

Katowice, dn. 21.06.2018

Dr hab. inż. Renata Żochowska  
Katedra Systemów Transportowych i Inżynierii Ruchu  
Wydział Transportu  
Politechnika Śląska  
ul. Krasińskiego 8  
40-019 Katowice

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra inż. Krystiana Birra

nt. „*Modelowanie podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych*”

### Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowi uchwała Rady Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej z dn. 18 kwietnia 2018 oraz zlecenie Dziekana Wydziału, dra hab. inż. Andrzeja Szaraty, prof. PK z dn. 23 kwietnia 2018 roku.

### 1. Uwagi wstępne i ogólna charakterystyka struktury pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska p. mgra inż. Krystiana Birra pt.: „*Modelowanie podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych*”. Dysertacja składa się z ośmiu rozdziałów, spisu rysunków, spisu tablic, trzech załączników oraz wykazu bibliografii zawierającego 136 pozycji piśmiennictwa (w tym 2 pozycje autorskie i 3 pozycje współautorskie Doktoranta). Tekst rozprawy (wraz z załącznikami) obejmuje 193 strony, w tym 85 rysunków, 55 tablic oraz 80 wzorów. Wszystkie rysunki, tablice oraz wzory zostały ponumerowane w sposób dwustopniowy oraz odpowiednio opisane w tekście zasadniczym pracy. Praca zawiera także streszczenie w języku polskim i angielskim. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Andrzej Szarata, prof. PK.

Treść pracy została podzielona na dwie zasadnicze części: **teoretyczną**, obejmującą identyfikację obszaru badawczego na podstawie studiów literatury w zakresie modelowania wyboru środka transportu i oceny możliwości wykorzystania do tego celu narzędzi matematycznych oraz **praktyczną**, zawierającą wyniki badań Doktoranta wraz z przykładami praktycznego ich zastosowania.

**Rozdział pierwszy** stanowi wprowadzenie do zagadnienia modelowania podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych. W genezie pracy Doktorant w sposób wyczerpujący i logiczny uzasadnił potrzebę podejmowania wybranej tematyki badań, a następnie w kolejnych podrozdziałach sformułował cele, zakres i tezy badawcze pracy. W rozdziale tym zamieszczono również rysunek przedstawiający ogólny schemat pracy, co w znacznym stopniu ułatwia zrozumienie jej struktury oraz zakresu prowadzonych analiz.

DZIEKANAT  
Wydziału Inżynierii Lądowej  
26 CZE. 2018  
Wpłynęło dnia...  
L. dz. 60 510 19.3 2018  
podpis...

W **rozdziale drugim** dokonano analizy literatury krajowej i zagranicznej w zakresie modelowania podróży i metod modelowania wyboru środka transportu. Doktorant przedstawił również stan badań dotyczących czynników wpływających na podział zadań przewozowych oraz zaprezentował narzędzia matematyczne, które można wykorzystać w budowie modeli wyboru środka transportu oraz przy ocenie jakości tych modeli.

**Trzeci rozdział** zawiera charakterystykę wybranych modeli wydzielania podróży pieszych i rowerowych oraz podziału podróży zmotoryzowanych na środki transportowe. Modele te zostały zbudowane na podstawie badań przeprowadzonych w obszarach zurbanizowanych polskich miast: Krakowa, Poznania, Gdańska i Warszawy.

W **rozdziale czwartym** zaprezentowano wyniki badań dotyczących zachowań i preferencji transportowych powiązanych z wyborem środka transportu dla wybranych polskich miast z punktu widzenia odpowiednio zdefiniowanych czynników ilościowych, takich jak: dostępność do samochodu, motywacja podróży, ruchliwość, odległość podróży, liczba dzieci w gospodarstwie domowym, wiek, wykształcenie, gęstość zaludnienia oraz dostępność transportowa. Rozdział ten zawiera także opis baz danych wykorzystanych w pracy, zawierających wyniki kompleksowych badań ruchu przeprowadzonych w Gdańsku, Krakowie oraz Warszawie.

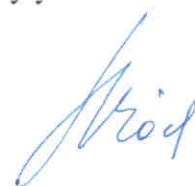
**Rozdział piąty** zawiera prezentację zasadniczej części pracy, czyli procesu obliczeniowego prowadzącego do uzyskania modeli wyboru środka transportu w zależności od wybranych czynników ilościowych. Wyniki dla wybranych trzech miast (Gdańsk, Kraków i Warszawa), zostały przedstawione w postaci tabelarycznej i graficznej oraz odpowiednio omówione w tekście. W rozdziale tym Doktorant zamieścił również rezultaty eksperymentów obliczeniowych w modelowaniu wyboru środka transportu z wykorzystaniem sieci neuronowych oraz opisał założenia i metodykę kalibracji, oceny i weryfikacji modeli.

