

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ

PRACA DOKTORSKA

Wpływ niedoboru miejsc parkingowych
w strefie płatnego parkowania na natężenie ruchu
samochodowego powodowanego poszukiwaniem
wolnego miejsca parkingowego

Autor: mgr inż. Urszula Duda-Wiertel
Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata

Kraków, 2020

Spis treści

Streszczenie	7
Summary	9
Spis najważniejszych oznaczeń zastosowanych w pracy	11
1. Znaczenie racjonalnego kształtowania polityki parkingowej miasta.....	13
1.1. Strefy z ograniczonym czasem postoju	14
1.2. Strefy płatnego parkowania	15
1.3. Śródmiejaska strefa płatnego parkowania – przypadek krakowski.....	17
1.4. Ruch generowany poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego – wprowadzenie	19
1.5. Geneza podjęcia tematu.....	20
1.6. Cel pracy.....	22
2. Opis zjawiska ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego (search traffic)	24
2.1. Interpretacja definicji ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego	24
2.2. Strategie poszukiwania miejsca	26
2.3. Poszukiwanie miejsca parkingowego – koszty.....	28
2.3.1. Koszty wewnętrzne	28
2.3.2. Koszt uogólniony podróży.....	31
2.3.3. Koszty zewnętrzne.....	33
2.4. Czynniki wpływające na proces poszukiwania wolnego miejsca parkingowego.....	34
2.5. Przegląd stanu badań dotyczących ruchu realizowanego wyłącznie w celu znalezienia wolnego miejsca parkingowego.....	35
2.5.1. Badania empiryczne – pomiary ruchu realizowanego wyłącznie w celu znalezienia wolnego miejsca parkingowego.....	36
2.5.2. Modele procesów parkowania	40
2.6. Badania i modelowanie <i>search traffic</i> w literaturze – podsumowanie rozdziału 2	51
3. Identyfikacja ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w warunkach polskich – badania własne	53
3.1. Dobór poligonu badawczego	53
3.2. Badania ankietowe dotyczące <i>search traffic</i>	56
3.2.1. Metodyka badania ankietowego	56
3.2.2. Szczegółowe wyniki badania ankietowego.....	56
3.2.3. Zestawienie najważniejszych wyników i wnioski z przeprowadzonych badań pilotażowych (ankietowych).....	59
3.3. Badania ruchu i parkowania	61
3.3.1. Metodyka badania parkowania – badanie z wykorzystaniem kamer wideo	63
3.3.2. Metodyka badania parkowania – badanie patrolowe	63

3.3.3.	Wyniki analizy danych, dotyczących parkowania w obszarze – Kraków (seria I)	64
3.3.4.	Wyniki analizy danych, dotyczących parkowania w obszarze – Kraków (seria II)	68
3.3.5.	Wyniki analizy danych, dotyczących parkowania w obszarze – Wrocław.....	71
3.3.6.	Zestawienie najważniejszych wyników i wnioski z przeprowadzonych badań parkowania.....	73
3.3.7.	Metodyka badania dotyczącego ruchu pojazdów poszukujących wolnego miejsca parkingowego	74
3.3.8.	Wyniki analizy danych dotyczących <i>search traffic</i> – Kraków (seria I)	76
3.3.9.	Wyniki analizy danych dotyczących <i>search traffic</i> – Kraków (seria II)	77
3.3.10.	Wyniki analizy danych dotyczących <i>search traffic</i> – Wrocław.....	78
3.4.	Zestawienie wyników i podsumowanie badań.....	78
3.5.	Wyniki badań ankietowych dotyczących parkowania, przeprowadzonych w Krakowie i Wrocławiu w całym obszarze SPP	79
3.5.1.	Zakres terytorialny badania ankietowego	80
3.5.2.	Wyniki badania ankietowego	81
3.6.	Badanie ankietowe czynników skłaniających kierowców do podejmowania poszukiwania wolnego miejsca parkingowego.....	86
3.7.	Wnioski z rozdziału 3.....	89
4.	Analiza relacji podaży i popytu na parkowanie – propozycja parametrów oceniających efektywność parkingową obszaru w oparciu o teorię masowej obsługi.....	91
4.1.	Relacja podaży i popytu na parkowanie	93
4.2.	Powierzchnia parkingowa jako system masowej obsługi.....	94
4.2.1.	Popyt na parkowanie	95
4.2.2.	Podaż parkingowa	97
4.3.	Wykorzystanie teorii masowej obsługi do analizy i oceny funkcjonowania powierzchni parkingowej w literaturze	97
4.4.	Parametry efektywności funkcjonowania systemu parkingowego – teoria masowej obsługi	100
4.5.	Analiza efektywności funkcjonowania systemu parkingowego z wykorzystaniem matematycznego aparatu modeli kolejkowych – przykład obliczeniowy w programie komputerowym winQSB	106
4.6.	Zastosowanie teorii masowej obsługi do oceny funkcjonowania obszarów parkingowych – wnioski	113
4.7.	Autorska propozycja metodyki analizy i oceny efektywności funkcjonowania powierzchni parkingowej.....	115
4.7.1.	Przegląd literatury.....	115
4.7.2.	Wskaźnik względnej intensywności obsługi zgłoszeń jako wskaźnik obrazujący poziom obciążenia powierzchni parkingowej obszaru	117
4.7.3.	Zastosowanie zaproponowanego wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej w podstrefach strefy płatnego parkowania w Krakowie.....	121
4.8.	Podsumowanie rozdziału 4.....	127

5. Wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej obszaru – wpływ na wielkość ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego.....	129
5.1. Struktura modelu rozmytego	130
5.1.1. Dobór funkcji przynależności dla zmiennych.....	132
5.1.2. Sformułowanie reguł wnioskujących.....	138
5.1.3. Wyniki analizy	139
5.2. Aproksymacja powierzchni wynikowej modelu.....	141
5.3. Dyskusja wyników.....	142
5.4. Aplikacja modelu.....	143
5.5. Interpretacja wyników analizy efektywności funkcjonowania strefy płatnego parkowania w Krakowie	144
5.6. Możliwe zmiany poziomu obciążenia powierzchni parkingowej na skutek wdrożenia środków zaradczych.....	145
5.7. Możliwe zmiany spodziewanego udziału ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w efekcie obniżenia stopnia obciążenia powierzchni parkingowej .	147
5.8. Możliwe oszczędności wybranych kosztów zewnętrznych generowanych przez <i>search traffic</i> , uzyskane w efekcie wdrożenia zmian w funkcjonowaniu strefy płatnego parkowania	149
5.9. Podsumowanie i wnioski z rozdziału 5	150
6. Praktyczne aspekty analizy efektywności parkingowej obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym	152
6.1. Badania parkowania	152
6.1.1. Pomiary parkowania	152
6.1.2. Badania ankietowe	153
6.2. Wyznaczanie poziomu obciążenia powierzchni parkingowej.....	153
6.2.1. Wykorzystanie danych o podróżach do formułowania wniosków dotyczących obciążenia powierzchni parkingowej	154
6.2.2. Inwentaryzacja miejsc parkingowych, a dokładność pomiaru parkowania	156
6.3. Wyznaczanie wielkości ruchu <i>search traffic</i>	158
6.4. Ograniczenia w zastosowaniu proponowanego modelu udziału ruchu <i>search traffic</i> w ruchu ogólnym	158
6.5. Podsumowanie rozdziału 6.....	159
7. Podsumowanie pracy	161
7.1. Wnioski generalne	162
7.2. Kierunki dalszych badań.....	163
Bibliografia	165
Spis rysunków.....	174
Spis tabel	177
Załączniki.....	179

Streszczenie

Kreowanie i realizacja polityki parkingowej jest jednym z ważniejszych zagadnień, z którymi należy się zmierzyć w ramach zarządzania systemem transportowym miasta. Decyzje, które kojarzone są wyłącznie z problematyką parkowania, skutkują zmianami w szerszym ujęciu – w tym zmianami wielkości potoków ruchu obserwowanych w sieci drogowo – ulicznej. Z tego względu w pracy podjęto problem związku efektywności funkcjonowania przykrawężnikowych przestrzeni parkingowych z wielkością ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w tych obszarach (*search traffic*).

Istotną część pracy poświęcono problematyce ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*). Przeprowadzono wnikliwy przegląd literatury, analizę definicji i interpretacji ruchu tego rodzaju, możliwych czynników wpływających na jego występowanie i parametry, przegląd aktualnego stanu badań, metod badawczych, przykładów modelowania, stopnia uwzględnienia go w analizach różnego rodzaju. W ramach pracy przeprowadzono lokalnie badania *search traffic* – których celem było potwierdzenie jego występowania w warunkach polskich, a także oszacowanie jego możliwej wielkości. Przygotowano oraz wdrożono i przetestowano metodykę dla tego badania, obejmującą pomiary ruchu oraz parkowania w obszarze śródmieścia.

Aby zbadać zależność wielkości ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do parkowania od efektywności funkcjonowania systemu parkingowego w danym obszarze, zdefiniowano *wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej*, który tę efektywność kwantyfikuje w oparciu o relację podaży i popytu na parkowanie, pozwalając tym samym na jej ocenę i porównywanie w różnych częściach analizowanego miasta – ponieważ nie wypracowano do tej pory kompleksowej metody takiej oceny w warunkach polskich. Zbudowano model zależności procentowego udziału ruchu *search traffic* od poziomu obciążenia powierzchni parkingowej danego obszaru, uzupełnionego informacją o długości czasu traczonego na poszukiwanie wolnego miejsca do parkowania, deklarowanego przez kierowców, bazujący na wnioskowaniu rozmytym. Aplikację modelu przeprowadzono na danych o parkowaniu w krakowskiej strefie płatnego parkowania.

W aspekcie zarządzania strefami płatnego parkowania w miastach, ocena efektywności ich funkcjonowania stanowi istotny element, niezbędny do realizowania polityki parkingowej. Dlatego też w pracy zaproponowano własny jej wariant, a także doprecyzowano wiele niejasnych dotąd kwestii z tym związanych. Podkreślono konieczność gromadzenia danych o parkowaniu, ale także o ruchu realizowanym w sieci drogowo – ulicznej miasta oraz wyjaśniono w jaki sposób dane te można wykorzystać w zarządzaniu strefami płatnego parkowania. Opisano jak planować pomiary parkowania tak, aby ich wyniki pozostawały w integracji z pomiarami ruchu. Zdefiniowano problemy z interpretacją wskaźników parkowania wykorzystywanych do tej pory i wskazano w jaki sposób powinny być wyznaczane.

Summary

Suitable management of parking policy is one of the most important issues that have to be taken under consideration in transport system administration in cities. Decisions that are associated only with solving parking dilemmas, result also in other changes – likewise in the level of traffic flow that is observed in the traffic network. Therefore, in this research, the problem of the relation of the effectiveness of functioning curbside parking areas with the level of traffic generated by searching for a vacant parking spot in these areas was conducted (search traffic).

The main part of this thesis is dedicated to the problem of traffic generated by searching for parking (search traffic). There was made a detailed overview of the literature, definition analysis and interpretation of this type of traffic flow, possible factors that impact on its generation and parameters, review of the actual condition of researches, method of research, examples of modelling, a level of usage in the analysis. Local research of search traffic in Polish conditions was conducted - to confirm its being and evaluate its level. There was a prepared and tested methodology for this research that included traffic flow measurement and parking measurement in the centre of a city.

To research the reliance of the level of traffic flow that is generated by searching for a vacant parking spot to the effectiveness of parking system in a certain area, there was defined an indicator that describes a parking area concerning to relation of parking supply and demand. It can be used to evaluate and compare different parking areas of a city. There is not such a method in Polish conditions. There was built a model of reliance the percentage of search traffic to the level of usage of parking areas that are supplemented with information of a length of time that is wasted on searching for parking, declared by drivers and based on fuzzy logic.

In terms of paid parking zones management, the evaluation of its effectiveness is an important issue of parking policy – in this research, there is very detailed information and clarified many of unknown matters related to it. There is emphasized the necessity of gathering data of the parking process and about traffic flow realized in the traffic network in cities and also explained how this data could be used. There is a description of how to plan parking research in a way that data collected from it could be connected with traffic flow measurements. Problems with an interpretation of parking indicators that were used so far were described. Correctly way to stated and implemented these indicators was indicated.

Spis najważniejszych oznaczeń zastosowanych w pracy

Kategoria: parkowanie

t_p	– czas postoju pojazdów	[min] lub [h]
w_r	– wskaźnik rotacji parkingowej	[pojazdów/miejsce postojowe/jednostkę czasu]
w_p	– wskaźnik napełnienia powierzchni parkingowej	[%]
m_p	– całkowita liczba dostępnych miejsc parkingowych	[-]
t_w	– czas, w którym dane miejsce pozostaje wolne	[min] lub [h]
p_{pn}	– całkowita liczba pojazdów parkujących w obszarze w całym okresie pomiarowym	[-]
p_p	– liczba zaparkowanych pojazdów	[-]

Kategoria: ocena efektywności powierzchni parkingowej

ρ_p	– wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej obszaru	[-]
λ_p	– liczba pojazdów kończących podróży w obszarze	[pojazdów/jednostkę czasu]
μ_p	– zdolność parkingowa obszaru	[pojazdów/jednostkę czasu]
u	– współczynnik korygujący, będący udziałem liczby podróży kończących się na miejscach postojowych przykrawężnikowych	[-]
u_{nob}	– odsetek pojazdów, które z powodu zbyt niskiej zdolności parkingowej nie mogły zostać obsłużone	[-]

Kategoria: *search traffic*

t_{dsz}	– deklarowany czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego	[min] lub [h]
t_{sz}	– czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego	[min] lub [h]
t_{ad}	– maksymalny akceptowalny deklarowany czas dojścia z miejsca pozostawienia pojazdu do ostatecznego celu podróży	[min]
t_{asz}	– maksymalny akceptowalny deklarowany czas <i>krążenia</i> w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego	[min]
u_{dsz}	– udział kierowców deklarujących <i>krążenie</i> w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego wśród wszystkich ankietowanych kierowców parkujących w danej przestrzeni parkingowej	[%]
u_{sz}	– udział pojazdów <i>krążących</i> w ruchu ogólnym obszaru	[%]
l_{sz}	– liczba pojazdów <i>krążących</i>	[-]
T_{sz}	– łączny czas spędzony przez wszystkie <i>krążące</i> pojazdy w sieci ulicznej obszaru	[pojh]

Kategoria: teoria kolejek

μ	– wskaźnik intensywności strumienia zgłoszeń	[zgłoszeń/jednostkę czasu]
λ	– wskaźnik intensywności obsługi zgłoszeń	[zgłoszeń/jednostkę czasu]
ρ	– wskaźnik względnej intensywności obsługi zgłoszeń	[-]

1. Znaczenie racjonalnego kształtowania polityki parkingowej miasta

W sytuacji ciągłego wzrostu natężenia ruchu pojazdów, śródmiejskie obszary miast zmagają się z wieloma problemami, wśród których podkreślić należy dwa podstawowe: zatłoczenie ulic oraz deficyt miejsc postojowych. Obydwa wymienione zjawiska są skutkiem dużego ruchu samochodów, absorbowanego przez obiekty zlokalizowane w centralnych częściach miasta – dlatego kwestie związane z parkowaniem pojazdów nie powinny być analizowane bez uwzględnienia ich przemieszczeń.

Pierwszy z wymienionych problemów, dotyczy dużego natężenia ruchu obserwowanego na danym odcinku sieci ulicznej, czyli sytuacji, w której jego wartość przekracza przepustowość¹, a na dojeździe do niego tworzy się kolejka pojazdów (warunki ruchu odpowiadają poziomowi swobody ruchu F – najgorszemu z możliwych) [56]. Z kolei pojęcie *deficytu miejsc postojowych*, które w *Ustawie o drogach publicznych* [178] decyduje o celowości wprowadzenia strefy płatnego parkowania², nie zostało dotąd zdefiniowane. Na potrzeby analizowanego tematu przyjęto, że o *deficycie miejsc postojowych* mówi się w sytuacji, gdy napelnienie dostępnej powierzchni parkingowej obszaru w większej części dnia przekracza 85%. Wg P. Bartera [15], D. Shoupa [138] i innych, których opinie przytoczono w pracy [138], 85% poziom napelnienia powierzchni parkingowej pozwala, aby kierowca mógł bez trudu znaleźć wolne miejsce do zaparkowania pojazdu. Zaleca się więc sterowanie wielkością podaży i popytu na parkowanie tak, aby utrzymywać ciągły 15% bufor wolnych miejsc postojowych w określonym obszarze (obejmującym najczęściej kilka ulic) [15], [138]. W wielu zagranicznych miastach (jak np. San Francisco, Redwood City, Seattle, Calgary, Rotterdam, Budapeszt), stawki opłat za postój pojazdów przy ulicy były lub są elastyczne i zależą od aktualnej relacji podaży i popytu na parkowanie. Wskaźnik 85% (lub wartości zbliżonej) zajętości przestrzeni parkingowej przyjęto tam za wyznacznik prawidłowo ustalonej wysokości stawki godzinowej za postój pojazdów [15], [137], [138]. Wg D. Shoupa [138], łatwo dostępne miejsce postojowe powinno być darmowe lub kosztować mniej, podczas gdy to samo stanowisko w sytuacji dużego napelnienia – trudno dostępne, generujące koszty związane z koniecznością jego poszukiwania – powinno podlegać znacznie wyższej opłacie.

Problemy zatłoczenia i deficytu miejsc postojowych, na pierwszy rzut oka, wydają się być proste do rozwiązania – przez rozbudowę istniejącej, niewystarczającej już infrastruktury drogowej, czy parkingowej. Jednak w obydwu przypadkach metoda ta często nie jest skuteczna. Podstawowym ograniczeniem dla tego rozwiązania jest skończona przestrzeń (często historycznie gęsto zabudowanych obszarów śródmieścia, współdzielonych w znacznej części z pieszymi), którą można wykorzystać pod wspomnianą rozbudowę. Ponadto, nowa infrastruktura generuje także tzw. *ruch wzbudzony* [167] – dodatkową liczbę podróży wykonywanych samochodem, właśnie z powodu pojawienia się nowych możliwości przejazdu, czy parkowania.

Dlatego rozwiązania wymienionych problemów zatłoczenia i deficytu miejsc postojowych upatruje się raczej w generalnym ograniczeniu liczby podróży wykonywanych do centrum samochodem indywidualnym [29], [70], [101], [134], [143], [144], [168]. Ograniczenie to może zostać wymuszone poprzez szereg działań, mających doprowadzić do zmiany udziału wykorzystania samochodu w podziale zadań przewozowych. Zgodnie z koncepcją *push&pull*, mogą to być działania zachęcające do częstszego wykorzystywania alternatywnych środków transportu, m.in. poprzez zwiększenie ich atrakcyjności (np. dzięki poprawie dostępności i jakości usługi transportu zbiorowego, czy budowie/rozbudowie miejskiej infrastruktury rowerowej) oraz działania zniechęcające do ciągłego wykorzystywania samochodu indywidualnego (np. przez wprowadzanie restrykcyjnych zmian w organizacji ruchu) [152].

¹Przepustowość jest definiowana, jako największa liczba pojazdów, która w określonych warunkach drogowych i ruchowych może przemieścić się przez dany przekrój – w tym przypadku przekrój ulicy – w jednostce czasu [56]

²Wg [178]: *Strefę płatnego parkowania ustala się na obszarach charakteryzujących się znacznym deficytem miejsc postojowych, jeżeli uzasadniają to potrzeby organizacji ruchu, w celu zwiększenia rotacji parkujących pojazdów samochodowych lub realizacji lokalnej polityki transportowej, w szczególności w celu ograniczenia dostępności tego obszaru dla pojazdów samochodowych lub wprowadzenia preferencji dla komunikacji zbiorowej*

Innym możliwym do zastosowania rozwiązaniem jest poprawa wykorzystania infrastruktury już istniejącej (dotyczy to również miejsc postojowych przy ulicy oraz pozostałej infrastruktury parkingowej), przez co racjonalne prowadzenie polityki parkingowej uważa się za jeden z ważniejszych środków regulowania dostępności do śródmieścia.

Poprawę wykorzystania istniejącej powierzchni parkingowej danego obszaru rozumie się, jako zwiększenie liczby pojazdów, które w ciągu dnia z niej skorzystają. Mierzy się ją wzrostem wskaźnika rotacji pojazdów. Wskaźnik rotacji parkingowej wyraża liczbę pojazdów, która w analizowanym okresie czasu (najczęściej w dobie lub godzinie) została zaparkowana na danym miejscu postojowym (jednostka: liczba pojazdów/miejsce postojowe/dany okres czasu). Najważniejszymi instrumentami polityki parkingowej, których celem jest spowodowanie wzrostu wskaźnika rotacji parkingowej są:

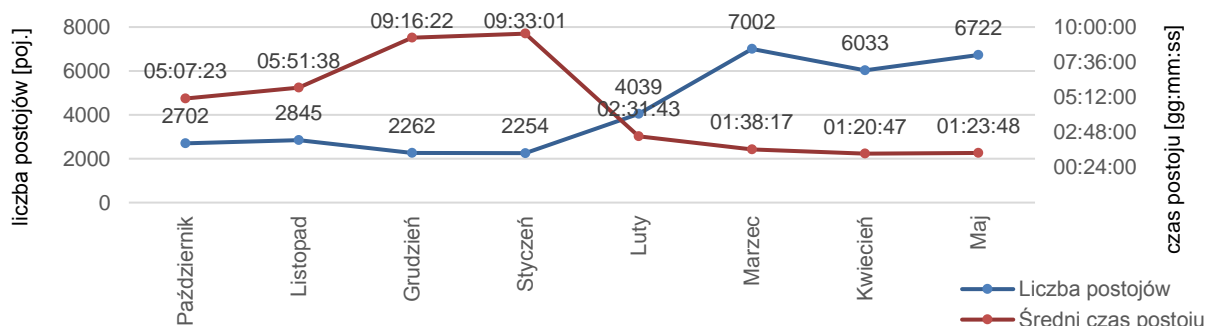
- tworzenie stref z ograniczonym czasem postoju [7], [56], [138] i
- racjonalne prowadzenie poboru opłat za postój pojazdów w strefach płatnego parkowania [28], [56], [169].

1.1. Strefy z ograniczonym czasem postoju

Zasada organizacji parkowania w *strefach z ograniczonym czasem postoju* polega na narzuceniu maksymalnego czasu postoju pojazdu w danym obszarze lub na wyznaczonych miejscach, co w założeniu ma wymusić określoną rotację samochodów na miejscach postojowych, a tym samym znacząco poprawić dostęp do przestrzeni parkingowej danego rejonu (korzystanie z miejsc postojowych objętych ograniczeniem czasowym często jest bezpłatne) [56]. Dzięki temu, większa liczba pojazdów w ciągu dnia skorzysta z istniejących stanowisk postojowych. Wg R. Arnotta i J. Rowse [7], przez wprowadzenie takiego rozwiązania skraca się także czas tracony przez kierowców na znalezienie wolnego stanowiska, ponieważ miejsca te są zajmowane przez stosunkowo krótki okres czasu i częściej się zwalniają.

Brak polskiej literatury związanej bezpośrednio z problematyką zastosowania i efektywności funkcjonowania stref ograniczonego postoju, jak również doświadczenia własne wskazują, że strefy takie nie są w Polsce rozwiązaniem tak popularnym, jak strefy postoju płatnego. W miastach, gdzie stwierdza się istotny brak wolnych miejsc postojowych wprowadzana jest z reguły strefa płatnego parkowania, a miejsca z ograniczeniem czasowym funkcjonują w niewielkiej liczbie, najczęściej w lokalizacjach, gdzie istnieje wysoka konieczność wymuszenia określonej rotacji pojazdów (np. przy szkołach, hotelach, dworcach i innych budynkach użyteczności publicznej). Miejsca postojowe są w tym przypadku oznakowane znakiem D-18 *Parking* z odpowiednią tabliczką uszczegóławiającą, określającą dopuszczalny czas postoju. Jednak nie wymaga się od kierowców umieszczania za szybą pojazdu specjalnego zegara, wskazującego czas rozpoczęcia postoju, jak to ma miejsce w konkretnie zdefiniowanych i zorganizowanych strefach z ograniczonym czasem postoju [25].

Jedno z nielicznych opracowań, w którym zaprezentowano wyniki polskich badań prowadzonych w okresie tuż po wdrożeniu strefy ograniczonego postoju w Tarnowskich Górach [110] wykazało jej efektywność – wdrożenie strefy ograniczającej czas postoju do 90 min poskutkowało zwiększeniem miesięcznej liczby korzystających z niej pojazdów o 246% przy jednoczesnym skróceniu średniego czasu postoju z 5 godzin i 51 minut do 1 godziny i 38 minut (Rys. 1.1).



Rys. 1.1. Rezultaty wdrożenia strefy ograniczonego postoju w Tarnowskich Górach
Źródło: opracowanie własne na podstawie [110]

Liczba miast w Polsce, w których wprowadzane są strefy ograniczonego postoju jest coraz większa. Przykładami miast, które w ostatnim czasie wprowadziły limity czasu parkowania na pewnym obszarze są m.in.: Śmigiel [156], Mińsk Mazowiecki [151], Gniezno [153], Rydułtowy [157] czy Racibórz [158]. Co ważne, wprowadzenie tego rozwiązania spotkało się z pozytywnym odbiorem społecznym.

Literatura, poza pozytywnymi efektami wprowadzenia *stref z ograniczonym czasem postoju* przedstawia również wady tego rozwiązania. Wg D. Shoupa [138], ograniczanie czasu postoju pojazdu nie jest rozwiązaniem korzystnym dla użytkownika, ponieważ nie daje możliwości pozostawienia pojazdu na okres dłuższy niż założono z góry, również w szczególnych przypadkach, kiedy kierowca, który koniecznie musi zaparkować samochód w danym obszarze jest skłonny do poniesienia nawet wysokiej opłaty. Drugą, wskazaną przez D. Shoupa [138], wadą tego rozwiązania jest – z punktu widzenia Zarządców – konieczność prowadzenia wzmożonej kontroli czasu postoju pojazdów, wymagającej dodatkowych pracowników na stanowisku kontrolera lub systemu monitorującego czas postoju. Przytoczone w [138] wyniki badań przeprowadzonych w Seattle, na ulicach z miejscami postojowymi o ograniczonym czasie postoju wskazały, że średni czas postoju pojazdów był tam w rzeczywistości dwa razy dłuższy niż dopuszczalny (szczegółowe wyniki badań udostępniono w [149]). Według P. Bartera [15] z kolei, przy bardzo dużym popycie na parkowanie, nawet ograniczenie czasu postoju, które skutkuje większą wymianą pojazdów na stanowiskach, nie rozwiąże problemu braku miejsc postojowych – ze względu na bardzo dużą przewagę popytu nad podażą.

