

Recenzje spełnione wymagania formalne

Poznań, 27.09.2025

prof. dr hab. Agnieszka Merkisz-Guranowska
Instytut Transportu
Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu
Politechniki Poznańskiej

Przewodniczący Rady Dyscypliny
Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport
Politechniki Śląskiej
prof. dr hab. inż. Piotr Folega

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Adriana Barchańskiego

pt. **"Metoda synchronizacji rozkładów jazdy w węźle przesiadkowym w aspekcie czasu podróży pasażera w publicznym transporcie zbiorowym"**

(podstawa opracowania: Uchwała nr 129/2025 Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 17.07.2025)

1. WYBÓR TEMATU I GENEZA PRACY

Tematyka rozprawy ma istotne znaczenie naukowe i praktyczne, gdyż rozwój transportu publicznego jest kluczowy dla zrównoważonej mobilności, ograniczającej skutki urbanizacji, kongestii, nadmiernego użycia samochodów oraz emisji zanieczyszczeń, gazów cieplarnianych i hałasu.

Kluczowym elementem systemu transportowego są węzły przesiadkowe, których jakość i atrakcyjność w dużej mierze decydują o wyborach komunikacyjnych pasażerów oraz o konkurencyjności transportu zbiorowego wobec transportu indywidualnego. Szczególne znaczenie ma w tym kontekście czas oczekiwania. Jego skrócenie dzięki właściwej synchronizacji rozkładów jazdy bezpośrednio przekłada się na wzrost satysfakcji podróżnych, komfortu korzystania z transportu zbiorowego i w konsekwencji zwiększenie jego udziału w podróżach miejskich. Jednocześnie rzeczywiste warunki funkcjonowania systemów transportowych charakteryzują się występowaniem odchyłeń od rozkładu jazdy, których nieuwzględnienie w planowaniu prowadzi do powstawania rozwiązań teoretycznie poprawnych, lecz mało użytecznych w praktyce. Tym samym, uwzględnienie odchyłek od rozkładu jazdy zwiększa niezawodność podróży i satysfakcję pasażerów.

Badania nad wpływem zakłóceń na proces synchronizacji i poszukiwanie metod ich uwzględniania stanowią zatem istotny i aktualny obszar badań naukowych, pozwalający tworzyć rozwiązania bliższe rzeczywistym potrzebom pasażerów oraz wspierający rozwój nowoczesnych i zrównoważonych systemów transportu zbiorowego.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny
Inżynieria Lądowa i Transport
wpłynęło dnia 30.09.2025
nr 71/2025 zał.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Adriana Barchańskiego dotyczy publicznego transportu zbiorowego, a dokładniej synchronizacji rozkładów jazdy w węzłach przesiadkowych integrujących transport kolejowy z autobusową komunikacją miejską.

Oceniana rozprawa zawiera 271 stron i została podzielona na siedem rozdziałów. Zawiera ponadto 3 załączniki, streszczenia polskie i angielskie, wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, literaturę oraz spisy rysunków i tabel.

We wprowadzeniu Autor przedstawił tło i genezę poruszanych zagadnień w kontekście współczesnych problemów obszarów miejskich. Wskazał na rolę węzłów przesiadkowych jako kluczowych elementów kształtowania jakości transportu oraz zdefiniował cel i tezę pracy, tj. opracowanie metody synchronizacji rozkładów jazdy uwzględniającej odchyłki od planowanych kursów.

Rozdział drugi poświęcono przeglądowi stanu wiedzy dotyczącej roli węzłów przesiadkowych, metod synchronizacji rozkładów jazdy i narzędzi planistycznych. Autor wskazał, że dotychczasowe badania w niewielkim stopniu uwzględniały wpływ opóźnień i zakłóceń na czas oczekiwania pasażerów, co stanowi lukę badawczą.

Kolejne rozdziały stanowią oryginalny dorobek Autora.

Rozdział trzeci pełni funkcję wprowadzenia do opracowania autorskiego algorytmu synchronizacji. Zawarto w nim formalny zapis matematyczny struktury modelu węzła i jego otoczenia oraz przedstawiono elementy infrastruktury i procesy zmiany środka transportu. Uwzględniono zapotrzebowanie przewozowe, zależności czasowe, czynniki stochastyczne w ruchu środków transportu i pasażerów oraz zmienność potoków pasażerów w ciągu doby.