W **rozdziale szóstym** znajduje się opis możliwości zastosowania wcześniej opracowanych modeli do prognozowania podziału zadań przewozowych. Rozdział ten zawiera również propozycję uproszczonej metody prognozowania podziału zadań przewozowych z uwzględnieniem trudnomierzalnych czynników jakościowych. Ciekawym podejściem jest także wykorzystanie wnioskowania rozmytego do oceny prawdopodobieństwa wyboru transportu indywidualnego przez osoby podróżujące.

Możliwości zastosowania opracowanych przez p. mgr. inż. Krystiana Birra metod i modeli w praktyce zostały przedstawione w **rozdziale siódmym**. Zamieszczone przykłady dotyczą zróżnicowanych scenariuszy rozwoju sieci transportowej oraz elementów polityki transportowej, tj. rozbudowy makroskopowego modelu podróży dla Miasta Gdyni o podróże rowerowe, określenia zależności pomiędzy udziałem podróży realizowanych transportem zbiorowym na poziomie regionalnym a wskaźnikiem motoryzacji, zmian w obszarze stref płatnego parkowania oraz rozbudowy sieci tramwajowej w Gdańsku.

W **ostatnim rozdziale** dysertacji Doktorant przedstawił podsumowanie zrealizowanych prac, odniósł się do celów i tez pracy, sformułował wnioski oraz wskazał kierunki dalszych badań w zakresie modelowania wyboru środka transportu.

Pracę uzupełniono trzema **załącznikami** zawierającymi wartości parametrów opracowanych modeli logitowych z podziałem na motywacje, macierze wag przyjętych w modelu sieci neuronowych oraz zbiór reguł wykorzystanych we wnioskowaniu rozmytym.





Ogólnie uważam, że przyjęty przez Autora **układ pracy jest prawidłowy**. Numeracja rozdziałów ma charakter dwu lub trzystopniowy. Kolejne rozdziały zawierają treści odpowiadające ich tytułom i stanowiące logiczne rozwinięcie problemu badawczego podejmowanego w dysertacji. Większość rozdziałów zakończona jest podsumowaniem lub wnioskami, co oceniam bardzo pozytywnie, gdyż świadczy o umiejętności krytycznej oceny prezentowanych treści oraz stanowi podstawę poszukiwania luk badawczych i wytyczania kolejnych kierunków badań.

Moja jedyna uwaga związana ze strukturą pracy dotyczy objętości poszczególnych rozdziałów, które są dość zróżnicowane, np. objętość rozdziału 3 (10 stron) i 4 (15 stron) jest znacznie mniejsza niż objętość rozdziału 2 (24 strony) czy rozdziału 5 (80 stron). Ponadto treści zawarte w rozdziale 4 są dość luźno powiązane ze sobą. Uważam, że korzystniejsze byłoby włączenie podrozdziału 4.1 do rozdziału 3 ze względu na kontynuację omawiania w nim praktycznych aspektów związanych z modelowaniem podziału zadań przewozowych. Natomiast podrozdział 4.2 należałoby zamieścić w rozdziale 5, ponieważ przedstawia dane stanowiące poligon badawczy Autora dysertacji. W takim układzie treści zawarte obecnie w rozdziale 5, będące opisem głównego osiągnięcia badawczego Doktoranta, warto byłoby podzielić na dwa odrębne rozdziały. Pierwszy z nich obejmowałby ogólną charakterystykę procesu prowadzenia badań (założenia budowy modeli, wybór zmiennych objaśniających, omówienie baz danych oraz struktury próby badawczej), w drugim – znajdowałyby się wyniki badań autorskich w postaci analitycznych modeli podziału zadań przewozowych.

Powyższe uwagi mają charakter redakcyjny i nie wpływają na **ogólną pozytywną ocenę struktury pracy**. W mojej ocenie Autor zachował właściwe proporcje między dwiema zasadniczymi częściami pracy: częścią charakteryzującą aktualny stan wiedzy i motywację podjętych badań a częścią prezentującą wyniki badań własnych i ich analizy.

## **2. Ocena merytoryczna rozprawy**

### **2.1. Ocena doboru tematu oraz celu i zakresu rozprawy**

Wybór sposobu realizacji podróży jest jednym z kluczowych zagadnień związanych z planowaniem transportu w obszarach zurbanizowanych. Wzrost wskaźnika motoryzacji przyczynia się do powstawania zakłóceń w ruchu w postaci kongestii i zatorów komunikacyjnych, powodujących straty czasu, zwiększone ryzyko zdarzeń drogowych oraz koszty z tym związane. Dlatego, coraz częściej podejmuje się działania zmierzające do **zwiększenia udziału podróży realizowanych publicznym transportem zbiorowym**. W tym kontekście identyfikacja czynników wpływających na wybór środka transportu oraz analiza zależności pomiędzy nimi staje się **szczególnie ważnym zagadnieniem**.