1.2. Strefy płatnego parkowania

Pobór opłat za postój pojazdów (strefa płatnego parkowania) dotyczy najczęściej znacznie większego obszaru i poza wymuszeniem większej rotacji pojazdów, ma na celu także generalne ograniczenie popytu na miejsca postojowe – co skutkuje większym udziałem wolnych miejsc postojowych [56], [138]. Wymagania związane z wprowadzeniem strefy płatnego parkowania w Polsce zostały szczegółowo określone w *Ustawie o drogach publicznych* [178], a dotyczą one m.in.: uporządkowania przestrzeni parkingowej danego obszaru i jednoznacznego wyznaczenia miejsc postojowych – ponieważ wniesienie opłaty za postój obowiązuje tylko na wyznaczonych i oznakowanych miejscach postojowych.

Efektywność funkcjonowania stref z postojem płatnym jest zagadnieniem szeroko badanym w różnych kontekstach – prowadzone są analizy dotyczące funkcjonowania stref płatnego parkowania, możliwości i warunków ich wprowadzenia lub rozszerzenia o nowe obszary, itp., np. [28], [73], [83], [89], [165]. Szczególnie istotną kwestią jest racjonalny pobór opłat za postój pojazdów, tj. określenie optymalnej stawki opłaty godzinowej za postój pojazdu – zbyt niska opłata nie jest skuteczna w regulowaniu wskaźnika rotacji pojazdów i ze względu na duży popyt na (relatywnie) tani postój powoduje deficyt wolnych stanowisk postojowych, natomiast opłata zbyt wysoka prowadzi do niepełnego wykorzystania dostępnej przestrzeni postojowej obszaru [137].

Pomimo wprowadzania opłat za postój, polskie miasta borykają się z coraz bardziej uciążliwym i pogłębiającym się deficytem miejsc postojowych i bardzo często napełnienie powierzchni parkingowej w obszarze śródmieścia (objętym strefą z płatnym postojem) w większej części dnia przekracza nie tylko uznany za optymalny poziom 85%, ale sięga lub nawet przekracza 100% (co oznacza postój w miejscach niedozwolonych). Najważniejszym i najszerzej dyskutowanym rozwiązaniem tego problemu jest podniesienie stawki godzinowej za postój pojazdów [88].

Do 5 września 2019 roku zwiększenie stawki godzinowej za postój nie było możliwe do wdrożenia ze względu na specyfikę polskich warunków organizowania stref z płatnym postojem – maksymalna stawka godzinowa za postój pojazdów w obszarze strefy płatnego parkowania była narzucona prawnie, bez względu na aktualne potrzeby (wyrażone wielkością popytu i podaży miejsc postojowych) oraz gotowość użytkowników do płacenia za możliwość korzystania z miejsca postojowego. Jeśli aktualnie obowiązująca w mieście opłata była na poziomie maksymalnej dopuszczalnej ustawowo stawki za postój – nie było prawnej możliwości jej zwiększenia.

Konieczność prawnej regulacji maksymalnych stawek godzinowych za postój pojazdów wynika z publicznoprawnego charakteru opłaty postojowej, w związku z czym, podstawę jej pobierania na drogach publicznych oraz wytyczne co do sposobu jej wyliczenia – minimalne lub też maksymalne

stawki opłat za postój pojazdów – określa ustawa. Władze lokalne mogą natomiast zdecydować o wysokości obowiązującej stawki według zawartych w ustawie wytycznych.

Wg obowiązującej do 5 września 2019 roku treści *Ustawy o drogach publicznych* [178], maksymalna opłata za pierwszą godzinę postoju pojazdu wynosiła 3 zł (0,71 EUR), a ewentualna progresja stawek nie mogła przekraczać powiększenia stawki opłaty o 20% za kolejne godziny w stosunku do stawki za poprzednią godzinę postoju. Dodatkowo, stawka opłaty za czwartą i kolejne godziny postoju nie mogła przekraczać stawki opłaty za pierwszą godzinę postoju). Wysokość godzinowej opłaty za postój pojazdów pozostawała niezmienna od kilkunastu lat, podczas gdy liczba samochodów w polskich miastach praktycznie się podwoiła [155]. W efekcie, wszystkie duże miasta, w których opłata za postój – ze względu na większą niż w miastach małych i średnich gotowość mieszkańców/użytkowników do płacenia za możliwość pozostawienia pojazdu – osiągnęła poziom górnej granicy możliwej stawki, nie mogły korzystać z narzędzia, które pozwala na sterowanie liczbą samochodów osobowych w podróży do śródmieścia, a tym samym zapewnienia dostatecznej liczby wolnych miejsc do pozostawiania pojazdów.

Możliwość zmiany stawek za postój pojazdów w polskich miastach pojawiła się wraz z *Ustawą z dnia 5 lipca 2018 r. o zmianie ustawy o partnerstwie publiczno-prywatnym i niektórych innych ustaw* [180], w tym *Ustawy z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych* [178]. Zmiany te umożliwiają wprowadzenie tzw. śródmiejskiej strefy płatnego parkowania (ŚSPP), (...) *na obszarach zgrupowania intensywnej zabudowy funkcjonalnego śródmieścia, które stanowi faktyczne centrum miasta lub dzielnicy w mieście o liczbie ludności powyżej 100 000 mieszkańców, jeżeli spełnione są warunki, o których mowa w ust. 2³, a ustanowienie strefy płatnego parkowania może nie być wystarczające do realizacji lokalnej polityki transportowej lub polityki ochrony środowiska* [178], [180]. Funkcjonujące więc do tej pory stawki za postój mogą zostać zmienione na wyższe, jeśli miasto zdecyduje się na wprowadzenie śródmiejskiej strefy płatnego parkowania. Ustawa [180] umożliwiła także wprowadzenie zmian w sposobie organizowania stref płatnego parkowania.

Stawki za godzinę postoju samochodu na miejscach postojowych w ramach ŚSPP z definicji mają być wyższe niż w obszarze zwykłej strefy płatnego parkowania. Wciąż jednak istnieje uregulowanie prawne, wyznaczające górne ramy stawek postojowych zarówno w zwykłej, jak i śródmiejskiej strefie płatnego parkowania. Ostateczna ich wysokość w obu przypadkach (w ramach, które ustalają zapisy ustawy) jest najczęściej decyzją polityczną, nie mającą racjonalnego uzasadnienia. Są one ustalane przez Radę Gminy (Radę Miasta), z uwzględnieniem, że opłata za pierwszą godzinę postoju pojazdu samochodowego nie może przekraczać [180]:

- w strefie płatnego parkowania – 0,15% minimalnego wynagrodzenia, w rozumieniu art. 2 ust. 1 ustawy z dnia 10 października 2002 r. o minimalnym wynagrodzeniu za pracę (Dz. U. z 2017 r. poz. 847 oraz z 2018 r. poz. 650),
- w śródmiejskiej strefie płatnego parkowania – 0,45% minimalnego wynagrodzenia, o którym mowa w lit. a;

Dodatkowo, wg ustawy [180], środki uzyskane z opłat za postój samochodów w ŚSPP (w wysokości nie mniejszej niż 65% tych opłat) oraz środki z opłat dodatkowych (jak np. za brak biletu parkingowego) gmina powinna przeznaczyć na *sfinansowanie poprawy publicznego transportu zbiorowego, budowę lub przebudowę infrastruktury pieszej lub rowerowej lub zieleni i zadrzewienia w gminie*. Dodatkowo, na obszarze ŚSPP opłaty mogą być pobierane również w dni weekendowe (w przeciwieństwie do obszaru strefy płatnego parkowania, gdzie opłaty można pobierać wyłącznie w dni robocze).

Podobnie jak w poprzedniej wersji ustawy [178], stawki opłat za postój, mogą być zróżnicowane w zależności od miejsca postoju, a przy ich ustalaniu uwzględnia się progresywne narastanie opłaty przez pierwsze trzy godziny postoju.

³ (...) *na obszarach charakteryzujących się znacznym deficytem miejsc postojowych, jeżeli uzasadniają to potrzeby organizacji ruchu, w celu zwiększenia rotacji parkujących pojazdów samochodowych lub realizacji lokalnej polityki transportowej, w szczególności w celu ograniczenia dostępności tego obszaru dla pojazdów samochodowych lub wprowadzenia preferencji dla komunikacji zbiorowej* [178].

Obszar obowiązywania ŚSPP oraz wysokość stawek godzinowych za postój w tym obszarze, wg ustawy [180] powinien opierać się na analizie określającej:

- *rotację parkujących pojazdów samochodowych w planowanej śródmiejskiej strefie płatnego parkowania;*
- *zakładany poziom rotacji parkujących pojazdów samochodowych w planowanej śródmiejskiej strefie płatnego parkowania, z uwzględnieniem różnych poziomów wysokości opłat za postój w tej strefie.*

Nie opublikowano dokładnych wytycznych, co do sposobu wyliczania wymaganego parametru oraz związku, jaki powinien występować pomiędzy rotacją pojazdów na miejscach parkingowych, a wysokością godzinowej stawki opłaty za postój. Zarekomendowano oparcie (kluczowych dla funkcjonowania śródmieścia) decyzji o wysokości stawki i zakresie terytorialnym ŚSPP jedynie na wskaźniku rotacji, nie odnosząc się do innych parametrów, m.in. poziomu napełnienia dostępnej przestrzeni parkingowej oraz popytu na parkowanie i jego relacji z podażą parkingową tego obszaru. Z tego powodu, pomimo wprowadzonych uregulowań ustawowych, procedury ustalania zakresu terytorialnego i wysokości stawek za postój pojazdów w strefach płatnego parkowania nadal pozostają niewyjaśnione. Niemniej jednak, zmiany w *Ustawie o drogach publicznych* [178], wprowadzone ustawą [180] traktuje się jako duży sukces w kontekście działań na rzecz zrównoważonej mobilności w miastach. Zapisy ustawy [180] weszły w życie 5 września 2019 roku.

1.3. Śródmiejska strefa płatnego parkowania – przypadek krakowski

W Krakowie, jako pierwszym mieście w Polsce, uchwałą Rady Miasta Krakowa nr XXII/456/19 z dnia 17 lipca 2019 roku [177], wprowadzono śródmiejską strefę płatnego parkowania. W treści tej uchwały wprowadzono następujące definicje:

- *strefa płatnego parkowania (SPP) – (...) wydzielony obszar Miasta Kraków, w którym korzystający z dróg publicznych są obowiązani do ponoszenia opłat za postój pojazdów samochodowych na drogach publicznych, oznaczonych właściwymi znakami drogowymi,*
- *śródmiejska strefa płatnego parkowania (ŚSPP) – (...) wydzielony obszar Miasta Krakowa o intensywnej zabudowie funkcjonalnego śródmieścia, które stanowi faktyczne centrum miasta lub dzielnicy, spełniające warunki ustanowienia strefy płatnego parkowania, a funkcjonowanie tej strefy nie jest wystarczające do realizacji lokalnej polityki transportowej lub polityki ochrony środowiska,*
- *obszar płatnego parkowania (OPP) – (...) drogi publiczne w Krakowie, na których pobierana jest opłata za postój. W skład obszaru wchodzi zarówno SPP i ŚSPP.*

Do 22 września 2019, w mieście funkcjonowała strefa płatnego parkowania, obejmująca swym obszarem prawie 19 tysięcy miejsc postojowych [75]. Podzielona była na 8 głównych podstref, przy czym podstrefa P1 i podstrefa P6, podzielone były dodatkowo na jeszcze mniejsze podstrefy. Stawki opłat były jednolite we wszystkich podstrefach i wynosiły odpowiednio [176]:

- *za pierwszą godzinę postoju - 3,00 zł*
- *za drugą godzinę postoju - 3,50 zł*
- *za trzecią godzinę postoju - 4,10 zł*
- *za czwartą i kolejne godziny postoju - po 3,00 zł za każdą.*

Dodatkowo, możliwym było wykupienie różnych form abonamentów postojowych.

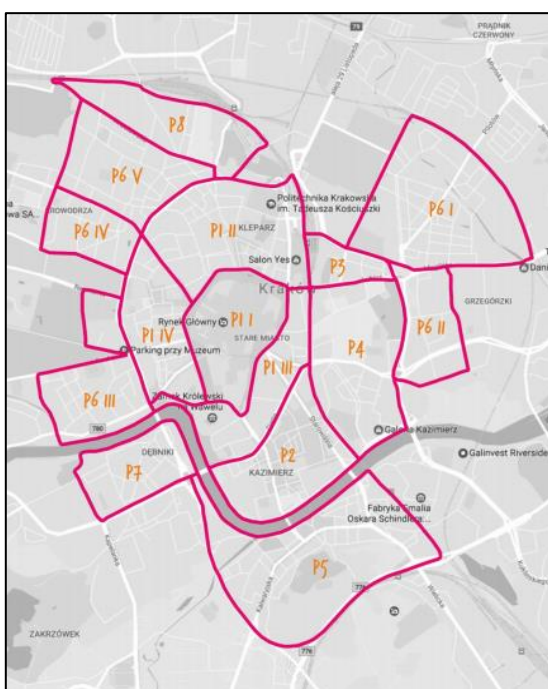
Postój płatny obowiązywał kierowców w dni powszednie od poniedziałku do piątku, w godzinach od 10:00 do 20:00. Zakres terytorialny strefy płatnego parkowania w Krakowie, obowiązujący do 22 września 2019 roku przedstawiono na mapie (Rys. 1.2).

Przeprowadzona jesienią 2018 roku analiza funkcjonowania strefy płatnego parkowania w Krakowie [45], wymagana ustawą [180] wykazała, że zajętość miejsc postojowych w dużej części strefy sięga 100%, a rotacja pojazdów na tych miejscach wynosi średnio około 3 pojazdów, przypadających na jedno

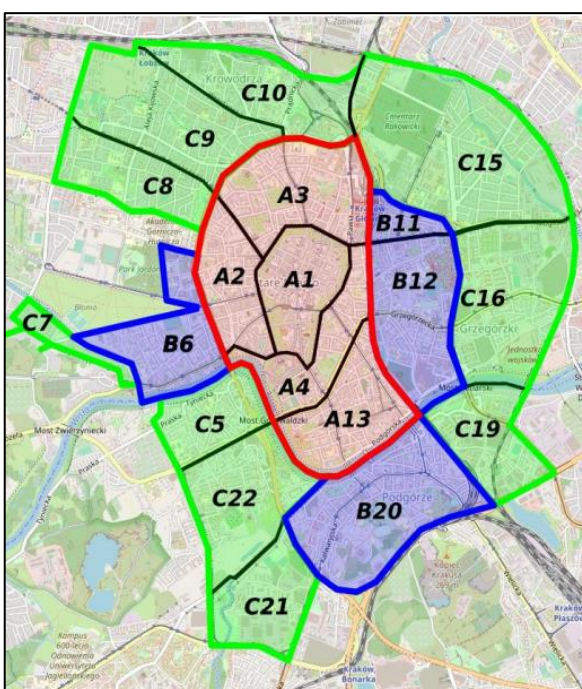
miejsce postojowe w ciągu 11 godzin pomiaru. Po przeanalizowaniu uzyskanych informacji zdecydowano o konieczności wprowadzenia zmian.

Zmiany, jakie zostały wdrożone wraz z wejściem w życie uchwały [177] obejmowały:

- ustanowienie *Obszaru Płatnego Parkowania* (OPP), w którego skład weszły śródmiejska strefa płatnego parkowania (ŚSPP) oraz strefa płatnego parkowania (SPP),
- podział OPP na podstrefy A, B i C, a te z kolei na mniejsze sektory, o docelowym zakresie terytorialnym przedstawionym na mapie (Rys. 1.3),
- etapowe rozszerzenie dotychczasowego obszaru strefy płatnego parkowania w ramach OPP,
- zmianę okresów obowiązywania płatnego postoju – uchwała wprowadziła obowiązek uiszczania opłat za postój również w soboty,
- podwyższenie godzinowych stawek opłat za postój na całym obszarze OPP, wg tabeli (Tab. 1.1),
- zmiany w stawkach opłat abonamentowych,
- zmiany w stawkach opłat dodatkowych.



Rys. 1.2. Zakres terytorialny Strefy Płatnego Parkowania w Krakowie obowiązujący do dnia 22 września 2019 roku
Źródło: [176]



Rys. 1.3. Zakres terytorialny Obszaru Płatnego Parkowania w Krakowie (kolorami oznaczono zakres poszczególnych podstref, w których obowiązujące stawki są różnicowane)
Źródło: [177]

Tab. 1.1. Stawki opłat za parkowanie w Obszarze Płatnego Parkowania w Krakowie

	Podstrefa A	Podstrefa B	Podstrefa C
Pierwsza godzina postoju	6,00 PLN	5,00 PLN	4,00 PLN
Druga godzina postoju			
Trzecia godzina postoju			
Czwarta i każda kolejna godzina postoju			

Źródło: [177]

Większość wprowadzonych zmian, w tym m.in. funkcjonowanie Obszaru Płatnego Parkowania, a w nim strefy płatnego parkowania i śródmiejskiej strefy płatnego parkowania, ich podział na nowe sektory oraz obowiązywanie opłat za parkowanie w soboty, weszło w życie w dniu 22 września 2019 roku. Zmianę wysokości stawek za godzinę postoju wprowadzono 15 grudnia 2019 roku.

Docelowy zakres terytorialny przyjęty uchwałą nr XXII/456/19 z dnia 17 lipca 2019 roku (Rys. 1.3) został osiągnięty w dniu 31 lipca 2020 roku. Stopniowe rozszerzenia obszaru OPP podzielono na etapy:

1. Rozszerzenie obszaru obowiązującego do dnia 22 września 2019 roku o nowe sektory C19 i C22 – obowiązuje od dnia 22 września 2019 roku.
2. Rozszerzenie obszaru terytorialnego istniejących (wg nowego podziału Obszaru Płatnego Parkowania obowiązującego od 22 września 2019 roku) sektorów nr B6, C8, C9 i C16 oraz rozszerzenie o nowy sektor C21 – obowiązuje od dnia 26 lipca 2020 roku.
3. Rozszerzenie zakresu terytorialnego Obszaru Płatnego Parkowania o nowy sektor C7 – obowiązuje od dnia 31 lipca 2020 roku.

Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że śródmiejska strefa płatnego parkowania została wprowadzona w Krakowie pomimo dużego oporu społecznego. Ze szczególnym protestem spotkał się nowy cennik opłat za postój, który w pierwotnej wersji zakładał wprowadzenie większych niż ostateczne zmian stawek godzinowych. Podjęte decyzje były kolejnym z działań Krakowa, realizowanych konsekwentnie w kwestii dążenia do zmiany zachowań komunikacyjnych mieszkańców, a tym samym poprawy dostępności śródmieścia – zgodnie z założeniami przyjętej w 2016 roku *Polityki Transportowej dla Miasta Krakowa* [124].

1.4. Ruch generowany poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego – wprowadzenie

Równoległe do opisanych starań mających na celu poprawę dostępności do przestrzeni parkingowej (rozumianej jako *łatwość* znalezienia miejsca postojowego dla samochodu) w centralnych obszarach miast (w sytuacji ciągłego ich zatłoczenia komunikacyjnego) zauważono, że działania te mogą – oprócz oczekiwanego ułatwienia znalezienia wolnego miejsca do zaparkowania – powodować dodatkowe przemieszczenia pojazdów. Przemieszczenia te mogą być generowane zwiększeniem wykorzystania miejsc postojowych – każdy dodatkowy pojazd korzystający z miejsca postojowego generuje dodatkowe przemieszczenia podczas dojazdu do i wyjazdu z danego stanowiska postojowego. Ponadto, spodziewany jest wzrost ruchu spowodowany dodatkowymi podróżami, generowanymi zapewnieniem większej atrakcyjności parkingowej danych obszarów – łatwiej dostępne miejsca parkingowe u celu podróży przyciągają dodatkowych podróżujących samochodem [21], [143], [167]. Skutki poprawy dostępności do istniejącej przestrzeni parkingowej mogą więc mieć efekt analogiczny, jak w przypadku zwiększenia rozbudowy infrastruktury – czyli generować dodatkowe podróże, które nie odbyłyby się, gdyby dostępność miejsc postojowych u celu podróży była niska (*ruch wzbudzony*). Dotychczasowe podejście propagujące działania na rzecz poprawy dostępności miejsc postojowych w obszarach śródmiejskich jest więc stosowane z pewną ostrożnością – ponieważ wciąż nie ma pewności, czy i w jakim stopniu zwiększenie dostępności parkingowej spowoduje zwiększenie ogólnej liczby przemieszczeń obserwowanych w analizowanych obszarach.

W dyskusjach rzadko bierze się jednak pod uwagę, że zwiększenie dostępu do miejsc postojowych może mieć również skutek przeciwny, niż zwiększenie ruchu. W literaturze zagranicznej, jak np. [9], [11], [12], [17], [18], [26], [58], [93], [126], [137], [138], [188] zwrócono uwagę, że w obszarach miejskich, gdzie występują liczne problemy parkingowe, można zauważyć także ruch związany wyłącznie z poszukiwaniem miejsca do zaparkowania pojazdu. Są to przemieszczenia kierowców szukających wolnego miejsca postojowego przy ulicy, które jest dla nich atrakcyjne z powodu bliskiej odległości do punktu docelowego podróży. Ruch ten nie jest więc związany z żadną konkretną motywacją⁴, poza znalezieniem wolnego miejsca, co potęguje jego uciążliwość – nie byłby wykonywany, gdyby miejsca parkingowe były łatwo dostępne. To stwierdzenie prowadzi do założenia, że zwiększenie dostępności przestrzeni parkingowej może także (równoległe do zwiększenia ruchu generowanego większą rotacją pojazdów oraz pojawieniem się nowych podróży) ograniczyć ruch obserwowany na ulicach, poprzez

⁴ *Motywacja* określa cel/przyczynę wykonywania danej podróży. Wg K. Birra [21] można wyróżnić motywacje, takie jak: dom, praca, szkoła, wyższa uczelnia, sprawy służbowe/interesy, zakupy w centrach handlowo-usługowych, inne zakupy, usługi, rekreacja/hobby, odwiedziny, turystyka, podwożenie/odprowadzanie innych osób, potrzeby religijne, inne.

zmniejszenie liczby samochodów przemieszczających się wyłącznie w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego.

Żadne zidentyfikowane źródło literaturowe nie podaje szczegółowej definicji ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do pozostawienia samochodu. W publikacjach zagranicznych ruch ten określany jest mianem *search traffic* lub *cruising for parking*, przez co w języku polskim można spotkać się z określeniami: *ruch w poszukiwaniu miejsca postojowego*, *krążenie w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego*, czy też *ruch jałowy*. Kwestie te nie są jednak poruszane w polskiej literaturze naukowej, a podane nazewnictwo pojawia się raczej w artykułach technicznych i publicystycznych, o tematyce ogólnej, związanej z parkowaniem [161], [163].

Według P. Bartera [15] i D. Shoupa [138], *krążenie* w poszukiwaniu miejsca postojowego jest powodowane przez zbyt dużą rozbieżność cen za parkowanie na parkingach wydzielonych (*off-street parking*) i miejscach postojowych przy ulicy (*on-street parking*) – podczas gdy ceny na parkingach wydzielonych są wysokie, a postój przy ulicy często bezpłatny. Odnosi się to głównie do warunków amerykańskich, gdzie liczba parkingów wydzielonych jest duża i dzięki temu (nie biorąc pod uwagę stawek za postój) stanowią one alternatywę dla miejsc postojowych przy ulicy. W takim przypadku, aby ograniczyć *search traffic* wystarczyłoby ustanowić cenę za postój przy ulicy na tak wysokim poziomie (w stosunku do parkingów wydzielonych), żeby nie było opłacalnym poszukiwanie wolnego miejsca przy ulicy – co, w domyśle, miałoby wynikać z chęci zaoszczędzenia na kosztach postoju [138]. W warunkach polskich miejsca postojowe przy ulicy są o wiele bardziej atrakcyjne w porównaniu z miejscami na parkingach wydzielonych. Po pierwsze ze względu na bardziej korzystną dla kierowcy stawkę za postój (w przypadku, gdy parking wydzielony jest parkingiem prywatnym) i po drugie – ze względu na bliską odległość punktu docelowego podróży.

Problem przemieszczeń generowanych poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego potencjalnie mógłby zostać zniwelowany udostępnieniem kierowcom bieżącej informacji o wolnych miejscach postojowych (poprzez systemy informacyjne oparte o tablice zmiennej treści wyświetlające komunikaty o dostępnych miejscach na danej ulicy, informacji on-line przesyłanej do aplikacji mobilnych i/lub komputerów pokładowych nowych pojazdów, itp.), jednak w warunkach polskich, rozwiązania takie wciąż są zbyt zawodne i kosztowne, aby mogły funkcjonować w całym (zazwyczaj dość rozbudowanym) obszarze strefy płatnego parkowania.

