoskonalania i budowy modeli transportowego jest niedostatek danych, czy niedostateczne rozumienie mechanizmów generujących zachowania podróżnych? W jaki sposób wyniki rozprawy pozwalają odpowiedzieć na to pytanie?

6. Wnioski końcowe oceny rozprawy doktorskiej

Na podstawie przeprowadzonej recenzji rozprawy doktorskiej pt. „Metoda agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych” uważam, że Doktorant dokonał trafnego wyboru tematyki swoich badań, a praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego. Tak przedstawiona dysertacja nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, wnosząc do nich nowe treści. Założony cel pracy został osiągnięty i postawione tezy udowodnione. Wykazane wcześniej uwagi krytyczne w żadnym stopniu nie osłabiają pozytywnego odbioru pracy i jej wartości merytorycznej. Na tej podstawie stwierdzam, że Doktorant posiada odpowiedni poziom wiedzy teoretycznej, bardzo dobrą znajomość przedmiotu badań, zdolność do analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem badawczy oraz posiada kompetencje w zakresie samodzielnego prowadzenia badań w reprezentowanej dyscyplinie naukowej.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska pt. „Metoda agregacji danych z dużych wolumenów, zróżnicowanego pochodzenia i struktury w celu udoskonalenia i tworzenia modeli transportowych”, której autorem jest mgr inż. Michał Zawodny, spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022 r. poz. 574 z późn. zm.) oraz mieści się w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgr. inż. Michała Zawodnego i o dalsze procedowanie postępowania w celu nadania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.