Modelowanie podziału zadań przewozowych stanowi jeden z zasadniczych etapów budowy modelu podróży, opisującego w sposób formalny zależności pomiędzy elementami struktury podażowej i popytowej systemu transportowego oraz jego otoczenia. Modele tego typu wykorzystywane są przy **sporządzaniu prognoz ruchu**, wymaganych podczas przeprowadzania analiz kosztów i korzyści niezbędnych przy ubieganiu się o dofinansowanie z funduszy Unii Europejskiej planowanych projektów inwestycyjnych w sektorze transportu. W takich sytuacjach **dokładność modelu jest szczególnie istotna**, gdyż może wpływać na zasadność realizacji danego projektu. Wyniki analiz przeprowadzanych z wykorzystaniem



modeli podróży mają również istotny wpływ na kształtowanie polityki transportowej w miastach oraz pozwalają na ocenę efektywności zarządzania systemem transportowym.

W obszarach zurbanizowanych podział zadań przewozowych odwzorowuje decyzje podejmowane przez użytkowników w zakresie wyboru sposobu przemieszczania się w sieci transportowej, wynikające z potrzeb transportowych generowanych w wyodrębnionych jednostkach terytorialnych, określanych jako rejony transportowe. Decyzje te uzależnione są od wielu czynników, wśród których często w praktyce uwzględnia się jedynie odległość lub czas podróży. Proces decyzyjny podróży ma jednak bardziej złożony charakter. W związku z tym **identyfikacja czynników** wpływających w istotny sposób na podejmowane decyzje w zakresie sposobu realizacji podróży oraz budowa modeli zależnościowych w tym zakresie stanowi **trudny problem badawczy**.

Złożoność problematyki związanej z modelowaniem podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych jest duża. Ocena wpływu różnorodnych czynników na procesy decyzyjne użytkowników w zakresie wyboru środka transportu wymaga przeprowadzenia wielu szczegółowych i pracochłonnych analiz oraz umiejętności wykorzystania odpowiednich narzędzi matematycznych. W związku z tym uważam, że temat podjęty przez Doktoranta w recenzowanej rozprawie jest **ambitny oraz ważny z punktu widzenia poprawy jakości odwzorowania procesów decyzyjnych podróży w modelach transportowych**.

Głównym celem recenzowanej rozprawy jest *„zbadanie czynników wpływających na wybór środka transportu oraz możliwości i zasadności uwzględnienia tych czynników w modelowaniu wyboru środka transportu w czterostopniowym makroskopowym modelu podróży dla obszarów zurbanizowanych”*. Doktorant sformułował również dodatkowy cel badawczy, którym jest *„opracowanie metody prognozowania podziału zadań przewozowych uwzględniającej powyższe czynniki oraz dodatkowe czynniki jakościowe umożliwiające analizę scenariuszy rozwoju”*. Oba cele są ściśle ze sobą powiązane i wskazują konsekwentny tok postępowania w analizie wybranego problemu badawczego. W związku z tym uważam, że **cele pracy zostały właściwie sformułowane**.

Zakres rozprawy wynika bezpośrednio z postawionego celu. W dysertacji można wyróżnić dwie zasadnicze części. **Pierwsza część ma charakter teoretyczny** i obejmuje studia literaturowe w zakresie modelowania podróży, wyboru środka transportu oraz charakterystyki narzędzi matematycznych, które można wykorzystać do osiągnięcia sformułowanego celu badawczego. Odnoszę jednak wrażenie, że zagadnienia związane z dotychczasową praktyką w zakresie budowy modeli wyboru sposobu podróżowania zostały omówione w dysertacji w sposób dość pobieżny i ogólnikowy. W recenzowanej pracy brakuje syntetycznego podejścia do wyników studiów literaturowych w kontekście analizowanego problemu badawczego, które pozwoliłoby uporządkować wiedzę w tym zakresie. Ciekawe byłoby np. zestawienie różnych struktur modeli podziału zadań przewozowych stosowanych w Polsce i za granicą, które pokazałoby kolejne etapy podziału oraz podsystemy transportowe wydzielane na każdym z nich. Innym rezultatem badań literaturowych mogłaby być prezentacja (z uwzględnieniem chronologii i lokalizacji obszaru badawczego) dotychczas stosowanych postaci funkcyjnych modeli podziału zadań przewozowych budowanych dla poszczególnych podsystemów transportowych. Przy ocenie stanu badań w zakresie czynników wpływających na procesy decyzyjne osób podróżujących warto podkreślić również czy są to badania polskie czy zagraniczne ze względu na zróżnicowanie zachowań transportowych wynikające ze specyfiki



danego obszaru i jego otoczenia oraz zastosowanych rozwiązań dotyczących oferowanych usług transportowych.