1.5. Geneza podjęcia tematu

Ze względu na coraz mocniej odczuwany deficyt miejsc postojowych, obserwowany w szczególności w gęsto zabudowanych obszarach śródmiejskich, rozważa się różne możliwości zwiększenia dostępności parkingowej tych obszarów. *Dostępność parkingowa* jest tutaj rozumiana, jako *łatwość* znalezienia wolnego miejsca postojowego. Ponieważ system parkingowy miasta nie funkcjonuje niezależnie, a skutki ingerencji w niego odczuwane są w innych podsystemach, pod dyskusję poddaje się następujące kwestie: zwiększenie wykorzystania istniejącej powierzchni parkingowej (co można uzyskać poprzez zwiększenie rotacji pojazdów) lub generalne zwiększenie liczby miejsc postojowych – może przynieść niekorzystny efekt. Przez zwiększenie liczby pojazdów, które będą korzystać z tych bardziej dostępnych lub całkiem nowych miejsc oraz pojawiający się tzw. *ruch wzbudzony*, skutkiem takich zmian może być zwiększenie natężenia ruchu w przyległej sieci ulicznej danego obszaru. Efekt ten (w zakresie infrastruktury parkingowej) nie został potwierdzony szczegółowymi badaniami w warunkach polskich, ale podobne opinie można spotkać w literaturze zagranicznej, np. [62]. Dodatkowo, zwiększenie rotacji pojazdów z definicji powoduje zwiększenie liczby przemieszczeń wynikających ze wzmożonego wykorzystania powierzchni parkingowej: większa liczba pojazdów wykorzystujących jedno miejsce postojowe oznacza większą liczbę przemieszczeń związanych z dojazdem i wyjazdem z tego stanowiska. Z tych powodów – **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**. Równoległe, poprawa dostępności miejsc postojowych w sytuacji niedostatku dostępnej przestrzeni parkingowej obszaru może mieć również skutek przeciwny od opisanego. W obszarach miejskich, gdzie występują liczne problemy parkingowe (gdzie kierowcy mają trudność znalezienia wolnego miejsca do

zaparkowania samochodu) można zauważyć ruch związany wyłącznie z poszukiwaniem miejsca parkingowego (*search traffic*), który także dodatkowo zwiększa istniejące natężenie ruchu (jest jedną z jego składowych). W związku z tym, **poprawa dostępności wolnych miejsc postojowych może zmniejszyć wielkość potoku pojazdów obserwowanego w sieci ulicznej danego obszaru, poprzez zmniejszenie jednej z jego składowych: liczby samochodów przemieszczających się wyłącznie w poszukiwaniu wolnego miejsca do parkowania.**

Niezwykle istotnym jest spostrzeżenie, że (zwłaszcza w obszarach śródmiejskich) kwestia parkowania i problemy z dostępnością miejsc postojowych związane są ściśle z liczbą przemieszczeń, jakie wykonywane są do i wewnątrz tych obszarów – jako ich skutek, ale również przyczyna. Deficyt miejsc postojowych powodowany jest zbyt dużą liczbą podróży wykonywanych samochodem do obszarów ograniczonych przestrzennie, a kumulowanie się zaparkowanych pojazdów na parkingach przykrawężnikowych, czy też wydzielonych, powoduje zagęszczenie przemieszczeń z tym związanych w określonych miejscach. Brak wolnych miejsc postojowych, jak również ułatwienie dostępu do nich (bez względu na metodę), powoduje dodatkowe przemieszczenia, generowane odpowiednio poszukiwaniem wolnego miejsca i zwiększeniem atrakcyjności przestrzeni w kontekście transportowym – przyczyniając się do zwiększenia potoków ruchu obserwowanych w sieci drogowo – ulicznej. Z tego względu, analizy parkowania, w których ocenie poddaje się efektywność funkcjonowania przestrzeni parkingowych oraz determinowane przez nią warunki postojowe, muszą być wykonywane ze szczególnym uwzględnieniem tych relacji.

Pojawiają się więc wątpliwości i pytania dotyczące kierunków kształtowania polityki parkingowej miasta: czy wprowadzanie ograniczeń w liczbie miejsc postojowych – celem zmniejszenia liczby podróży odbywanych samochodem do centrum miasta – nie spowoduje wzrostu ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego (*search traffic*), który zwiększy ogólne natężenie ruchu w sieci ulicznej? Czy, wobec tego, tworzenie nowych lub poprawa wykorzystania istniejących miejsc postojowych, mająca zmniejszyć *krążenie* w poszukiwaniu wolnego stanowiska, nie spowoduje wzrostu ruchu poprzez zmianę zachowań komunikacyjnych i *ruch wzbudzony*? Czy istnieje sytuacja równowagi tych zjawisk?

Wobec zauważonych zależności: parkowania i przemieszczeń pojazdów, pojawiają się wątpliwości co do kierunków kształtowania polityki parkingowej miast. Propagowane metody ograniczenia liczby miejsc postojowych (traktowane jako sposób ograniczenia ruchu do obszarów śródmieścia) są poddawane pod wątpliwość, przez potencjalną możliwość generowania dodatkowego ruchu (*search traffic*). Zwiększenie dostępności do miejsc parkingowych, które ma na celu głównie zwiększenie efektywności funkcjonowania istniejących przestrzeni parkingowych w danych warunkach przestrzennych obszarów śródmiejskich, może z kolei spowodować *ruch wzbudzony*. Brak potwierdzonych badaniami odpowiedzi na pojawiające się wątpliwości powoduje szerokie dyskusje, które poprzedzają zaplanowaną ingerencję miast w istniejącą organizację funkcjonowania obszarów parkingowych. Dodatkową niewiadomą z punktu widzenia Zarządców jest zapis ustawy [178], wprowadzający konieczność przeprowadzenia analizy bieżącego funkcjonowania przestrzeni parkingowej, która musi poprzedzić wprowadzenie śródmiejskiej strefy płatnego parkowania. Wynika ona z braku wytycznych do przeprowadzania oceny funkcjonowania przestrzeni parkingowych oraz prognozowania warunków parkowania przy zmianie uwarunkowań wewnętrznych i zewnętrznych. Z tego względu niezwykle istotnym jest prowadzenie badań i analiz parkowania uwzględniających wzajemne relacje parametrów parkowania oraz wielkości potoków ruchu w sieci drogowo – ulicznej, zwłaszcza w obszarach centrów miast. Powinny one dać odpowiedź na pytanie, czy dotychczasowy kierunek zmian funkcjonowania wrażliwych obszarów śródmiejskich, w odniesieniu do organizowania i regulowania ruchu i parkowania, jest odpowiedni oraz na jakie problemy w szczególności powinni być przygotowani Zarządcy tych obszarów.

Stwierdzono, że:

1. Brakuje opublikowanych wyników badań dotyczących ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego obserwowanego w polskich miastach. Tematyka nie była analizowana zarówno w kwestii obciążenia ruchem obszarów z deficytem przestrzeni parkingowej,

jak również kwestii związanych z zachowaniami komunikacyjnymi, badanymi z punktu widzenia użytkownika systemu transportowego.

2. Brakuje także opublikowanych wyników polskich badań dotyczących zmiany wielkości potoków ruchu w sieci ulicznej danego obszaru, wynikającej ze zmiany liczby dostępnych miejsc postojowych w sytuacji deficytu (*search traffic, ruch wzburzony*).
3. Nieliczne badania zagraniczne, jak np. [138], nie mają bezpośredniego przełożenia na rozważania dotyczące wielkości ruchu realizowanego w poszukiwaniu wolnych miejsc postojowych w odniesieniu do warunków parkowania i dostępności przestrzeni parkingowej w polskich miastach – głównie ze względu na dowolność kształtowania wysokości opłat za postój.

Wg licznych opracowań zagranicznych, ruch w poszukiwaniu wolnego miejsca jest generowany w sytuacjach deficytu miejsc postojowych [137], [138]. Kluczową kwestią jest więc szczegółowa analiza relacji podaży i popytu na parkowanie, która z kolei determinuje warunki postoju w poszczególnych obszarach.

Według S. Gacy, W. Suchorzewskiego i M. Tracza [56], charakterystyka parkowania obejmuje: możliwości parkowania (podaż miejsc parkingowych), stopień wykorzystania miejsc parkingowych (m.in. czas postoju i cel parkowania) oraz warunki parkowania (czas poszukiwania miejsca, czas/odległość dojazdu do punktu docelowego, koszt postoju). Po przeanalizowaniu różnego rodzaju niepublikowanych analiz parkowania stwierdzono, że do charakteryzowania danego obszaru pod kątem funkcjonowania powierzchni parkingowych wykorzystuje się najczęściej tylko pierwszy i drugi, spośród wymienionych punktów, skupiając się na określeniu stopnia ich wykorzystania, a pomijając kwestię efektywności ich funkcjonowania: warunków parkowania (dostępności parkingowej) i stopnia zaspokojenia popytu na parkowanie. W analizach szacowane są głównie parametry takie jak: napełnienie powierzchni parkingowej i rotacja pojazdów na miejscach postojowych oraz ewentualnie średni czas postoju pojazdów. Wykonywane analizy często nie uwzględniają przy tym również istotnego wpływu zagospodarowania przestrzennego danego obszaru i funkcji jego zabudowy, odległości od ścisłego centrum miasta, dostępności transportowej – czyli, w ogólności, czynników generujących popyt na parkowanie. Pomija się również godzinową stawkę opłaty za postój i inne kwestie związane z prowadzoną polityką parkingową miasta, a wpływające na to, jak ma się podaż miejsc parkingowych do popytu na nie. We wnioskach dotyczących stopnia wykorzystania powierzchni parkingowych oraz stopnia zaspokojenia popytu przez podaż parkingową zwykle nie bierze się pod uwagę kierowców, którzy ze względu na zbyt małą liczbę miejsc postojowych nie znaleźli wolnego miejsca do zaparkowania, generując tzw. *search traffic*. W efekcie nie parkują oni w danym obszarze i nie są brani pod uwagę przy wyliczaniu wymienionych parametrów wykorzystania przestrzeni parkingowej, na których w wielu przypadkach opierają się przeprowadzane analizy parkowania. Ostatecznie nie wiadomo więc, czy podaż miejsc postojowych jest wystarczająca, by w pełni zaspokoić popyt na nie.

Dodatkowo, dużą trudność rodzi interpretacja parametrów parkowania uzyskiwanych ze wspomnianych badań i analiz. Nie przygotowano do tej pory (dla polskich warunków transportowych) uniwersalnego klucza, wg którego byłaby możliwa obiektywna ocena wykorzystania i efektywności funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej. Nie określono, jaki poziom poszczególnych parametrów parkowania jest optymalny dla danego obszaru.

1.6. Cel pracy

Biorąc pod uwagę opisany kontekst, celem naukowym pracy jest:

1. Uzupelnienie stanu wiedzy nt. ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do 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.

Celem praktycznym pracy jest:

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.

2. Opis zjawiska ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*)

Merytoryczne kwestie związane z ruchem generowanym przez poszukiwanie wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu w warunkach polskich praktycznie nie były do tej pory poruszane w branżowej literaturze krajowej. Nie zidentyfikowano publikacji, która prezentowałaby wyniki badań prowadzonych wyłącznie w tym zakresie. Problem wpływu parkowania na warunki ruchu w przyległej sieci ulicznej pojawia się w publikacjach, ale dotyczy raczej wpływu pochodzącego od parkingów wielkopowierzchniowych, zlokalizowanych najczęściej przy dużych generatorach ruchu, jak centra handlowe [55], [122], czy też uciążliwości manewrów parkowania przykrawężnikowego dla ruchu pojazdów indywidualnych [199] lub autobusów poruszających się po wydzielonych pasach autobusowych [16].

Kwestie związane z szeroko pojętą relacją pomiędzy podażą miejsc parkingowych w danym obszarze lub jej zmianą, a wielkością potoków ruchu pojazdów indywidualnych w sieci tego obszaru są poruszane, ale w sposób dość ogólny. Analizom poddaje się problematykę wpływu dostępności do infrastruktury parkingowej obszaru na ogólnie rozpatrywany podział zadań przewozowych, a konkretnie – na procentowy udział podróży wykonywanych samochodem indywidualnym w liczbie wszystkich podróży wykonywanych do danego obszaru. Liczba dostępnych miejsc postojowych u celu podróży jest jednym z czynników determinujących wybór samochodu, jako środka transportu [21], [37], [139], tak więc poprawa dostępności do infrastruktury parkingowej, poprzez budowę nowych lub lepsze wykorzystanie istniejących miejsc postojowych i parkingów jest przedstawiana jako czynnik wpływający na zwiększenie potoków ruchu w analizowanym obszarze. Badania prowadzone w tym aspekcie to głównie badania ankietowe, przeprowadzane z użytkownikami systemu transportowego. W ujęciu ekonomicznym, parkowanie jest traktowane wyłącznie jako dodatkowy koszt podróży, przy czym kosztem parkowania jest koszt finansowy, ponoszony z tytułu opłaty za godzinę postoju w obszarze strefy płatnego parkowania lub na parkingu wydzielonym.

W publikacjach zagranicznych natomiast, dyskusje związane z ruchem, który generowany jest wyłącznie koniecznością zaparkowania samochodu pojawiają się częściej – właściwie od czasu popularyzacji podróży z wykorzystaniem indywidualnego samochodu osobowego. Prawdopodobnie pierwsza z prac, w których poruszono kwestię pojazdów *krążących* w poszukiwaniu wolnego miejsca powstała w 1927 roku [138], [140]. Przeprowadzone wówczas badania wykazały, że w dwóch punktach pomiarowych zlokalizowanych w centralnej części Detroit, ruch pojazdów poszukujących miejsca do postoju stanowił odpowiednio 19% i 34%.

2.1. Interpretacja definicji ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego

Autorzy literatury zagranicznej zgodnie zwracają uwagę, że w obszarach miejskich, gdzie występują liczne problemy parkingowe można zauważyć ruch generowany wyłącznie przez poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*). Jest to potwierdzone licznymi badaniami prowadzonymi w tym zakresie, m.in. [17], [18], [26], [58], [93], [126], [137], [138].

Problematyka analizowana jest w dwóch aspektach:

- 1) **z punktu widzenia użytkownika** systemu transportowego: kierowcy samochodu, którego celem jest zaparkowanie pojazdu,
- 2) **z punktu widzenia obserwatora** sytuacji ruchowej w analizowanej sieci ulicznej – Zarządcy ruchu, Zarządcy strefy płatnego parkowania, pozostałych uczestników ruchu.

Aspekty te różnicują wpływ tego procesu na: w podejściu pierwszym – indywidualne odczucia kierowcy, w podejściu drugim – warunki ruchu w sieci ulicznej obszaru.

W pierwszym podejściu, gdzie zagadnienie analizowane jest z punktu widzenia kierowcy, jako proces poszukiwania miejsca postojowego jest traktowany ostatni etap każdej jego podróży, która nie kończy się na rezerwowanym lub prywatnym (własnym) parkingu [188]. Znalezienie wolnego miejsca

może okazać się bardzo łatwe i w efekcie praktycznie nieodczuwalne, bądź też zajmuje określony czas. Rozpatrywana jest wówczas odczuwana uciążliwość tego procesu oraz analizowane są czynniki, które mogą mieć wpływ na decyzje kierowcy, związane z realizacją (bądź nie) poszukiwania miejsca (akceptowalna długość czasu poświęconego na poszukiwanie, wybierane trasy, warunki podjęcia decyzji o podjęciu poszukiwania lub rezygnacji z postoju, itd.). Informacje uzyskane w rozważaniach prowadzonych pod tym kątem, analizuje się na potrzeby tworzenia modeli behawioralnych, decyzyjnych, uwzględniających indywidualne cechy i przyzwyczajenia kierowców [11], [27], [64], [138].

W drugim toku rozważań, w którym *search traffic* rozpatrywany jest z perspektywy zewnętrznego obserwatora, pod uwagę brany jest wpływ rzeczywistej liczby pojazdów realizujących poszukiwanie miejsca postojowego w danym obszarze na warunki ruchu w przyległej sieci ulicznej. Nie zdefiniowano jednak dotąd cech ruchu tego rodzaju w jednoznaczny sposób tak, aby było możliwym udzielenie odpowiedzi na pytanie: *jak w potoku pojazdów wyróżnić samochody, które przemieszczają się wyłącznie w celu znalezienia miejsca postojowego?*

Autorzy badań terenowych w różny sposób interpretują proces poszukiwania miejsca, pod względem cech, dzięki którym z potoku pojazdów można wyróżnić samochody kierowców szukających wolnego stanowiska. W jednym z pierwszych badań *search traffic*, przeprowadzonym w 1927 roku w Detroit w Stanach Zjednoczonych, podczas zliczania pojazdów, jako *krążące* w poszukiwaniu miejsca zakwalifikowano samochody, które kilkakrotnie przekroczyły wyznaczony przekrój ulicy w przyjętych punktach pomiarowych [138]. W innym badaniu przeprowadzonym także w Stanach Zjednoczonych w Los Angeles przyjęto, że pojazdem poszukującym miejsca postojowego jest każdy pierwszy samochód, który zajmuje zwalniające się właśnie lub już/jeszcze wolne miejsce postojowe. W tym toku rozumowania, samochody *krążące* w poszukiwaniu miejsca, przejeżdżając obok stanowiska które aktualnie się zwalnia lub jest już wolne – korzystając z okazji od razu go zajmą. Pozostali – niezainteresowani – przejadą dalej obojętnie. W tym celu osoby prowadzące badanie swoim zachowaniem sugerowały pozostałym kierowcom, że zamierzają zwolnić zajmowane miejsce postojowe – obserwując tym samym ile samochodów przejedzie obok zajętego (jeszcze) przez nich miejsca obojętnie oraz który z kolei samochód zatrzyma się w oczekiwaniu na zwolnienie miejsca. Na tej podstawie szacowany był udział pojazdów *krążących* w ogólnym potoku pojazdów obserwowanych na danej ulicy [126], [138]. Inne podejście, jako element wyróżniający pojazdy poszukujące wolnego miejsca postojowego wskazuje przyjmowaną przez nie prędkość. Według I. Benensona, K. Martensa, S. Birfira i N. Levy'ego [20], [96], pojazdy te przemieszczają się z prędkością niższą niż podczas przejazdu tranzytowego. Wg ich obserwacji prędkość ta wynosi średnio 12 km/h. Wg badań przeprowadzonych przez D. Shoupa [138] w Los Angeles z kolei, prędkość pojazdów *krążących* wynosiła tam średnio 8 – 10 mph, co w przeliczeniu na jednostki europejskie daje wartości z przedziału 12,9 – 16,1 km/h.

Analizując zagadnienie z punktu widzenia obserwatora ruchu, problematycznym jest także zdefiniowanie konkretnego momentu rozpoczęcia procesu poszukiwania miejsca postojowego. L. Montini i inni [109] przedstawili znane im stwierdzenia⁵, definiujące ten moment w następujący sposób:

- 1) Rozpoczęcie poszukiwania miejsca następuje w momencie, kiedy kierowca mija ostateczny cel swojej podróży (w domyśle: jedzie w pierwszej kolejności do celu podróży i dopiero tam rozpoczyna poszukiwanie).
- 2) Rozpoczęcie poszukiwania miejsca następuje w momencie, kiedy kierowca mija pierwsze miejsce parkingowe, które mógłby zaakceptować, gdyby było wolne (w domyśle: kierowca jeszcze przed dojazdem do punktu docelowego myśli o konieczności zaparkowania samochodu).

Obie przedstawione definicje mają związek ze znajomością obszaru i dostępności przestrzeni parkingowej, która się w nim znajduje. Obie także mają swoje słabe strony w odniesieniu do analizy

⁵ Zestawione definicje pochodzą z niemieckojęzycznych publikacji: Kipke H., „Theoretische Überlegungen zum Parksuchverkehr”, *Strassenverkehrstechnik*, 93 (4), 1993, s. 246 – 249 oraz Birkner T., „Innerstadischer Park such verkehr: eine unbekante Grosse?“, *Strassenverkehrstechnik*, 95 (7), 1995, s. 323-327

procesu z punktu widzenia obserwatora. Podejście pierwsze, w którym rozpoczęcie poszukiwania opiera się o lokalizację celu podróży, nie uwzględnia sytuacji, w której kierowca zna obszar, do którego się udaje, spodziewa się (lub niekoniecznie) słabej dostępności miejsc parkingowych i rozpoczyna szukanie miejsca jeszcze przed dotarciem do punktu docelowego. Drugie podejście jest trudne do realizacji w analizach z punktu widzenia obserwatora, głównie przez silną zależność od indywidualnego podejścia kierowcy.

W związku z opisanymi ograniczeniami, rozwiązaniem które stosuje się najczęściej jest założenie, że kierowca rozpoczyna poszukiwanie w określonej odległości od miejsca celu podróży – jeszcze zanim do niego dojedzie, a następnie, szukając miejsca zbliża się do punktu docelowego. Obszar poszukiwań jest odwzorowany okręgiem (o promieniu określającym odległość od miejsca rozpoczęcia poszukiwania do punktu docelowego, mierzoną w linii prostej). Promień okręgu (odległość, w której rozpoczynają się poszukiwania) ustalany jest na podstawie wiedzy ekspertów, bądź też (najczęściej) w oparciu o wyniki badań empirycznych.

Przytoczony przykład wskazuje, że proces poszukiwania miejsca przebiega w różny sposób, zależnie od przyjętej procedury. Podczas poszukiwania miejsca do zaparkowania pojazdu, kierowca przyjmuje odpowiednią sobie strategię, wg której realizuje cały proces od momentu podjęcia decyzji o zaparkowaniu do momentu zakończenia poszukiwania (z lub bez skutku, jakim jest pozostawienie samochodu na danym miejscu postojowym).

2.2. Strategie poszukiwania miejsca

Przez *poszukiwanie wolnego miejsca do zaparkowania samochodu*, L. Montini i inni [109] rozumieją proces poszukiwania wolnego miejsca już w obszarze, w którym w mniejszej lub większej odległości znajdował się ostateczny cel ich podróży. Przez pojęcie *strategii poszukiwania miejsca postojowego*, wg K. Axhausena i J.W. Polaka [11], rozumie się natomiast zestaw behawioralnych zasad przyjętych przez kierowcę w celu znalezienia miejsca postojowego w określonej sytuacji (motywacji podróży) i w określonym dniu. Reguły te mogą dotyczyć: wstępnie pożądanego typu i/lub lokalizacji parkingu, wyboru trasy prowadzącej na ten parking lub miejsce postojowe, oportunistycznych zachowań na trasie i reakcji, w przypadku gdy początkowo pożądanym miejscem postojowym nie będzie dostępne. Z przytoczonej definicji wynika więc (w odróżnieniu od rozumienia przyjętego w rozdziale 2.1), że stosowane reguły mogą obejmować cały proces parkowania (włączając w to decyzję o wyborze konkretnego rodzaju parkingu, która najczęściej podejmowana jest jeszcze przed rozpoczęciem podróży) lub wyłącznie proces samego poszukiwania – nawet od momentu, gdy kierowca dowiaduje się, że miejsce w bezpośrednim sąsiedztwie ostatecznego celu podróży nie jest dostępne.

Kontynuując to rozważanie, K. Axhausen i J.W. Polak [11] wprowadzili 5 strategii poszukiwania miejsca parkingowego, wynikających z badań ankietowych przeprowadzonych w 1985 roku w Kingston i Birmingham w Wielkiej Brytanii:

- *Jadę zawsze w to samo miejsce,*
- *Mam prywatne/zarezerwowane miejsce parkingowe,*
- *Jadę do celu podróży i wtedy zaczynam szukać miejsca do parkowania,*
- *Jadę na parking wydzielony, który jest najbliższy mojemu celowi podróży,*
- *Jeżdżę (krążę) ulicami szukając wolnego miejsca.*

W kolejnym podejściu, K. Axhausen i J.W. Polak [11] przytaczają 7 strategii przyjmowanych przez kierowców podczas parkowania, uwzględniających bardziej szczegółowe informacje o podejmowanych przez nich decyzjach – pochodzące z badań przeprowadzonych na małych grupach fokusowych w Karlsruhe:

- Kierowca udaje się bezpośrednio do miejsca postojowego, które jest formalnie lub nieformalnie przeznaczone dla określonej grupy użytkowników (niepełnosprawnych, rodzin z dziećmi, mieszkańców, klientów, pracowników). Są to miejsca, które przez swoje przeznaczenie dla konkretnej grupy kierowców, często są wolne. Kierowcy parkują na nich nielegalnie.
- Kierowca zna określoną liczbę lokalizacji *pewnych*, w których zawsze znajdują miejsca do zaparkowania. Akceptuje przy tym długi czas dojścia do miejsca docelowego podróży.

- Kierowca udaje się wprost do parkingu wydzielonego, jednak jeśli po drodze znajdzie dostępne miejsce przykrawężnikowe – korzysta z niego.
- Kierowca ma stałą sekwencję poszukiwania miejsca przykrawężnikowego lub wie, gdzie taniej zaparkować na parkingu wydzielonym. Akceptuje przy tym długi czas dojścia do miejsca docelowego podróży.
- Kierowcy poszukują miejsca na bieżąco decydując o trasie poszukiwania. W grę wchodzi miejsca nielegalne, a czas poszukiwania może być długi.
- Kierowcy *krążą* wokół miejsca docelowego podróży poszukując miejsca – długi czas *krążenia* jest akceptowalny, ponieważ mały zasięg poszukiwania gwarantuje krótki czas dojścia do celu.
- Kierowca akceptuje możliwość parkowania w miejscu do tego nieprzeznaczonym – na krótki postój.

Kończąc analizę strategii poszukiwania miejsca parkingowego, K. Axhausen i J.W. Polak [11] przytoczyli kolejny zestaw strategii prezentowany przez naukowców z Technische Universität Berlin, który wydaje się być najbardziej zwięzły, a tym samym kompleksowy i łatwy w wykorzystaniu. Wg niego wyróżnić można cztery kluczowe strategie poszukiwania miejsca postojowego:

- *Krążenie* w poszukiwaniu miejsca – przykrawężnikowego lub na parkingu wydzielonym,
- *Krążenie* w poszukiwaniu miejsca – brane pod uwagę są tylko miejsca przykrawężnikowe,
- Parkowanie na parkingu wydzielonym,
- Pozostawienie samochodu w miejscu do tego nieprzeznaczonym (nielegalne).