W kolejnym rozdziale zdefiniowano zadanie optymalizacyjne synchronizacji rozkładów jazdy w węźle przesiadkowym. Określono schemat postępowania w zakresie gromadzenia i analizy danych wejściowych, zmienne decyzyjne, ograniczenia oraz funkcję kryterium – minimalizację średniego czasu oczekiwania pasażerów na przesiadkę z pociągu na autobus.

Rozdział piąty zawiera autorską metodę synchronizacji opartą na modelowaniu symulacyjnym i wykorzystaniu metod metaheurystycznych. Opisano etapy budowy rozwiązań dopuszczalnych, uwzględnienie czynników losowych, przeszukiwanie globalne i lokalne oraz narzędzie komputerowe wspomagające obliczenia.

W rozdziale szóstym zaprezentowano wyniki walidacji metody. Przeprowadzono badania dla węzłów przesiadkowych w Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Porównano obowiązujące rozkłady jazdy z rozwiązaniami uzyskanymi przy użyciu metody autorskiej. Autor wykazał, że uwzględnienie odchyłek od rozkładu pozwala znacząco skrócić średni czas oczekiwania pasażerów.

Ostatnią część rozprawy stanowi ocena wyników pracy. Autor potwierdził hipotezę badawczą, że uwzględnianie odchyłek od rozkładów jazdy w synchronizacji wpływa korzystnie na zmniejszenie wartości średniej czasu oczekiwania. Oceniał realizację celu pracy, sformułował rekomendacje dla praktyki planistycznej i wskazał kierunki dalszych badań, w

tym rozwój narzędzi wspierających planowanie i integrację systemów transportu zbiorowego.

3. OCENA ROZPRAWY

W badaniach realizowanych w rozprawie analizowany jest wpływ uwzględnienia odchyłek od rozkładu jazdy na czas oczekiwania pasażerów podczas zmiany środka transportu w porównaniu do rozwiązań wyznaczanych z pominięciem danych o odchyłkach od rozkładu jazdy.

Cel naukowy rozprawy mgr inż. Adriana Barchańskiego odnosił się do opracowania metody synchronizacji rozkładów jazdy w węzłach przesiadkowych integrujących transport kolejowy z autobusową komunikacją miejską, która uwzględnia odchyłki od planowanych przyjazdów i odjazdów pojazdów w celu minimalizacji średniego czasu oczekiwania pasażerów oraz poprawy niezawodności podróży.

Celem użytkowym było dostarczenie narzędzia wspomagającego synchronizację rozkładów jazdy zgodnie z zaproponowaną autorską metodą.

W dotychczasowych badaniach nad synchronizacją rozkładów jazdy brakowało podejścia, które w sposób kompleksowy uwzględniałoby odchyłki od rozkładów jazdy, a więc opóźnienia i przyspieszenia przyjazdów oraz odjazdów pojazdów w węzłach przesiadkowych, przy jednoczesnym:

- badaniu wpływu odchyłek na średni czas oczekiwania pasażerów w skali doby,
- porównywaniu rozwiązań synchronizacji uwzględniających i nieuwzględniających odchyłki,
- współwystępowaniu wspólnych fragmentów tras linii,
- uwzględnieniu zmienności częstotliwości kursów w ciągu dnia oraz zmiennej intensywności potoków pasażerskich. Niedostatecznie analizowano także wpływ różnic w czasie przejścia pasażerów pomiędzy elementami infrastruktury węzła przesiadkowego (np. między peronami a przystankami).

Analizy i badania skupiały się przede wszystkim na punktualnym funkcjonowaniu systemu, co prowadziło do rozwiązań teoretycznie poprawnych, ale mało użytecznych w praktyce. Najczęściej stosowanym sposobem poprawy niezawodności podróży przy założeniu zmiany środka transportu było buforowanie czasu zatrzymania pojazdów.

