

Warszawa, 13 lipca 2023 roku

Dr hab. inż. Konrad Lewczuk, prof. uczelni
Wydział Transportu, Politechnika Warszawska
ul. Koszykowa 75,
00-662 Warszawa,
Konrad.Lewczuk@pw.edu.pl
Tel. +48 22 234 74 91
Kom. +48 502 897 670

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Arkadiusza Drabickiego
pt. *Modelling the impact of real-time crowding information in urban public transport networks*

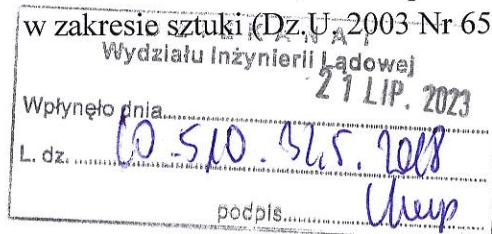
Modelowanie oddziaływania informacji w czasie rzeczywistym o napelnieniu pasażerskim w sieciach miejskiego transportu zbiorowego

Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata
Promotor pomocniczy: dr inż. Rafał Kucharski
Konsultanci: prof. Oded Cats
prof. Achille Fonze

1 Podstawa formalna wykonania recenzji

Recenzja opracowana została na zlecenie Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej (pismo nr L0.510.32.3.2018 z dnia 24.04.2023 r.), zgodnie z Uchwałą RNWIL PK z dnia 19.04.2023 r. oraz na podstawie dostarczonej w formie elektronicznej rozprawy doktorskiej pt. *Modelling the impact of real-time crowding information in urban public transport networks* mającej formę cyklu pięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych – na podstawie art. 187 ust. 3 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022 poz. 754 z dn. 3 marca 2022 r. z późniejszymi zmianami).

Recenzja stanowi element postępowania o nadanie Panu mgr inż. Arkadiuszowi Drabickiemu stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport. Przewód doktorski został otwarty 20.06.2018 r. na podstawie Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003-Nr 65 poz. 595).



2 Ogólna charakterystyka cyklu publikacji

Przedmiotem opiniowanej rozprawy doktorskiej jest modelowanie wybranych procesów w systemach transportu publicznego (zbiorowego), a w szczególności efektów dostarczania pasażerom w czasie rzeczywistym informacji o zatłoczeniu pojazdów (*Real Time Crowding Information* – RTCI) i wpływu RTCI na decyzje podróżnych o wyborze trasy, kursu lub godziny odjazdu w systemach miejskiego transportu zbiorowego. Temat ten został opracowany przez Doktoranta w formie cyklu czterech opublikowanych i jednego przyjętego do druku (w chwili składania wniosku), powiązanych tematycznie, artykułów naukowych:

1. Drabicki, A., Kucharski, R., Cats, O., & Szarata, A. (2021). Modelling the effects of real-time crowding information in urban public transport systems. *Transportmetrica A: Transport Science*, 17(4), 675-713.
2. Drabicki, A., Kucharski, R., Cats, O., & Fonzone, A. (2017, June). Simulating the effects of real-time crowding information in public transport networks. In 2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS) (pp. 675-680). IEEE.
3. Drabicki, A., Cats, O., Kucharski, R., Fonzone, A., & Szarata, A. (2023). Should I stay or should I board? Willingness to wait with real-time crowding information. *Research in Transportation Business and Management* (in press – zaakceptowana i przyjęta do druku).
4. Drabicki, A., Kucharski, R., & Cats, O. (2022). Mitigating bus bunching with real-time crowding information. *Transportation*.
5. Drabicki, A., Cats, O., & Kucharski, R. (2021, June). The potential of real-time crowding information in reducing bus bunching under different network saturation levels. In 2021 7th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS) (pp. 1-6). IEEE.

Wymienione artykuły publikowane były w czasopismach o dobrej renomie i mocnej pozycji w obszarze transportu. *Transportmetrica A: Transport Science* oraz *Research in Transportation Business and Management* są w drugim, zaś *Transportation* w pierwszym decylnie wg bieżącego wskaźnika CiteScore bazy Scopus. Wymienione czasopisma posiadają *impact factor*. Z kolei wydawnictwa pokonferencyjne IEEE są uznawane za wysokiej jakości publikacje naukowe. Analiza literatury dotyczącej *Real Time Crowding Information* wskazuje na istotny wpływ Doktoranta w tym obszarze. Nie napotkano opracowań naukowych polemizujących z opublikowanymi przez Doktoranta tezami.

