

dr hab. inż. Piotr Olszewski, prof. PW
Wydział Inżynierii Lądowej
Politechnika Warszawska
al. Armii Ludowej 16,
00-637 Warszawa

Warszawa, 30.09.2017 r.

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Justyny Stępień pt.: "Wpływ przystanków autobusowych na sprawność ruchu drogowego i komunikacji miejskiej"

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Stępień zatytułowanej: "Wpływ przystanków autobusowych na sprawność ruchu drogowego i komunikacji miejskiej" została wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej zawarte w piśmie z dnia 30.05.2017 r., zgodnie z uchwałą Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 1.03.2017 r.

2. Charakterystyka pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Justyny Stępień pt.: "Wpływ przystanków autobusowych na sprawność ruchu drogowego i komunikacji miejskiej", która powstała w Politechnice Świętokrzyskiej pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Andrzeja Rudnickiego z Politechniki Krakowskiej. Tematyka pracy dotyczy funkcjonowania miejskiego układu drogowego a w szczególności modelowania ruchu drogowego w obszarze oddziaływania przystanków autobusowych.

Rozprawa ma objętość 256 stron plus załączniki o objętości 121 stron. Praca zawiera spis treści, wykaz oznaczeń, dziewięć rozdziałów tekstu podstawowego, spis literatury obejmujący 138 pozycji, w tym 52 publikacji w języku polskim i 86 publikacji w innych językach, oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. W tekście podstawowym są 82 ilustracje oraz 17 tablic. Praca zawiera także 4 obszerne załączniki, dokumentujące badania poligonowe oraz wyniki obliczeń.

Rozdział pierwszy przedstawia wprowadzenie do tematyki pracy, omawia też znaczenie i uwarunkowania transportu autobusowego w miastach polskich. Przedstawiono cele i tezy pracy oraz zakres opracowania. Podstawowym celem pracy jest zbadanie oraz modelowanie procesu ruchu i obsługi pasażerów na przystanku autobusowym wykorzystywanym przez różnych użytkowników.

W rozdziale drugim omówiono uwarunkowania prawne projektowania i funkcjonowania przystanków autobusowych. Autorka przedstawiła zasady lokalizacji przystanków oraz krajowe i zagraniczne wytyczne ich projektowania. Następnie omówiła metody szacowania wpływu przystanków na przepustowość ulic oraz warunki ruchu drogowego na odcinkach gdzie są one zlokalizowane.

W rozdziale trzecim Autorka przedstawiła przegląd aktualnego stanu badań naukowych na temat funkcjonowania przystanków autobusowych oraz obsługi pasażerów na tych przystankach. Przedstawiono zagadnienia mierzenia jakości obsługi autobusów, przepustowości przystanków oraz modele symulacyjne ich funkcjonowania. Zidentyfikowano problem naukowy jakim według Autorki jest brak uwzględnienia w istniejących modelach zróżnicowania charakterystyki przewoźników korzystających z tego samego przystanku.

Rozdział czwarty omawia wykonanie i analizę wyników pomiarów przeprowadzonych w otoczeniu przystanków autobusowych w Kielcach i Krakowie. Autorka przedstawiła wybór poligonów badawczych, określenie wielkości próby, wykonanie pomiarów oraz uzyskane charakterystyki przystanków. Ważnym elementem badań było zidentyfikowanie zakłóceń ruchu w obrębie i w otoczeniu badanych przystanków.

W rozdziale piątym Autorka przedstawia analizy miejsca zatrzymania autobusów i innych pojazdów w obrębie przystanków autobusowych. W rozdziale opisano czynniki wpływające na położenie miejsca zatrzymania pojazdu oraz sformułowano model wyboru tego miejsca w formie równań regresji liniowej.

Rozdział szósty poświęcono omówieniu procesu obsługi pasażerów na przystanku. Autorka przedstawiła analizy rozmieszczenia pasażerów oczekujących na przystankach oraz analizy rozkładu czasów wymiany pasażerów. Następnie sformułowano modele do obliczania liczby pasażerów wsiadających i wysiadających z autobusów oraz czasu wymiany pasażerów i tak zwanego czasu technicznego po zakończeniu wymiany.

W rozdziale siódmym przedstawiono model przemieszczania się autobusów i innych pojazdów w obrębie przystanku autobusowego. Po krytycznej ocenie przydatności

istniejących modeli mikrosymulacyjnych do realistycznego modelowania ruchu w obrębie przystanku, Autorka zaproponowała i przetestowała oryginalną metodę modelowania „jazdy za liderem” z wykorzystaniem logiki rozmytej.

Rozdział ósmy stanowi opis całościowego modelu symulacyjnego ruchu na odcinku zawierającym przystanek autobusowy. Model składa się z szeregu modeli cząstkowych, które są przedstawiane w formie schematów blokowych oraz układów równań. Autorka przedstawia wyniki przebiegów symulacyjnych procesu ruchu na odcinku oraz przyjętą metodę weryfikacji modelu.