Aby podsumować i uporządkować opisane strategie i ich związek z analizowanym ruchem, który jest generowany poprzez konieczność znalezienia wolnego miejsca do zaparkowania samochodu (*search traffic*), należy podkreślić, że:

- 1) Wśród różnych możliwości pozostawienia samochodu, kierowca ma do wyboru:
 - miejsce postojowe przy ulicy (*on-street parking*, miejsce przykrawężnikowe),
 - miejsce na parkingu wydzielonym (*off-street parking*),
 - miejsce zarezerwowane (dla klientów/mieszkańców/itp.) oraz
 - miejsce poza wyznaczoną powierzchnią parkingową (co do zasady – nielegalne).
- 2) Wybór każdego z tych miejsc ma swoje wady i zalety:
 - miejsce postojowe przy ulicy – z reguły jest płatne, zlokalizowane w miarę blisko punktu docelowego (bliżej niż miejsce na parkingu wydzielonym, czasem bezpośrednio obok celu podróży),
 - miejsce na parkingu wydzielonym – z reguły jest płatne i często droższe, niż miejsce przy ulicy, zlokalizowane w dosyć dużej odległości od punktu docelowego,
 - miejsce zarezerwowane – w zależności od statusu kierowcy: jest bezpłatne, blisko punktu docelowego lub nielegalne, co wiąże się z ewentualnością poniesienia kary,
 - miejsce poza wyznaczoną powierzchnią parkingową – jest przede wszystkim nielegalne, co wiąże się z ewentualnością poniesienia kary.
- 3) W pierwszej kolejności kierowca podejmuje decyzję o parkowaniu w określonym miejscu (wg jednego z czterech wymienionych wariantów).
- 4) W przytoczonych strategiach wybór miejsca postojowego przy ulicy jest równoznaczny z koniecznością podjęcia *krążenia*, w celu znalezienia wolnego stanowiska.
- 5) Podejmując decyzję o pozostawieniu samochodu na miejscu przykrawężnikowym, co jest jednoznaczne z *krążeniem* w poszukiwaniu tego miejsca, kierowca podejmuje decyzję o strategii tego poszukiwania:
 - jedzie bezpośrednio do celu podróży i wtedy zaczyna szukać miejsca do zaparkowania (*krążyć*),
 - jeździ (*krąży*) ulicami szukając wolnego miejsca jeszcze przed osiągnięciem punktu docelowego.
- 6) Decyzją kolejnego szczebla jest wybór trasy przejazdu, którą realizowane jest poszukiwanie – w zależności od wariantu wybranego w punkcie 5, kierowca najczęściej:

- zatacza coraz większe okręgi wokół punktu docelowego, stopniowo się oddalając [58], lub
 - rozpoczyna poszukiwanie w określonej odległości od punktu docelowego i szukając miejsca przemieszcza się jego kierunku wybierając zawsze ścieżkę najkrótszą [20].
- 7) Ostatnim punktem w hierarchii jest zaparkowanie pojazdu na znalezionym, wolnym miejscu postojowym, rezygnacja z wybranego wcześniej miejsca parkowania (decyzja o parkowaniu na parking wydzielonym, miejscu nielegalnym, itd.) lub całkowita rezygnacja z poszukiwania, a tym samym z postoju.

W tym miejscu należy podkreślić, że pojęcie *poszukiwania miejsca parkingowego* w zagranicznych pozycjach literaturowych stosowane jest najczęściej do określenia przemieszczeń w poszukiwaniu wolnego miejsca do zaparkowania przy ulicy (*krążenia*), ale także niejednokrotnie, używa się go w znaczeniu określającym rozważanie zaparkowania w różnych miejscach, w tym przy ulicy, na parking wydzielonym, również na miejscu nielegalnym. W dalszych rozdziałach, *poszukiwanie 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*).

2.3. Poszukiwanie miejsca parkingowego – koszty

Autorzy publikacji często zwracają uwagę, że ruch generowany poszukiwaniem wolnego miejsca do zaparkowania jak najbliższej celu podróży ma wpływ na poziom zatłoczenia przyległej sieci ulicznej, a co za tym idzie potęguje związane z tym koszty środowiskowe i społeczne [5], [6], [12], [27], [36], [64], [79], [137], [138], [174], [175]. W związku z tym, na szczególną uwagę zasługuje tok rozważań, w którym analizowane są koszty związane z przemieszczeniami w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego.

Koszty ponoszone w transporcie można podzielić na koszty wewnętrzne i zewnętrzne. Koszty wewnętrzne, wg ogólnej definicji, to koszty ponoszone przez przedsiębiorstwo transportowe, jako koszty własne (m.in. zużycie materiałów, amortyzacja, usługi obce, podatki, ubezpieczenia) oraz koszty infrastruktury. Koszty zewnętrzne natomiast, to koszty związane z negatywnym wpływem działalności transportowej na środowisko i życie człowieka (koszty kongestii, koszty środowiskowe, koszty wypadków, itp.) [86]. Odnosząc te definicje do kosztów ponoszonych na skutek realizowania przemieszczeń w poszukiwaniu wolnego miejsca do zaparkowania samochodu, można wyróżnić:

- koszty ponoszone przez kierowcę pojazdu, który trzeba zaparkować (koszty wewnętrzne), oraz
- koszty ponoszone w związku z tym poszukiwaniem przez całe otoczenie (koszty zewnętrzne).

2.3.1. Koszty wewnętrzne

Koszty poszukiwania miejsca ponoszone przez kierowcę są w praktyce bardzo słabo odczuwalne, przez co nie są analizowane w kalkulacji kosztów przeprowadzanej przy okazji każdej podróży realizowanej własnym samochodem [137], [138]. Koszty parkowania, w subiektywnym odczuciu kierowcy, obejmują jedynie koszt finansowy, ponoszony bezpośrednio w czasie bieżącej podróży, przez konieczność uiszczenia opłaty za postój – jeśli postój ma miejsce w obszarze strefy płatnego parkowania. Pozostałe koszty towarzyszące podróży realizowanej samochodem, wynikające m.in. ze zużycia paliwa i amortyzacji samochodu, ze względu na to, że nie są bezpośrednio odczuwane – zostają pominięte. Także w warunkach polskich, stwierdzenie to znajduje potwierdzenie w głosach protestów, organizowanych w sytuacjach, gdy wprowadzana jest śródmiejska strefa płatnego parkowania (ŚSPP) w miastach o liczbie mieszkańców większej niż 100 tysięcy. W związku z koniecznością podniesienia stawki godzinowej za postój w obszarach, które objęte zostaną ŚSPP, społeczności lokalne protestują przeciwko zmianom cen kalkulując koszty parkowania, które w domyśle obejmują tylko koszt z tytułu opłaty za postój, nie uwzględniając spodziewanego spadku kosztów generowanych m.in. koniecznością poszukiwania miejsca – wynikających z poprawy dostępności przestrzeni parkingowej [107].

D. Shoup [138] zaprezentował uproszczony model matematyczny, który pozwala oszacować koszty ponoszone podczas *krążenia* w poszukiwaniu wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu w przestrzeni

parkingowej przy ulicy (model został przygotowany dla warunków amerykańskich). Do określenia tych kosztów należy, wg niego, wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- p - cena za godzinę postoju przy ulicy w SPP [\$/h]
- m - cena za godzinę postoju na parkingu wydzielonym [\$/h]
- t - czas postoju [h]
- c - czas spędzony na szukaniu wolnego miejsca [h]
- f - koszt paliwa straconego na *krążeniu* [\$/h]
- n - liczba osób w samochodzie [os.]
- v - wartość czasu straconego na *krążeniu* [\$/h/os.]

W pierwszej kolejności należy wziąć pod uwagę godzinową stawkę za postój pojazdu przy ulicy w strefie płatnego parkowania i na parkingu wydzielonym. Jeśli (w najczęstszych przypadkach, również w Polsce), cena za godzinę postoju na parkingu wydzielonym jest wyższa, niż cena za postój przy ulicy, to $m - p$ wyznacza jednostkową oszczędność finansową otrzymaną w wyniku wyboru miejsca postojowego przy ulicy. W związku z tym, przez $t(m - p)$ należy rozumieć całkowitą oszczędność kosztów finansowych z tytułu wyboru miejsca postojowego przy ulicy.

Drugim poruszonym aspektem powinien być koszt wynikający ze zużycia paliwa. Autor sugeruje przeliczenie kosztów zużycia paliwa na jednostkę opierającą się na jednostce czasu, tj. fc , jako koszt paliwa traconego w ramach godziny poszukiwania miejsca postojowego.

Trzecią kwestią jest koszt traconego czasu. D. Shoup zakłada, że wartość traconego czasu zależy od wielu czynników, jak: motywacja podróży, pogoda, itp. Wyznaczając jednostkową wartość czasu traconego na *krążenie* w poszukiwaniu miejsca (v), przez cv można oszacować wartość tego czasu straconego w konkretnej podróży. Wartość tej straty odnosi się do wszystkich uczestników podróży, dlatego całkowity czas tracony na poszukiwanie miejsca można oznaczyć przez nvc .

Podsumowując, w tabeli (Tab. 2.1) zestawiono wprowadzone oznaczenia:

Tab. 2.1. Oznaczenia wprowadzone dla oszacowania kosztu poszukiwania wolnego miejsca przykrawężnikowego

$t(m - p)$	-	(1)	oszczędność kosztów wynikających z wyboru miejsca postojowego przy ulicy
fc	-	(2)	koszt zużycia paliwa na <i>krążenie</i> w poszukiwaniu miejsca
nvc	-	(3)	koszt czasu traconego na szukanie miejsca
$fc + nvc = c(f + nv)$	-	(4)	łączy koszt tracony na <i>krążeniu</i>

Źródło: opracowanie własne

Jeśli przez c^* oznaczony zostanie maksymalny czas, jaki może zostać poświęcony na *krążenie* w poszukiwaniu wolnego miejsca, to równaniem (5) możliwe będzie wyznaczenie stanu równowagi, w którym koszt zaoszczędzony dzięki wyborze tańszego postoju przy ulicy, będzie równy kosztowi poniesionemu na poszukiwanie miejsca.

$$c^*(f + nv) = t(m - p) \quad (5)$$

Wówczas maksymalny czas, jaki można poświęcić na poszukiwanie miejsca przy ulicy bez dodatkowej straty finansowej wyznacza się wzorem (6):

$$c^* = \frac{t(m - p)}{f + nv} \quad (6)$$

Dalej przedstawiono przykład oszacowania maksymalnego czasu poświęconego na *krążenie* w poszukiwaniu miejsca postojowego, który nie wygeneruje dodatkowych kosztów, wyznaczony wzorem (6). Obliczeń dokonano przyjmując polskie jednostki walutowe i stawki za postój obowiązujące w Krakowie (stan na 20 lipca 2019 roku).

Analizując podróż samochodem osobowym (w pojedynkę) do centrum miasta, w którym obowiązuje strefa płatnego parkowania ze stawkami godzinowymi za postój wyznaczonymi wg cennika [150], założono następujące wartości wskaźników (Tab. 2.2.):

Tab. 2.2. Wartości wskaźników do oszacowania kosztu poszukiwania wolnego miejsca przykrawężnikowego – 1

p	cena za godzinę postoju przy ulicy w SPP – ze względu na progresywną stawkę za kolejne godziny postoju w SPP w Krakowie wskaźnik rozdzielono	$p1 = 3,00 \text{ zł}$ $p2 = 3,50 \text{ zł}$ $p3 = 4,10 \text{ zł}$
m	cena za godzinę postoju na parkingu wydzielonym – przyjęto stawkę godzinową obowiązującą na parkingu <i>Parking Wawel</i>	6 [zł/h]
t	czas postoju [h]	1 [h]
f	koszt paliwa straconego na <i>krążeniu</i> – D. Shoup zakłada przemieszczenia z prędkością 10 mph, tj. ok. 16 [km/h], co przy cenie benzyny wynoszącej średnio 5,0 [zł/l] i średnim zużyciu paliwa przez samochód równym [8,5/100km] daje koszt	6,8 [zł/h]
n	liczba osób w samochodzie	1 [os]
v	wartość czasu traconego na <i>krążeniu</i> – przyjęto na podstawie [111] dla podróży służbowych	71 [zł/h/os]

Źródło: opracowanie własne na podstawie [111], [150] i [154]

Wówczas, wykorzystując wzór (6), maksymalny czas poszukiwania miejsca, bez generowania dodatkowych kosztów oszacowano na:

$$c^* = \frac{t(m - p)}{(f + nv)} = 0,04[h]$$

Oznacza to, że już po niespełna 3 minutach poszukiwania, staje się ono zupełnie nieopłacalne.

Jako porównanie, przygotowano analogiczną analizę dla wydzielonego parkingu miejskiego *Parking przy Muzeum*, gdzie stawki za postój pojazdu są znacznie niższe niż w przypadku *Parkingu Wawel* (Tab. 2.3).

Tab. 2.3. Wartości wskaźników do oszacowania kosztu poszukiwania wolnego miejsca przykrawężnikowego – 2

p	cena za godzinę postoju przy ulicy w SPP – ze względu na progresywną stawkę za kolejne godziny postoju w SPP w Krakowie wskaźnik rozdzielono	$p1 = 3,00 \text{ zł}$ $p2 = 3,50 \text{ zł}$ $p3 = 4,10 \text{ zł}$
m	cena za godzinę postoju na parkingu wydzielonym – przyjęto stawkę godzinową obowiązującą na parkingu <i>Parking przy Muzeum</i>	3 [zł/h]
t	czas postoju [h]	1 [h]
f	koszt paliwa straconego na <i>krążeniu</i> – D. Shoup zakłada przemieszczenia z prędkością 10 mph, tj. ok. 16 [km/h], co przy cenie benzyny wynoszącej średnio 5,0 [zł/l] i średnim zużyciu paliwa przez samochód równym [8,5/100km] daje koszt	6,8 [zł/h]
n	liczba osób w samochodzie	1 [os]
v	wartość czasu traconego na <i>krążeniu</i> – przyjęto na podstawie [111] dla podróży służbowych	71 [zł/h/os]

Źródło: opracowanie własne na podstawie [111] i [150]

Przyjmując takie założenia, czas poszukiwania miejsca przy ulicy, który nie wygeneruje dodatkowych kosztów – za pomocą wzoru (6) – oszacowano na:

$$c^* = \frac{t(m - p)}{(f + nv)} = 0 [h]$$

Uzyskana wartość c^* równa zero wskazuje, że w przypadku podróży, która zakończy się w okolicy *Parkingu przy Muzeum* poszukiwanie miejsca postojowego przy ulicy nie jest opłacalne, ze względu na niską stawkę za postój.

Podsumowując wyliczenia należy zauważyć, że wzór (6), zaproponowany przez D. Shoupa [138], odnosi się do amerykańskich warunków polityki parkingowej. Założono w nim, że stawki postojowe na parkingach wydzielonych są o wiele wyższe, niż za postój przy ulicy (który w wielu przypadkach jest też bezpłatny). Dodatkowo, liczba dostępnych parkingów wydzielonych jest w amerykańskich miastach o wiele większa niż w Polsce, przez co traktowane są one jako korzystna alternatywa dla miejsc postojowych przy ulicy. Najpewniej z tego powodu nie uwzględniono tutaj również dużej wartości, jaką w warunkach polskich przypisuje się miejscom postojowym przy ulicy – wynikającej z ich bliskiej odległości od punktu docelowego podróży. Miejsce postojowe przy ulicy jest w Polsce, w stosunku do rzadko występującego parkingu wydzielonego, o wiele bardziej atrakcyjne, co potwierdzają również ankietowe badania własne, opisane w rozdziale 3.6. Przy uwzględnieniu tej atrakcyjności czas poszukiwania c^* byłby dłuższy, niż wyznaczone dla drogiego parkingu prywatnego 3 min.

Warto zauważyć, że przy założeniu, że koszt postoju na parkingu wydzielonym równy jest $m = 6 \text{ zł}$ (jak w przypadku *Parkingu Wawel*), a postój przy ulicy byłby bezpłatny – maksymalny czas c^* , przy którym opłacalnym jest poszukiwanie wolnego miejsca przy ulicy na godzinny postój wyniósłby niecałe 5 minut, co oznacza, że postój przy ulicy tylko pozornie byłby całkowicie bezpłatny.

Realne i bardziej odczuwalne koszty czasu traconego na poszukiwanie miejsca bezpośrednio obrazuje analiza kosztów poniesionych w wyniku wykorzystania przez użytkownika usługi carsharingowej *Traficar* (dostępnej m.in. w Krakowie). Taryfa usługi obejmuje stawkę za przejechany kilometr (0,8 zł/km), jak również stawkę za każdą rozpoczętą minutę jazdy (0,5 zł/min) [159]. Jako przykład można podać, że zakładając średni czas poszukiwania miejsca na poziomie 10 minut, koszt podróży poniesiony przez użytkownika usługi wzrośnie o 5,00 zł w stosunku do kosztów samego przejazdu z miejsca początkowego do miejsca docelowego (dodając tylko stawkę za czas poszukiwania, nie licząc przejechanych w poszukiwaniu stanowiska kilometrów). Przy 20-minutowej podróży z lokalizacji w rejonie granic miasta, czas poszukiwania miejsca stanowiłby wówczas 50% czasu samej jazdy.

2.3.2. Koszt uogólniony podróży

Koszt poniesiony przez użytkownika systemu transportowego w efekcie odbycia konkretnej podróży, uwzględniający wszystkie jej uciążliwości i wydatki poniesione na każdym jej etapie można oszacować z wykorzystaniem modelu kosztu uogólnionego podróży. Uwzględnia on wszystkie możliwe koszty, jakie musi ponieść użytkownik, aby pokonać drogę ze źródła do celu podróży. Obejmuje, w zależności od wybranego środka transportu, zarówno koszty eksploatacyjne jak i koszty czasu podróży, z uwzględnieniem stopnia uciążliwości poszczególnych jej etapów – wyrażone w formie finansowej, czasowej lub w innej formie wartości ekwiwalentnych [168]. Uwzględnia więc także koszt i uciążliwość procesu poszukiwania miejsca parkingowego.

Wykorzystując model kosztu uogólnionego podróży przeanalizowano sytuację, w której podróż odbywana jest z przedmieścia do centrum miasta, gdzie obowiązuje konieczność uiszczenia opłaty za postój pojazdu (w strefie płatnego parkowania), a zaplanowany czas postoju wynosi 2 godziny. W analizie wykorzystano formułę kosztu uogólnionego podróży zaproponowaną przez A. Szaratę [168], uwzględniającą specyfikę warunków polskich (świadomość i zachowania komunikacyjne użytkowników systemu transportowego, wartość czasu, itp.). Opisuje ona koszt uogólniony podróży samochodem osobowym (w jedną stronę, do centrum miasta) w następujący sposób:

$$K_{JSO} = K_e \cdot L + K_p + U_{SO} \quad (7)$$

gdzie:

- K_{JSO} – uogólniony koszt podróży odbywanej samochodem osobowym [zł],
- K_e – wskaźnik kosztów eksploatacyjnych pojazdu [zł/km],
- L – długość trasy przejazdu między źródłem, a celem podróży [km],
- K_p – koszt parkowania u celu podróży [zł],

U_{SO} – kosztowy ekwiwalent uciążliwości czasu jazdy samochodem osobowym (wartości czasów podróży z uwzględnieniem względnej uciążliwości poszczególnych etapów pokonywanych przez użytkownika pomiędzy źródłem i celem podróży).

przy czym:

$$U_{SO} = [\mu_{dso} \cdot t_{dso} + \mu_{jso} \cdot t_{jso} + \mu_{szmp} \cdot t_{szmp} + \mu_{odso} \cdot t_{odso}] \cdot k \quad (8)$$

gdzie:

U_{SO} – kosztowy ekwiwalent uciążliwości podróży samochodem osobowym [zł],
 t_{dso} – czas dojścia do samochodu osobowego [min],
 t_{jso} – czas jazdy samochodem osobowym [min],
 t_{szmp} – czas poszukiwania miejsca postojowego [min],
 t_{odso} – czas odejścia z miejsca pozostawienia samochodu do celu podróży [min],
 $\mu_{[]}$ – wagi poszczególnych składników czasu podróży [-],
 k – jednostkowy koszt czasu podróży [zł/min].

Formuła uwzględnia kosztowy ekwiwalent uciążliwości czasu traconego na poszczególne etapy podróży, a w tym:

- czasu dojścia do samochodu – potrzebnego na dojście z miejsca rozpoczęcia podróży do miejsca garażowania samochodu oraz czasu jego uruchomienia,
- czasu jazdy – potrzebnego na dojazd z miejsca rozpoczęcia podróży w pobliże celu podróży,
- czasu poszukiwania miejsca postojowego – potrzebnego na znalezienie wolnego miejsca postojowego,
- czasu odejścia – potrzebnego na dojście z miejsca postoju do celu podróży, a także
- koszty eksploatacyjne samochodu (zużytego paliwa, ubezpieczenia, napraw pojazdu, itp.), będące iloczynem jednostkowego kosztu eksploatacyjnego i odległości podróży,
- koszty parkowania oraz
- kosztowy ekwiwalent uciążliwości czasu jazdy.

Wagi wskazujące na uciążliwość poszczególnych składników podróży samochodem osobowym ustalono wg założeń przyjętych przez A. Szaratę w pracy [168]. Na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych zaproponowano tam następujące ich wartości (Tab. 2.4).

Tab. 2.4. Wartości wag dla poszczególnych składowych czasu podróży w modelu kosztu uogólnionego podróży

μ_{dso}	waga czasu dojścia do samochodu osobowego	1,21
μ_{jso}	waga czasu jazdy samochodem osobowym	1,00
μ_{szmp}	waga czasu poszukiwania miejsca postojowego	1,80
μ_{odso}	waga czasu odejścia z miejsca pozostawienia samochodu do celu podróży	1,10

Źródło: opracowanie własne na podstawie [168].

Z uwzględnieniem zaproponowanych wartości wag, formuła kosztu uogólnionego podróży przyjmuje następującą postać:

$$K_{jso} = K_e \cdot L + K_p + [1,21 \cdot t_{dso} + 1,00 \cdot t_{jso} + 1,80 \cdot t_{szmp} + 1,10 \cdot t_{odso}] \cdot k \quad (9)$$

gdzie:

K_{jso} – uogólniony koszt podróży odbywanej samochodem osobowym [zł],
 K_e – wskaźnik kosztów eksploatacyjnych pojazdu [zł/km],
 L – długość trasy przejazdu między źródłem, a celem podróży [km],
 K_p – koszt parkowania u celu podróży [zł],

- t_{dSO} – czas dojścia do samochodu osobowego [min],
 t_{jSO} – czas jazdy samochodem osobowym [min],
 t_{szmp} – czas poszukiwania miejsca postojowego [min],
 t_{odSO} – czas odejścia z miejsca pozostawienia samochodu do celu podróży [min],
 k – jednostkowy koszt czasu podróży [zł/min].

W celu obliczenia wartości K_{jSO} przyjęto następujące wartości dla poszczególnych zmiennych (Tab. 2.5):

Tab. 2.5. Wartości poszczególnych zmiennych przyjętych dla oszacowania kosztu uogólnionego podróży

K_e	wskaźnik kosztów eksploatacyjnych pojazdu – przyjęto szacunkowo na podstawie [111]	0,82 [zł/km]
L	długość trasy przejazdu między źródłem, a celem podróży	10 [km]
K_p	koszt parkowania u celu podróży	6,50 [zł]
t_{dSO}	czas dojścia do samochodu osobowego	2 [min]
t_{jSO}	czas jazdy samochodem osobowym	25 [min]
t_{szmp}	czas poszukiwania miejsca postojowego	10 [min]
t_{odSO}	czas odejścia z miejsca pozostawienia samochodu do celu podróży	8 [min]
k	jednostkowy koszt czasu podróży – przyjęto na podstawie [111] dla podróży dojazdowych	0,60 [zł/min]

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie przyjętych danych, formuła kosztu uogólnionego podróży daje wynik równy $K_{jSO} = 47,23$ zł, co oznacza, że koszt ogólny, uwzględniający wszystkie uciążliwości podróży na każdym jej etapie, poniesiony przez kierowcę wyniósłby w analizowanym przypadku 47,23 zł. Należy przy tym podkreślić, że wg wykorzystanej formuły, koszt wynikający z uciążliwości poszukiwania miejsca do zaparkowania samochodu w pobliżu celu podróży, przy podanych założeniach, wynosi 10,80 zł. Jest to wartość wyższa, niż finansowy koszt 2-godzinnego parkowania w SPP. Koszt ten wzrasta, przy założeniu odbywania podróży służbowej, której jednostkowy koszt wg [111] przyjmuje się na poziomie 1,18 zł/min – wówczas koszt poszukiwania miejsca postojowego wyniósłby 21,24 zł, co ponad trzykrotnie przekracza wysokość opłaty za parkowanie pojazdu.

2.3.3. Koszty zewnętrzne

Koszty zewnętrzne poszukiwania miejsca parkingowego obejmują w głównej mierze koszty środowiskowe, na które składają się wszystkie koszty generowane niekorzystnym oddziaływaniem transportu na środowisko naturalne, czyli: koszty negatywnego wpływu transportu na ludzkie zdrowie, straty materialne oraz różnego rodzaju szkody środowiskowe [111].

Przyjmując jednostkowe koszty ekonomiczne zanieczyszczeń powietrza na podstawie [111], zakładając czas poszukiwania miejsca równy 10 minut z prędkością jazdy przyjętą w poprzednim przykładzie (rozdział 2.3.1), równą 16 km/h oraz prognozowaną zmianę kosztów jednostkowych w czasie (opartą o zmianę wartości PKB na jednego mieszkańca) – koszt zanieczyszczenia powietrza wyliczony dla jednego pojazdu krążącego w roku 2020 jest równy 0,39zł.

Najbardziej istotne związki zaliczane do zanieczyszczeń powietrza, a pochodzące z transportu to pyły (PM_{10} i $PM_{2,5}$), tlenki azotu (NO_x), dwutlenek siarki (SO_2), lotne związki organiczne (VOC) oraz ozon (O_3) jako zanieczyszczenie pośrednie [4], [65], [111]. Wszystkie wymienione związki uwzględniane są w kosztach jednostkowych zanieczyszczenia powietrza, podawanych przez [111]. Emisja szkodliwych substancji zależna jest od prędkości pojazdów na analizowanym odcinku ulicy, jej lokalizacji w mieście lub w obszarze podmiejskim, ale także od ukształtowania terenu oraz technicznego stanu nawierzchni ulicy. Przy szacowaniu kosztów emisji zanieczyszczeń powietrza przez analizowany ruch założono koszty jednostkowe wg [111] dla pojazdów lekkich, przy dobrej nawierzchni ulicy w terenie płaskim.

Istotnym jest także wpływ emisji gazów cieplarnianych na zmiany klimatu [111]. Istnieje wiele podejść do szacowania poziomu tej emisji, zweryfikowanych na rzeczywistych danych i wiele

podręczników lub prac przedstawiających zastosowania różnych metodyk – niektóre z nich przytoczono w [170]. Przy utrzymaniu założeń z poprzedniego przykładu, dla stosunkowo nowych samochodów osobowych – średnio, emisja drogowa z nowo sprzedanych w 2016 r. samochodów wyniosła 118,1 gramów CO₂/km [61] – emisja CO₂ dla pojazdu poszukującego miejsca parkingowego przez 10 minut wynosi szacunkowo 0,31 kg.