We wszystkich wymienionych artykułach Doktorant jest pierwszym autorem i zgodnie z deklaracją miał *podstawowy* (uznano, że *kluczowy*) wkład w zasadnicze etapy prac, w tym formułowanie problemów i celów badawczych, opracowanie metodyki analitycznej, opracowanie planu badań i prowadzenie analiz, obróbkę danych i weryfikację wyników, formułowanie wniosków, opracowanie i aktualizację manuskryptów oraz koordynację współpracy pomiędzy współautorami. Deklarowany przez Doktoranta udział w powstaniu publikacji należy uznać za znaczący i pozwalający na rozważanie przedstawionego cyklu jako rozprawy doktorskiej w myśl przepisów prawa.

Należy zauważyć, że artykuły wchodzące w skład cyklu poddane były recenzjom zgodnie z polityką czasopism naukowych, w których były publikowane. Zostały więc częściowo

zweryfikowane. Pomimo tej formy akceptacji naukowej, w niniejszej recenzji ocenie podlega cykl publikacji jako całość wraz z jego składowymi przedstawiony w formie rozprawy.

3 Ogólna charakterystyka rozprawy

Artykuły wchodzące w skład cyklu poddano obróbce edytorskiej i skomponowano do postaci opracowania naukowego – rozprawy, na którą składa się:

- 129 stron tekstu, w tym 18 stron tekstu w języku polskim, pozostała część w języku angielskim.
- Spis treści, wykaz prac wchodzących w skład cyklu, deklaracja wkładu autorskiego Doktoranta, słownik skrótów, streszczenie w języku polskim, jeden rozdział nienumerowany w języku polskim, streszczenie w języku angielskim i pięć rozdziałów numerowanych w języku angielskim.

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w pięciu rozdziałach (2.1., 2.2., 3., 4.1. i 4.2.) odpowiadających poszczególnym artykułom z cyklu, w których Doktorant odnosi się kolejno do pytań badawczych rozprawy (mających charakter tez). Rozdział 1. *Introduction*, zgodnie z tytułem, ma charakter wprowadzający do tematyki i dobrze spełnia to zadanie, zaś w rozdziale 5. *Discussion* Doktorant podsumowuje swoje osiągnięcia, formułuje wnioski i kreśli kierunki dalszych badań. Rozprawa, chociaż oparta o artykuły naukowe, ma formę spójnego opracowania, a jej układ należy uznać za odpowiedni dla dysertacji tego typu.

Rozdziały poświęcone kolejnym zagadnieniom – edytowane artykuły, mają układ typowy dla krótkiej formy naukowej jaką jest artykuł, tj. zawierają osobne wprowadzenia, opisy metodologii badawczej i narzędzi, opisy uzyskanych efektów, konkluzje i dyskusje końcowe oraz spisy literatury. Ze względu na swój charakter rozprawa nie zawiera ujednoliconego przeglądu literatury/stanu wiedzy, ale jest on skutecznie ujawniany w kolejnych rozdziałach, wraz z przedstawianiem kolejnych elementów tematu.

Krytyczny dla zrozumienia koncepcji rozprawy jest rozdział 1. *Introduction*, który zawiera uzasadnienie podjęcia tematu badań, zidentyfikowane luki badawcze (w formie 3 twierdzeń), nakreśla 3 pytania badawcze, a także przedstawia zastosowane narzędzia i zakres rozprawy. Wdrożone przez Doktoranta podejście jest spójne i sprawia, że rozprawa jest czytelna i atrakcyjna w odbiorze. Język angielski zastosowany w rozprawie jest poprawny i bogaty. Fragmenty pisane w języku polskim nie odbiegają poziomem od części pisanych w języku angielskim.

