

Dr hab. inż. Grzegorz Karoń, prof. PŚ  
Politechnika Śląska  
Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej  
Katedra Systemów Transportowych i Inżynierii Ruchu  
Ul. Krasińskiego 8  
40-019 Katowice

Katowice, dn. 11.12.2020 r.

## RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Urszuli Dudy-Wiertel

pt. „**Wpływ niedoboru miejsc parkingowych w strefie płatnego parkowania na natężenie ruchu samochodowego powodowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego**”

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Szarata, prof. PK

*Podstawą opracowania recenzji jest pismo Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, dr. hab. inż. Andrzeja Szaraty, prof. PK, z dnia 5 października 2020 r.*

### 1. Ocena wyboru tematu pracy, założeń badawczych oraz układu pracy

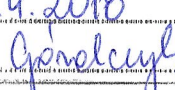
Problemy transportowe miast i aglomeracji związane z zatłoczeniem komunikacyjnym wymagają wieloaspektowego podejścia do zjawisk i procesów, które je wywołują. Jednym z niezbadanych dokładnie naukowo w zakresie opisu matematycznego, modeli, metod i narzędzi praktycznych jest problem efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowych, z uwzględnieniem oceny potencjalnego zapotrzebowania na miejsca parkingowe i dodatkowego ruchu samochodowego – dodatkowego przemieszczania się pojazdów w miejskiej sieci drogowo-ulicznej – związanego z poszukiwaniem tych miejsc, w warunkach przeciążania zdolności parkingowej obszaru.


Są to zagadnienia niezbędne do uwzględniania w planowaniu i organizacji obsługi transportowej przestrzeni miejskich, przy czym ich złożoność i trudność diagnozowania powodują, że aktualne działania w tym zakresie wciąż wymagają naukowego wsparcia z zastosowaniem odpowiednich modeli, metod i narzędzi praktycznych, których w warunkach polskich nie wypracowano jeszcze na odpowiednim poziomie jakościowym.

Mając na uwadze przedstawione uwarunkowania, tematykę rozprawy doktorskiej podejmującą problematykę ruchu pojazdów w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego, uznają za trafną i stanowiącą wkład w rozwój metod modelowania procesów ruchu pojazdów w sieci drogowo-ulicznej związanej z parkowaniem.

Tematem pracy jest **wpływ niedoboru miejsc parkingowych w strefie płatnego parkowania na natężenie ruchu samochodowego powodowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego**.

W pracy podjęto problem związku efektywności funkcjonowania przykrawężnikowych przestrzeni parkingowych z wielkością ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego, dodatkowo obciążającego i tak już przeciążoną ruchem samochodowym miejską sieć drogowo-uliczną. Do rozwiązania tak sformułowanego problemu przyjęto, że osiągnięty

DZIEKANAT	
Wydziału Inżynierii Lądowej	
Wpłynęło dnia.	16.11.2020
L. dz.	LO.510.54.2018
podpis.	



zostanie cel naukowy pracy, określony w następującym zakresie (kolejność zgodna z prezentowaniem treści w pracy):

- 1) Uzupelnienie stanu wiedzy na temat ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca dla zaparkowania samochodu, tzw. *search traffic*,
- 2) Zdefiniowanie wskaźników opisujących stopień dostępności parkingowej obszaru, które będą służyć do oceny efektywności funkcjonowania obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym,
- 3) Określenie związku wybranych wskaźników efektywności parkingowej danego obszaru z wielkością ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego.

Natomiast jako cel praktyczny pracy przyjęto:

- 1) Wypracowanie metody określania realnej efektywności funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej oraz warunków postoju w danym obszarze.
- 2) Wypracowanie metody prowadzenia kompleksowej oceny efektywności parkingowej obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym.

Zjawisko poszukiwania wolnego miejsca parkingowego w warunkach niedoboru miejsc postojowych określono, na podstawie przeglądu literatury, jako proces *search traffic* a ruch pojazdów w tym procesie określono jako *krążenie*, przy czym może ono zostać rozpoczęte przez kierowcę jeszcze przed osiągnięciem punktu docelowego albo dopiero po osiągnięciu tego punktu i stwierdzeniu, że brakuje w jego sąsiedztwie wolnego miejsca parkingowego.

Recenzowana rozprawa liczy 183 strony i w zasadniczej części składa się z siedmiu rozdziałów merytorycznych, ponumerowanych od 1 do 7, streszczeń w języku polskim i angielskim, spisu najważniejszych oznaczeń, bibliografii (201 pozycji), spisów rysunków (86) i tabel (42) oraz załączników (5). Układ treści oraz jej podział na poszczególne części jest poprawny, w tym również dostosowanie objętości rozdziałów do ich treści, na którą składa się oprócz tekstu aż 86 rysunków i 42 tabele.