Autorska metoda doktoranta wypełnia te luki, proponując podejście integrujące wszystkie wymienione aspekty, oparte na modelowaniu symulacyjnym i optymalizacji z wykorzystaniem metaheurystyki. Czas oczekiwania pasażerów w metodzie Autora oszacowano z określonym prawdopodobieństwem wystąpienia: odchyłek od planowanych momentów przyjazdów pociągów, odchyłek od planowanych momentów odjazdów autobusów oraz zróżnicowania czasu przebycia drogi przejścia przez różnych pasażerów (zróżnicowanie populacji pasażerów jest szczególnie nowatorskie w synchronizacji rozkładów jazdy).

Jako niewątpliwą zaletę pracy należy wskazać to, że Autor nie tylko przedstawił zapis matematyczny problemu synchronizacji rozkładów jazdy w węźle przesiadkowym z uwzględnieniem odchyłek od rozkładu jazdy, ale także opracował aplikację komputerową implementującą opisane modele w języku Visual Basic for Applications zintegrowanym z MS Excel. Co więcej, Autor zaproponował algorytm metody, który łączy elementy przeszukiwania zupełnego oraz przeszukiwania lokalnego i mechanizmu przeszukiwania z tabu. Opisywane i zweryfikowane na przykładzie algorytmy wraz z aplikacją komputerową, wykorzystującą narzędzie programowania symulacyjnego i mechanizmy optymalizacji heurystycznej, stanowią główną wartość prezentowanej rozprawy, nadając jej wyraźnie użyteczny charakter i praktyczny wymiar.

Zastosowanie autorskiej metody pozwala nie tylko na skrócenie średniego czasu oczekiwania pasażerów, ale także na poprawę niezawodności podróży, dostarczając rozwiązań bliższych realnym warunkom funkcjonowania transportu zbiorowego i tym samym mających praktyczne zastosowanie w planowaniu komunikacji miejskiej.

Autor uwzględnił w swojej metodzie kilka elementów, które mają istotne znaczenie i nadają jej nowatorski charakter:

- zmienność potoków pasażerskich w czasie doby, co pozwala na optymalizację warunków podróży zgodnie z faktycznym zapotrzebowaniem,
- wspólne fragmenty tras i segmentowe ujęcie sieci,
- zróżnicowanie czasu przejazdów (prędkość w węźle przesiadkowym pomiędzy peronem a przystankiem w zależności od cech pasażerów), które wpływa na realną możliwość przesiadki,
- zmienną częstotliwość kursowania w ciągu dnia, tj. dopuszczenie różnych wartości interwałów i liczby kursów, zgodnie z rytmem dobowym pracy systemu.

Przedstawione w pracy zadanie optymalizacyjne obejmuje szerokie spektrum elementów odzwierciedlających rzeczywiste funkcjonowanie systemu transportu zbiorowego. Uwzględnia zmienne decyzyjne związane z przesunięciami godzin odjazdów poszczególnych linii oraz ograniczenia wynikające z obowiązujących rozkładów jazdy, interwałów kursowania i dopuszczalnych odchyłek czasowych. W modelu ujęto także zmienne potoki pasażerskie o różnej intensywności w ciągu dnia, zróżnicowane czasy przejścia pasażerów pomiędzy elementami infrastruktury węzła przesiadkowego oraz stochastyczne odchyłki od rozkładu jazdy pojazdów. Kryterium optymalizacyjnym jest minimalizacja średniego czasu oczekiwania pasażerów na przesiadkę, przy jednoczesnym zapewnieniu obsługi wszystkich kursów łączących węzeł z poszczególnymi segmentami sieci. Dodatkowo wprowadzono segmentowe ujęcie tras, umożliwiające uwzględnienie wspólnych fragmentów linii komunikacyjnych i zmiennych interwałów kursowania w różnych okresach doby, co pozwala na wierne odwzorowanie złożoności rzeczywistych układów transportowych.

Dzięki tym elementom metoda mgr inż. Adriana Barchańskiego jest bliższa rzeczywistym warunkom funkcjonowania transportu zbiorowego i umożliwia tworzenie rozkładów jazdy, które lepiej odpowiadają potrzebom pasażerów i organizatorów transportu.

Wykorzystanie synchronizacji opartej na odchyłkach z uwzględnieniem statystycznych informacji o zakłóceniach przy projektowaniu rozkładu, pozwala uniknąć zbędnego wydłużania podróży (w porównaniu z buforowaniem czasu odjazdu) jednocześnie poprawiając niezawodność podróży.