Wyniki analizy to koszty szacunkowe, dające jednak obraz strat środowiskowych, generowanych przez użytkowników samochodów w codziennych podróżach do śródmieścia dużych miast. Bardziej szczegółowe oszacowanie kosztów generowanych przez pojazdy przemieszczające się w poszukiwaniu wolnego miejsca do zaparkowania samochodu przeprowadzone na podstawie własnych badań empirycznych zaprezentowano w [46].

Dodatkowym kosztem zewnętrznym, generowanym przez pojazdy przemieszczające się w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego są straty odnoszone przez pozostałych uczestników ruchu, powodowane przez to poszukiwanie. Najbardziej istotnymi są straty czasu, które wynikają ze zwiększenia natężenia ruchu w sieci ulicznej danego obszaru, powodowanym przez dodatkową liczbę przemieszczających się w niej pojazdów, których kierowcy szukają wolnego miejsca do zaparkowania samochodu. Ponieważ badania wpływu parkowania w ujęciu ogólnym na natężenie ruchu i poziom swobody ruchu w danej sieci ulicznej są trudne, głównie ze względu na złożoność tego oddziaływania, nie były jeszcze prowadzone w warunkach polskich. Trudno więc oszacować jednostkowe straty czasu kierowców w sieci ulicznej, wynikające ze zwiększenia ruchu o pojazdy przemieszczające się w poszukiwaniu wolnego miejsca. Przy znanym udziale pojazdów *krążących* w potokach ruchu obserwowanym w danej sieci ulicznej, oszacowanie tych strat będzie możliwe.

2.4. Czynniki wpływające na proces poszukiwania wolnego miejsca parkingowego

Wielkość ruchu mającego na celu znalezienie wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu oraz inne jego charakterystyki wydają się być zależne od wielu czynników. Z samego sensu *search traffic* wynika, że występowanie tego typu przemieszczeń podyktowane jest przede wszystkim stopniem trudności znalezienia wolnego miejsca postojowego do zaparkowania samochodu – dlatego szukając odpowiedzi na pytanie o przyczyny występowania przemieszczeń w poszukiwaniu wolnego miejsca w danym obszarze, w pierwszej kolejności należałoby analizować parametry parkowania tego obszaru. W sytuacji, gdy w danym obszarze wyraźnie odczuwalny jest deficyt miejsc postojowych, wielkość *search traffic* zależy od tego ilu kierowców podejmie się poszukiwania miejsca postojowego przy ulicy w danym obszarze. Nieliczne pozycje literatury podają propozycje czynników, które istotnie wpływają na decyzje podejmowane przez kierowców podczas poszukiwania miejsca postojowego i związanej z tym konieczności przemieszczania się. Autorzy tych publikacji wskazują na istnienie takich zależności, wymieniając możliwe czynniki wpływu, jednak niewiele jest opublikowanych szczegółowych badań, wywiadów z kierowcami, które mogłyby ten wpływ jednoznacznie potwierdzić. Najważniejsze czynniki mogące mieć wpływ na decyzje kierowców, zebrane w ramach przeprowadzonego przeglądu literatury, to:

- kalkulacja kosztów i opłacalność ekonomiczna podjęcia decyzji, realizowania i kontynuowania procesu poszukiwania wolnego miejsca – proponowane są zróżnicowane podejścia: w modelach najczęściej zakłada się, że kierowca podejmując decyzję jest świadomy kosztów i je kalkuluje, decydując o opłacalności swojej decyzji [11], [130]. Inne podejścia zakładają, że kierowca jest świadomy kosztów związanych z procesem poszukiwania miejsca przy ulicy i stara się ich unikać, jednak ze względu na okoliczności tego procesu, przeszacowuje ich faktyczną wartość [138] lub bazuje na danych nieprecyzyjnych i własnych odczuciach [174],
- czynniki związane z preferencjami kierowców podczas parkowania pojazdu – np.: odległość od ostatecznego celu podróży, sposób parkowania, trudne warunki atmosferyczne, itp. [11], [27], [93], [109], [138],
- czynniki przestrzenne, związane z charakterystyką obszaru, w którym obserwowany jest ruch związany z poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego [138],

- czynniki związane z fazą planowania podróży do śródmieścia i ich wpływ na późniejszy proces poszukiwania miejsca do zaparkowania (zależność pomiędzy podjęciem decyzji o poszukiwaniu miejsca postojowego w pobliżu ostatecznego celu podróży i czasem jego kontynuowania, a:
 - motywacją podróży – w kontekście odmiennego zapotrzebowania na parkowanie w ramach podróży obowiązkowych i fakultatywnych [5], [109],
 - znajomością obszaru przez kierowcę [11], [109].

Bardzo szczegółowy wykaz czynników w podziale na kategorie oraz kierunek wpływu na decyzje kierowcy (Tab. 2.6), podaje S.L. Brooke i inni w pracy [27], z zastrzeżeniem, że dokładne precyzowanie czynników wpływających na decyzje o poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego daje obraz mało czytelny, ze względu na duże prawdopodobieństwo wystąpienia korelacji kilku z nich. Wzięto tutaj pod uwagę decyzje o zaparkowaniu pojazdu na miejscu postojowym przy ulicy lub też na parkingu wydzielonym. Niektóre z potencjalnych czynników wpływu są również trudno mierzalne. Z tego względu, S. L. Brooke i inni sugerują przyjęcie w analizach wpływu od czterech do sześciu możliwych czynników.

Tab. 2.6. Czynniki mające wpływ na decyzje kierowców związane z podjęciem i kontynuowaniem procesu poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu.

Kategoria	Czynnik	Kierunek wpływu
Czas	długość czasu poszukiwania miejsca długość czasu oczekiwania/kolejki	pozytywny pozytywny
Koszty	opłaty za postój gotowość do płacenia	pozytywny negatywny
Obszar, sieć transportowa i polityka parkingowa	kontrola i egzekwowanie nielegalnego postoju system informacji parkingowej park and ride car-sharing zaawansowane technologie	pozytywny i negatywny negatywny negatywny negatywny negatywny
Infrastruktura parkingowa	typ pojemność zagospodarowanie przestrzeni zielonej i zacienienie parkingu poziom zajętości i rotacja	pozytywny pozytywny i negatywny pozytywny i negatywny
Indywidualne cechy użytkownika	charakterystyka podróży cechy osobowości cechy socjogeograficzne cechy socjoekonomiczne	pozytywny i negatywny pozytywny i negatywny pozytywny i negatywny pozytywny i negatywny
Inne	warunki pogodowe preferencje użytkownika niemożliwe do zaobserwowania dla poszczególnych rodzajów parkingów	pozytywny i negatywny negatywny

Źródło: [27]

Literatura polska nie podaje przykładów czynników, mogących mieć wpływ na podejmowanie decyzji dotyczących poszukiwania miejsca postojowego w polskich warunkach parkingowych. Ze względu na odmiennie reguły i założenia charakteryzujące system parkingowy centrów miast zagranicznych w stosunku do polityki polskiej, czynniki będące przedmiotem analizy w warunkach polskich powinny zostać wytypowane w wyniku badań ankietowych, wywiadów z kierowcami, użytkownikami systemu parkingowego w polskich miastach.

2.5. Przegląd stanu badań dotyczących ruchu realizowanego wyłącznie w celu znalezienia wolnego miejsca parkingowego

Wg przeprowadzonego przeglądu literatury, wnioski w kwestiach związanych z ruchem generowanym poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego formułowane są albo wprost – na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych, albo na podstawie modeli analitycznych i wyników

symulacji procesu parkowania (który obejmuje – bądź nie – także etap wyszukiwania wolnego miejsca). J. Cao i M. Menendez [31] wprowadziły prosty podział, wyodrębniający trzy podejścia wykorzystywane w szacowaniu parametrów związanych z parkowaniem: podejście empiryczne, analityczne i z użyciem narzędzi symulacyjnych opartych na modelowaniu agentowym.

Nie określono jednoznacznie, które z podejść jest bardziej adekwatne – każde z nich ma swoje ograniczenia. Wg R. Arnotta i P. Williamsa [9] oraz J. Cao i M. Menendez [31] głównym ograniczeniem bazowania wyłącznie na wynikach badań empirycznych są przede wszystkim trudności metodyczne, a w szczególności:

- niemożliwość dokładnego odróżnienia pojazdów poszukujących wolnego miejsca postojowego od innych uczestników ruchu – co już na wstępie jest przyczyną błędnych interpretacji wyników, bądź też
- silna zależność od lokalnych uwarunkowań, które trudno uogólnić.

W innych pracach, pod dyskusję poddano rozważania teoretyczne – ze względu na złożoną naturę zjawiska oraz jego silną zależność od indywidualnego postrzegania kierowcy [93].

2.5.1. Badania empiryczne – pomiary ruchu realizowanego wyłącznie w celu znalezienia wolnego miejsca parkingowego

Analogicznie do podejścia i definicji, również badania ruchu generowanego przez poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego prowadzone są w kilku wersjach:

- z jednej strony, są to **wywiady prowadzone bezpośrednio z kierowcami samochodów** w dwóch wariantach: badane są zagadnienia związane z zachowaniami kierowców, dotyczącymi parkowania pojazdu (najczęściej przyjmowana strategia poszukiwania miejsca postojowego, zmiany przyjmowanej strategii w zależności od charakteru bieżącej podróży, sposób wykorzystania różnego rodzaju informacji dotyczących sytuacji parkingowej w obszarze docelowym, skłonność do pozostawiania pojazdu na miejscach o ograniczonej dostępności, np. zarezerwowanych dla mieszkańców, czy osób niepełnosprawnych) oraz pozyskiwanie danych dotyczących ostatnio wykonanych podróży [10], [12], [58], [93], [138], [183].
- drugi typ badań to badania polegające na **obserwacjach ruchu w sieci**, z próbą wyróżnienia pojazdów *krążących* – dążą one do określenia wielkości i parametrów tego rodzaju ruchu – jego udziału w ruchu ogólnym, charakterystyk wykonywanych podróży (stracony czas, przebyty dystans, itp.) [138], [140], [182], [198].

Metodyka prowadzonych badań, w zależności od przyjętego źródła informacji, przybiera różne formy. W obszarze dotyczącym **zachowań kierowców** oraz ich subiektywnej relacji z etapem podróży będącego poszukiwaniem miejsca postojowego prowadzi się:

- 1) **badania ankietowe z kierowcami**, przeprowadzane najczęściej tuż po zakończeniu podróży (na miejscu postojowym lub parkingu) lub za pośrednictwem tzw. *dzienników podróży* – wg K.W. Axhausena i J.W. Polaka [11], badania ankietowe mogą przyjmować różną formę, w zależności od danych, które mają zostać uzyskane, m.in.:
 - typ 1: badanie zachowań i postrzegania kierowców, tj. najczęściej stosowanych strategii poszukiwania miejsca w określonych wariantach podróży – badanie wstępne, służące do formułowania wstępnych wniosków i hipotez do późniejszego przetestowania, weryfikacji,
 - typ 2: pytania dotyczące konkretnych charakterystyk przebytej ostatnio podróży, tj. straconego czasu, przebytego dystansu, czasu dojścia do celu podróży,
 - typ 3: pytania dotyczące zachowań podczas szukania miejsca postojowego, z prośbą o dokładny opis przyjmowanych najczęściej strategii,
 - typ 4: prośby o opis zachowania w danej sytuacji, prośba o nadanie wag różnego rodzaju czynnikom, itp.
- 2) **badania z wykorzystaniem techniki wideorejestracji**, z kamerami umieszczonymi wewnątrz pojazdu – dzięki kamerom rejestrującym zachowania kierowców (ich gesty, ruchy, mimikę

twarzy) podejmuje się próbę ustalenia momentu rozpoczęcia poszukiwania miejsca do zaparkowania [64].

- 3) **badania wykorzystujące symulatory komputerowe** – uczestnicy biorący udział w badaniu mają za zadanie zaparkować samochód i dotrzeć do określonego celu podróży, a poszukiwanie miejsca odbywa się w dokładnie odwzorowanej wirtualnej rzeczywistości, z zakodowanymi atrybutami odpowiadającymi realnym uwarunkowaniom określonego obszaru analizy (parametry ulicy, pojazdów, uwarunkowania parkingowe, otoczenie). Ich zachowania i podejmowane decyzje są rejestrowane, a na ich podstawie wyciągane są wnioski dotyczące zachowań kierowców związanych z procesem parkowania pojazdów [19], [24].

W obszarze dotyczącym **parametrów podróży** związanej z poszukiwaniem wolnego stanowiska do zaparkowania pojazdu [11], [79], [137], [138], [188]:

- śledzenie pojazdów – metoda polegająca na śledzeniu losowo wybranych pojazdów od momentu pojawienia się ich w badanym obszarze do momentu zaparkowania pojazdu,
- obserwacje w poligonie badawczym – badania podróży pojazdów za pomocą kamer video rejestrujących ruch pojazdów z powietrza (drony),
- badanie polegające na rejestrowaniu i dopasowywaniu numerów tablic rejestracyjnych pojazdów, pojawiających się w kolejnych punktach pomiarowych,
- *park-and-visit* – badania polegające na kilkukrotnych przejazdach z zadanego punktu źródłowego do zadanego punktu docelowego z jednoczesnym rejestrowaniem przebytej odległości, czasu poszukiwania miejsca postojowego, czasu dojścia do ostatecznego celu podróży,
- obserwacje pojazdów kolejno zajmujących zwolnione miejsce postojowe,
- wykorzystanie urządzeń GPS do śledzenia i rejestrowania parametrów podróży pojazdów.

Najbardziej popularnym w ostatnim czasie źródłem danych dotyczących pojazdów *krążących* wydaje się być praca D. Shoupa [138], w której zestawiał on rezultaty 16 różnych badań dotyczących omawianego rodzaju ruchu. Zaprezentowane wyniki pochodzą z różnych krajów, są efektem różnego typu badań, przeprowadzonych w różnych okresach czasu, w latach pomiędzy 1927 i 2001, na różnych próbach użytkowników, w zróżnicowanych funkcjonalnie i przestrzennie obszarach. Udział ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w ruchu ogólnym, będący wynikiem badań zestawionych w ww. pracy przyjmuje wartości z przedziału 8 – 74%, natomiast czas poszukiwania miejsca postojowego przyjmuje wartości z przedziału 3,5 – 13,9 min. Udział pojazdów *krążących* w ruchu ogólnym, ustalony na podstawie zaprezentowanych przez D. Shoupa [138] wyników, często zostaje uśredniony (średni udział *search traffic* w ruchu ogólnym jest równy 30%, a średni czas poszukiwania miejsca do zaparkowania wyniósł 8,1 min) i popularyzowany w literaturze branżowej (przykładowo w [32]), co wg innych autorów, m.in. R. Weinberger, A. Millard-Bella i R. Hampshire'a [188], stanowi znaczną nadinterpretację wyników. Wg nich, zebrane i przedstawione w [138] wyniki nie mogą być uśredniane ze względu na zbyt dużą różnorodność okoliczności przeprowadzanych pomiarów (obszar badania, przyjęta metodyka), a często również zbyt małą próbę badawczą. Pomimo tego, wśród specjalistów branży parkingowej popularna jest opinia, że pojazdy, przemieszczające się po ulicach śródmieścia to w 30% samochody, których kierowcy szukają miejsca do zaparkowania.

W tabeli (Tab. 2.7) zastawiono wszystkie przykłady badań nad *search traffic*, opisane w pracy [138].

Tab. 2.7. Wyniki badań nad *search traffic* przeprowadzone w latach 1927 – 2001, zestawione w [138]

Lp.	Rok	Miasto	Metoda pomiaru	Wybrane wyniki
1.	1927	USA Detroit	Zliczanie pojazdów przejeżdżających kilkakrotnie ustalony przekrój ulicy	W dwóch punktach pomiarowych odpowiednio 19 i 34% pojazdów <i>krążących</i>
2.	1933	USA Waszyngton	<i>Park-and-visit</i>	Średni czas poszukiwania miejsca: 8 min – stanowiło to około 19% czasu całej podróży

Lp.	Rok	Miasto	Metoda pomiaru	Wybrane wyniki
3.	1960	USA New Haven + Waterbury	Badanie ankietowe – pytanie m.in. o miejsce rozpoczęcia <i>krążenia</i>	Średni dystans pokonywany w poszukiwaniu miejsca wyniósł: New Haven: 1041 stóp (0,32 km) Waterbury: 930 stóp (0,28 km) Udział pojazdów krążących w Naw Haven wyniósł 17%
4.	1965	Anglia Londyn	<i>Park-and -visit</i>	Średni czas poszukiwania miejsca w 3 różnych lokalizacjach Londynu, wyniósł odpowiednio: 3,5, 3,6 i 6,1 minuty
5.	1977	Niemcy Freiburg	Badania z wykorzystaniem kamer wideo	Udział pojazdów <i>krążących</i> , wśród 800 zarejestrowanych samochodów wyniósł 74% Średni czas szukania miejsca wyniósł 6 min
6.	1984	Izrael Jerozolima	Badania ankietowe z wykorzystaniem poczty elektronicznej	Średni czas szukania miejsca wyniósł 9 min
7.	1985	USA Cambridge	<i>Park-and -visit</i>	Średni czas poszukiwania miejsca wyniósł 11,5 minuty (zakres między 2, a 25 minut). Udział pojazdów <i>krążących</i> wyniósł 30%
8.	1993	Afryka Kapsztad	Badanie ankietowe	Średni czas szukania miejsca wyniósł 12,2 min
9.	1995	USA Nowy Jork	Badanie ankietowe	Średni czas poszukiwania miejsca wyniósł 7,3 min w porannym szczycie komunikacyjnym oraz 10,6 min w szczycie popołudniowym
10.	1997	USA San Francisco	Model symulacyjny	Średni czas poszukiwania miejsca wyniósł 6,5 min
11.	2001	Australia Sydney	Badanie ankietowe	Średni czas poszukiwania miejsca wyniósł 6,5 min

Źródło: opracowanie własne na podstawie [138]

Inne, wybrane spośród przeprowadzonych w przeciągu ostatnich 20 lat, badania przedstawiono w zestawieniu (Tab. 2.8).

Tab. 2.8. Wyniki badań nad *search traffic* przeprowadzone w latach 2000 – 2019

Lp.	Rok	Miasto	Metoda pomiaru	Wybrane wyniki	Poz. lit.
1.	2006	Francja Paryż Grenoble Lyon	Badanie ankietowe	Średni czas poszukiwania miejsca wyniósł odpowiednio 10, 3,3 i 11,8 minut w Paryżu, Grenoble i Lyonie	[58]
2.	2006	USA Los Angeles	Zliczanie pojazdów, które zaparkowały na zwalnającym się miejscu postojowym	Udział pojazdów poszukujących wolnego miejsca postojowego wyniósł: 68% W różnych okresach czasu, udział ten mieścił się w zakresie od 13 do nawet 96%	[137]
3.	2005-2007	Holandia	Dutch National Travel Survey (MON) Badania ankietowe	Średni udział podróży, w których kierowcy <i>krążyli</i> w poszukiwaniu miejsca wyniósł 30%. Średni czas poszukiwania miejsca przy ulicy wyniósł 30 sek., natomiast na parkingu wydzielonym 50 sek.	[183]
4.	2013, 2015	Australia Brisbane	Badanie ankietowe	Średni czas poszukiwania miejsca wyniósł odpowiednio 13,38 oraz 15,72 min dla miejsc przy ulicy i na parkingach wydzielonych – przy czym wszyscy szukający miejsca na parkingu wydzielonym, wcześniej szukali miejsca przy ulicy (bezsukutecznie)	[93]

Lp.	Rok	Miasto	Metoda pomiaru	Wybrane wyniki	Poz. lit.
5.	2012 - 2017	USA Detroit	Badania z wykorzystaniem wideorejestracji wewnątrz pojazdu	Mediana odległości (promienia), w której kierowca rozpoczął poszukiwanie miejsca wyniosła 100 m. Mniej niż 5% badanych rozpoczynało poszukiwanie w odległości 400 m Okolo 20% badanych nie musiało <i>krążyć</i> w poszukiwaniu miejsca postojowego, natomiast okolo 60% <i>krążyło</i> przez niecałą minutę. Tylko 20% badanych poszukiwało miejsca przez okres dłuższy niż dwie minuty.	[64]

Zródło: opracowanie własne

Przygotowane zestawienie wskazuje, że badania parametrów *search traffic* są podejmowane w różnych miejscach na świecie. Charakteryzują się one różnorodnością zastosowanych metod pomiaru, co w efekcie skutkuje szerokim wachlarzem wyników, które jednak nie zawsze mogą być ze sobą porównywane.

Najistotniejsze informacje, które są możliwe do uzyskania z zastosowaniem wymienionych metod pomiaru to:

- czas tracony na poszukiwanie miejsca postojowego,
- udział pojazdów poszukujących miejsca postojowego w ruchu ogólnym,
- odległość pokonana w wyniku poszukiwania miejsca postojowego,
- maksymalna akceptowalna odległość pozostawienia zaparkowanego samochodu w stosunku do punktu docelowego podróży,
- odległość (od punktu docelowego) miejsca rozpoczęcia poszukiwania miejsca postojowego,
- czas, po którym kierowca rezygnuje z poszukiwania miejsca przy ulicy i udaje się na parking wydzielony,
- czas, po którym kierowca rezygnuje z danego punktu docelowego z powodu niemożliwości zaparkowania pojazdu,
- czynniki, które powodują, że kierowca decyduje się na poszukiwanie miejsca postojowego przy ulicy (lub na parkingu wydzielonym).

Najważniejsze z nich (najczęściej badane) to czas tracony na poszukiwanie miejsca postojowego oraz udział pojazdów poszukujących miejsca postojowego w ruchu ogólnym.

Wraz z rozwojem nauki i techniki, do analiz *search traffic*, stosowane są coraz bardziej zaawansowane narzędzia, wykorzystujące techniki m.in. geokodowania, lokalizowania oraz szeroko pojętej symulacji komputerowej. Nie wskazano dotychczas metody, która w kwestii badań nad ruchem generowanym przez poszukiwanie wolnego miejsca byłaby najbardziej odpowiednia – każda z nich ma swoje wady i ograniczenia.

Najistotniejszą determinantą wyboru danej metody pomiaru ruchu generowanego poszukiwaniem miejsca do zaparkowania wydaje się być oczekiwany efekt badania. Dodatkowo, pod uwagę należy brać koszt oraz niedokładność otrzymywanych wyników, powodowaną przez dobraną metodę – np. jeden z najważniejszych wskaźników badanych w ramach *search traffic*, którym jest czas tracony na poszukiwanie wolnego miejsca postojowego może być badany za pomocą ankietowania lub obserwacji pojazdów przemieszczających się w sieci ulicznej danego obszaru. W przypadku obu tych metod, wyniki obarczone są błędem wynikającym odpowiednio z:

- w badaniu ankietowym – subiektywnej oceny czasu *krążenia* przez kierowcę samochodu (badania dowodzą, że długość czasu traconego odczuwana przez użytkowników systemu transportowego w niekomfortowych dla niego warunkach jest przeszacowywana, w stosunku do straty realnej [133]. Dodatkowo, kierowca niespodziewający się pytania o czas szukania miejsca, nie rejestruje go w świadomości, co może zaburzyć racjonalną ocenę długości tego czasu),
- w badaniu polegającym na obserwacji – nieznanego momentu rozpoczęcia poszukiwania wolnego miejsca parkingowego przez kierowcę samochodu.

W przypadku badań obserwacyjnych, dodatkowym utrudnieniem jest wspomniana wcześniej trudność w wyróżnieniu wśród pojazdów przemieszczających się w sieci ulicznej obszaru samochodów, które poszukują wolnego miejsca do zaparkowania. Udział w ruchu tych pojazdów nie jest natomiast możliwy do uzyskania z badań ankietowych. Te z kolei są natomiast jedynym źródłem wiedzy o indywidualnych wyborach użytkowników systemu transportowego.

2.5.2. Modele procesów parkowania

Wg przytoczonego wcześniej prostego wyszczególnienia podejść do analizowania procesu parkowania wg J. Cao i M. Menendez [31], poza podejściem empirycznym, wyróżnić można także metody modelowania tego procesu: analityczne i symulacyjne. Treść rozdziału 2.5.2 skupia się na omówieniu wypracowanych do chwili obecnej sposobów modelowania procesu poszukiwania wolnego miejsca postojowego. Ponieważ – zgodnie z definicją przyjętą w rozdziale 2.2 – założono, że proces poszukiwania wolnego miejsca jest jedną ze składowych procesu parkowania, ale nie wszystkie podejścia wyodrębniają tę składową, jako element wymagający osobnej analizy, przegląd rozpoczęto od przedstawienia hierarchii modeli parkowania w ujęciu ogólnym (ze szczególnym uwzględnieniem i wyodrębnieniem modeli, które proces poszukiwania traktują jako istotny element parkowania).

Porządkowanie wypracowanych dotąd podejść do modelowania parkowania można rozpocząć od sposobu ich uporządkowania zaproponowanego przez W. Younga w pracy [197]. Wprowadzono tam hierarchię, która zakłada cztery poziomy analizy, rozróżniając skalę, zakres terytorialny oraz szczegółowość i zakres merytoryczny – modelowanie parkowania wewnątrz danego obiektu parkingowego (1), w szerszych obszarach o dużej gęstości zabudowy oraz centrach funkcjonalnych ośrodków wysokiej aktywności (2), modelowanie parkowania w kontekście obszarowym (3) oraz modelowanie w kontekście wykorzystania przestrzennego obszaru, wpływu na system transportowy i środowisko (4):

- 1) Modelowanie parkowania **wewnątrz większego obiektu parkingowego** – modele te szczegółowo odwzorowują przemieszczenia pojazdów wykonywane w obrębie parkingów wydzielonych (*off-street parking*) lub zamkniętych stref parkingowych. Są to najczęściej modele mikrosymulacyjne, które skupiają uwagę na procesie wyszukiwania miejsca i poruszania się po obiekcie (obszarze) uwzględniając znajomość obszaru i/lub posiadanie informacji o dostępności miejsc. Charakterystyki, które można uzyskać w efekcie takiej analizy to najczęściej: całkowity czas przemieszczeń, poziom wykorzystania miejsc parkingowych, rotacja pojazdów na miejscach parkingowych, procentowy udział pojazdów które nie znalazły miejsca, itd. Istotne w modelach tej skali jest wprowadzenie do modelu informacji o geometrii danego obiektu oraz organizacji miejsc parkingowych.
- 2) Modelowanie parkowania **w szerszych obszarach o dużej gęstości zabudowy, centrach funkcjonalnych ośrodków wysokiej aktywności** – koncentrują się na przydziale samochodów do konkretnych miejsc postojowych analizowanego obszaru (relacji popyt – podaż), który może być powiązany z transportem publicznym oraz siecią dróg pieszych.
- 3) Modelowanie parkowania **w kontekście obszarowym** – modele te odnoszą się do systemu transportowego w skali metropolitarnej albo subregionalnej. Odzwierciedlają wpływ parkowania na decyzje o podróży i rozkład ruchu na szerszą (obszarowo) sieć transportową.
- 4) Modelowanie **w kontekście wykorzystania przestrzennego obszaru, wpływu na system transportowy i środowisko** – wg W. Younga [197], jest to rodzaj modeli, które badają pośredni wpływ polityki parkingowej (wysokości stawek postojowych, sposobu organizowania stref płatnego parkowania) na ruch samochodów w miastach i dostęp do poszczególnych obszarów o konkretnym sposobie zagospodarowania.