## 2. Krytyczna ocena poszczególnych części i aspektów rozprawy

**Rozdział 1.** pt. „*Znaczenie racjonalnego kształtowania polityki parkingowej miasta*” (11 stron) ma charakter wprowadzenia do tematu pracy. Jest syntetyczną prezentacją wybranych zagadnień związanych z parkowaniem – przedstawiono m.in. takie pojęcia, jak *deficyt miejsc postojowych*, *strefa z ograniczonym czasem postoju*, *strefa płatnego parkowania*, *wskaźnik rotacji*, *śródmiejska strefa płatnego parkowania*, *obszar płatnego parkowania*, *ruch wzbudzony*, *dostępność parkingowa*, *ruch w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego* (*search traffic*, *cruising for parking*, *krążenie w poszukiwaniu miejsca parkingowego/postojowego*, *ruch jałowy*) z uwzględnieniem dostępu do parkingów wydzielonych (*off-street parking*) i do miejsc postojowych przy ulicy (*on-street parking*) oraz relacji kosztów parkowania na wymienionych rodzajach parkingów.

Rozdział podsumowuje części pt. „1.5. *Geneza podjęcia tematu*” oraz „1.6. *Cel pracy*”, w których zwraca się uwagę na zasadność podjętego problemu w kontekście złożoności związanych z nim zagadnień polityki parkingowej – z jednej strony „*stosowanie rozwiązań mających na celu zwiększenie wykorzystania powierzchni parkingowej w ścisłych centrach miast, w których z założenia dąży się do ograniczenia ruchu, jest obciążone pewnym ryzykiem*” – ryzykiem zwiększenia natężenia ruchu w przyległej sieci ulicznej o większą liczbę przemieszczeń pojazdów, które częściej będą zajmowały i zwalniały miejsca parkingowe z powodu zwiększenia ich rotacji na tych miejscach. Natomiast „*poprawa dostępności wolnych miejsc postojowych może zmniejszyć wielkość potoku pojazdów obserwowanego w sieci ulicznej danego obszaru, przez zmniejszenie jednej z jego składowych: liczby samochodów przemieszczających się wyłącznie w poszukiwaniu wolnego miejsca do parkowania*”, przy czym wiąże się z tym ryzyko powstania *ruchu wzbudzonego* i ponownego dociążenia przyległej sieci ulicznej ruchem nowych pojazdów z powodu dostępności nowych miejsc parkingowych. Zwraca się przy tym uwagę nie tyle na liczbę przemieszczających się pojazdów, co na liczbę przemieszczeń tych pojazdów, które kumulują/zagęszczają się w sąsiedztwie miejsc parkingowych – zarówno w warunkach deficytu tych miejsc, jak również w warunkach ułatwienia dostępu do nich. „*Z tego względu, analizy parkowania, w których ocenie poddaje się efektywność funkcjonowania przestrzeni parkingowych oraz determinowane przez nią warunki postoju, muszą być wykonywane ze szczególnym uwzględnieniem tych relacji.*”

Trafnie więc Autorka sformułowała konkluzję: „*Czy istnieje sytuacja równowagi tych zjawisk?*”, tzn. równowaga pomiędzy zmniejszeniem ruchu pojazdów do centrum miasta w wyniku ograniczenia liczby miejsc postojowych a ryzykiem wzrostu ruchu w sieci z powodu *search traffic* oraz równowaga pomiędzy tworzeniem nowych lub poprawą wykorzystania istniejących miejsc

postojowych, mających zmniejszyć *krążenie pojazdów w search traffic* a ryzykiem powstania *ruchu wzbudzonego* w wyniku zmiany zachowań komunikacyjnych.

Wymienione zidentyfikowane zależności ruchotwórcze, pomiędzy parkowaniem a przemieszczeniami pojazdów, skłoniły Autorkę do poddania pod wątpliwość propagowanych dotychczas metod ograniczania liczby miejsc postojowych (jako sposobu na ograniczanie ruchu do i wewnątrz obszarów śródmieścia) z powodu ryzyka generowania *search traffic* – będącego, niekorzystnym skutkiem takich działań. Podobnie problematyczne wskazywane są metody zwiększania dostępności do istniejących miejsc parkingowych (w celu zwiększenia efektywności ich funkcjonowania) z powodu ryzyka generowania *ruchu wzbudzonego* – również niekorzystnego skutku takich działań.

Biorąc pod uwagę przeprowadzoną identyfikację problemów związanych z tytułowym zagadnieniem Autorka jednoznacznie stwierdza, że „*niezwykle istotnym zagadnieniem jest prowadzenie badań i analiz parkowania uwzględniających wzajemne relacje parametrów parkowania oraz wielkości potoków ruchu w sieci drogowo-ulicznej, zwłaszcza w obszarach centrów miast.*” W związku z tym Autorka podjęła się opracowania metody prowadzenia badań i analiz, które dałyby odpowiedź na pytanie „*czy dotychczasowy kierunek zmian funkcjonowania wrażliwych obszarów śródmiejskich, w doniesieniu do organizowania i regulowania ruchu i parkowania, jest odpowiedni oraz na jakie problemy w szczególności powinni być przygotowani Zarządcy tych obszarów?*”

**Rozdział 2.** pt. „*Opis zjawiska ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego (search traffic)*” (29 stron) prezentuje wyniki przeglądu literatury opisującej zjawisko *search traffic*, m.in. w dwóch aspektach: z punktu widzenia użytkownika – kierowcy pojazdu oraz z punktu widzenia obserwatora – zarządcy ruchu, zarządcy strefy płatnego parkowania, pozostałych uczestników ruchu.