Dobór artykułów, a także ich opracowanie do postaci spójnej rozprawy, jej podział na rozdziały i podrozdziały oraz sformułowanie pytań badawczych i wniosków są prawidłowe i logiczne oraz zgodne z zasadami pisania pracy naukowej. W poszczególnych rozdziałach widoczny jest wyraźny podział na część analityczną, określającą bieżący stan wiedzy, część metodologiczną oraz część praktyczną, w której Doktorant przedstawił swoje badania oraz ich wyniki. Badania zostały odpowiednio udokumentowane za pomocą grafik oraz tabel.

Stwierdzam zatem, że struktura cyklu artykułów, a także powstałego z nich opracowania, odpowiada charakterowi dysertacyjnemu, a język artykułów i ich umocowanie w aktualnym stanie wiedzy świadczą o głębokiej znajomości podjętej przez Doktoranta problematyki.

4 Ocena doboru tematu

Systemy transportu publicznego (zbiorowego) są przedmiotem badań naukowych obejmujących m.in. planowanie rozwoju systemów transportu publicznego, dobór technologii transportu, konstrukcję środków transportu, planowanie i organizację ruchu, sterowanie i monitorowanie ruchu, przydział zasobów do zadań, bezpieczeństwo, oddziaływania środowiskowe i społeczne, a także kwestie efektywności, energochłonności, jakości czy komfortu podróżowania. Jednocześnie nieustające zwiększanie się populacji obszarów miejskich, dążenie do poprawy jakości życia mieszkańców oraz rozwój techniki w zakresie transportu, systemów monitorowania ruchu i przetwarzania informacji sprawiają, że transport publiczny jest aktywnym i bardzo aktualnym obszarem badań naukowych.

Czynniki kształtujące mobilność mieszkańców obszarów miejskich zmieniały się w ciągu ostatnich dziesięcioleci. Wynika to m.in. ze zwiększania się wrażliwości na potrzeby osób o ograniczonych możliwościach przemieszczania się, zmieniających się warunków demograficznych, powszechnego wdrażania technik ICT i ITS w transporcie zbiorowym, a także zwiększającej się świadomości technologicznej użytkowników transportu publicznego. W konsekwencji czynnik komfortu użytkowania transportu, rozumiany jako subiektywne odczucie komfortu przez pasażera, bardzo zyskał na znaczeniu. Waga komfortu jako kryterium podejmowania decyzji mających na celu świadomą konfigurację usług transportowych przez użytkowników z punktu widzenia ich potrzeb jest więc coraz większa, co widoczne jest także w aktywności naukowej.

Wspomniany rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych oraz usług sieciowych dostępnych z poziomu urządzeń mobilnych i stacjonarnych sprawiły, że zakres dostępnych dla podróżujących informacji wpływających na ich decyzje zwiększył się. Nowe rodzaje informacji, np. dostarczane przez rozwiązania RTCI, poszerzyły przestrzeń decyzyjną pasażerów i wpłynęły na ich zachowania. To z kolei prowadzi do powstawania nowych zjawisk w systemach transportu publicznego, które należy badać i oceniać w celu dalszego usprawniania tych systemów.

Jak słusznie wskazuje Doktorant „Cel badawczy jest osadzony w obecnym krajobrazie mobilności miejskiej, w którym brakuje jeszcze implementacji RTCI, choć staje się ona coraz bardziej wykonalna w wielu obszarach transportu miejskiego na całym świecie. W związku z tym wymaga to opracowania analitycznych narzędzi wspomagających i modelujących, niezbędnych do właściwego zrozumienia zjawisk wywołanych przez RTCI i ich implikacji w sieciach transportu publicznego.”

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione czynniki, a także powstałe do tej pory opracowania na temat wpływu dostarczania informacji o zatłoczeniu środków transportu na działanie systemów transportu publicznego stwierdzam, że podjęte przez Doktoranta zagadnienie ma duży potencjał badawczy, eksploruje nowe obszary i jest dysertabilne. Ponieważ przedstawione w cyklu artykułów badania mają wysoki potencjał aplikacyjny, stwierdzam, że realizacja tematu stanowi przykład dobrze rozumianych badań stosowanych.