Warto także podkreślić, że poprawność opracowanego narzędzia została zweryfikowana przez zastosowanie go do rzeczywistych węzłów przesiadkowych w Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Autor przeprowadził obliczenia testowe, a następnie porównał otrzymane zsynchronizowane rozkłady jazdy z obowiązującymi w badanych węzłach rozkładami jazdy oraz ze zbiorem rozwiązań dopuszczalnych, które nie uwzględniały odchyłek od rozkładu jazdy.

Na tej podstawie dokonano oceny wpływu uwzględniania odchyłek na średni czas oczekiwania pasażerów, a także przeanalizowano działanie zastosowanych procedur obliczeniowych (przeszukiwanie lokalne i z tabu). Wyniki badań potwierdziły hipotezę, że metoda pozwala istotnie skrócić średni czas oczekiwania, a tym samym dowiodły poprawności i przydatności opracowanego narzędzia.

Praca została przygotowana na bardzo wysokim poziomie edytorskim. Język jest dojrzały i poprawny, wywód logiczny i spójny, a całość czytelnie zilustrowana. Na uwagę zasługują także podsumowania każdej części pracy, które ułatwiają śledzenie toku rozważań i podnoszą zrozumiałość wyводу oraz komunikatywność rozprawy. Warto odnotować, że Autor wykazał się dużą starannością w opracowaniu statystycznym wyników, co stanowi ważny element podnoszący wartość merytoryczną rozprawy.

Bibliografia rozprawy jest obszerna, poprawnie dobrana i obejmuje zarówno literaturę krajową, jak i zagraniczną, przy czym pozycje anglojęzyczne stanowią 82% całości.

Do najważniejszych osiągnięć pracy zaliczam:

- Opracowanie sformalizowanego modelu matematycznego zadania synchronizacji rozkładów jazdy w węźle przesiadkowym integrującym kolej i transport autobusowy z uwzględnieniem zależności czasowych i czynników stochastycznych związanych z ruchem pojazdów i pasażerów.
- Opracowanie metody synchronizacji rozkładów jazdy integrującej modelowanie symulacyjne i algorytmy optymalizacji heurystycznej (m.in. przeszukiwanie lokalne oraz przeszukiwanie z tabu), która umożliwia minimalizację średniego czasu oczekiwania pasażerów przy uwzględnieniu odchyłek od rozkładu jazdy i prędkości przejścia pasażerów przy zapewnieniu synchronizacji w całym okresie funkcjonowania węzła w skali doby i możliwości wprowadzenia różnych interwałów w określonych przedziałach czasowych pracy węzła w zależności od intensywności liczby podróży.
- Stworzenie autorskiego narzędzia wspomagającego synchronizację rozkładów jazdy integrującego opisane modele i algorytmy zgodnie z przedstawioną metodą, będącego narzędziem wspomagania decyzji w planowaniu rozkładów jazdy w węzłach przesiadkowych.
- Przeprowadzenie oceny wpływu atrybutów charakteryzujących węzeł przesiadkowy (takich jak lokalizacja węzła, czynniki stochastyczne i sposób łączenia taktów) na

zróżnicowanie skrócenia czasu oczekiwania pasażerów zmieniających środek transportu, wynikające z zastosowania proponowanej metody.

- Możliwość zastosowania opracowanej metody w praktyce do synchronizacji rozkładów jazdy w węzłach przesiadkowych integrujących przewozy kolejowe i autobusowe.

Autor rozprawy wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie nauki, dobrą znajomością przedmiotu badań oraz umiejętnością analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem. Wprowadził nowe elementy wiedzy, posługując się przy tym nowoczesnymi narzędziami służącymi realizacji pracy naukowej oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia tego typu pracy przez znajomość metodyki, uzasadniania i doboru narzędzi naukowych.

Niniejsza praca stanowi wkład w rozszerzenie wiedzy o optymalizacji procesów transportowych. Stanowi próbę uzupełnienia prowadzonych dotychczas badań w zakresie planowania rozkładów jazdy w publicznym transporcie zbiorowym o sformalizowane narzędzia wspomagania decyzji.