W pierwszej części rozdziału (punkty 2.1 – 2.3) wskazywane są problemy identyfikacji w potoku pojazdów tych samochodów, które przemieszczają się – *krążą* – wyłącznie w procesie poszukiwania wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*) oraz identyfikacji momentu rozpoczęcia tego procesu (przed lub po minięciu celu podróży). W tych aspektach przedstawione zostały różne strategie poszukiwania wolnego miejsca parkingowego podczas *search traffic*, z rozróżnieniem momentu rozpoczęcia poszukiwania, rodzaju parkingu (miejsca przykrawężnikowe, parkingi wydzielone, miejsca zarezerwowane dla określonych użytkowników, miejsca poza wyznaczoną powierzchnią parkingową – nielegalne), wyboru trasy przejazdu (odśrodkowo lub dośrodkowo względem punktu docelowego) oraz ostatecznej decyzji kierowcy (zaparkowanie, zmiana rodzaju parkingu, całkowita rezygnacja z parkowania). Na podstawie charakterystyki wymienionych zagadnień przyjęto, że „*w dalszych rozdziałach, poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego rozumie się, jako przemieszczanie pojazdu w celu znalezienia wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu na miejscu postojowym przy ulicy, czyli tzw. krążenie w poszukiwaniu miejsca parkingowego przykrawężnikowego (search traffic).*” Z jednej strony jest to zawężenie problemu poprzez uwzględnienie tylko tego rodzaju miejsc parkingowych, ale z drugiej strony złożoność zagadnień związanych z *search traffic* wymaga rozwiązywania problemów z tym związanych stopniowo, tym bardziej, że liczba przemieszczeń pojazdów w otoczeniu parkingów przykrawężnikowych stanowi większy problem zatłoczenia komunikacyjnego sieci ulicznej a niżeli *search traffic* na parkingach wydzielonych.

W dalszej części rozdziału przedstawiono tytułowe zagadnienie w aspekcie kosztów (wewnętrznych, uogólnionego kosztu podróży, kosztów zewnętrznych) oraz zilustrowano przykładami obliczeniowymi dla warunków polskich następujące zagadnienia: „*maksymalny czas, jaki można poświęcić na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego bez dodatkowej straty finansowej*”, „*kosztowy ekwiwalent uciążliwości czasu jazdy samochodem osobowym*” uwzględniający czas poszukiwania miejsca postojowego, oraz koszty emisji CO<sub>2</sub>.

Druga część rozdziału 2, (punkty 2.4 – 2.6) obejmuje identyfikację czynników wpływających na proces *search traffic* oraz przegląd stanu zagadnień w zakresie modelowania tego procesu z wyróżnieniem prowadzenia badań oraz stosowanych modeli matematycznych.

Identyfikując czynniki mające wpływ na decyzje kierowców dotyczące procesu *search traffic* wyróżniono grupę czynników obejmujących: czas, koszt, obszar, sieć transportową, infrastrukturę parkingową, politykę parkingową, cechy indywidualne kierowcy (użytkownika), oraz inne (w tym warunki pogodowe). Wskazano również na takie istotne czynniki, jak wpływ motywacji podróży obligatoryjnych i fakultatywnych oraz znajomość obszaru przez kierowcę, które ujęto w grupie czynników związanych z fazą planowania podróży (s. 35). Jest to rozszerzone podejście do zaprezentowanego wcześniej w rozdziale 1, w którym stwierdzono, że ruch związany

z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego nie jest związany z żadną konkretną motywacją (s. 19).

Omawiając badania procesu parkowania (w tym etapu *search traffic*) uwzględniono badania *zachowań kierowców* (badania ankietowe, wideorejestrację ruchów/gestów kierowców, symulatory komputerowe) oraz badania *parametrów podróży* (obserwacje ruchu pojazdów w sieci). Zwrócono przy tym uwagę na trudność identyfikacji w potoku ruchu pojazdów *krążących*, trudność rozpoznania momentu rozpoczęcia *krążenia* – momentu podjęcia decyzji przez kierowcę o poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego, a także na niedokładność pomiaru czasu *krążenia* – wynikająca z jego szacowania przez kierowców wypełniających ankietę w warunkach braku komfortu (spowodowanego sytuacją *search traffic*). Dokonując szerokiego przeglądu modeli stosowanych do odwzorowania procesu parkowania szczególnie skupiono się na modelach symulacyjnych – ze względu na możliwość odwzorowania czynników behawioralnych, ekonomicznych oraz przestrzennych opisujących proces *search traffic*. Wskazano również możliwość zastosowania *modeli kolejkowych z teorii masowej obsługi*, do opisu przestrzeni parkingowej, jako systemu masowej obsługi, w celu wyznaczenia jej parametrów funkcjonalnych z punktu widzenia parkowania – obsługi pojazdów z uwzględnieniem procesu *search traffic*. Model taki przedstawiono szczegółowo w rozdziale 4. wraz z jego symulacją w programie komputerowym winQSB przeprowadzoną na potrzeby opracowania autorskiej metodyki analizy i oceny efektywności funkcjonowania powierzchni parkingowej.