Każdy z opisanych rodzajów modeli parkowania dotyczy problemów parkingowych różnej skali, identyfikowanych na poszczególnych poziomach hierarchii sieci transportowych. Co ważne, nie są to poziomy od siebie niezależne – bardzo często modele różnych poziomów uzupełniają się wzajemnie, zapewniając płynny przepływ informacji.

W ramach zaprezentowanych czterech poziomów modelowania parkowania, W. Young [197], wprowadza następujące typy modeli parkowania:

- Modele funkcjonowania obiektu parkingowego – wewnątrz (*parking – design models*),
- Modele wyboru miejsca parkowania w szerszym zakresie terytorialnym analizy (*parking – allocations models*),
- Modele poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania (*parking – search models*),
- Modele wyboru rodzaju parkingu (*parking – choice models*),
- Modele interakcji parkowania z innymi podsystemami systemu transportowego (*parking – interactions models*).

Modele funkcjonowania obiektu parkingowego (*parking – design models*) to modele odwzorowujące funkcjonowanie parkingu (wewnątrz) – przemieszczenia pojazdów po drogach manewrowych i same manewry parkowania, analizując na ich podstawie różne miary wydajności parkingów. Do analiz stosuje się tutaj metody heurystyczne, fizyczne, analogowe, numeryczne, metody symulacyjne – komputerowe i metody oparte o sztuczną inteligencję. Spośród nich, najczęściej wykorzystywanymi są metody heurystyczne, numeryczne i symulacyjne. Symulacje te mogą być prowadzone w sposób makroskopowy (analizując ruch grup pojazdów i interakcji między nimi) lub mikroskopowy (badając przemieszczenia pojedynczego samochodu).

Modele wyboru miejsca parkowania (*parking – allocations models*) to modele przydziału pojazdów do poszczególnych parkingów lub stref parkingowych na podstawie atrakcyjności danego obiektu. Metody przydziału mogą opierać się na różnych założeniach dotyczących postrzegania atrakcyjności obiektu (miejsca parkingowego/postojowego) przez kierowcę, a wśród nich wyróżniono:

- **metodę optymalizacji kosztów (*optimization models*)** – modele, w których zakłada się, że wybór parkingu lub miejsca postojowego jest dokonywany na zasadzie optymalizacji całkowitego kosztu podróży do danego miejsca, przy założeniu pełnej informacji o systemie parkingowym.
- **metodę, w której zakłada się, że parkujący będą szukać zadowolającego, a nie optymalnego miejsca postojowego, wg zdefiniowanych wcześniej reguł (*constraints models*)**.
- **metodę grawitacyjną (*gravity models*)** – modele, w których wykorzystywana jest struktura modelu grawitacyjnego: przydział pojazdów do odpowiednich parkingów lub miejsc postojowych jest realizowany na podstawie macierzy źródeł i celów podróży oraz określonych potencjałów ruchotwórczych.
- **metodę uwzględniającą ruch pojazdów w istniejącej sieci drogowo-ulicznej analizowanego obszaru (*traffic assignment*)** – modele, w których przydział pojazdów do odpowiednich parkingów lub miejsc postojowych jest realizowany także na podstawie macierzy źródeł i celów podróży, przy czym przemieszczenia pojazdów odbywają się w sieci ulic i infrastruktury parkingowej.

Modele poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania (*parking – search models*) to modele skupiające uwagę na procesie poszukiwania miejsca postojowego, analizujące ruch i zestaw powiązanych ze sobą decyzji pojedynczych kierowców lub ich grup w sieci ulicznej analizowanego obszaru – są to modele, które wyodrębniają proces poszukiwania miejsca z ogólnie pojętego procesu parkowania, a efektem obliczeń są parametry z nim związane, jak np. czas poszukiwania miejsca, liczba przejechanych kilometrów (w poszukiwaniu wolnego miejsca), liczba samochodów *krążących* (ich udział w ruchu ogólnym), itp.

Modele wyboru parkingu (*parking – choice models*) to z kolei modele wyboru konkretnego parkingu – są to najczęściej modele logitowe, które zakładają, że podejmujący decyzję czerpie z poszczególnych aktywności użyteczność lub ponosi koszt (obie wielkości są mierzalne i prezentowane w postaci wskaźników), by na ich podstawie zdecydować o wyborze określonego parkingu. Wśród nich, wyróżnić można:

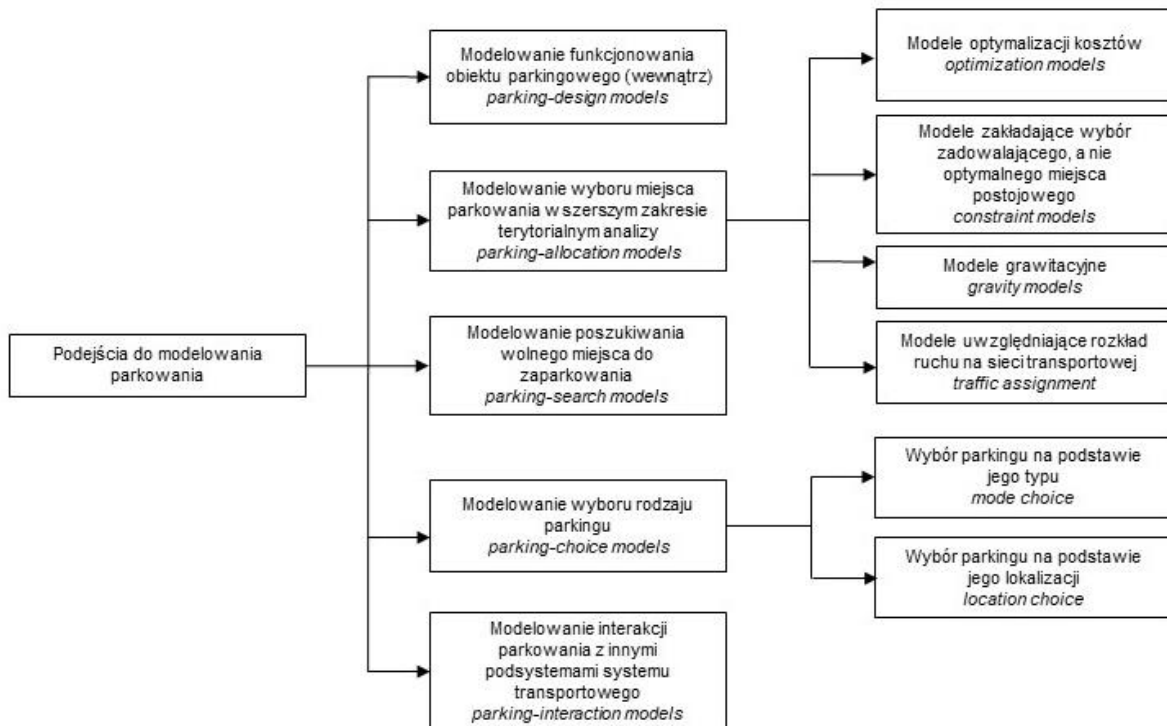
- **wyбір spośród różnych typów parkingów (*mode choice*)** – modele, w których wybór dokonywany jest spośród różnych typów parkingu (rozwijając opis W. Younga [197] można

dodać, że wybór ten może obejmować parkingi przykrawężnikowe i wydzielone oraz strategie zarządzania nimi: parking płatny lub bezpłatny, o ograniczonym dostępie – np. tylko dla pracowników/mieszkańców/samochodów elektrycznych, o ograniczonym czasie parkowania itd.)

- **wyбір spośród różnych lokalizacji parkingów (*location choice*)** – modele, w których analizowany jest wybór spośród alternatywnych lokalizacji parkingu.

Modele interakcji parkowania z innymi podsystemami systemu transportowego (*parking – interactions models*) to modele podkreślające behawioralny wpływ użytkowników systemu parkingowego na system transportowy.

Schemat podejść do modelowania parkowania w układzie blokowym przedstawiono na Rys. 2.1.



Rys. 2.1. Schemat podziału modeli parkowania wg [197]
Źródło: opracowanie własne wg [197]

Zaprezentowany przez W. Younga [197] podział podejść do kwestii modelowania parkowania jest jednym z bardziej szczegółowych opisów w tym zakresie. Porządkuje on wszystkie kwestie związane z analizą procesu parkowania w różnym ujęciu skali sieci transportowych, a także podkreśla różnorodność podejść do analizy tego zagadnienia. Wskazuje on wyraźnie na istotność procesu poszukiwania miejsca w podejściu do analizowania parkowania w obszarach zurbanizowanych.

W sposób szczególny, na wybrane trzy podejścia, spośród wszystkich opisanych przez W. Younga [197], zwracają uwagę F. Laurent i H. Boujnah [94]. Wyróżniają oni:

- **modele wyboru konkretnego rodzaju parkingu** [11],
- **modele wyboru parkingu**, rozpatrywane w kontekście wyboru trasy dojazdu do niego, co w efekcie przekłada się na **obciążenie sieci ulicznej obszaru** [57], [90] oraz
- **modele skupiające uwagę na etapie *krążenia* w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego** [20],[147].

Można zauważyć, że podział ten wyróżnia poszczególne, najistotniejsze etapy podróży wykonywanej samochodem (związane z parkowaniem). W każdym z ujęć wyodrębniany jest jeden z tych etapów – najważniejszy, wg autora modelu. Warto zauważyć, że ujęcie pierwsze to ujęcie raczej

behawioralne, skupiające się na indywidualnych decyzjach użytkownika, a tylko drugi i trzeci sposób analizowania procesu parkowania wyróżnia poszukiwanie wolnego miejsca, jako osobny element analizy. Tylko w trzecim – jest on elementem dominującym.

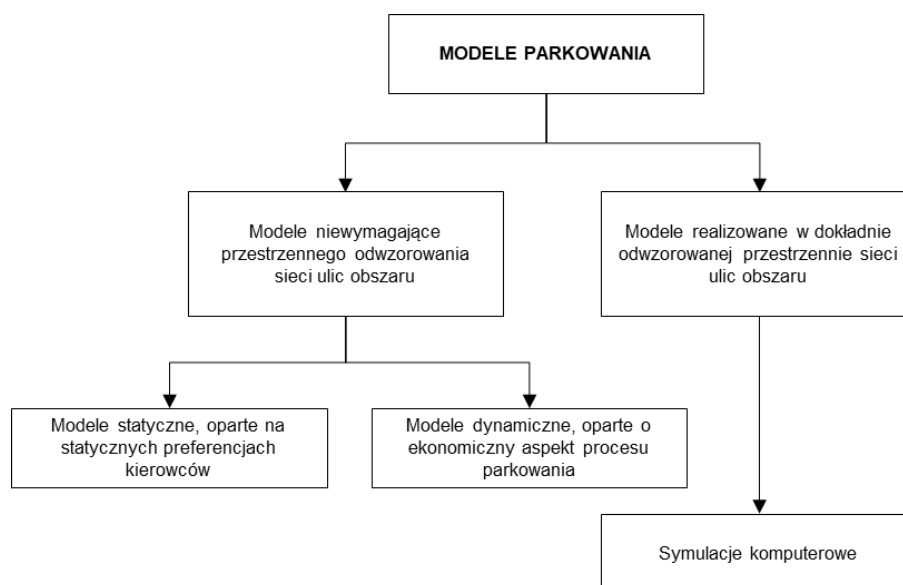
Dwa ostatnie podejścia pokazują kontekst analiz, w których bada się wpływ parkowania na ruch pojazdów w przyległej sieci ulicznej:

- wpływ na ruch wywierany przez możliwości różnego wyboru trasy dojazdu do miejsca postojowego – która determinowana jest przez jego lokalizację,
- wpływ na ruch poprzez pojawienie się dodatkowych przemieszczeń w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego.

Nieuwzględnionym w tym podziale aspektem, także poruszonym w publikacjach jest:

- wpływ manewrów parkowania na prędkość, płynność ruchu, czy przepustowość odcinków ulic, skrzyżowań, pasów autobusowych i bezpieczeństwo ruchu [16], [36].

Analizując podział wg [94] i [197], należy podkreślić, że opracowane dotąd modele parkowania często nakierowane są na jeden z wymienionych obszarów, ale równocześnie, pośrednio lub bezpośrednio, dotyczą także innych problemów. Jest to spowodowane złożonością procesu parkowania i jego zależnością od czynników indywidualnych, ale także przestrzennych. W efekcie trudno jest jednoznacznie zakwalifikować dany model do jednej z wymienionych kategorii. W związku z tym, biorąc równocześnie pod uwagę przytoczony podział tematyczny, rozwijane do tej pory modele procesu parkowania porządkować można wg innego schematu, zaproponowanego przez K. Martensa, I. Benensona i S. Birfira [104] (Rys. 2.2). Podział ten grupuje modele w kategoriach związanych ze sposobem prowadzenia analizy zagadnienia.



Rys. 2.2. Schemat podziału modeli parkowania wg [104]

Źródło: opracowanie własne na podstawie [104]

Pierwsza grupa modeli to modele matematyczne, oparte albo na preferencjach kierowców (ustalanych podczas badań empirycznych) – które następnie przekładane są na ich decyzje podejmowane podczas parkowania, albo bazujące na ekonomicznej opłacalności skutków decyzji podejmowanych przez kierowców. Druga grupa to modele sieciowe – realizowane w dokładnie odwzorowanym przestrzennie obszarze analizy: podaż jest odzwierciedlona siecią ulic, powierzchnią parkingową oraz zabudową o konkretnej funkcji. Każdemu ze zdefiniowanych elementów przypisywane są atrybuty: ulicom przypisuje się określoną przepustowość, określa się dozwoloną prędkość jazdy, itp. Miejsca postojowe w konkretnej liczbie mogą być usytuowane przy ulicy (*on-street parking*) lub poza nią w formie parkingów wydzielonych (*off-street parking*). Często przypisywane są im również reguły określające różne ograniczenia postojowe: czasowe, dla konkretnych pojazdów – np. elektrycznych, dla mieszkańców, klientów oraz konkretną cenę za godzinę postojową lub jej brak. Zabudowa ma określoną

funkcję i powierzchnię. Przypisuje się jej konkretną liczbę osób mieszkających w niej, bądź liczbę pracujących pracowników, czy odwiedzających klientów, wg pełnionej funkcji. Popyt na parkowanie wyrażony jest populacją kierowców o określonych wzorcach zachowań. Na podstawie wszystkich zdefiniowanych parametrów sieci, w kolejnych krokach prowadzona jest symulacja procesów parkowania.

Analizując podział przyjęty przez K. Martensa, I. Benensona i S. Birfira [104], należy uzupełnić opis obydwu wyróżnionych grup modeli parkowania. Grupa modeli niewymagających przestrzennego odwzorowania sieci transportowej dzielona jest na modele natury statycznej i dynamicznej.

- Modele statyczne to proste modele bazujące na preferencjach użytkowników systemu transportowego. Wybory kierowców podejmowane są na podstawie (niezmiennych) zestawów czynników wpływających w określonym stopniu na ich decyzje. Czynniki i stopień ich wpływu ustalany jest najczęściej na podstawie badań empirycznych. Do grupy tych modeli należą przykładowo modele wyboru typu parkingu w zależności od: ceny za godzinę postoju, jego lokalizacji, odległości od ostatecznego celu podróży, dostępności, strategii zarządzania, itp.
- Modele dynamiczne, wg autorów przyporządkowania, silnie łączą zachowania kierowców z ekonomicznym aspektem procesu parkowania. Decyzje podejmowane są na podstawie kalkulacji kosztów, przy zmiennych w czasie warunkach otoczenia.

Rozwijając podział modeli realizowanych w odwzorowanej przestrzeni miasta zauważyć można stosowany także inny podział modeli tego rodzaju. Ze względu na zakres analizowanej przestrzeni, modele te można podzielić na:

- modele w skali mikro – ograniczające analizę do wycinka sieci ulicznej i skupiające uwagę na samym procesie parkowania [20], [95], [105], [184] oraz
- modele w skali makro – gdzie w obszar analizy wchodzi często całe miasto, a analizie poddawany jest ruch pojazdów w szerszym okresie czasu. Pod uwagę brane są wszystkie podróże uczestników ruchu odbywane w ciągu dnia, często realizowane różnymi środkami transportu, a parkowanie jest elementem towarzyszącym realizowaniu podróży samochodem [22], [23], [147], [186].

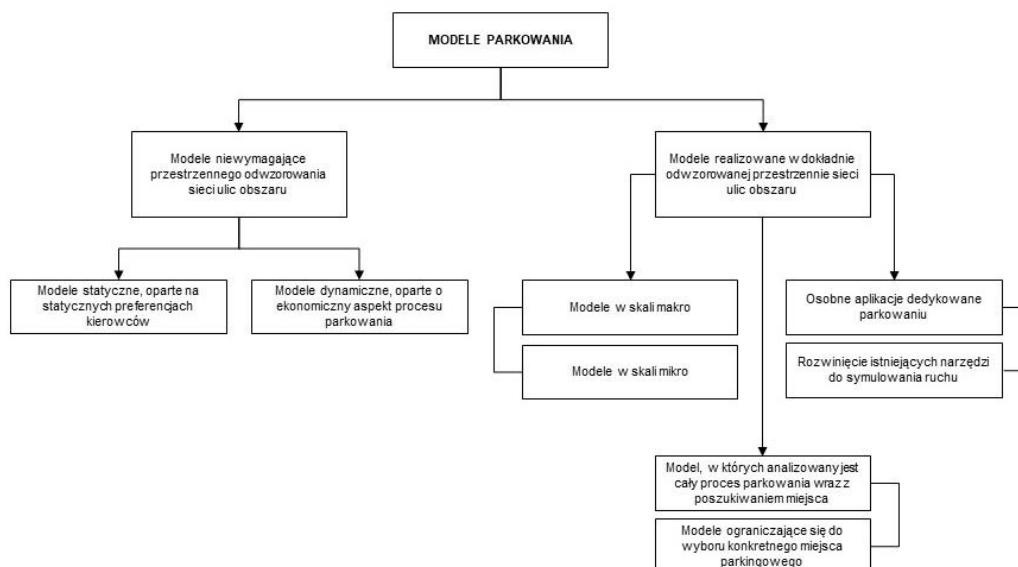
Biorąc pod uwagę narzędzie, za pomocą którego dany model można aplikować, podział jest następujący:

- modele tworzone od podstaw jako osobne, dedykowane aplikacje [20], [104], [105], [142], [147], oraz
- modele będące rozwinięciem istniejących, wielozadaniowych narzędzi do symulowania ruchu [22], [186].

Analizując zakres merytoryczny symulacji, wprowadzić należy również podział na:

- modele, w których analizowany jest cały proces parkowania, wraz z procesem poszukiwania miejsca postojowego – w efekcie możliwe jest ustalenie związanych z tym parametrów, np. czasu traconego na to poszukiwanie (nie we wszystkich tworzonych modelach proces parkowania uwzględniany jest kompleksowo, włącznie z procesem poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania) [20], [147], oraz
- modele, w których proces parkowania ogranicza się jedynie do wyboru miejsca postojowego, często w różnych wariantach: płatnego lub bezpłatnego, przy ulicy lub na parkingu wydzielonym, itp. [186].

Rozszerzony o dodane kategorie schemat podziału modeli parkowania przedstawia się następująco (Rys. 2.3) :



Rys. 2.3. Rozszerzony schemat podziału modeli parkowania

Źródło: opracowanie własne

Analizując opublikowane prace w tym zakresie należy zauważyć, że wśród modeli sieciowych wyróżnić można zarówno takie, w których sieć ulic obszaru, zabudowania i podaż parkingowa są odwzorowane schematycznie lub takie, w których odwzorowanie to jest zrealizowane na bardzo wysokim poziomie szczegółowości. Często w tym celu wykorzystuje się Systemy Informacji Geograficznej (ang. *Geographical Information Systems* – GIS), a same modele tworzone są w formie aplikacji – dedykowanych programów do symulacji komputerowych.

Podział modeli parkowania w jeszcze innym ujęciu zaprezentowali S. Brooke, S. Ison i M. Quddus [27]. W przywołanej pracy, która bardzo dokładnie analizuje różne aspekty związane z kwestią poszukiwania wolnego miejsca parkingowego pojawiające się w literaturze, modele parkowania sklasyfikowano wraz ze wskazaniem wad i zalet konkretnego typu modeli oraz możliwości ich zastosowania. Klasyfikację opracowaną przez S. Brooke, S. Isona i M. Quddusa [27] przedstawiono w tabeli (Tab. 2.9).

Tab. 2.9. Klasyfikacja modeli parkowania wg [27]

Rodzaj modelu	Zalety	Wady	Zastosowanie
Modele wyboru dyskretnego	Przydatne do badania: – wrażliwości kierowców na różne sposoby organizowania parkowania, – czynników związanych z parkowaniem, które wpływają na decyzje podejmowane przez kierowców.	Mniej odpowiednie dla: – odzwierciedlenia sekwencyjnego podejmowania decyzji, a w szczególności decyzji opartych na czynnikach przestrzennych, – prognozowania, w szczególności w obszarach o dużym natężeniu ruchu, ze względu na to, że modele tego typu odwzorowują zachowania pojedynczego użytkownika.	Modele te zastosowano m.in. w celu analizowania: – wyboru konkretnego typu parkingu, – zmiany zachowania kierowcy (zmiany wybranego wcześniej parkingu) w obliczu wzrostu opłaty postojowej, – użyteczności konkretnych parkingów, – zachowań kierowców podczas przemieszczeń w poszukiwaniu miejsca postojowego.
Modele sieciowe	Przydatne dla: – odzwierciedlenia zachowań związanych	– Mniej odpowiednie dla badań reakcji behawioralnych na	Modele te zastosowano m.in. w celu analizowania:

Rodzaj modelu	Zalety	Wady	Zastosowanie
	<p>z parkowaniem w istniejących już narzędziach do symulowania ruchu,</p> <ul style="list-style-type: none"> – odzwierciedlenia różnych możliwości parkowania pojazdów, – odzwierciedlenie różnych możliwości parkowania (np. postój krótko- i długoterminowy) 	<p>nadmierny popyt na parkowanie (np. wpływ braku miejsc postojowych na przebieg podróży, czas postoju, czas podróży).</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bazują na założeniu, że kierowcy znają sytuację parkingową obszaru oraz aktualne warunki ruchu. – Nie uwzględniają wpływu parkowania przykrawężnikowego na przepustowość sieci oraz wpływu natężenia ruchu na czas podróży. – Upraszczają przemieszczenia związane z poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego, poprzez np. nie uwzględnienie zatłoczenia w sieci ulicznej. 	<ul style="list-style-type: none"> – procesu wyboru konkretnego parkingu w istniejącej sieci drogowo – ulicznej danego miasta – wpływu wyszukiwania parkingów na zatłoczenie w ruchu w tej sieci, <p>Zastosowanie tych modeli pozwala na prowadzenie analiz parkowania z uwzględnieniem warunków panujących w sieci drogowo – ulicznej danego obszaru, tj. m.in. istniejące warunki ruchu, przepustowość i inne parametry związane również z podażą parkingową w danej sieci.</p>
Modele efektywności	<p>Przydatne dla:</p> <ul style="list-style-type: none"> – szacowania parametrów parkingów wydzielonych, – badania interakcji pomiędzy ruchem pojazdów obserwowanym w przyległej sieci ulicznej, a parkingami wydzielonymi (obejmujące możliwe zakłócenia w ruchu wynikające z realizowania wjazdów i wyjazdów z parkingu). 	<p>Mniej odpowiednie dla:</p> <ul style="list-style-type: none"> – badań wpływu parkowania przykrawężnikowego na potoki ruchu w przyległej sieci ulicznej, – badań wpływu ruchu w sieci ulicznej na wydajność danego parkingu wydzielonego, – badania wydajności parkingu, jako całości. 	<p>Brak zidentyfikowanych zastosowań w praktyce</p>
Modele symulacyjne	<p>Przydatne dla:</p> <ul style="list-style-type: none"> – badania ogólnych charakterystyk funkcjonowania systemu parkingowego, – badania efektów wdrożenia konkretnej polityki parkingowej w systemie parkingowym miasta. 	<ul style="list-style-type: none"> – Brak spójności na poziomie behawioralnym, – Tendencja do łączenia różnych metod modelowania. 	<p>Modele te stosuje się m.in. w celu analizowania:</p> <ul style="list-style-type: none"> – wyboru trasy prowadzącej na wybrany parking, czasu dojazdu do parkingu, czasu dojścia do punktu docelowego z miejsca pozostawienia samochodu, – interakcji pomiędzy podażą, a popytem na parkowanie, – zachowań kierowców w odwzorowanym przestrzennie środowisku, w którym zakodowano rzeczywiste dane, w celu badania różnych scenariuszy parkowania.