5 Analiza treści rozprawy

Rozprawa rozpoczyna się od *Podsumowania pracy w języku polskim*, w którym nakreślono tło dla prowadzonych badań oraz streszczono rozprawę omawiając jej problematykę i cel jakim jest weryfikacja trzech hipotez badawczych dotyczących efektów oddziaływania RTCI na systemy transportu publicznego. W punkcie tym (rozdziale?) omówiono strukturę pracy oraz oddzielnie metodykę i wyniki dla kolejnych zagadnień badawczych, które sformułowano następująco:

- „Modelowanie wpływu sieciowego RTCI na zmiany trasy podróży.”
- „Badania reakcji pasażerskich na RTCI w zakresie oczekiwania na późniejszy odjazd.”
- „Analizy symulacyjne wpływu RTCI na wybór odjazdu z przystanku.”

Punkt ten kończą *Wnioski i podsumowanie* oraz spis literatury, zaś poprzedza go krótkie streszczenie całości rozprawy.

Rozdział 1. *Introduction* jest pierwszym z rozdziałów, które można określić jako zasadnicze. W pierwszym momencie można odnieść wrażenie, że jest to anglojęzyczna wersja *Podsumowania pracy w języku polskim*, ale rozdział ten w mniejszym stopniu ma charakter streszczenia, a w większym faktycznego wprowadzenia – przewodnika do badań. W rozdziale tym Doktorant sformułował i dobrze uzasadnił luki badawcze, cel główny oraz trzy pytania badawcze:

- [RQ1]: *Jak należy modelować wpływ RTCI na wybór trasy przejazdu w miejskiej sieci transportu zbiorowego i jaki jest jego wpływ na całą sieć?* (zagadnieniu temu poświęcono rozdział 2.).
- [RQ2]: *Jaka jest deklarowana gotowość (wola) oczekiwania na kurs mniej zatłoczony z uwzględnieniem RTCI w miejskiej sieci transportu zbiorowego?* (zagadnieniu temu poświęcono rozdział 3.).
- [RQ3]: *Jak należy modelować wpływ RTCI na wybory pasażerów odnośnie czasu odjazdu w miejskich sieciach transportu zbiorowego i wpływ RTCI na zakłócenia w funkcjonowaniu transportu publicznego (tzw. grupowanie autobusów)?* (zagadnieniu temu poświęcono rozdział 4.).

Rozdział 1. umożliwia zrozumienie całości koncepcji rozprawy, dobrze adresuje podnoszone w niej kwestie i zapewnia precyzyjne odniesienia do kolejnych fragmentów rozprawy. Rozdział ten poprzedzono jednostronicowym *Summary in English*.

Rozdział 2. *Modelling the impact of real-time crowding information on passenger route choices* poświęcony został pierwszemu zagadnieniu badawczemu, tj. modelowaniu wpływu sieciowego RTCI na zmiany trasy podróży. W podrozdziale 2.1. powstałym w oparciu o publikację nr 2. Doktorant przedstawił badanie wstępne algorytmu wyboru tras przez pasażerów z punktu widzenia dostępnej RTCI, które pozwoliło na zweryfikowanie założeń i walidację algorytmu. W podrozdziale 2.2. powstałym w oparciu o publikację nr 1. przedstawił pełnoskalowe badanie dotyczące modelowania decyzji o wyborze tras przez pasażerów z uwzględnieniem RTCI. Zaproponowany algorytm RTCI został zaimplementowany jako rozszerzenie mezoskopowego symulacyjnego agentowego modelu przydziału BusMezzo polegające na wyposażeniu pasażerów w wiedzę o chwilowych poziomach zatłoczenia w pojazdach komunikacji miejskiej. W części aplikacyjnej przedstawiono wyniki symulacji dla wielkoskalowego modelu systemu transportu publicznego Krakowa. Wykazano m.in., że RTCI

może przyczyniać się do poprawy jakości podróży i zmniejszać prawdopodobieństwo wystąpienia efektów nadmiernego zatłoczenia.