Na podstawie rezultatów prac opisanych w rozdziale 2. Autorka słusznie wnioskuje, że istnieją metody, które można wykorzystać do badania i analizy zagadnień związanych z procesem *search traffic* a następnie do zbudowania odpowiedniego modelu, który będzie użyteczny w praktyce. Wskazuje również przy tym ograniczenia związane z możliwością praktycznego wykorzystania takiego modelu, wynikające z „*dużego stopnia trudności wykorzystania skomplikowanych matematycznie formuł*” oraz „*dużego kosztu badań, których celem jest zapewnienie bazy danych wejściowych do modelu oraz – w przypadku modeli symulacyjnych – koszt oprogramowania.*” Dodatkowo wskazany został aspekt operacyjnego wykorzystania modelu w procesach decyzyjnych „*ingerujących w politykę parkingową miasta*”, co w przypadku modeli skomplikowanych obliczeniowo może wymagać „*zatrudnienia kadry odpowiednio przeszkolonej matematycznie lub w danym środowisku informatycznym albo regularnego prowadzenia szkoleń w tym zakresie.*” Wydaje się, że ostatni argument „wymagań kadrowych” jest sformułowany ze zbyt dużą nieufnością w odniesieniu do domniemanego użytkownika końcowego, chociaż praktyka pokazuje, że efektywna praca z modelami transportowymi funkcjonującymi w jednostkach operacyjnych (nie naukowych) może być mocno ograniczona właśnie z tego powodu.

**Rozdział 3.** pt. „*Identyfikacja ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w warunkach polskich – badania własne*” (38 stron) prezentuje wyniki badań własnych Autorki, których celem było: potwierdzenie występowania ruchu *search traffic* oraz oszacowanie jego udziału w całkowitym ruchu odbywającym się w badanym obszarze, wraz z jednoczesnym ustaleniem charakterystyk parkowania i określeniem zależności pomiędzy charakterystykami parkowania a wielkością generowanego ruchu *search traffic* w obszarze parkowania – w dwóch poligonach badawczych dużych miast polskich. Badania przeprowadzone zostały w trzech etapach – etap pilotażowych badań ankietowych, etap pilotażowych pomiarów ruchu, etap drugiej serii badań w celu weryfikacji wyników – z zastosowaniem badań ankietowych kierowców i wideorejestracji ruchu pojazdów oraz patrolowych badań parkowania.

Na uwagę zwraca staranność zaplanowania i przeprowadzenia badań oraz czytelność prezentacji wyników – w formie graficznej i tabelarycznej – wraz z komentarzami i wnioskami. Pewien niedosyt może jedynie budzić brak szerszego komentarza do wyników przedstawionych na rysunku 3.40 pt. „*Łączny czas tracony przez pojazdy krążące ogółem w godzinie | badanie search traffic, Kraków seria II*”. Na wykresie można zauważyć w godzinach 12:00-15:00 wzrost udziału wolnych miejsc postojowych, z 4,5% poprzez 7,9% do 11,9%, a jednocześnie łączny czas tracony przez pojazdy krążące nie wykazuje w tym okresie tendencji malejącej (zmienia się odpowiednio: 5 min 36 sek., 7 min 24 sek., 6 min 11 sek.), czyli tendencji oczekiwanej na podstawie szansy na znalezienie wolnego miejsca, którą stwarza właśnie wspomniany wzrost udziału miejsc wolnych. Nieuzasadnione jest również prezentowanie na wykresach wartości czasu traconego z dokładności aż do 1/100 sekundy. Wymienione kwestie nie mają jednak istotnego wpływu na dalszą część analiz ze względu na wstępny charakter tych badań oraz przyjęte przez Autorkę założenia ograniczające w zastosowanych metodach i narzędziach badawczych, a wynikające z ograniczeń techniczno-organizacyjnych, w tym m.in. z subiektywnej oceny i szacunku czasu

traconego w *search traffic* dokonywanych przez ankietowanych kierowców. Autorka wyraźnie wskazuje te kwestie w podsumowaniu rozdziału 3.

**Rozdział 4.** pt. „*Analiza relacji podaży i popytu na parkowanie – propozycja parametrów oceniających efekty efektywność parkingową obszaru w oparciu o teorię masowej obsługi*” (38 stron) rozpoczyna się opisem dotychczasowego sposobu oceny funkcjonowania przestrzeni parkingowej. Następnie, na podstawie przeglądu literatury, przedstawiono syntezę zastosowania teorii masowej obsługi do modelowania procesów parkowania z rozróżnieniem parkingów wydzielonych oraz parkowania przykrawężnikowego – w ujęciu podaży parkingowej oraz procesu obsługi pojazdów stanowiących popyt na parkowanie. W celu egzemplifikacji takiego podejścia odwzorowano proces funkcjonowania systemu parkingowego w modelach teorii masowej obsługi a następnie przedstawiono wyniki ich implementacji w modelu symulacyjnym przykładowego systemu parkowania przykrawężnikowego. Aby przedstawić możliwość oceny efektywności funkcjonowania modelowanego systemu parkingowego symulacje przeprowadzono dla 4 wariantów zróżnicowanych pod względem parametrów opisujących: strumienie zgłoszeń i obsługi oraz oczekiwanie w kolejce (krążenie w *search traffic*) lub rezygnacja z parkowania (w warunkach 100% napelnienia parkingu i długiego czasu oczekiwania na wolne miejsce). Wyniki symulacji uzasadniły teoretyczną możliwość wykorzystania modeli systemów masowej obsługi do prowadzenia analiz efektywności systemów parkowania przykrawężnikowego. W sformułowanych przez Autorkę wnioskach wskazane zostały przy tym istotne problemy dotyczące zastosowania takich modeli w praktyce – m.in. związane z trudnością w pozyskaniu szczegółowych danych wejściowych dotyczących probabilistycznych charakterystyk strumieni zgłoszeń oraz obsługi, jak również problemy dużej złożoności obliczeniowej dla obszarów o dużej liczbie miejsc postojowych (w metodzie za takie przypadki uznano obszary powyżej 100 miejsc postojowych – s. 128).