W **drugiej części rozprawy** zamieszczono i omówiono wyniki kompleksowych badań ruchu w zakresie potrzebnym do dalszych analiz, rezultaty eksperymentów obliczeniowych z wykorzystaniem różnych narzędzi matematycznych, wyniki badań eksperckich dotyczących wpływu czynników jakościowych na wybór środka transportu w stanach prognostycznych oraz rezultaty eksperymentów symulacyjnych z wykorzystaniem rozszerzonej metody modelowania wyboru środka transportu.

Uważam, że zakres pracy został dobrany właściwie dla osiągnięcia postawionych celów badawczych.

Mając na uwadze powyższe, stwierdzam, że problem badawczy podjęty w rozprawie jest trudny i złożony. Temat rozprawy jest aktualny, a zdefiniowane cele i zakres pracy są jasne, zasadne i istotne zarówno z naukowego, jak i z praktycznego punktu widzenia.

## 2.2. Ocena tez naukowych i ich oryginalności

Tezy przedstawione w rozprawie ściśle wiążą się z wcześniej zdefiniowanymi celami badawczymi. Doktorant sformułował następujące dwie tezy badawcze:

*„1) Możliwa jest identyfikacja i parametryzacja czynników mających wpływ na podział zadań przewozowych oraz istnieją zależności pomiędzy tymi czynnikami a udziałem wielkości podróży poszczególnymi środkami transportu. Zależności te da się przedstawić za pomocą modeli analizy regresji, modeli logitowych wyboru dyskretnego, sieci neuronowych i narzędzi wnioskowania rozmytego.*

*2) Możliwe jest stworzenie spójnego podejścia do modelowania podziału zadań przewozowych, które może być zastosowane w procesie budowy modeli symulacyjnych podróży.”*

W mojej ocenie **teza pierwsza** została sformułowana zbyt ogólnikowo. Jej potwierdzeniem są bowiem również modele podziału zadań przewozowych, wykorzystywane dotychczas w praktyce, które uwzględniają takie czynniki jak odległość lub uśredniony czas podróży wyznaczane dla różnych środków transportu. Ponadto, jeżeli wspomina się o „*czynnikach mających wpływ na podział zadań przewozowych*”, to jednocześnie zakłada się, że „*istnieją zależności pomiędzy tymi czynnikami a udziałem wielkości podróży poszczególnymi środkami transportu*”. Według mnie treści zawarte w tym zdaniu mają charakter nadmiarowy.

Poza wyżej sformułowanymi uwagami uważam, że obie tezy stanowią ważny przyczynek w sensie **poznawczym** w **problematyce modelowania zadań przewozowych** w obszarach zurbanizowanych. Oryginalne podejście przez Doktoranta do realizacji celu badawczego umożliwiło przeprowadzenie licznych eksperymentów obliczeniowych. Wyniki tych badań potwierdziły prawdziwość postawionych tez.

W praktyce budowy modeli zadań przewozowych, szczególnie w warunkach polskich, brakuje spójnego podejścia. Ponadto formułując tezę naukową Doktorant wskazał na potrzebę wykorzystania różnorodnych narzędzi matematycznych (tj. analizy regresji, logitowych modeli wyboru dyskretnego, sieci neuronowych i narzędzi wnioskowania rozmytego) w rozwiązaniu podjętego problemu badawczego. Świadczy to o oryginalności postawionej tezy.

### 2.3. Ocena naukowej wartości rozprawy

Do najistotniejszych oryginalnych osiągnięć naukowych Doktoranta przedstawionych w recenzowanej rozprawie zaliczam:

- charakterystykę metod modelowania podziału zadań przewozowych stosowanych w kraju i na świecie oraz ustalenie aktualnego stanu zagadnienia w tym zakresie, ze szczególnym uwzględnieniem czynników wpływających na podejmowanie decyzji dotyczącej wyboru środka transportu oraz narzędzi matematycznych, które można wykorzystać w procesie modelowania,
- opracowanie modeli matematycznych wyboru środka transportu z wykorzystaniem regresji logistycznej oraz logitowych modeli wyboru dyskretnego,
- opracowanie modeli podziału zadań przewozowych z wykorzystaniem sieci neuronowych,
- wskazanie najbardziej istotnych czynników ilościowych wpływających na podejmowanie decyzji co do wyboru sposobu realizacji podróży przez użytkowników sieci transportowej na podstawie samodzielnie przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych,
- zaplanowanie i realizację badań heurystycznych w zakresie wpływu czynników jakościowych na wybór środka transportu oraz analizę ich wyników,
- modyfikację metody prognozowania podziału zadań przewozowych poprzez uwzględnienie wpływu czynników jakościowych,
- opracowanie narzędzia informatycznego opartego na wnioskowaniu rozmytym wspomagającego ocenę wpływu dowolnych kombinacji czterech trudnomierzalnych czynników jakościowych (komfort podróży publicznym transportem zbiorowym, integracja taryfowo-organizacyjna, jakość i dostępność informacji pasażerskiej, edukacja proekologiczna środków transportu oraz mobilności aktywnej) na zmniejszenie udziału podróży transportem indywidualnym.

### 2.4. Ocena doboru metod do rozwiązania problemu przedstawionego w rozprawie

Odwzorowanie zachowań użytkowników sieci transportowej w zakresie podejmowanych przez nich decyzji dotyczących wyboru sposobu realizacji podróży ze względu na swoją złożoność i wieloaspektowość wymaga zastosowania odpowiedniego aparatu matematycznego. Dobór właściwych metod i narzędzi w tym zakresie jest o tyle istotny, że wpływa znacząco na dokładność odwzorowania rzeczywistych decyzji, a tym samym na wiarygodność opracowanego modelu.

Doktorant konstruując autorskie modele wykorzystał różnorodne narzędzia matematyczne. Zasadniczą część pracy stanowią modele analityczne zbudowane na podstawie wiedzy z zakresu analizy regresji oraz logitowych modeli wyboru dyskretnego. Autor podjął również próbę wykorzystania sieci neuronowych do budowy modeli wyboru środka transportu. Zgadzam się z Doktorantem, że jest to narzędzie o dużym potencjale, jednak wymaga jeszcze dalszych pogłębionych badań i analiz. Przy szacowaniu wpływu działań o charakterze jakościowym na udział podróży transportem indywidualnym zastosowano wnioskowanie rozmyte. Takie podejście świadczy o rozległej wiedzy Doktoranta w zakresie współczesnych





technik obliczeniowych oraz umiejętności wykorzystania odpowiedniego aparatu matematycznego w modelowaniu procesów decyzyjnych.

Reasumując, uważam, że podjęty w dysertacji problem badawczy został rozwiązany na odpowiednim poziomie. Wysoko oceniam również aparat modelowania matematycznego wykorzystany przez Doktoranta. Uzyskane wyniki pozwalają wysnuć wniosek o umiejętności doboru właściwych metod i narzędzi do rozwiązywania zadań w zakresie modelowania podziału zadań przewozowych. Takie podejście jest spójne z przedstawioną w pracy tezą naukową.

## **2.5. Ocena samodzielności rozwiązania zagadnienia**

Podjęcie przez Doktoranta trudnej i złożonej problematyki badawczej należy uznać za wysoce ambitne zadanie. Analizowane zagadnienie jest osadzone zarówno w problematyce naukowej, jak i w realiach praktyki. Autor w sposób przejrzysty określił główne cele rozprawy i konsekwentnie dążył do ich realizacji. Wymagało to dokładnej identyfikacji stanu zagadnienia w zakresie modelowania podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych zarówno pod względem teoretycznym, jak i praktycznym. W swojej dysertacji p. mgr inż. Krystian Birr w sposób właściwy sformułował zadanie badawcze oraz umiejętnie dobrał odpowiednie metody i narzędzia matematyczne.

Dla potrzeb rozwiązania problemu badawczego p. mgr inż. Krystian Birr dokonał analizy wyników kompleksowych badań ruchu oraz zaplanował i samodzielnie przeprowadził badania heurystyczne w zakresie oceny wpływu czynników jakościowych na prawdopodobieństwo wyboru określonego sposobu realizacji podróży. Tym samym wykazał się umiejętnością prowadzenia samodzielnych badań naukowych i analiz teoretycznych.

## **2.6. Ocena stopnia wiedzy w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy rozprawa**

Pan mgr inż. Krystian Birr przeprowadził obszerne badania literaturowe. Większość cytowanych publikacji (66 %) to prace wydane po 2000 roku (w tym 47 % po 2010). Należy więc uznać, że Doktorant zapoznał się z aktualnym stanem wiedzy w zakresie badanego zagadnienia. Prace starsze to klasyczne pozycje z zakresu modelowania systemów transportowych i zostały one zamieszczone głównie w celach porządkowych. Cytowane publikacje mają zarówno charakter naukowy (monografie, artykuły wydane w renomowanych czasopismach naukowych), jak i praktyczny (poradniki, wytyczne, raporty z badań). Warto podkreślić, że zdecydowana większość prac (85%), na które powołuje się w swojej pracy Doktorant to prace opublikowane w języku angielskim. Uważam, że cytowane publikacje zostały dobrane w sposób adekwatny do analizy badanego zagadnienia.