Rozdział dziewiąty zawiera podsumowanie pracy: przedstawiono zakres przeprowadzonych badań i możliwości ich praktycznego wykorzystania. Sformułowano również wnioski z pracy oraz wskazano kierunki dalszych prac. Generalnym wnioskiem jest to, że zaproponowane modele pozwalają opisać ruch na odcinku zawierającym przystanek autobusowy wykorzystywany przez różnych przewoźników.

3. Ocena pracy

3.1. Temat pracy i problem naukowy

Funkcjonowanie miejskich przystanków autobusowych, z których korzystają miejscy i zamiejscy przewoźnicy często powoduje zatłoczenie na przystanku i zakłócenia w ruchu w jego okolicy. Powstaje pytanie jak najlepiej zorganizować funkcjonowanie tych przystanków, tak aby z jednej strony zapewnić wygodę pasażerów przesiadających się z autobusów miejskich na zamiejskie i odwrotnie, a z drugiej zminimalizować zakłócenia w ruchu autobusów oraz innych pojazdów. Problem naukowy polegający na uwzględnieniu w modelu ruchu w obrębie przystanku zróżnicowania charakterystyki korzystających z niego użytkowników został więc wybrany prawidłowo. Jest to problem nietrywialny, a przy tym rozwiązanie go ma znaczenie praktyczne. We współczesnym zarządzaniu ruchem w miejskich sieciach drogowych potrzebne jest narzędzie do analizy funkcjonowania przystanków autobusowych wykorzystywanych przez różnych przewoźników.

3.2. Ocena zastosowanych metod

Podstawą badań był przegląd literatury krajowej i światowej na temat funkcjonowania przystanków autobusowych oraz modelowania ruchu w obrębie tych przystanków. Autorka wykorzystwała w pracy ponad 80 pozycji literatury naukowej w języku angielskim,

uwzględniając wyniki najnowszych światowych badań. Studia literaturowe dały Autorce niezbędną wiedzę teoretyczną na temat modelowania funkcjonowania przystanków i procesów ruchu.

Rozwiązanie zdefiniowanego problemu naukowego Autorka oparła na badaniach empirycznych. Pomiarów parametrów ruchu drogowego i procesu obsługi pasażerów na przystanku przeprowadzono metodą filmowania na 18 poligonach badawczych. Nagrania były później analizowane metodą obserwacji bezpośrednich. Wyniki opracowano przy użyciu metod statystyki matematycznej z wykorzystaniem specjalistycznych programów.

Na podstawie wyników badań empirycznych został stworzony model mikrosymulacyjny, opisujący proces obsługi pasażerów na przystanku oraz ruch pojazdów na przyległym odcinku ulicy. Model został przedstawiony w formie schematów blokowych i równań oraz zaprogramowany w języku *Python*. Wyniki obliczeń wykazują, że stworzone algorytmy odzwierciedlają zjawisko przemieszczania się pojazdów w rejonie przystanku. Autorka wykazała, że model może być zastosowany do analizowania różnych sposobów organizacji ruchu i różnych sytuacji ruchowych.

3.3. Osiągnięcia Autorki

Najważniejsze osiągnięcia Autorki przedstawione w rozprawie to:

- Zbadanie procesu funkcjonowania przystanków autobusowych, wykorzystywanych przez miejskich i zamiejskich przewoźników, na podstawie szczegółowych pomiarów ruchu przeprowadzonych na 18 poligonach badawczych w Krakowie i Kielcach. Na podstawie pomiarów Autorka wyznaczyła rozkłady parametrów opisujących proces obsługi pasażerów oraz zachowania kierowców autobusów różnych przewoźników.
- Sformułowanie i skalibrowanie mikroskopowego symulacyjnego modelu ruchu drogowego na wielopasowym jednokierunkowym odcinku ulicy zawierającym przystanek autobusowy. Model umożliwia analizę funkcjonowania przystanku, z którego korzystają różni przewoźnicy.
- Sformułowanie autorskiego mikrosymulacyjnego modelu ruchu opartego na modelu „jazdy za liderem” z wykorzystaniem logiki rozmytej. Rozwiązanie to jest oryginalne i stanowi innowacyjne podejście do problemu. Przeprowadzenie dokładnej walidacji modelu wymaga jednak danych, które nie były wykorzystane przy budowie modelu.

- Wdrożenie zaproponowanych algorytmów obliczeniowych w mikrosymulacyjnym programie komputerowym napisanym w języku *Python*.
- Wykazanie przy pomocy wizualizacji, że program właściwie odzwierciedla proces ruchu w okolicach przystanku autobusowego.