W drugiej części rozdziału (punkt 4.7) przedstawiona została autorska propozycja metodyki analizy i oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej – w szczególności przykrawężnikowej – z wykorzystaniem *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej oraz spodziewanego udziału ruchu search traffic*, jako skutku nadwyżki popytu na parkowanie nad podażą parkingową. Proponowane rozwiązanie zilustrowane zostało przykładem dla strefy płatnego parkowania w warunkach polskich. Prezentując metodę dobrze uzasadniono przyjęte uproszczenia – związane ze złożonością obliczeniową modeli kolejkowych oraz możliwością pozyskania danych o popycie, m.in. z modeli ruchu, a także z możliwością pozyskania danych o liczbie miejsc parkingowych przykrawężnikowych i na parkingach wydzielonych (podziemnych i na posesjach prywatnych) – oraz skutki, które są wynikiem tych uproszczeń, wraz z praktyczną interpretacją otrzymanych wyników w aspekcie oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej (m.in. s. 120-121). W ramach oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej wskazane zostały również działania zaradcze, zróżnicowane w zależności od wyznaczonego opracowanym wskaźnikiem poziomu obciążenia przestrzeni parkingowej (s. 121). Działania wykorzystane zostały również w analizach efektywności funkcjonowania rzeczywistej strefy płatnego parkowania, z wykorzystaniem opracowanego w rozdziale 5 autorskiego modelu *search traffic* – do oceny symulowanych trzech wariantów zmian funkcjonalnych badanej strefy (s. 145-151).

W opisie metody podano, że (s.118) „*Rekomenduje się, aby za jednostkę czasu wykorzystywaną w analizach przyjąć 1 godzinę.*” Wątpliwości budzi kwestia dotycząca tego, o jaki czas chodzi, tzn. czy rekomendacja dotyczy okresu analizy, czasu parkowania, czy omawianego wskaźnika obciążenia powierzchni? Czy też chodzi o dokładność podawania wyników obliczeń? Kwestia jest istotna, ponieważ zasadniczo jednostką czasu w układzie SI jest sekunda [s]. Natomiast w rekomendacjach do metody chodzić może również o jednostkę którejś ze zmiennych zależnych od czasu lub o okres analizy i dane źródłowe dotyczące podaży i popytu (s. 120, 3. akapit), a także o warunki oceny funkcjonowania przestrzeni parkingowej (s. 121), które sugerują, że prawdopodobnie może chodzić o okres analizy lub o wskaźnik rotacji – na stronie 153 występuje podobny tekst do zacytowanego.

**Rozdział 5.** pt. „*Wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej obszaru – wpływ na wielkość ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego*” (23 strony) przedstawia wyniki prac nad modelem matematycznym do wyznaczania i oceny zależności pomiędzy obciążeniem powierzchni parkingowej a wielkością *search traffic*.

W modelu zastosowano *wnioskowanie rozmyte*, uzasadniając takie podejście wynikami i wnioskami z analiz badanego zagadnienia zamieszczonymi w poprzednich rozdziałach pracy, które wskazują, że badany problem wiąże się z potrzebą odwzorowania w modelu matematycznym

„zagadnień wieloznacznych, nieprecyzyjnych, związanych z subiektywnym rozumowaniem człowieka – czyli takich, które nie dają się opisać za pomocą klasycznej logiki dwuwartościowej.” (s. 129). Na początku rozdziału przedstawiono założenia „rozmytych zdań warunkowych”. Nasuwa się tu kwestia formalna, dotycząca zilustrowania „operacji mnogościowej przecięcia zbiorów rozmytych  $D$  i  $C$ ” na rysunku 5.2, na którym część wspólna dotyczy dwóch zbiorów, ale oznaczonych  $A$  i  $B$  zamiast  $C$  i  $D$ .

Na wejściu do modelu przyjęto dwie zmienne dotyczące danego obszaru: „poziom obciążenia powierzchni parkingowej” odwzorowany przez zmienną lingwistyczną „obciążenie” oraz „czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego deklarowany przez kierowców” odwzorowany przez zmienną lingwistyczną „czas szukania”. Dla każdej ze zmiennych lingwistycznych określono zbiory terminów – wartości lingwistyczne. Jako zmienną wyjściową przyjęto kluczowe pojęcie badanego zagadnienia, czyli udział *search traffic* w ruchu ogólnym i odwzorowano przez zmienną lingwistyczną „udział *search traffic*”, dla której również zdefiniowano zbiór wartości lingwistycznych.

Wyniki badań własnych, opisane w rozdziale 3, oraz dane z modelu ruchu dla miasta Krakowa, które przyjęto do obliczeń w przykładzie zamieszczonym w rozdziale 4, wykorzystano do kalibracji parametrów funkcji przynależności zmiennych lingwistycznych. W procesie kalibracji uwzględniono ponadto wyniki badań parkowania i ruchu *search traffic* prowadzonych przez innych badaczy (rozdział 2) oraz własne doświadczenie Autorki.