Rozdział 3. *Investigating the willingness to wait with real-time crowding information in urban public transport* został poświęcony drugiemu zagadnieniu badawczemu, tj. gotowości do oczekiwania WTW (*willingness-to-wait*) przez pasażerów na mniej zatłoczony kurs z uwzględnieniem RTCI. W celu odpowiedzi na pytanie badawcze zaproponowano metodologię budowy modeli decyzyjnych i szacowania WTW. W pierwszej kolejności zaprojektowano i zrealizowano z pozytywnym skutkiem badanie ankietowe pasażerów *in situ* dotyczące preferencji w zakresie wyboru kursów mniej zatłoczonych w funkcji czasu oczekiwania i poziomu zatłoczenia w Krakowie. W oparciu o wyniki ankiety rozważono modele odzwierciedlające wybory pasażerów w zakresie WTW oparte na mieszanym binarnym modelowaniu logitowym. Następnie oszacowane parametry modelu decyzyjnego zostały wykorzystywane do obliczenia progów czasu oczekiwania i mnożników zatłoczenia związanych z WTW dla każdego scenariusza RTCI. Badania wykazały, że 50-70% respondentów rozważa ominięcie pierwszego, nadmiernie zatłoczonego odjazdu, a 10-30% ominie pojazd umiarkowanie zatłoczony. Dopuszczalny czas oczekiwania zazwyczaj wynosi od 2 do 13 minut. W konsekwencji wykazano, że RTCI może wpłynąć na WTW.

Rozdział 4. *Modelling the impact of real-time crowding information on passenger departure choices* poświęcony został trzeciemu zagadnieniu badawczemu, tj. analizom symulacyjnym wpływu RTCI na wybór odjazdu z przystanku, a w szczególności zjawisku deregulacji kursowania i przepływów na linii autobusowej (tzw. *bus bunching*). W podrozdziale 4.1. powstałym w oparciu o publikację nr 5., wykorzystując dane nt. WTW uzyskane w rozdziale 3., przedstawiona została wstępna analiza symulacyjna procesu wyboru odjazdu z przystanku w świetle dostępnej RTCI i wpływu takich wyborów na trajektorie czasowo-przestrzenne autobusów dla prostego modelu testowego.

Ponieważ wykazano potencjalny pozytywny wpływ RTCI na regularność kursowania autobusów, w podrozdziale 4.2. powstałym w oparciu o publikację nr 4. przedstawiono badania w większej skali na przykładzie linii autobusowej nr 523 w Warszawie. Przedstawiono algorytm wyboru odjazdu przez pasażera symulujący wpływ w pełni dostępnej RTCI na natychmiastowe decyzje dotyczące wejścia na pokład na przystankach z uwzględnieniem preferencji gotowości pasażerów do wydłużonego czekania WTW, a także omówiono konsekwencje dla wydajności systemu transportu publicznego uwzględniające m.in. czasy odjazdów i prędkości autobusów. Wykazano, że RTCI w określonych warunkach może poprawić komfort podróży i efektywność systemu transportowego poprzez redukcję zjawiska *bus bunchingu*. W obu punktach wykorzystano narzędzie symulacji agentowej *BusMezzo*.

Rozdział 5. *Discussion* jest syntetycznym podsumowaniem, w którym Doktorant konfrontuje uzyskane rezultaty z postawionymi pytaniami badawczymi udowadniając osiągnięcie założonych przez siebie celów. W rozdziale tym Doktorant nakreślił też przyszłe kierunki swoich badań.

Rozdziały od pierwszego do czwartego należy uznać za oryginalne osiągnięcie naukowe Doktoranta. Uzyskane wyniki należy uznać za ważny i nowatorski wkład do aktualnego stanu wiedzy naukowej i praktycznej w zakresie systemów RTCI oraz ich efektów we współczesnych systemach miejskiego transportu publicznego. Koncepcja cyklu publikacji i realizacja prac

badawczych oraz badań wystawiają Autorowi rozprawy bardzo dobrą ocenę w dziedzinie modelowania systemów transportowych.