W sumie, według opinii recenzenta, rozprawa stanowi oryginalne, wartościowe, autorskie opracowanie spełniające warunki stawiane rozprawom doktorskim. Zaproponowany model jest pierwszym modelem, który opisuje zjawisko funkcjonowania przystanku wykorzystywanego przez różnych przewoźników. Autorka wykazała umiejętność badania zjawiska ruchu drogowego i funkcjonowania przystanków autobusowych oraz zastosowania narzędzi takich jak rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w analizie danych i modelowaniu procesów ruchu. Ponadto wykazała również umiejętność wdrażania mikrosymulacyjnych modeli ruchu. Wyniki badań mają znaczenie dla praktyki zarządzania ruchem a zwłaszcza dla organizacji transportu autobusowego.

Generalnie bardzo pozytywna ocena rozprawy nie oznacza, iż nie budzi ona szeregu uwag krytycznych, które sformułowano w kolejnym punkcie.

4 Uwagi

4.1. Uwagi ogólne

- Stosowany wielokrotnie w pracy termin „weryfikacja modelu symulacyjnego” jest niewłaściwy i mylący. W procesie tworzenia symulacyjnych modeli ruchu wyróżniamy zwykle trzy fazy: (1) sformułowanie modelu (2) kalibracja modelu i (3) walidacja modelu. Sformułowanie modelu polega na określeniu założeń, równań opisujących modelowane zjawisko oraz algorytmu obliczeniowego. Na tym etapie można weryfikować poszczególne założenia i równania, porównując wstępne wyniki z obserwacjami. Kalibracja to dobór wartości parametrów modelu, które pozwolą na uzyskanie wyników najbardziej zbliżonych do obserwacji dla poszukiwanych miar warunków ruchu. Walidacja polega na zastosowaniu modelu i porównaniu wyników symulacji z danymi empirycznymi dla przypadków, które nie były wykorzystane w kalibracji. Dopiero tak przeprowadzona walidacja stanowi o pełnej wiarygodności modelu. Zaleca się zatem przeprowadzenie walidacji modeli zaproponowanych w pracy.

- Praca sprawia wrażenie, że Autorka starała się odwzorować jak najdokładniej i jak najbardziej szczegółowo niezbyt uporządkowany proces funkcjonowania przystanku autobusowego, z którego korzysta wielu przewoźników. Jednakże bardziej dokładny i bardziej szczegółowy model niekoniecznie jest lepszy z praktycznego punktu widzenia. Dobry model powinien być uproszczeniem rzeczywistości i zawierać tylko zmienne oraz odzwierciedlać tylko zależności istotne z punktu widzenia miar oceny warunków ruchu i jakości obsługi pasażerów. W tym wypadku najważniejsze miary warunków ruchu to straty czasu autobusów i innych pojazdów oraz prawdopodobieństwo powstawania kolejek. Można zadać pytanie czy z tego punktu widzenia zmienne takie jak „położenie miejsca oczekiwania pasażerów na przystanku” czy „numer pasa ruchu na którym pojazd opuszcza obszar analizy” są istotne? Testem dla modelu powinna być możliwość zastosowania go do oceny nowo projektowanego przystanku – w tym przypadku znana będzie tylko geometria ulicy i przystanku, organizacja ruchu, natężenia ruchu dla poszczególnych relacji, częstotliwości przyjazdu autobusów różnych przewoźników oraz liczby pasażerów wsiadających i wysiadających. Czy możliwe jest zastosowanie modelu dla tak ograniczonego zestawu danych wejściowych?
- Cel przedstawionej w rozdziale 4 analizy porównawczej poligonów metodą skalowania wielowymiarowego MDS nie jest wystarczająco jasno przedstawiony. Stwierdzono wyraźne różnice między przystankami w Krakowie i Kielcach ale przyczyny różnic między tymi poligonami nie są wyjaśnione ani przedyskutowane. Jaki jest wpływ tych różnic na dalsze analizy i modelowanie?
- W zaproponowanym przez Autorkę modelu wyboru miejsca zatrzymania autobusu wątpliwości budzi uzależnienie tego miejsca od położenia środka grupy oczekujących pasażerów. Położenie środka grupy oczekujących w danym momencie wydaje się być dosyć przypadkowe, może się szybko zmieniać i dlatego nie jest dobrą zmienną objaśniającą. Nawet jeśli kierowcy autobusów uwzględniają to w swojej decyzji o wyborze miejsca zatrzymania, to jak mogą odróżnić oczekujących na autobusy miejskie i zamiejskie, albo pasażerów różnych linii? A co w przypadku gdy nie ma pasażerów oczekujących tylko wysiadający? Również logika zastosowania w modelu regresyjnym miejsca zatrzymania (strona 115) zmiennych ZN3 – ZN5 budzi wątpliwości: w jaki sposób sytuacja za autobusem może wpływać na wybór miejsca zatrzymania? Czy liczba pojazdów podjeżdżających za danym autobusem (ZN5) jest możliwa do zaobserwowania bądź oszacowania przez kierowcę?