Można dyskutować z argumentami i wartościami podanymi w uzasadnieniach odnoszących się na przykład do określenia przedziałów zmienności argumentów dla zmiennych lingwistycznych, czy też do funkcji, które wybrano do ich odwzorowania. Uzasadnienia (s. 133-134, s. 134-137, s. 137-138) są oczywiście logiczne i poparte wnioskowaniem z badań własnych, opisanych w pracy wcześniej, i wskazują również na to, że zastosowane w pracy modelowanie rozmyte, jest w pewnych etapach modelowaniem subiektywnym i wymagającym wiedzy i doświadczenia. Jest to charakterystyczna cecha takiego podejścia i wymaga od badacza dużego doświadczenia praktycznego oraz dokładnego rozpoznania badanego zagadnienia i zrozumenia zjawisk w nim występujących. I tym właśnie Autorka wykazała się opisując szczegółowo i logicznie etap kalibracji modelu autorskiego a następnie przeprowadzając krytyczną dyskusję wyników aplikacji modelu dla danych rzeczywistych, co wskazuje na dojrzałość naukową oraz rzetelność badawczą.

W kwestii formalnej – wydaje się, że podczas edycji wykresu na rysunku 5.9., przesunięciu uległa część osi poziomej, w rezultacie czego nie widać wartości maksymalnej równej 30 dla przedziału zmienności  $<0; 30>$  argumentu *czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego deklarowany przez kierowców* – dla zmiennej lingwistycznej *czas szukania*.

Zaleca się również, aby dla wszystkich trzech wykresów przedstawiających funkcje przynależności, zamieszczono opisy tekstowe osi poziomych, tj. nazwy zmiennych modelu wnioskowania rozmytego, dla których skalibrowano funkcje przynależności, wraz z jednostką odpowiadającą modelowanemu zmiennym (rys. 5.4, rys. 5.9, rys. 5.10).

W kwestii rozróżnienia modelu obliczeniowego od jego użytecznej aproksymacji, zaleca się uzupełnienie oznaczeń zmiennych w następujący sposób. Ponieważ w opisach (s. 140-141) do wykresów powierzchni wyników modelowania rozmytego (rys. 5.12 i 5.13) występują oznaczenia zmiennych takie jak w całej pracy, w tym szczególnie w formule wynikowej (54), to na rysunku z powierzchnią aproksymującą wynik modelowania (rys. 5.13), którą opisuje funkcja (54), wskazane jest zamieszczenie tych oznaczeń przy nazwach zmiennych opisujących trzy osie układu współrzędnych. Natomiast dla podkreślenia różnic pomiędzy funkcją modelu obliczeniowego (rys. 5.12) a jej aproksymacją do postaci matematycznej, użytecznej w praktyce (rys. 5.13 i formuła 54) czytelniej byłoby, aby w tekście opisu do rysunku 5.12 (s. 140) oraz w opisach osi wykresu na rysunku 5.12 zastosować nazwy zmiennych modelowych, które podano wcześniej, w zapisach formalnych (s. 132).

Prawdopodobnie podczas ostatecznej edycji tekstu i formuł, pojawiły się drobne różnice w oznaczeniu zmiennej wyjściowej modelu wnioskowania rozmytego, odwzorowującej udział *search traffic* w ruchu ogólnym, tj. w zapisie formalnym (s. 132) oraz w opisie procesu kalibracji funkcji przynależności dla tej zmiennej (s. 137-138) występuje nazwa „*udział search traffic*” – w tekście, w tytule tabeli 5.4 i w podpisie rysunku 5.10. Natomiast w akapicie poprzedzającym opis tej zmiennej (s. 132) zapisano „*udział*”. Z kolei w powtórzonym na s. 137 zapisie formalnym występuje nazwa „*udział krążenia*” a w zestawieniu reguł wnioskujących nazwa „*udział<sub>st</sub>*” (s. 139). Są to uwagi formalne, które uważny czytelnik od razu zauważy jako omyłki wyłącznie edycyjne a nie merytoryczne.

Rozdział 5 kończą dyskusja wyników dotyczących otrzymanego modelu, aplikacja modelu dla danych rzeczywistych wraz z wielowariantową analizą efektywności funkcjonowania rzeczywistej strefy płatnego parkowania oraz podsumowanie i wnioski. Analizę przeprowadzono dla



symulowanych warunków, obejmujących trzy podstawowe warianty zmian organizacyjnych badanej strefy, przy czym w każdym wariancie przyjęto dodatkowo zmiany poziomów dla każdej z trzech zmiennych (ograniczenie czasu postoju, liczba miejsc parkingowych, popyt na parkowanie). W efekcie analizę przeprowadzono dla 6 wariantów zróżnicowanych pod względem organizacyjno-funkcyjnym i trzech kryteriów oceny, na podstawie: wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej, udziału *search traffic*, oraz oszczędności w kosztach zewnętrznych zanieczyszczenia powietrza i emisji CO<sub>2</sub> (s. 145-151). Dyskusja wyników symulowanych zmian, których efektywność oceniono z zastosowaniem opracowanego modelu pozwoliła wyciągnąć szereg interesujących wniosków oraz zweryfikować obserwowane w rzeczywistości efekty.