Pod względem merytorycznym rozprawa nie budzi zastrzeżeń. Problem został jasno sformułowany, Autor określił zadania badawcze i konsekwentnie je zrealizował w poprawnych eksperymentach badawczych.

Uwagi szczegółowe:

- s.13 – w ostatnim akapicie Autor wskazuje, że podjęty w pracy problem badawczy wiąże się z zagadnieniem sprawnej realizacji podróży, której uogólniony koszt jest akceptowalny dla pasażerów. Jak sam Autor wyjaśnił uogólniony koszt rozumiany jest znacznie szerzej niż czas podróży, gdyż dotyczy również kosztów bezpośrednich takich jak koszty biletów czy innych kosztów pośrednich takich jak stres. Autor powinien wskazać, że na potrzeby pracy koszt ten został ograniczony wyłącznie do czasu podróży i czasu oczekiwania na zmianę środka transportu.
- W podrozdziale 3.3. Autor opisał zapotrzebowanie na przewozy pasażerskie w obszarze oddziaływania węzła, w tym funkcje opisujące zależności między segmentami a węzłem w kontekście relacji w transporcie kolejowym oraz linii komunikacyjnych w określonych kierunkach jazdy. Z założeń przyjęto, że rozpatrywane są tylko te relacje podróży między parami segmentów, pomiędzy którymi nie ma bezpośrednich połączeń transportem zbiorowym, że przyporządkowano tylko jedną drogę przejścia w węzle oraz że opis realizacji przemieszczeń z segmentów źródłowych do węzła został sprowadzony do liczby pasażerów przyjeżdżających pociągami do węzła. Autor nie wskazał co się dzieje z pasażerami, którzy przyjeżdżają do węzła i nie kontynuują podróży, w jaki sposób uwzględniano macierz preferencji pasażerów docierających do węzła i wybierających dalszą podróż komunikacją autobusową oraz w jaki sposób uwzględniano pasażerów korzystających z linii komunikacyjnych obsługujących węzeł przesiadkowy, ale nie zmieniających środka transportu (o uwzględnieniu tych pasażerów Autor wspomniał na s.25).
- W pracy nie wskazano na jakiej podstawie przyjęto prędkości przemieszczania się pieszych

dla różnych grup wiekowych kobiet i mężczyzn w zależności od stopnia znajomości węzła i terminowości podróży. W załączniku Z3-3 nie podano źródła informacji dla podanych parametrów, co sugeruje badania własne Autora.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie analizy przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej uważam, że:

- Autor dokonał trafnego wyboru tematyki swoich badań, a jej zakres spełnia stawiane wymagania pracom promocyjnym, gdyż praca stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego,
- dysertacja nawiązuje do aktualnej wiedzy i praktyki, wnosząc nowe treści,
- cele pracy oraz zadania badawcze, w zakresie przyjętym przez Doktoranta, zostały osiągnięte, a prezentowane wyniki są uzyskane w poprawnie przeprowadzonych eksperymentach wykorzystujących najnowsze metody badawcze i mogą służyć do dalszych prac,
- formalny układ pracy jest prawidłowy,
- mgr inż. Adrian Barchański posiada wiedzę teoretyczną oraz umiejętności niezbędne do samodzielnego rozwiązywania naukowych problemów badawczych.

Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Doktoranta w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jego dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej Inżynieria lądowa, geodezja i transport, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą.

Stwierdzam zatem, że praca mgr inż. Adriana Barchańskiego pt. „Metoda synchronizacji rozkładów jazdy w węźle przesiadkowym w aspekcie czasu podróży pasażera w publicznym transporcie zbiorowym” (promotor: dr hab. inż. Renata Żochowska, prof. PŚ) spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, w rozumieniu ustawy z 14 marca 2003 r. O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r., nr 65, poz. 595, z późn. zm.) w zw. z art. 179 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2020.1086 z późn. zm.), a Autor może być dopuszczony do jej publicznej obrony.

Z uwagi na bardzo wysoki poziom merytoryczny rozprawy, opracowanie oryginalnej metody synchronizacji wraz z narzędziem aplikacyjnym oraz dotychczasowy dorobek naukowy Pana mgr inż. Adriana Barchańskiego wnioskuję do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Śląskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.