- Model czasu wymiany pasażerów przedstawiony na rys. 6.7 zakłada, że wsiadanie rozpoczyna się dopiero po zakończeniu wysiadania. Nie uwzględnia to częstych sytuacji gdy pasażerowie wciąż wysiadają jednymi drzwiami a inni zaczynają już wsiadać drugimi. Powstaje pytanie czy nie lepiej poszukać funkcji całkowitego czasu wymiany pasażerów, zależnego od liczby wysiadających, liczby wsiadających i liczby drzwi?
- Wymaga wyjaśnienia dlaczego testy zgodności modelu symulacyjnego z rzeczywistością (Tab. 7.1) wykonano na podstawie porównania miejsca zatrzymania autobusów, podczas gdy w czasie symulacji „czas postojów i miejsca zatrzymania były wczytywane z bazy danych” (str. 174, wiersz 4). W tym wypadku niezgodność wyników z obserwacją świadczy o tworzeniu się kolejek – prawdopodobnie w sytuacjach zwiększonego ruchu. Natomiast zgodność obserwacji z symulacją nie może świadczyć o poprawności modelu jeżeli zaobserwowane położenie miejsca zatrzymania było wczytane do modelu!

4.2. Uwagi szczegółowe

- str. 7-11 – wykaz oznaczeń powinien być zestawiony alfabetycznie.
- str. 74 – dopuszczalny błąd pomiaru jest zwykle przyjmowany w procentach. Przyjęcie maksymalnego błędu czasu wymiany pasażerów w sekundach skutkuje innym procentowym błędem dla różnych grup pasażerów.
- str. 111, tab. 5.1 – podane średnie wartości miejsca zatrzymania pojazdów są ujemne – czy oznacza to, że większość autobusów zatrzymuje się dalej niż czoło przystanku? Układ współrzędnych pokazany na rys. 7.10 sugeruje, że odległości mierzone są wstecz od czoła przystanku (przekrój zero). Jest to również zgodne z wynikami prezentowanymi w rozdziale 6.
- str. 119, tab. 5.2-5.3 – wyniki regresji przedstawione w tablicach zawierają błędy: wartości statystyki t-Studenta nie odpowiadają prawdopodobieństwu p że dana zmienna nie jest istotna statystycznie. Generalnie, przy dużej liczbie obserwacji ($n > 30$) wartości t-Studenta poniżej 2,0 wskazują na nieistotność zmiennej.
- str. 121 – na rysunku 5.6 pokazano reszty położenia miejsca zatrzymania a jak wygląda rozkład wartości?
- str. 121, rys. 5.7 – symbole i linie zastosowane na wykresie nie są opisane.

- str. 132, rys. 6.2-6.3 – nie wyjaśniono co to jest „skalowana pozycja oczekiwania pasażerów”?
- str. 169 – trzeci akapit stanowi powtórzenie drugiego.
- str. 176, wiersz 1 – niedokończone zdanie: „... i danych rzeczywistych dla.”

4.3. Uwagi językowe i redakcyjne

- Praca jest bardzo dobrze dopracowana pod względem językowym i redakcyjnym – napisana jest poprawną polszczyzną odpowiednią dla opracowań naukowych, bez żadnych określeń żargonowych i kolokwializmów.
- Zwraca uwagę niezwykle staranne opracowanie graficzne pracy oraz załączników – rysunki są czytelne i dobrze opisane, wykresy mają prawidłowo opisane osie i legendy.
- Spis treści powinien być uzupełniony o spis rysunków i spis tablic.

Powyższe uwagi (punkt 4) w najmniejszym stopniu nie dyskwalifikują rozprawy, która – jak to stwierdzono wcześniej – zasługuje na wysoką ocenę. Uwagi mają w założeniu pomóc Autorce w przygotowaniu publikacji i w dalszych pracach badawczych.

5 Podsumowanie i wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Justyny Stępień zatytułowaną "Wpływ przystanków autobusowych na sprawność ruchu drogowego i komunikacji miejskiej", która powstała w Politechnice Świętokrzyskiej pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Andrzeja Rudnickiego, stwierdzam, że w pracy tej Autorka przedstawiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Ponadto praca świadczy o tym, że mgr inż. Justyna Stępień posiada ogólną wiedzę teoretyczną z dziedziny systemów transportowych i metodyki komputerowego modelowania ruchu oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Oznacza to, że praca spełnia wymagania 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.) i w związku z tym wnioskuję o dopuszczenie jej do obrony publicznej.



Piotr Olszewski