Źródło: [27]

2.5.2.1. Modele symulacyjne

Wymieniane najczęściej modele symulacyjne łączą w sobie różne podejścia i metody modelowania procesów parkowania – w zależności od skali symulacji i zakresu merytorycznego. Są to często symulacje oparte na podejściu modelowania agentowego, uwzględniające zarówno behawioralne, ekonomiczne, jak i przestrzenne czynniki, wpływające na podejmowane przez kierowców decyzje. Ze względu na to – w pracy skupiono się właśnie na nich – w rozdziale 2.5.2.1 szczegółowo przedstawiono kilka najważniejszych modeli symulacyjnych. Wybrano modele opracowane w okresie ostatnich 20 lat.

Wśród najważniejszych modeli realizowanych w odwzorowanej przestrzeni i przeznaczonych do analizy charakterystyk parkowania pojazdów w obszarach miejskich, uwzględniających proces poszukiwania wolnego miejsca, można wymienić:

- **PARKAGENT** – model zaprezentowany w 2008 roku przez naukowców z Tel Aviv University w Izraelu oraz Radboud University Nijmegen w Holandii [20],
- **SUSTAPARK** – model zaprezentowany w 2009 roku przez zespół Spatial Applications Division oraz Transport&Mobility w Leuven w Holandii [142], [147],
- rozszerzenie narzędzia do modelowania ruchu **MATSim**, którego autorami są naukowcy z Technische Universität Berlin w Niemczech, opublikowane w 2017 roku [22] oraz
- **SIMPARK** – model zaprezentowany w 2018 roku przez pracowników Hasselt University w Belgii [23].

Dodatkowo, warto zwrócić uwagę na kilka modeli służących wyłącznie analizom innych aspektów parkowania, bez uwzględnienia procesu poszukiwania wolnego miejsca przy ulicy, takich jak szacowanie parametrów poszukiwania miejsca parkingowego na parkingach wydzielonych (*off-street*), szacowanie popytu na parkowanie oraz modelowanie wyboru konkretnego parkingu przez kierowców. Są to m.in.:

- **PARKIT** – symulator samochodu, opublikowany w 2004 roku przez zespół University of Leeds oraz GMTPE Manchester, służący szacowaniu charakterystyk związanych z poszukiwaniem wolnego miejsca w ramach parkingu wydzielonego (*off-street*) [24],
- rozszerzenie narzędzia do modelowania ruchu **MATSim**, modelujące wybór konkretnego parkingu (*on-street*, *off-street*, miejsca nielegalnego, płatnego, bezpłatnego, itp.) przez kierowcę samochodu, opracowany przez pracowników Swiss Federal Institute of Technology in Zurich i opublikowany w 2012 roku [186],
- **PARKFIT** – model opublikowany w 2015 roku przez pracowników Tel Aviv University, służący szacowaniu parametrów popytu na parkowanie na podstawie analizy nocnego parkowania pojazdów w obszarze o zabudowie mieszkaniowej [95], oraz
- opublikowany w 2016 roku przez naukowców z Vietnam Aviation Academy, Eindhoven University of Technology oraz Hasselt University model, służący szacowaniu charakterystyk związanych z poszukiwaniem wolnego miejsca w ramach parkingu wydzielonego (*off-street*), stworzony w środowisku **NetLogo** [184].

Zakres zestawień i opisów ograniczony został wyłącznie do modeli, które bezpośrednio dotyczą procesu poszukiwania wolnego miejsca postojowego przy ulicy.

Najważniejsze informacje dotyczące ww. modeli zestawiono w tabeli (Tab. 2.10):

Tab. 2.10. Zestawienie modeli symulacyjnych procesów parkowania

Lp.	Model	Rok publikacji	Autorzy	Afiliacja autorów	Zakres przestrzenny analizy
1	PARKAGENT	2008	Itzhak Benenson, Karel Martens, Slava Birfir	Tel Aviv University	analiza w skali mikro
2	SUSTAPARK	2009	Karel Dieussaert, Koen Aerts, Therese Steenberghen, Sven Maerivoet, Karel Spitaels	Spatial Applications Division, Transport&Mobility Leuven	analiza w skali makro

Lp.	Model	Rok publikacji	Autorzy	Afiliacja autorów	Zakres przestrzenny analizy
3	MATSim extension	2017	Joschka Bischoff, Kai Nagel	Technische Universität Berlin	analiza w skali makro
4	SIMPARK	2018	Jan Vuurstaek, Luk Knapen, Bruno Kochan, Tom Bellemans, Davy Janssens	Hasselt University	analiza w skali makro

Źródło: opracowanie własne

PARKAGENT [20] jest modelem symulacyjnym, który wg autorów, dzięki zastosowaniu metody modelowania agentowego (*ABM – ang. agent-based modelling*), wyróżnia się od modeli formułowanych wcześniej swoją szczegółowością. Dzięki podejściu, które nastawione jest na indywidualne modelowanie zachowań pojedynczych użytkowników danego systemu – agentów, ABM pozwala na ujęcie pełnego zróżnicowania elementów i obiektów, które występują w badanym systemie geograficznym [47] – w tym przypadku w systemie transportowym. PARKAGENT odwzorowuje zachowania wszystkich kierowców (agentów) w sieci ulicznej, poprzez przypisane im określone atrybuty statyczne i dynamiczne [47]. Dzięki temu uwzględnia zróżnicowane cechy indywidualne kierowców, mające wpływ na ich zachowania, jak np. znajomość obszaru, akceptowalność opłaty za parkowanie, osobiste przyzwyczajenia. Dokładnie odwzorowane są również ograniczenia infrastrukturalne, jak podaż miejsc postojowych i jej stosunek do popytu na nie, itp. Reguły przypisane agentom – kierowcom definiują szczegółowo reakcje każdego kierowcy na brak miejsc postojowych, różnice w cenach za postój, sposób organizacji systemu parkingowego, czy też zachowania innych kierowców – wszystko w odniesieniu do szacunkowej odległości kierowcy od miejsca docelowego podróży [20]. W modelu PARKAGENT rozróżniono cztery grupy kierowców, którym przypisano zróżnicowane atrybuty: *Mieszkańców*, *Pracowników*, *Gości* i *Klientów*. Najważniejszą różnicą pomiędzy nimi są inne zdefiniowane miejsca docelowe podróży (przykładowo dla *Mieszkańców* miejscem docelowym podróży są budynki o funkcji mieszkalnej, a dla *Pracowników* budynki o funkcji biurowej), czasy przyjazdu i czasy postoju – przypisane do grupy wg przyjętego rozkładu czasów postoju.

Model został opracowany jako aplikacja ArcGIS, ze szczegółowym odwzorowaniem wszystkich istotnych z punktu widzenia ruchu i parkowania elementów infrastruktury – segmentów ulic, miejsc postojowych, budynków. Parametry modelu zostały w pierwotnej wersji ustalone przez autorów, na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej oraz badań terenowych. Przy wykorzystaniu aplikacji, każdy użytkownik może zdefiniować swoje parametry – ustalone na podstawie własnych badań, adekwatnie do poligonu, dla którego tworzony jest dany model. Modelowanie sytuacji parkingowej może być realizowane dla kwartałów ulic każdego miasta pod warunkiem, że posiada ono zdefiniowaną i odwzorowaną w Systemie Informacji Geograficznej (GIS) sieć drogowo-uliczną, zabudowę oraz system parkingowy. Okno aplikacji PARKAGENT w ArcGIS przedstawiono na Rys. 2.4.



Rys. 2.4. Okno aplikacji PARKAGENT w ArcGIS

Źródło: [20]

Model PARKAGENT przeprowadza symulację o założonej zmianie stanu systemu w odstępie czasu równym 0,5 sek. W każdej z iteracji pojazdy wykonują przemieszczenia o długości zależnej od przyjmowanej przez nie prędkości. Zachowanie pojazdu/kierowcy (agenta) w symulacji analizowane jest indywidualnie.

Modelowane zachowania obejmują: wjazd w obszar, w którym kierowca rozpoczyna szukanie miejsca, poszukiwanie wolnego stanowiska podczas jazdy w kierunku ostatecznego celu podróży, ewentualnie poszukiwanie miejsca po minięciu celu podróży, zajęcie miejsca, okres postoju pojazdu i wyjazd z miejsca postojowego. Moment rozpoczęcia poszukiwania miejsca jest ustalony na podstawie odległości od miejsca docelowego podróży – w analizowanym przypadku autorzy na podstawie badań empirycznych zdecydowali, że będzie to odległość 250 m w linii prostej od punktu docelowego podróży. W wyznaczonym takim promieniu obszarze, kierowca myśli już o tym, że powinien zaparkować. Od momentu wjazdu w obszar o promieniu 250 m, kierowcy poruszają się wg przyjętych algorytmów, zgodnych z opisanymi w modelu regułami zachowań adekwatnych dla *poszukiwania*. Pokonując trasę w poszukiwaniu miejsca, przy każdym ze skrzyżowań sieci transportowej podejmują decyzję o kierunku dalszego poszukiwania. Trasa przejazdu jest wybierana na podstawie analizy odległości do ostatecznego celu podróży, wg podejścia, w którym kierowca zawsze wybiera trasę najkrótszą – jego adekwatność została sprawdzona empirycznie w rzeczywistej sieci ulicznej, wybranej przez autorów modelu [20].

W każdym z kolejnych etapów całego procesu parkowania kierowcy przyjmują określone wzorce zachowań, stosując zdefiniowane warunki brzegowe: zbliżając się do celu analizują podaż wolnych miejsc postojowych i zmniejszają prędkość przejazdu. Ich celem jest zaparkowanie w jak najbliższej odległości od punktu docelowego podróży. Jeśli nie znajdą wolnego miejsca, po minięciu punktu docelowego celem staje się zajęcie pierwszego wolnego miejsca postojowego. Wraz z biegiem czasu traczonego na poszukiwanie wzrasta elastyczność zdefiniowanych warunków – analizowane są możliwości parkowania na droższych miejscach postojowych. Po upływie przyjętego akceptowalnego czasu poszukiwania miejsca (w aktualnej wersji modelu przyjęto ten czas na poziomie 10 minut) kierowca rezygnuje z poszukiwania miejsca – decyduje o zaparkowaniu na najbliższym parkingu wydzielonym.

Wyniki uzyskane z modelu można analizować na różne sposoby: z punktu widzenia użytkownika – kierowcy lub z perspektywy zewnętrznego obserwatora. Wg autorów modelu, podstawowymi charakterystykami, które można uzyskać są: rozkład czasów poszukiwania miejsca postojowego, odległości zaparkowanego ostatecznie samochodu do punktu docelowego podróży i koszt poniesionych opłat za postój.

PARKAGENT, w wersji pierwotnej, został wykorzystany do symulacji ruchu i parkowania obszaru o zabudowie mieszkaniowej, gdzie problem deficytu miejsc postojowych występuje w godzinach popołudniowo – wieczornych.

Podobnie jak PARKAGENT, na bazie metody modelowania agentowego opracowany został symulacyjny model o nazwie **SUSTAPARK**, który przygotowano w ramach szerszego projektu o tej samej nazwie [142], [147]. Zasady działania tych modeli (PARKAGENT i SUSTAPARK) są analogiczne, jednak w przypadku SUSTAPARK, niektóre wprowadzone procedury i założenia są o wiele bardziej rozbudowane i szczegółowe, np.:

- przewidziano w nim szerszą listę agentów (kierowców) o zróżnicowanych atrybutach, które mają wpływ na ich zachowania w sieci ulicznej: na podstawie badań empirycznych przyjęto 7 grup kierowców *Studenci, Pracownicy, Emeryci, Bezrobotni, Osoby o wolnych zawodach, Osoby pracujące w gospodarstwie domowym, Turyści i inni*,
- założono bardziej rozbudowaną infrastrukturę drogową i parkingową (większą liczbę atrybutów opisujących poszczególne elementy infrastruktury) – podobnie jak w modelu PARKAGENT stworzoną w środowisku GIS,
- zdefiniowano bardziej złożone modele zachowań agentów (kierowców) oraz wzory atrakcyjności poszczególnych obiektów leżących w obszarze analizy (będących potencjalnymi celami podróży).

Rezultatem symulacji są: napełnienie powierzchni postojowej dla każdej analizowanej ulicy, wyznaczone obszary, w których przestrzeń postojowa nie jest wystarczająca dla generowanego popytu

oraz średni czas poszukiwania miejsca przez kierowcę (agenta). Dane są prezentowane również w postaci wizualizacji na mapach.

Model SUSTAPARK przygotowano w środowisku Java, z wykorzystaniem platformy Eclipse. W pierwszej wersji został wykorzystany do badania sytuacji parkingowej miasta Leuven w Belgii w trzech scenariuszach: w wariancie podstawowym, w wariancie przy dodaniu nowego parkingu podziemnego (*off-street parking*) oraz przy założeniu nietypowego wydarzenia mogącego generować popyt na miejsca postojowe – jarmarku bożonarodzeniowego.

Kolejnym z wymienionych w Tab. 2.10 modeli jest rozszerzenie programu do modelowania ruchu **MATSim**. MATSim to platforma o otwartym dostępie, służąca do symulowania przepływów w sieciach transportowych, oparta na modelowaniu agentowym. Dodatkowa funkcjonalność zaproponowana przez naukowców z Uniwersytetu w Berlinie polega na uaktualnieniu algorytmów o dodatkowe możliwości i ograniczenia, które obejmują m.in.: możliwość zaparkowania samochodu w określonej (akceptowalnej) odległości od ostatecznego celu podróży, ograniczeń wynikających z określonej podaży miejsc postojowych i zróżnicowanych kosztów postoju. W omawianej wersji zaproponowano również możliwość wykorzystania samochodów w systemie car-sharing [22]. Rozbudowana wersja pierwotnego symulatora MATSim nosi nazwę MATSim extension.

Ostatnim z wybranych modeli jest **SIMPARK** – model również oparty na podejściu agentowym, jest kolejnym udoskonaleniem podejść autorów poprzednich modeli PARKAGENT, SUSTAPARK, czy MATSim extension. W porównaniu do wymienionych poprzedników, SIMPARK posiada wiele dodatkowych założeń, m.in.:

- wprowadzono założenia dotyczące charakterystyki pojazdów (wymiar, rodzaj zasilania, itp. – te informacje są następnie wykorzystywane przykładowo przy modelowaniu wyboru konkretnego miejsca postojowego (na parking podziemny wjechać mogą tylko samochody o odpowiednich gabarytach, samochód elektryczny ma możliwość zaparkowania na dedykowanym miejscu postojowym, itp.),
- uszczegółowiono reguły i przepisy prawne obowiązujące na parkingach i w strefach postojowych przy ulicy,
- wprowadzono kilka strategii wyboru trasy i miejsca postojowego.

Spośród wszystkich modeli parkowania, modele oparte na metodzie modelowania agentowego wymagają najszerzej bazy danych o populacji oraz bardzo szczegółowych danych o popycie i podaży parkingowej. Pomimo tego, modele te wydają się być jednak najbardziej szczegółowymi i dokładnymi modelami procesów związanych z parkowaniem. Dzięki szerokiemu zakresowi danych wejściowych, pozwalają na łatwą adaptację symulowanej sytuacji, a ze względu na formę gotowego oprogramowania – są, po odpowiednim przeszkoleniu, stosunkowo łatwe w obsłudze.

2.5.2.2. Modele kolejkowe

Wśród wymienionych i opisanych w rozdziale 2.5.2 podejść do modelowania parkowania zawartych w literaturze, nie zidentyfikowano klasyfikacji, która jako osobny element wyróżniłaby wykorzystanie do analizowania funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej *teorii masowej obsługi* (tzw. *modeli kolejkowych*). Została ona zauważona przez autorów innych publikacji, jako metoda możliwa do wykorzystania w modelowaniu procesów parkowania (m.in. [41], [103], [173]). Modele parkowania oparte o tę teorię można zaklasyfikować do grupy modeli efektywności lub modeli symulacyjnych, które często łączą różne metody modelowania (Tab. 2.9).

Modele kolejkowe pozwalają scharakteryzować przestrzeń parkingową w sposób matematyczny, poprzez wyznaczenie parametrów funkcjonowania tej przestrzeni w kontekście obsługi napływających zgłoszeń – pojazdów (kierowców) wyrażających konieczność zaparkowania. Metoda ta jest wykorzystywana najczęściej do analiz funkcjonowania parkingów wydzielonych, ale również obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym, uwzględniając (w różnych wariantach) także proces poszukiwania

miejsca do zaparkowania (*search traffic*), jednak liczba publikacji prezentujących wyniki tych analiz jest stosunkowo niewielka – zwłaszcza analiz opierających się na wynikach badań empirycznych.

Ze względu na zauważone zalety tej metody, w pracy podjęto próbę jej wykorzystania do oszacowania efektywności parkingowej wybranych obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym. Szczegółowy opis przyjętej metodyki oraz założeń umieszczono w rozdziale 4.

2.6. Badania i modelowanie *search traffic* w literaturze – podsumowanie rozdziału 2

Zaprezentowany przegląd podejść do badania i modelowania parkowania, a w tym także ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego dla samochodu, zwraca uwagę swoim zróżnicowaniem. W zależności od podjętego sposobu prowadzenia analizy, jej zasięgu terytorialnego, stopnia uogólnienia i generalnego kierunku formułowanych na jej podstawie wniosków, możliwy jest dobór – w pierwszej kolejności metody badania ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca do zaparkowania, a następnie analizy uzyskanych wyników i budowy odpowiedniego modelu, który będzie można wykorzystywać w praktyce.

W odniesieniu do metod badawczych – ich dobór do konkretnego przypadku powinien być poprzedzony szczegółową analizą możliwości ich zastosowania w określonym zakresie i wyznaczonym celu badania (uwzględniając ich słabe i mocne strony, akceptując pewne wady i uogólnienia).

Skupiając uwagę na samym aspekcie modelowania zagadnienia, zwrócono uwagę na kwestie, które mogą znacząco ograniczać zastosowanie opisanych w tym rozdziale modeli w praktyce:

1. Model sam w sobie, z założenia, jest pewnym odwzorowaniem rzeczywistości, z przyjętym stopniem dokładności – dlatego z góry przyzwala się na stosowanie w nim pewnych uproszczeń [67], [68]. Należy jednak zwrócić uwagę, że zastosowanie modeli całkowicie wykluczających wpływ czynników ludzkich (modeli zakładających racjonalność podejmowanych decyzji, znajomość prawa, kosztów, itp.) powoduje nie do końca poprawne odwzorowanie przebiegu pewnych procesów – zwłaszcza procesów odbywających się w tak zróżnicowanych pod względem funkcjonalnym i przestrzennym obszarach, jak centra miast.
2. Z drugiej strony, modele o dużym stopniu dokładności wymagają bardzo dużej bazy danych wejściowych, jak np.: informacje o infrastrukturze drogowej i parkingowej danego obszaru miasta – włącznie z jej parametrami geometrycznymi i technicznymi, szczegółowa charakterystyka pojazdów (ich wymiary, sposób zasilania), behawioralne reguły zachowań kierowców, informacje o natężeniach ruchu w sieci drogowo – ulicznej, zagospodarowaniu przestrzennym analizowanych obszarów i wielu innych danych, których pozyskanie generuje dodatkowo, najczęściej bardzo duży koszt dla potencjalnych użytkowników.
3. Sama budowa zaawansowanego modelu, który będzie adekwatny dla danego miasta czy obszaru jest czasochłonna i skomplikowana pod względem organizacyjnym, ale przede wszystkim metodycznym i merytorycznym.
4. Zastosowanie zaawansowanego modelu parkowania lub nawet uproszczonych praw na których należałoby opierać decyzje ingerujące w politykę parkingową miasta – jeśli mają one skomplikowany charakter obliczeniowy lub nawet symulacyjny – jest trudne do praktycznego zastosowania w warunkach operacyjnych. Wymaga zatrudnienia kadry odpowiednio przeszkolonej matematycznie lub w danym środowisku informatycznym albo regularnego prowadzenia szkoleń w tym zakresie.

Najbardziej użyteczne w praktyce (w kierowaniu systemem parkingowym miasta z poziomu lokalnego Zarządcy) i najbliższe celom pracy byłoby wykorzystanie symulacyjnego modelu, który w szczegółowo odzwierciedlonej sieci ulicznej danego obszaru miasta analizuje zachowania kierowców, wyznaczając równolegle parametry parkowania i ruchu generowanego poszukiwaniem miejsca do postoju (jak m.in. opisywany model PARKAGENT). Rodzi to jednak trudności opisane w punktach 2, 3 i 4.

Spośród wymienionych ograniczeń funkcjonalności stosowanych i prezentowanych w literaturze modeli uwzględniających proces poszukiwania wolnego miejsca parkingowego, za najważniejsze uznano – wymienione jako ostatnie – ograniczenie wynikające z dużego stopnia trudności wykorzystania skomplikowanych matematycznie formuł. Dodatkowym ograniczeniem jest także duży koszt badań, których celem jest zapewnienie bazy danych wejściowych do modelu oraz – w przypadku modeli symulacyjnych – koszt oprogramowania.

Z tego względu, należy poszukiwać zależności, które w dostateczny sposób odzwierciedlają rzeczywiste zachowania komunikacyjne kierowców i warunki przestrzenne, a przy tym nie sprawiają trudności w swoim praktycznym zastosowaniu. Istotnym jest również, aby – w miarę możliwości – opierały się na bazie informacji już posiadanych przez jednostki administracyjne⁶ pełniące funkcję Zarządcy przestrzeni parkingowych w miastach.

⁶ uzupełnione ewentualnie o lokalne pomiary parkowania, ruchu generowanego poszukiwaniem miejsca parkingowego, czy ankiety z użytkownikami stref płatnego parkowania

3. Identyfikacja ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w warunkach polskich – badania własne

Ze względu na brak badań nad ruchem generowanym przez poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego w warunkach polskich, przygotowano i przeprowadzono kilkietapowe własne badania terenowe, mające na celu:

- 1) potwierdzenie występowania ruchu związanego wyłącznie z poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego, poprzez badania ankietowe wśród kierowców – stwierdzenie zasadności prowadzenia dalszych badań w tym zakresie,
- 2) oszacowanie procentowego udziału ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego w ruchu ogólnym w rzeczywistym obszarze, poprzez bezpośrednią analizę ruchu – stwierdzenie wielkości tego ruchu w warunkach rzeczywistych,
- 3) równoległe ustalenie charakterystyk parkowania w celu określenia sytuacji parkingowej analizowanych obszarów,
- 4) na ich podstawie – ustalenie zależności, pomiędzy badanymi aspektami, a w szczególności pomiędzy parametrami charakteryzującymi sytuację parkingową danego obszaru, a wielkością ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego w tym obszarze,
- 5) zestawienie możliwych czynników, które decydują o tym, że dany kierowca będzie w danym obszarze realizował przemieszczenia w poszukiwaniu miejsca do zaparkowania samochodu – poprzez badania ankietowe wśród kierowców.

Spośród możliwych do wykorzystania metod pomiarowych, które można wykorzystać do badań tego rodzaju (opisanych w rozdziale 2.5.1), wybrano badanie ankietowe, jako metodę pozwalającą na uzyskanie informacji bezpośrednio od kierowcy przemieszczającego się w sieci ulicznej badanego obszaru oraz analizę ruchu z wykorzystaniem kamer wideo – do zewnętrznej, niezależnej obserwacji ruchu i parkowania na ulicach wybranych poligonów.

Aby zrealizować wymienione cele badania, prace badawcze podzielono na trzy etapy:

- 1) Etap wstępnej weryfikacji zjawiska – pilotażowe badania ankietowe.
- 2) Etap pilotażowy pomiarów terenowych – I seria badania:
 - weryfikacja ścieżek ruchu pojazdów,
 - oszacowanie charakterystyk parkowania w obszarze.
- 3) Etap weryfikacji uzyskanych wyników wstępnych – II seria badania + badanie w innym poligonie:
 - weryfikacja ścieżek ruchu pojazdów,
 - oszacowanie charakterystyk parkowania w obszarze.

3.1. Dobór poligonu badawczego

Projekt obejmował 3-etapowe badanie, na które złożyły się pilotażowe badanie ankietowe oraz dwie serie badania ruchu. W pierwszej kolejności badania terenowe przeprowadzono w Krakowie. Pierwszą serię pomiaru ruchu wykonano w październiku 2016, natomiast drugą, kontrolną serię przeprowadzono w kwietniu 2017 roku. Następnie w maju 2019 roku, celem konfrontacji otrzymanych w Krakowie wyników, w ramach II serii analogiczne badania terenowe przeprowadzono we Wrocławiu.

W obu miastach, do badania wybrano obszary o podobnym zagospodarowaniu i funkcji zabudowy, podobnej odległości od ścisłego centrum miasta i głównego punktu komunikacyjnego, jakim jest główny dworzec kolejowy oraz podobnym układzie ulic i zbliżonej liczbie miejsc postojowych. Ze względu na to, że dobrana metodyka badania ruchu (wykorzystująca rejestrację ruchu kamerami wideo) jest metodą wymagającą pod względem organizacyjnym i trudną pod względem operacyjnym – zasięg poligonu badawczego obejmował w obu miastach szerszy kwartał ulic – w nim przeprowadzono pilotażowe badania ankietowe, natomiast sam pomiar ruchu ograniczono do jednego odcinka wybranej ulicy. Szczegółową lokalizację i zakres terytorialny każdego poligonu badawczego dobrano, przyjmując następujące kryteria:

1. obszar znajdujący się w śródmiejskim obszarze dużego miasta,
2. obszar o dużym deficycie miejsc postojowych – z założenia – objęty strefą płatnego parkowania,
3. ulice z dopuszczonym parkowaniem przykrawężnikowym – bezpośrednio na jezdni – wyznaczone oznakowaniem poziomym lub w zatoce,
4. ulice, na których występuje ruch tranzytowy, względem danego obszaru – tak, aby wykluczyć sytuację, w której udział ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego będzie wynosił 100%.

W tabeli (Tab. 3.1), zestawiono szczegółową charakterystykę obu wyznaczonych poligonów badawczych – stan na dzień wykonywania badań.

Szczegółowe informacje dotyczące zakresu terytorialnego oraz zasad funkcjonowania strefy płatnego parkowania w Krakowie, w której obszarze znajduje się główny poligon badawczy realizowanego badania opisano w rozdziale 1.3.