Głównie studia literaturowe dały Autorowi rozprawy wiedzę niezbędną do analizy badanego zagadnienia oraz pozwoliły dobrać sposób modelowania, a następnie implementacji zadania badawczego. Złożoność problematyki modelowania podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych wymagała zastosowania wiedzy nie tylko w zakresie dyscypliny **transport**, ale również **pokrewnych obszarów naukowych**. Przy modelowaniu wielkości wyrażonych w postaci danych losowych oraz opracowywaniu wyników badań Doktorant wykorzystał wiedzę z zakresu statystyki, ekonometrii i teorii prawdopodobieństwa. Ponadto p. mgr inż. Krystian Birr sprawnie posłużył się odpowiednim aparatem matematycznym w zakresie budowy modeli zależnościowych wykorzystywanych w makroskopowych



modelach podróży, właściwie wykorzystał istniejące narzędzia informatyczne oraz umiejętnie dostosował je do wymagań i ograniczeń problemu badawczego. Świadczy to o bardzo dobrym opanowaniu wiedzy z dziedziny nauk technicznych.

## 2.7. Ocena umiejętności prezentacji wyników

Wyniki badań prowadzonych przez Doktoranta zostały zilustrowane przede wszystkim w formie tablic i wykresów zamieszczonych na rysunkach, co w dużym stopniu ułatwia odbiór i zrozumienie prezentowanych treści. W pracy znajdują się również rysunki przedstawiające różnego typu schematy, m.in. ogólny schemat pracy (rys.1.1), schematy wyboru opcji w podejściu z wykorzystaniem różnych typów modeli logitowych: dwumianowego, wielomianowego, o strukturze hierarchicznej oraz z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych (rys.2.1, rys.2.3, rys.2.4 i rys.2.5), standardowy schemat podziału podróży na środki transportowe (rys.3.1), strukturę modelu zagnieżdżonego (rys.5.2), podział rodzajów czynników wpływających na wybór środka transportu (rys.5.3), schemat struktury sieci neuronowej (rys.5.32), schemat ogólny procesu prognozowania podziału zadań przewozowych (rys.6.1) oraz strukturę układu i procesu wnioskowania rozmytego (rys.6.10 i rys.6.11), których zamieszczenie uważam za zasadne. Pozytywnie oceniam również prezentację wyników badań symulacyjnych w formie kartogramów natężeń potoków pasażerskich (rys.7.6 i rys.7.7).

Weryfikacja opracowanych modeli analitycznych została przeprowadzona w trzech zakresach:

- poprzez analizę stopnia zgodności wyników dla zbioru podróży w zakresie podziału modalnego otrzymanych z wykorzystaniem opracowanych modeli z danymi empirycznymi zamieszczonymi w bazach KBR dla każdego z analizowanych miast,
- poprzez analizę stopnia zgodności rozkładu ruchu na sieć uzyskanego po implementacji opracowanych modeli do makroskopowego modelu podróży z danymi pomiarowymi w określonych przekrojach sieci transportowej,
- poprzez porównanie zróżnicowania udziału podróży realizowanych poszczególnymi środkami transportu generowanych przez wybrane rejony transportowe.

W mojej ocenie, pomimo uwag zamieszczonych w dalszej części recenzji, taka forma weryfikacji jest wystarczająca przy badaniach związanych z modelowaniem procesów decyzyjnych dotyczących wyboru środka transportu.

Uważam, że treść dysertacji stanowi spójny wywód podporządkowany jej tematowi. W podsumowaniu Doktorant odniósł się do zakresu przeprowadzonych badań i analiz, celów oraz tez sformułowanych na początku pracy, zawarł wnioski oraz wskazał kierunki dalszych badań. Całość została zaprezentowana w zwartej i uporządkowanej formie. Umiejętność wyeksponowania najistotniejszych aspektów teoretycznych i użytkowych rozprawy oraz wskazanie dalszych możliwości rozbudowy modeli podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych świadczą o dużej dojrzałości i świadomości naukowej Doktoranta.

## 3. Uwagi krytyczne

### 3.1. Uwagi merytoryczne

W mojej ocenie recenzowana rozprawa została napisana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Mam jednak kilka pytań i wątpliwości, które nasunęły się podczas studiowania treści pracy.