6 Ocena merytoryczna rozprawy i jej celu

Ambitne zamierzenie Autora sformułowane w postaci trzech zagadnień badawczych przytoczonych we wcześniejszych fragmentach recenzji, zarówno w aspekcie teoretycznym jak i utylitarnym należy uznać za zrealizowane. U podstaw opracowania rozprawy leżą publikacje współautorskie Autora stanowiące spójny tematycznie cykl, w którym dążył do zbadania problematyki wykorzystania RTCI w systemach transportu publicznego i jego wpływu na efektywność tych systemów i jakość podróżowania. Widoczny jest konsekwentny rozwój koncepcji proponowanych przez Doktoranta w kolejnych publikacjach i umiejętne wykorzystanie wyników badań własnych oraz innych badaczy.

Cel rozprawy doktorskiej sformułowany na stronie 28 zakłada opracowanie ram analitycznych do modelowania wpływu dostarczania w czasie rzeczywistym informacji nt. zatłoczenia środków transportu publicznego (RTCI) na wybory pasażerów odnośnie tras i czasu odjazdów w systemach transportu publicznego. Cel główny rozbito na trzy otwarte pytania badawcze przedstawione w punkcie 5. niniejszej recenzji.

Tak postawiony cel jest poprawny, spójny i nakreśla obszar badań Doktoranta oraz wskazuje zaplanowane do osiągnięcia wyniki teoretyczne i utylitarne. Należy uznać, że cel został w pełni osiągnięty.

O oryginalności badań Doktoranta stanowią następujące elementy:

- Opracowanie spójnej koncepcji badań w oparciu o wyniki cząstkowe przedstawione w artykułach tworzących cykl.
- Opracowanie nowych ram do modelowania efektów sieciowych systemów RTCI.
- Opracowanie algorytmu szacowania wpływu RTCI na decyzje pasażerów dotyczące trasy w obrębie systemu transportu publicznego wraz z implementacją w postaci dynamicznego, agentowego modelu systemu transportu publicznego.
- Pozyskanie unikalnych danych za pomocą badania ankietowego pasażerów transportu publicznego w Krakowie.
- Opracowanie dyskretnych modeli decyzyjnych kwantyfikujących prawdopodobieństwo zjawiska WTW w postaci mieszanych binarnych modeli logitowych.
- Opracowanie algorytmu szacowania wpływu RTCI na decyzje pasażerów o natychmiastowym odjeździe (wejściu do pojazdu) w systemach transportu publicznego wraz z implementacją za pomocą dynamicznej, agentowej platformy symulacyjnej transportu publicznego, która pozwoliła na odtworzenie wpływu WTW na wydajność systemów transportu publicznego.
- Nowatorskie podejście do modelowania wpływu systemów RTCI na regularność kursowania pojazdów w sieciach transportu publicznego (PT) (zmniejszanie efektu *bus bunching*).
- Wnioskowanie na temat możliwości zastosowania systemów RTCI i ich niezawodności dające nowy wkład do wiedzy o rozwiązaniach RTCI.

Rozprawa napisana została poprawnym językiem. Układ treści opiniowanej rozprawy jest w swoim założeniu logiczny, struktura poszczególnych rozdziałów poprawna i bardzo komunikatywna. Drobne zastrzeżenia w tym zakresie sformułowano w punkcie 6. recenzji.

Reasumując, stwierdzam, że zarówno teoretyczny jak i praktyczny cel rozprawy został osiągnięty, a moja ocena merytoryczna rozprawy jest wysoka.

7 Uwagi do rozprawy i pytania

Sformułowane poniżej uwagi i pytania nie wpływają na ocenę merytoryczną, jedynie porządkują niektóre elementy rozprawy oraz ukierunkowują przyszłe prace Doktoranta.

Uwagi ogólne:

1. W rozprawie występują drobne błędy edycyjne, interpunkcyjne i pomyłki literowe (np. „konsekwencje tych zjawiska” – str. 21, „zestawienie w (tab. 5) podsumowuje” – str. 21, „gdy informacji RTCI wskazuje” – str. 22, „rozwój dynamicznej informacji pasażerskiej, takich jak informacja RTCI” – str. 23, numeracja rozdziału 1.3. *Research gap and contribution* nie stanowi kontynuacji numeracji poprzedzających nagłówków, „How do model the RTCI impact” – str. 29, w formułach na str. 79 zastosowano zastępczy co do zasady znak „*” zamiast znaku mnożenia „·”, w formule (3) na str. 79 pominięto granice sumowania). Ze względu na pomijalny wpływ tych błędów na wartość merytoryczną rozprawy jedynie wskazuję na konieczność uważnej korekty redakcyjnej opracowań Doktoranta w przyszłości.
2. Pomimo dużej staranności i dokładności opracowania struktura rozprawy mogłaby zostać ulepszona. Autor wprowadził w rozprawie szereg streszczeń i podsumowań, kolejno: *Streszczenie w języku polskim* (str. 8-9), *Abstrakt* (str. 10) jako element *Podsumowania pracy w języku polskim* (str. 10), *Summary in English* (str. 24) oraz *Introduction* (str. 25), które powiela w pewnej części treści podane wcześniej. Dodatkowo rozdziały 2.1., 2.2, 3., 4.1. i 4.2. rozpoczynają się od osobnych streszczeń (co wynika z faktu konstrukcji rozdziałów odpowiadającej strukturze artykułów). Rozdział *Podsumowanie pracy w języku polskim*, który jest swoistym streszczeniem rozprawy, bardzo użytecznym dla czytelników polskojęzycznych, mógłby zostać całkowicie wyodrębniony poza rozprawę, co pozwoliłoby czytelnikowi skupić się od razu na sednie, tj. rozdziale 1. *Introduction*.

Uwagi i pytania szczegółowe:

3. W sformułowaniu modelu matematycznego na str. 50 zdefiniowano *linię* jako zbiór $L = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ uporządkowanych do postaci sekwencji przystanków s oraz stwierdzono, że linia jest obsługiwana przez kursy r . Pomijając pewną nieścisłość wynikającą z tego, że przymiotem *zbioru* jako pojęcia jest to, że jego elementy nie są z natury uporządkowane, w następnej kolejności wskazano, że r jest kursem należącym do linii L , co opisano jako $r \in L$. Wcześniej wprowadzona definicja stanowi inaczej. Z kolei w tym samym miejscu zdefiniowano *ścieżkę* (drogę) i jako sekwencję przystanków poczynając od przystanku startowego s aż do przystanku końcowego d postaci $i = \{s, s_1, s_2, \dots, s_n, d\}$. Czy więc ścieżka (droga) i linia są według proponowanego podejścia pojęciami tożsamymi?

4. Bardziej spójne sformułowanie zbioru L , o którym mowa w punkcie 4. uwag do rozprawy, przedstawiono na str. 106., ale np. w formule (7) na str. 110 podano, że $s \in L$, co z kolei nie jest spójne z definicją zbioru L podaną na str. 106.
5. Czy założenie, że pasażer maksymalnie jeden raz rezygnuje z odjazdu w ramach WTW ma realny wpływ na wyniki symulacji (str. 20)?
6. W rozprawie wykazano, że system RTCI w określonych warunkach może przyczynić się do zmniejszenia zjawiska *bus bunching* jednakże tylko ogólnie zaznaczono wpływ warunków ruchu na danym odcinku trasy (gęstość ruchu) na to zjawisko oraz możliwe współdziałanie z systemami śledzenia pozycji pojazdów na trasie opartymi o GNSS pozwalającymi na dostosowanie prędkości pojazdów do potrzeb rozkładu jazdy. Systemy śledzenia pojazdów są aktualnie wdrażane, dlatego ich obecność w momencie implementacji RTCI jest bardzo prawdopodobna. Czy efekt RTCI polegający na poprawie regularności kursowania będzie potencjalnie znaczący przy uwzględnieniu warunków ruchowych oraz wpływu systemów pozycjonowania pojazdów?
7. Czy zasadne byłoby wykazywanie zmienności parametrów WTW w odniesieniu do pory dnia wynikające z determinacji pasażera by dotrzeć do miejsca docelowego – pracy, szkoły na czas?
8. W podrozdziale 2.2. Doktorant przyjął założenie, że 100% pasażerów wykorzystuje RTCI do podejmowania decyzji (str. 55), co oznaczałoby, że wyniki uzyskane w tym podrozdziale dotyczą scenariusza najbardziej optymistycznego, który z założenia (np. uwzględniając świadomość technologiczną pasażerów) nie jest bardzo prawdopodobny. Czy można więc zdefiniować wartość progową dostępności RTCI dla pasażerów, które będą uzasadniały wprowadzenie tego rozwiązania w rzeczywistych systemach transportu publicznego (kwestie wiarygodności RTCI Autor planuje badać w przyszłości, o czym pisze na str. 128)? Dodatkowo, czy możliwe jest oszacowanie parametrów minimalnych oferty przewozowej (liczba linii, liczba przystanków na liniach, liczba kursów itp.), przy której możliwe będzie zaobserwowanie pozytywnych efektów wdrożenia RTCI (sytuacja, w której pasażerowie mają realną możliwość decydowania o warunkach podróży)?
9. Czy parametry WTW w zakresie *pre-trip decision* mogą również opisywać decyzję o zmianie kursu bądź trasy już w trakcie jej realizacji (*en-route decision*)? Czy są to zjawiska o różnych podstawach decyzyjnych?