W kończących rozdział podsumowaniu i wnioskach na uwagę zasługują szczególnie następujące cechy opracowanego modelu: uwzględnia zarówno charakterystykę funkcjonalno-organizacyjną infrastruktury parkingowej jak i behawioralną charakterystykę funkcjonowania wolnego miejsca parkingowego przez kierowców, wykorzystuje zrozumiały i przystępny proces modelowania w ujęciu wnioskowania rozmytego, wykorzystuje zakres danych wejściowych stosunkowo prosty do pozyskania.

**Rozdział 6.** pt. „*Praktyczne aspekty analizy efektywności parkingowej obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym*” (9 stron), jak napisano na jego wstępie „*stanowi podsumowanie wszystkich wniosków odnoszących się do przeprowadzenia badań parkowania oraz analizy ich wyników, a także prowadzenia analiz i oceny efektywności funkcjonowania powierzchni parkingowych, które zawarto w pracy. Mogą one być praktyczną wskazówką dla Zarządców obszarów, w których stwierdzono lub spodziewane są problemy z parkowaniem*” (s. 152), z czym należy się w pełnym zakresie zgodzić.

**Rozdział 7.** pt. „*Podsumowanie pracy*” (3 strony) rozpoczyna się zwięzłym opisem rezultatów pracy, które potwierdzają osiągnięcie przyjętych w pracy celów naukowych i praktycznych. Następnie zestawione zostały wnioski generalne wraz z rekomendacjami do poruszanych w nich kwestii. Zakończeniem rozdziału są proponowane kierunki dalszych działań. Całość rozdziału jest trafną syntezą rozwiązane go problemu badawczego pod względem naukowego i praktycznym.

### 3. Ocena poprawności formalnej i językowej

Formalna strona recenzowanej pracy jest zgodna z zasadami pisania prac doktorskich w naukach technicznych. Autorka w znacznym stopniu posiadała umiejętność prezentowania wyników badań w formie tekstowej, tabelarycznej i graficznej (wykresy, schematy), z uwzględnieniem poprawnego odwoływania się do literatury. Czytelność tekstu pracy poprawnie i wyczerpująco ilustrują 42 tabele, 86 rysunków oraz 5 załączników a rozszerzeniem jest 201 pozycji bibliografii, w tym 5 publikacji własnych i współautorskich. Struktura pracy i podział treści na poszczególne rozdziały i ich podpunkty potwierdza spójność i kompleksowość podejścia w recenzowanej pracy naukowej.

Autorka nie uniknęła też błędów formalnych i językowych, których część została już wskazana w poprzednim punkcie recenzji, a pozostałe to:

- pozycje bibliograficzne, które dostępne są na stronach internetowych, wskazane zostały tylko jako adresy tych stron, co utrudnia poznanie tytułu/tematu, treści/zagadnień, autora/właściciela oraz aktualności pozycji; wskazanym jest uzupełnienie o syntetyczny opis identyfikujący wymienione kwestie, w tym również o datę i godzinę dostępu do pozycji,
- pojęcia „*miejsce parkingowe*”, „*miejsce postojowe*” używane są w treści zamiennie, przy czym nie określono tego, czy są to zamienne określenia tego samego zagadnienia, czy też są rozróżnialne – w aspekcie badanych procesów,
- tytuły rysunków 3.9-3.12 byłyby bardziej precyzyjne po uzupełnieniu o „*Rozkład ...*”; podobnie tytuły rysunków 3.18, 3.19 – „*Rozkład wskaźnika ...*”,
- niekoniecznie niezbędna personifikacja pojazdów (s.77) „*... łączny czas (Tsz), który wszystkie zidentyfikowane pojazdy spędziły w analizowanym odcinku sieci ulicznej na poszukiwaniu wolnego stanowiska postojowego*”,
- drobne literówki: „*jaka*” → „*jaki*”, „*od*” → „*do*” (s. 89), „*prawdopodobieństwo starty zgłoszenia*” → „*... straty ...*”(s.120).