1. We wprowadzeniu Autor zdefiniował pojęcie „podziału zadań przewozowych” jako *„udział podróży poszczególnymi środkami transportu, który jest bezpośrednio związany z wyborem środka transportu przez każdego użytkownika wykonującego podróż w analizowanym obszarze”*. Czy podróże piesze są również uwzględniane w tym podziale jako „środek transportu”? Jeżeli tak, to należałoby to wyraźnie podkreślić przy definiowaniu pojęcia „podziału zadań przewozowych”.
2. Czy stosując metodę największej wiarygodności sprawdzono założenia związane z możliwością jej wykorzystania?
3. Do budowy modeli podziału zadań przewozowych Autor wykorzystał dane z Kompleksowych Badań Ruchu przeprowadzonych w Gdańsku (2016), Krakowie (2013) oraz Warszawie (2015). Zatem Doktorant opracował swoje modele autorskie na podstawie analizy 3 obszarów zurbanizowanych. Bardzo trudno o uogólnienie w tym zakresie, gdyż każdy z badanych obszarów charakteryzuje się innymi cechami. Być może warto byłoby określić założenia co do możliwości zastosowania tych modeli bazujące na wspólnych cechach analizowanych miast (np. wielkość obszaru, demografia, itp.).
4. Ważnym czynnikiem, umożliwiającym analizę porównawczą wyników otrzymanych dla poszczególnych miast jest liczba i wielkość rejonów transportowych, na które podzielone zostały badane miasta. Czy ten aspekt był rozważany podczas prowadzonych analiz?
5. Czynniki oznaczone jako RA (bezpośrednia dostępność obszaru do transportu szynowego) oraz PARK (występowanie strefy płatnego parkowania) opisano w formie zmiennych dychotomicznych. Czy dla tak zdefiniowanych zmiennych można wyznaczać współczynniki korelacji liniowej Pearsona, których wyniki zaprezentowano w tablicach 5.1 – 5.3 (str.75-76)?
6. W tablicach 5.4 – 5.6 (str.76-77) zamieszczono wartości współczynników korelacji rang Spearmana. Jak wiadomo, miara ta może być wyznaczana w różny sposób. Jakiej zależności wykorzystano w dysertacji do wyznaczenia tego współczynnika?
7. Dobór zmiennych objaśniających w modelach regresji jest złożonym zadaniem kombinatorycznym, szczególnie w przypadku dużej liczby zmiennych. W związku z tym opracowano wiele metod, które w różny sposób ograniczają przestrzeń poszukiwań optymalnego rozwiązania. Czy Doktorant budując modele analityczne (łącznie ponad 3000) wykorzystywał którąś ze znanych metod?
8. Na rys.5.36 oraz 5.37 (str.144) przedstawiono wyniki dotyczące podziału modalnego (transport zbiorowy i transport indywidualny) uzyskane z modelu bazowego oraz autorskiego, a następnie przeprowadzono analizę porównawczą. Na jakiej podstawie i w oparciu o jakie miary zgodności sformułowano wnioski odnoszące się do tych analiz? Być może dobrym narzędziem statystycznym byłby tu test dwóch wskaźników struktury?
9. Na rys.6.5 (str.154) zaprezentowano wyniki badań eksperckich w postaci średniej oceny efektywności różnorodnych działań wpływających na zmniejszenie liczby codziennych podróży samochodem osobowym. Jaki jest poziom wiarygodności tych średnich określony na podstawie miar rozrzutu (np. wskaźnika zmienności)? Podobna uwaga odnosi się do wartości wag istotności poszczególnych działań przedstawionych na rys.6.6 (str.155).
10. Czy i w jakim stopniu wyniki badań heurystycznych wpłynęły na wybór czynników jakościowych uwzględnianych przy ocenie zmiany prawdopodobieństwa wyboru

transportu indywidualnego do realizacji podróży, w której wykorzystano wnioskowanie rozmyte?

### 3.2. Uwagi dotyczące redakcji rozprawy

Ogólnie rozprawa napisana jest poprawnym językiem na dobrym poziomie edytorskim. Doktorant nie ustrzegł się jednak drobnych błędów językowych, stylistycznych i formalnych. Część wątpliwości i uwag szczegółowych została przekazana Doktorantowi oraz wyjaśniona podczas bezpośredniej rozmowy. Za najistotniejsze z nich uważam następujące kwestie:

- podrozdziały w rozdziale 7 mają numerację trzystopniową, podczas gdy rozdział ten ma układ dwustopniowy (drugi poziom został pominięty),
- brak wykazu ważniejszych oznaczeń dla całej pracy, który wymuszałby potrzebę ich ujednolicenia we wszystkich wzorach; Doktorant w sposób dowolny dobiera oznaczenia, co utrudnia zrozumienie treści rozprawy, np. we wzorze (5.1) oznaczenie „ $ij$ ” odnosi się do relacji podróży, podczas, gdy już na kolejnej stronie we wzorze (5.3) oznaczenie to jest interpretowane jako „ $j$ -ty środek transportu należący do  $i$ -tej grupy środków transportu”; oznaczenie to jest dodatkowo nieczytelne, gdyż w tym ostatnim wzorze występuje zapis „ $i \in j$ ”,
- brak odniesień do źródeł przy przytaczaniu wzorów; takie postępowanie sugeruje, że Doktorant jest Autorem tych formuł, co oczywiście nie jest prawdą,
- na str.24 oznaczenia we wzorze (2.1) są niespójne i niezgodne z objaśnieniem znajdującym się poniżej,
- na str.26 we wzorze (2.4) występują oznaczenia  $\beta_n x_n$ , a powinny być  $\beta_i x_i$ ,
- na wykresie przedstawionym na rys.6.2 zastosowano to samo oznaczenie (linia koloru czarnego) dla dwóch różnych wielkości: wskaźnika motoryzacji dla stanu istniejącego dla Gdańska oraz dla Polski,
- brak objaśnienia oznaczenia  $WWKP$  zamieszczonego na osi poziomej wykresu na rys.6.4,
- część objaśnień (np.  $V_P$ ,  $V_R$ ,  $V_{TZ}$ ,  $DIS$ ) do wzorów (6.6) oraz (6.7) nie została wykorzystana w ww. wzorach.

Proszę, aby Autor nie ustosunkowywał się do powyższych uwag w trakcie obrony, lecz ewentualnie uwzględnił je w przyszłych publikacjach.

Ogólnie stwierdzam, że Autor sprawnie posługuje się językiem naukowym, praca jest napisana w sposób przejrzysty i czytelny, a ewentualne drobne uchybienia językowe, stylistyczne i formalne nie obniżają jej wartości merytorycznej.

### 4. Ocena końcowa rozprawy

W recenzowanej dysertacji p. mgr inż. Krystian Birr wykazał się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie modelowania podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych oraz umiejętnością krytycznego podejścia do źródeł literaturowych. Doktorant zidentyfikował, a następnie sformułował cele badawcze oraz opracował metodę prognozowania podziału zadań przewozowych uwzględniającą czynniki o charakterze ilościowym oraz dodatkowe czynniki jakościowe umożliwiające analizę scenariuszy rozwoju. Główny cel pracy został osiągnięty a określenie zbioru czynników ilościowych i jakościowych



wpływających na podejmowanie decyzji o sposobie podróżowania mieszkańców miast stanowi oryginalne ujęcie problematyki modelowania wyboru środka transportu w obszarze zurbanizowanym.

Rozprawa jest napisana w sposób przejrzysty i spójny na wysokim poziomie merytorycznym. Proces modelowania podziału zadań przewozowych został zaprezentowany w sposób czytelny. Autor wyraźnie zdefiniował cele badawcze i konsekwentnie dążył do ich realizacji. Metody wykorzystane do rozwiązania problemu badawczego zostały dobrane właściwie, a wnioski sformułowane na podstawie uzyskanych wyników badań świadczą o umiejętności analize i krytycznej oceny, co jest niezbędne w samodzielnym prowadzeniu prac o charakterze naukowo-badawczym.

Uważam, że recenzowana dysertacja stanowi wartościowe i oryginalne opracowanie spełniające wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Problem badawczy został właściwie sformułowany i rozwiązany za pomocą odpowiedniego aparatu matematycznego. Dobierając odpowiednie narzędzia i techniki obliczeniowe Doktorant wykazał się dojrzałością badawczą oraz potwierdził, że posiada ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Dysertacja została napisana na bardzo dobrym poziomie naukowym, a uwagi zgłoszone w p. 3 (głównie w formie pytań lub drobnych usterek redakcyjnych) nie obniżają ogólnie wysokiej oceny pracy. Temat podjęty w pracy jest ważny, zarówno z teoretycznego, jak i praktycznego punktu widzenia. W związku z powyższym, w mojej ocenie, dysertacja **wnosi istotny wkład w rozwój dyscypliny transport w zakresie modelowania podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych.**

Reasumując, stwierdzam, że recenzowana praca doktorska p. mgr inż. Krystiana Birra spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie transport zawarte w Ustawie z dnia 14 marca 2003 „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki”, wraz z jej późniejszymi zmianami (Dz. U. 2003, Nr 65, poz. 595). Stawiam zatem wniosek o przyjęcie recenzowanej rozprawy przez Radę Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*Renata Łochowska*