Przedstawione powyżej uwagi i pytania mają charakter wyłącznie dyskusyjny i nie rzutują na jakość osiągnięcia naukowego Pana mgr inż. Arkadiusza Drabickiego.

8 Ocena metod stosowanych oraz samodzielności rozwiązania zagadnienia

Publikacje wchodzące w skład cyklu są publikacjami wieloautorskimi, jednakże analiza toku badań oraz zadeklarowanego przez Doktoranta udziału w ich opracowaniu, w tym sposobu zestawienia i wykorzystania cząstkowych wyników badań prezentowanych w kolejnych artykułach i uzyskanych synergicznych efektów naukowych wskazują na samodzielność rozwiązania zagadnienia przedstawionego w rozprawie. Doktorant na podstawie analizy literatury oraz własnych badań wybrał odpowiedni aparat badawczy umożliwiający

sformułowanie problemu oraz jego rozwiązanie i umiejętnie go wykorzystał. Czytelność badań jest bardzo dobra, podobnie jak przyjęta kolejność (najpierw badania wstępne, potem badania właściwe). Zastosowane metody świadczą o umiejętności samodzielnego rozwiązywania rzeczywistych problemów badawczych związanych z modelowaniem systemów transportu zbiorowego przez Doktoranta.

Przedstawione modele, metody eksperymentalne oraz metody analizy wyników i syntezy uzyskanej wiedzy do postaci użytecznych zależności są prawidłowe i prowadzą do oczekiwanego wyniku – uzyskania zestawu narzędzi analitycznych do badania wpływu dostępności RTCI na decyzje pasażerów związane z przejazdów w systemie transportu publicznego oraz na działanie systemu transportu publicznego.

Przeprowadzone badania ankietowe i eksperymenty obliczeniowe, a także zastosowany aparat modelowania matematycznego pozwalają na stwierdzenie o dobrym opanowaniu wiedzy w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria lądowa, geodezja i transport.

9 Podsumowanie i konkluzja oceny rozprawy doktorskiej

Przeprowadzona analiza rozprawy doktorskiej uzasadnia opinię, że stanowi ona oryginalny i znaczący wkład w badania nad systemami transportu publicznego, a w szczególności nad efektami dostarczania pasażerom w czasie rzeczywistym informacji o zatłoczeniu pojazdów (*Real Time Crowding Information* – RTCI) oraz wpływie RTCI na decyzje podróżnych o wyborze trasy lub kursu przejazdu w systemach miejskiego transportu zbiorowego.

Biorąc pod uwagę powyższe uważam, że rozprawa Pana mgr. inż. Arkadiusza Drabickiego pt. *Modelling the impact of real-time crowding information in urban public transport networks* (*Modelowanie oddziaływania informacji w czasie rzeczywistym o napełnieniu pasażerskim w sieciach miejskiego transportu zbiorowego*) prezentuje wymaganą ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport oraz dowodzi umiejętności prowadzenia badań naukowych. Rozprawa w postaci cyklu publikacji przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, tym samym spełnia wymagania przewidziane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595).

Stawiam wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji jako rozprawy na stopień doktora nauk w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa, geodezja i transport i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

dr hab. inż. Konrad Lewczuk, prof. PW