#### 4. Pytania szczegółowe

- 1) Czy w opracowanym modelu i metodzie zasadnym byłoby wprowadzenie zależności, dzięki którym możliwe byłoby odwzorowanie wpływu motywacji podróży i ich charakterystyki, m.in. motywacji o charakterze bezwzględnie obligatoryjnym (praca, nauka), względnie obligatoryjnym (zakupy, usługi) oraz fakultatywnym (rozrywka, rekreacja etc.), na zjawisko *search traffic*? W pracy stwierdzono, że ruch pojazdów w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego nie jest związany z żadną konkretną motywacją (s. 19). Jednak biorąc pod uwagę np. motywacje względnie obligatoryjne lub fakultatywne, może warto byłoby zbadać, czy deficyt miejsc parkingowych w pobliżu jednego obiektu nie wpływa na decyzje kierowców w taki sposób, że część z nich krąży w pobliżu tego obiektu poszukując wolnego miejsca parkingowego, natomiast część kierowców wybiera inny obiekt – o takiej samej lub zbliżonej charakterystyce pod względem motywacji, ale o lokalizacji bez deficytu miejsc parkingowych – np. decyzja o zakupach w sklepie osiedlowym vs zakupy w centrum handlowym – przy czym deficyt miejsc parkingowych nie jest z góry przypisany do pierwszego czy też drugiego z tych obiektów a może być zmienny i zależny np. od pory doby. Jest to o tyle istotne, że w rozdziale 2 wymieniono motywacje podróży oraz znajomość obszaru przez kierowcę, jako czynniki wpływu związane z fazą planowania podróży (s. 35). O motywacji jest również wspomniane w założeniach do modelu autorskiego (s. 129).
- 2) Czy planowane jest rozszerzenie metody o czynniki związane z dostępem kierowców do informacji o występowaniu deficytu miejsc parkingowych w określonych lokalizacjach sieci miejskiej – informacje statyczne lub informacje dynamiczne, aktualizowane on-line na podstawie identyfikacji zajętości miejsc parkingowych przez dedykowane podsystemy inteligentnych systemów transportowych (ITS) współpracujące z nawigacjami samochodowymi pokładowymi lub w urządzeniach mobilnych? W pracy stwierdzono, że rozwiązania takie w warunkach polskich wciąż są zbyt zawodne i kosztowne, aby mogły funkcjonować w całym obszarze strefy płatnego parkowania (s. 20). Jednak biorąc pod uwagę wysokie tempo rozwoju technologii ICT oraz rozwiązań ITS, obejmujących systemy kooperujące (C-ITS) wykorzystujące Internet rzeczy (IoT), jest wysoce prawdopodobne powstanie tego rodzaju usług dla kierowców w niedalekiej przyszłości.

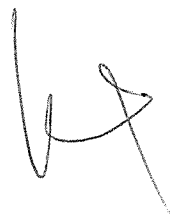
#### 5. Ogólna ocena rozprawy

Recenzowana praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z zakresu dyscypliny inżynieria lądowa i transport. Wybór tematu jest właściwy z uwagi na jego istotność w planowaniu i organizacji ruchu samochodowego związanego z parkowaniem, szczególnie w kształtowaniu polityki parkingowej w ramach polityki transportowej miasta. Praca posiada cenne walory naukowe, poznawcze i praktyczne. Autorka wykazała się znajomością wiedzy teoretycznej w zakresie zjawisk opisujących ruch samochodowy w miejskiej sieci transportowej oraz zachowania komunikacyjne kierowców w aspekcie parkowania, a także zdolnością do stawiania i rozwiązywania problemów naukowych, z wykorzystaniem metod naukowych, w tym ilościowych i jakościowych o charakterze behawioralnym. W rezultacie problem został przez Autorkę poprawnie rozpoznany i opisany, matematycznie sformalizowany, zamodelowany i rozwiązany – w odniesieniu do postawionych w pracy celów naukowych i praktycznych – z zastosowaniem odpowiednio dobranej aparatury matematycznej i narzędzi analitycznych.

Jako oryginalny wkład Autorki w dyscyplinę naukową inżynieria lądowa i transport wskazuję:

- przeprowadzenie szczegółowej analizy literaturowej w zakresie ruchu samochodów w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*) z odniesieniem tego procesu do warunków polskich,
- opracowanie modelu służącego wyznaczaniu i ocenie potencjalnej relacji pomiędzy efektywnością funkcjonowania przestrzeni parkingowej danego obszaru miejskiego a wielkością ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*), w tym również modelu efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej,
- opracowanie metodyki analizy i oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej z parkowaniem przykrawężnikowym.

Rozważania w poszczególnych rozdziałach pracy są logicznie powiązane biorąc pod uwagę następstwo treści. Struktura pracy i podział treści na poszczególne rozdziały i ich podpunkty potwierdza spójność i kompleksowość podejścia do identyfikacji i rozwiązania problemu





naukowego. Dobór źródeł, zakres przeprowadzonych badań, zastosowane metody i narzędzia badawcze, rodzaje analiz oraz prezentacja wyników są odpowiednie i wyczerpujące pod względem osiągnięcia postawionych w pracy celów. Recenzowana dysertacja zawiera niezbędne składniki metody naukowej. Autorka wykazała się bardzo dobrą znajomością przedmiotu badań oraz opanowaniem metod i technik eksperymentalnych oraz analitycznych, stosowanych w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.

## 6. Wniosek końcowy

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska została wykonana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Problem naukowy został prawidłowo zdefiniowany i opisany a wyznaczone cele zostały osiągnięte z zastosowaniem odpowiedniego aparatu matematycznego.

Wyrażam opinię, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wskazując na odpowiedni poziom wiedzy teoretycznej Autorki w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport. Zdolność analitycznego spojrzenia na rozpatrywany problem dowodzi umiejętności Autorki dotyczących samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Stwierdzam, że zaprezentowane w rozprawie wyniki badań są oryginalnym dorobkiem naukowym Autorki, a rezultaty pracy mogą służyć do bezpośredniego wykorzystania w praktyce – do analiz efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowych wraz z oceną ich wpływu na udział generowanego ruchu samochodowego w poszukiwaniu wolnych miejsc parkingowych.

Stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymogi stawiane rozprawie doktorskiej, określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.). Wnoszę zatem do Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej o jej przyjęcie i dopuszczenie **Pani mgr inż. Urszuli Dudy-Wiertel** do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Katowice, dn. 11 grudnia 2020 r.