Tab. 3.1. Szczegółowa charakterystyka poligonów badawczych

Miasto	Liczba miejsc postojowych w obszarze	Odległość od ścisłego centrum	Odległość od Dworca Głównego	Podstrefa SPP	Opłaty w SPP	Okres obowiązywania SPP
Kraków	100	1300m	600m	P1	Stawki jednolite w całej SPP: pierwsza godz.: 3,00 zł druga godz.: 3,50 zł trzecia godz.: 4,10 zł czwarta i kolejne godz.: 3,00 zł	dni robocze 10:00 - 20:00
Wrocław	66	1000m	900m	C (VIII)	Stawki zróżnicowane, w podstrefie C: pierwsza godz.: 2,00 zł, ze zróżnicowaniem opłaty ze względu na czas postoju: za pierwsze rozpoczęte 20 minut postoju: 0,50 zł * za drugie rozpoczęte 20 minut postoju: 0,50 zł * za trzecie rozpoczęte 20 minut postoju: 1,00 zł * druga godz.: 2,10 zł * trzecia godz.: 2,20 zł * czwarta i każda następna godz.: 2,00 zł	dni robocze 9:00 – 18:00

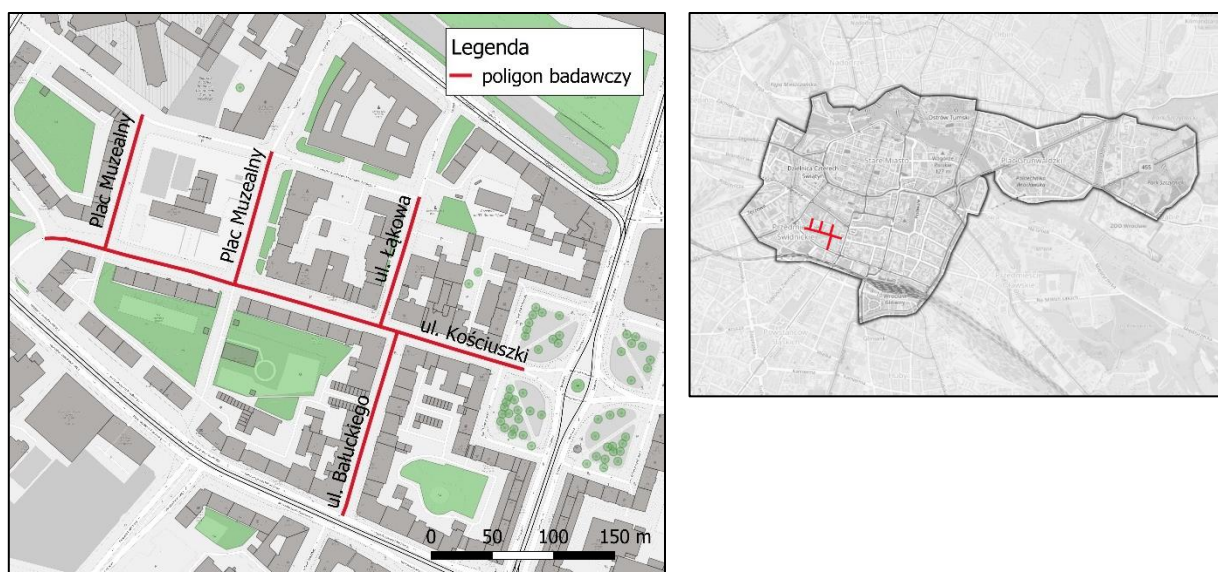
Źródło: opracowanie własne

Na rysunkach (Rys. 3.1 i Rys. 3.2) przedstawiono zakresy terytorialne poligonów w obu miastach.



Rys. 3.1. Poligon badania search traffic w Krakowie (po lewej widok szczegółowy, po prawej na tle obszaru SPP)

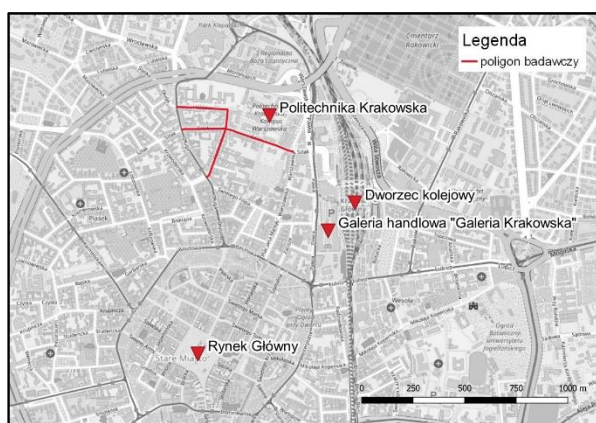
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap



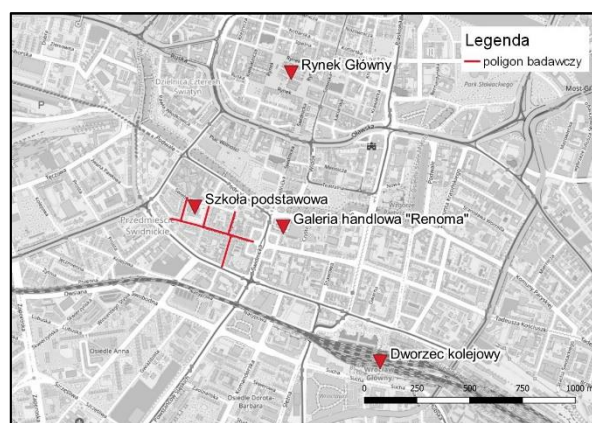
Rys. 3.2. Poligon badania *search traffic* we Wrocławiu (po lewej widok szczegółowy, po prawej na tle obszaru SPP)
 Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

W Krakowie, badanie zostało przeprowadzone w rejonie ul. Szlak oraz ulic: Warszawskiej, Pędzichów i Helclów. Całość obszaru znajduje się w centralnej części miasta (około 1300m od *Rynku Głównego*) i w dniu roboczym obowiązywała tam strefa płatnego parkowania, funkcjonująca na zasadach obowiązujących przed wprowadzeniem śródmiejskiej strefy płatnego parkowania [177], (Strefa P1). Obszar charakteryzuje się zróżnicowaną funkcją zabudowy – w najbliższej okolicy znajduje się duża liczba niewielkich obiektów usługowo – handlowych oraz niska, wielorodzinna zabudowa mieszkaniowa. Istotnymi generatorami ruchu w analizowanym obszarze są: główny kampus Politechniki Krakowskiej (zlokalizowany bezpośrednio przy ulicy Szlak) oraz kompleks – centrum handlowe *Galeria Krakowska* wraz z głównym dworcem kolejowym i autobusowym (w odległości ok. 600m) – Rys. 3.3.

We Wrocławiu badanie przeprowadzono w obszarze ulicy Kościuszki oraz ulic: Bałuckiego, Łąkowej i Placu Muzealnego. Obszar ten jest zlokalizowany w śródmieściu (około 1000m od *Rynku*) i charakteryzuje go niska zabudowa o zróżnicowanej funkcji – zabudowa mieszkaniowa, budynki usługowo – handlowe oraz Zespół Szkolno – Przedszkolny nr 13. W odległości około 400m znajduje się centrum handlowe *Renoma*, a w odległości 900m – główny dworzec kolejowy i dworzec autobusowy – Rys. 3.4.



Rys. 3.3. Otoczenie poligonu badawczego w Krakowie
 Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap



Rys. 3.4. Otoczenie poligonu badawczego we Wrocławiu
 Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

3.2. Badania ankietowe dotyczące *search traffic*

W obu lokalizacjach, przed rozpoczęciem właściwych badań ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*) przeprowadzono badania ankietowe – potraktowano je, jako badanie wstępne – pilotażowe. Ich podstawowym celem było potwierdzenie występowania ruchu związanego wyłącznie z poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego w analizowanych obszarach, by uzyskać podstawę zasadności prowadzenia dalszych badań i analiz danych. Respondentów zapytano o ich zachowania komunikacyjne związane z parkowaniem, aby ustalić jak duży ich udział krąży w poszukiwaniu miejsca, jak często ma miejsce taka sytuacja oraz jak długi czas na to poświęcają.

3.2.1. Metodyka badania ankietowego

Badanie ankietowe przeprowadzono wśród kierowców parkujących pojazdy na miejscach postojowych przy ulicach wybranych poligonów, w okresie obowiązywania opłat za parkowanie pojazdów, tj.: w Krakowie w dniu roboczym od godz. 10:00 do godz. 20:00 i we Wrocławiu w dniu roboczym między godzinami 9:00 i 18:00.

W obu poligonach przeprowadzono łącznie po 150 wywiadów z wybranymi losowo kierowcami. Przy takiej liczebności, zgodnie z [63], wg równania (10) – błąd oszacowania wyników ankiety nie przekracza 8%.

$$b = \sqrt{\frac{u_{\alpha}^2}{4n}} \quad (10)$$

gdzie:

- b – błąd oszacowania.
- n – wielkość próby,
- u_{α}^2 – współczynnik ufności z rozkładu normalnego standaryzowanego, przy dobranym poziomie ufności $1 - \alpha$ równym 0,95,

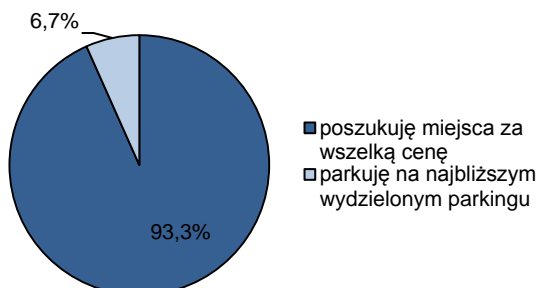
Ankieta zawierała 9 pytań dotyczących bieżącej podróży (motywacja, źródło i cel podróży, stracony czas oraz trasa pokonana w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego) oraz zwyczajów ankietowanego związanych z parkowaniem pojazdu w podróży do śródmieścia (najczęstsze zachowanie w sytuacji, gdy u celu nie ma wolnego miejsca do zaparkowania samochodu, maksymalny akceptowalny czas dojścia z samochodu do ostatecznego celu podróży, czy częstość występowania sytuacji, w której ankietowany jest zmuszony do poszukiwania wolnego miejsca postojowego z powodu braku wolnych stanowisk w ww. obszarze) – wzór ankiety wykorzystanej do badania dołączono, jako Załącznik nr 1. W obu lokalizacjach, w ramach ankiety zadawano dokładnie te same pytania.

Na podstawie wyników przeprowadzonego ankietowania ustalono, że w zdefiniowanych poligonach badawczych występuje zjawisko *krążenia* pojazdów, których kierowcy poszukują wolnego miejsca do zaparkowania. Jako *krążenie* – na potrzeby późniejszych badań – zdefiniowano **przejazd, który ma na celu znalezienie wolnego miejsca do zaparkowania, podczas którego samochód pojawia się na konkretnej ulicy więcej niż jeden raz**. Do kategorii zakwalifikowano więc dwa przypadki: **kilkukrotny przejazd samochodu wybraną ulicą oraz kilkukrotny przejazd kilku ulic w wybranej przez siebie sekwencji, przy czym, na przynajmniej jednej z nich samochód pojawił się więcej niż jeden raz (pętla)**. Przejazdy musiały odbyć się w krótkim (do 5 minut) odstępie czasu.

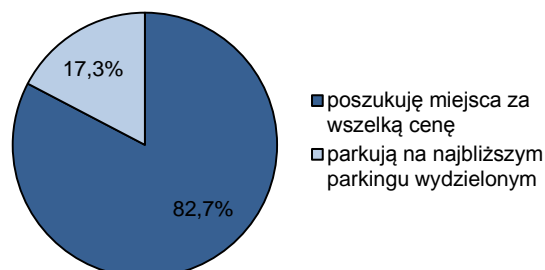
3.2.2. Szczegółowe wyniki badania ankietowego

Wśród 150 ankietowanych osób – w Krakowie, 59 zadeklarowało swój ostatni przejazd, jako kwalifikujący się do ww. kategorii *krążących* pojazdów (u_{dsz}), co stanowi 39,3% wszystkich ankietowanych. Dodatkowo, 93,3 % wszystkich zapytanych osób stwierdziło, że w sytuacji, gdy u celu podróży nie ma wolnego miejsca postojowego, poszukuje miejsca w pobliżu celu *za wszelką cenę*, czyli

krąży w oczekiwaniu na zwolnienie stanowiska lub parkuje na najbliższym wolnym miejscu przy sąsiedniej ulicy, natomiast tylko 6,7% ankietowanych szuka miejsca na pobliskim wydzielonym parkingu (Rys. 3.5). We Wrocławiu, wśród wszystkich ankietowanych kierowców, 82,7% osób stwierdziło, że w sytuacji deficytu miejsc postojowych poszukuje miejsca w pobliżu celu *za wszelką cenę*, co oznacza, że *krąży* w poszukiwaniu wolnego miejsca w okolicznej sieci ulicznej. Więcej niż w Krakowie, bo 17,3% ankietowanych zadeklarowało, że w takiej sytuacji udaje się na parking wydzielony (Rys. 3.6).

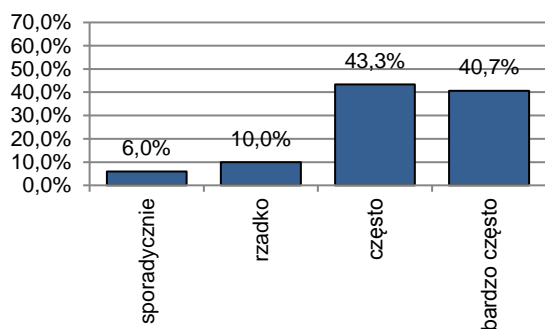


Rys. 3.5. Zachowania komunikacyjne dotyczące parkowania | badanie pilotażowe, Kraków
Źródło: opracowanie własne

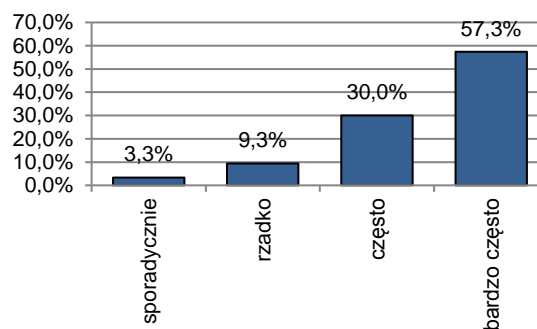


Rys. 3.6. Zachowania komunikacyjne dotyczące parkowania | badanie pilotażowe, Wrocław
Źródło: opracowanie własne

Kierowców zapytano również o to, jak często ma miejsce sytuacja, w której zmuszeni są do poszukiwania miejsca postojowego w analizowanym obszarze (ze względu na brak wolnych miejsc w bezpośrednim sąsiedztwie celu podróży) – w Krakowie 84,0% ankietowanych osób zadeklarowało, że do poszukiwania miejsca postojowego zmuszeni są *często* lub *bardzo często*, we Wrocławiu natomiast – 87,3% ankietowanych wskazało te odpowiedzi. Udział poszukujących miejsca (u_{dsz}) jest więc zbliżony w obu miastach, jednak uwagę zwraca duża przewaga odpowiedzi *bardzo często* w strukturze odpowiedzi na to pytanie uzyskanych we Wrocławiu (Rys. 3.7 i Rys. 3.8).



Rys. 3.7. Deklaracja poszukiwania miejsca postojowego | badanie pilotażowe, Kraków
Źródło: opracowanie własne



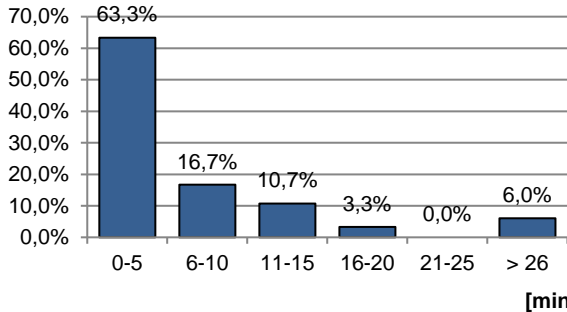
Rys. 3.8. Deklaracja poszukiwania miejsca postojowego | badanie pilotażowe, Wrocław
Źródło: opracowanie własne

Najważniejszy dla kierowców, negatywny skutek dużego udziału pojazdów *krążących* w ruchu ogólnym to straty czasu. Przeprowadzone badanie ankietowe pozwoliło na określenie charakterystyk, takich jak m.in.:

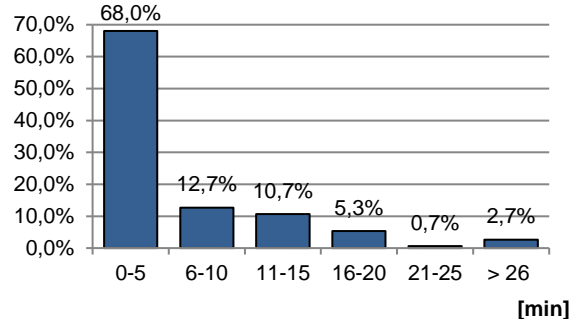
- czas spędzony na poszukiwaniu miejsca parkingowego – określany w kolejnych rozdziałach jako t_{dsz} , oraz
- maksymalny akceptowany czas dojścia do celu podróży w sytuacji, gdy nie ma wolnego miejsca postojowego bezpośrednio u jej celu – określany w kolejnych rozdziałach jako t_{ad} .

Średnia strata czasu generowana poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w analizowanym obszarze (t_{dsz}) wyniosła w okresie badania w Krakowie 7,8 minuty, przy czym maksymalna zadeklarowana długość poszukiwania miejsca do zaparkowania to 60 minut, a najczęściej podawane

wartości należały do przedziału od 0 do 5 minut (63,3% wszystkich odpowiedzi). Czas tracony na poszukiwanie miejsca, przypadający średnio na jeden pojazd (t_{dsz}) we Wrocławiu wyniósł z kolei 6,4 minuty, przy czym najwyższą podaną przez ankietowanego kierowcę wartość to 30 minut. Najczęściej podawane wartości, podobnie jak w przypadku Krakowa, należały do przedziału od 0 do 5 minut, co stanowiło dokładnie 68% wszystkich odpowiedzi – Rys. 3.9 i Rys. 3.10.

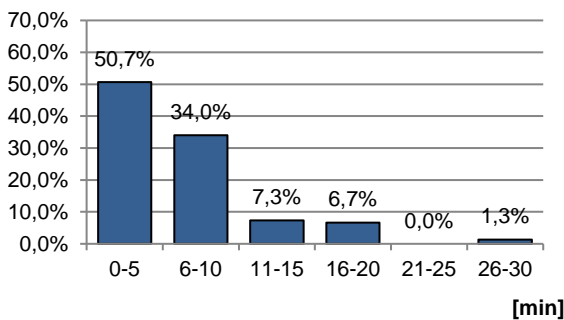


Rys. 3.9. Czas poszukiwania miejsca postojowego | badanie pilotażowe, Kraków
Źródło: opracowanie własne

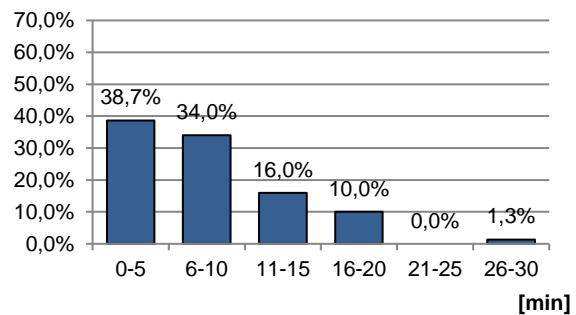


Rys. 3.10. Czas poszukiwania miejsca postojowego | badanie pilotażowe, Wrocław
Źródło: opracowanie własne

Odpowiedź na pytanie, jak daleko ankietowani są skłonni zaparkować samochód w sytuacji, gdy u celu nie ma wolnego miejsca postojowego podawano w minutach (czas dojścia do ostatecznego celu podróży). Na tej podstawie oszacowano średni akceptowalny czas dojścia do ostatecznego celu podróży (t_{ad}), który w Krakowie wyniósł 8,2 minuty, przy czym ponad połowa (50,7%) ankietowanych, za akceptowalny czas dojścia do celu podróży uznała czas z przedziału od 0 do 5 minut. Średni akceptowalny czas dojścia do ostatecznego celu podróży (t_{ad}), w przypadku ankietowanych we Wrocławiu, wyniósł natomiast 9,8 minuty, przy czym po około 1/3 ankietowanych zadeklarowało czas z przedziału do 5 minut oraz od 6 do 10 minut (Rys. 3.11 i Rys. 3.12).



Rys. 3.11. Maksymalny akceptowany czas dojścia z samochodu do ostatecznego celu podróży | badanie pilotażowe, Kraków
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.12. Maksymalny akceptowany czas dojścia z samochodu do ostatecznego celu podróży | badanie pilotażowe, Wrocław
Źródło: opracowanie własne

Respondenci ankietowani w badaniu przeprowadzonym w Krakowie to w większości osoby w wieku od 25 do 34 lat (31,3% ankietowanych) i od 35 do 49 lat (33,3%). Mniejszy odsetek stanowiły osoby młode, z grupy wiekowej pomiędzy 18 a 24 rokiem życia (17,3% ankietowanych) oraz osoby z grupy od 50 do 55 lat (13,3%). Najmniejszą grupę stanowiły osoby starsze niż 65 lat (4,7%). W grupie ankietowanych znaleźli się głównie kierowcy, których motywacją podróży związana była z *załatwieniem różnego rodzaju spraw* (42,7% ankietowanych), *nauką* (15,3%) lub *pracą* (20,7%). Tylko niewielka ich liczba (6,0%) przyjechała w celu związanym z *rozrywką* lub *zakupami* (2,0%). 13,3% ankietowanych zadeklarowało, że ich podróż związana była z *dojazdem do miejsca swojego zamieszkania*. Struktura wiekowa kierowców ankietowanych we Wrocławiu była zbliżona do struktury wiekowej ankietowanych

w Krakowie. Większość badanych, stanowiły osoby w wieku od 25 do 34 lat (31,3% ankietowanych) i od 35 do 49 lat (33,3%). Mniejszy odsetek stanowiły osoby z grupy wiekowej pomiędzy 18 a 24 rokiem życia (12,7% ankietowanych) i nieco większy osoby z grupy od 50 do 65 lat (20,0%). Bardzo małą grupę stanowiły osoby starsze niż 65 lat (2,7%). Struktura motywacji podróży ankietowanych we Wrocławiu również kształtowała się podobnie, jak w Krakowie. Kierowcy odbywający podróże w motywacji związanej z *załatwianiem różnego rodzaju spraw* stanowili największą grupę ankietowanych (49,3%), ale już na drugim miejscu, w przeciwieństwie do Krakowa, uplasowała się grupa kierowców podróżujących w celach związanych z *pracą* (19,3%) i *zakupami* (14,7%) oraz *rozrywką* (10,7%). Tylko 0,7% ankietowanych kierowców odbywało podróż w motywacji *nauka*, a 5,3% stanowili mieszkańcy analizowanego obszaru.

3.2.3. Zestawienie najważniejszych wyników i wnioski z przeprowadzonych badań pilotażowych (ankietowych)

W tabeli (Tab. 3.2) zestawiono najważniejsze wyniki badań pilotażowych przeprowadzonych w obu wyznaczonych poligonach.

Tab. 3.2. Zestawienie najważniejszych wyników badań pilotażowych

	Kraków	Wrocław
Gdy u celu podróży nie ma wolnego miejsca parkingowego:	Poszukuję miejsca za wszelką cenę – krążę w okolicy (t_{dsz}): 93,3% Parkuję na najbliższym parkingu wydzielonym: 6,7%	Poszukuję miejsca za wszelką cenę – krążę w okolicy (t_{dsz}): 82,7% Parkuję na najbliższym parkingu wydzielonym: 17,3%
Deklarowany czas poszukiwania miejsca parkingowego w bieżącej podróży (t_{dsz}):	średnia = 7,8 min odch. stand. = 9,5 min	średnia = 6,4 min odch. stand. = 7,1 min
Maksymalny akceptowalny czas dojścia pieszego (t_{ad})	średnia = 8,2 min odch. stand. = 5,5 min	średnia = 9,8 min odch. stand. = 5,8 min

Źródło: opracowanie własne

Wyniki wskazują wyraźnie, że w obu poligonach występuje problem deficytu miejsc parkingowych. Ankietowani kierowcy przyznali, że *często* lub *bardzo często* zmuszeni są do poszukiwania wolnego miejsca przez określony czas. Bardzo mały ich udział, zarówno w Krakowie, jak i we Wrocławiu, decyduje się na pozostawienie samochodu na parkingu wydzielonym.

Maksymalny akceptowalny czas dojścia (t_{ad}) deklarowany przez respondentów jest stosunkowo długi, bo wynosi trochę ponad 8 minut w Krakowie i prawie 10 minut we Wrocławiu. Świadczy to o dosyć dużej akceptacji trudności wynikających z faktu realizowania podróży do śródmieścia własnym samochodem, obserwowanej w obu miastach.

Ze względu na to, że długość czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (t_{dsz}) deklarowana przez kierowców jest parametrem bardzo istotnym z punktu widzenia prowadzonych analiz, przeprowadzono test dla dwóch średnich aby sprawdzić, czy odpowiedzi pochodzące od ankietowanych zarówno w Krakowie, jak i we Wrocławiu istotnie różnią się od siebie, czy też nie. Przed przystąpieniem do tej analizy, przy pomocy programu *Statgraphics* [146], sprawdzono zgodność tych zmiennych z rozkładem normalnym. Przyjęto następujące hipotezy:

- H_0 – rozkład średniego czasu traconego na poszukiwanie miejsca parkingowego (t_{dsz}) jest rozkładem normalnym,
- H_1 – rozkład średniego czasu traconego na poszukiwanie miejsca parkingowego (t_{dsz}) nie jest rozkładem normalnym.

Wartość statystyki testu Shapiro – Wilka W wyznaczono wzorem (11) [40]:

$$W = \frac{[\sum_{i=1}^n a_i(n)(X_{n-i+1} - X_i)]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (11)$$

gdzie:

- n – wielkość próby,
- $a_i(n)$ – stabilizowane współczynniki Shapiro – Wilka,
- X_i – czas poszukiwania miejsca parkingowego (t_{dsz}).

Wyznaczone statystyki testu, zarówno dla danych pochodzących od ankietowanych w Krakowie, jak i we Wrocławiu z 95% prawdopodobieństwem wskazały, że zmienne *czas poszukiwania miejsca parkingowego* (t_{dsz}) w obu próbach mają rozkład, który nie jest zbliżony do rozkładu normalnego (Tab. 3.3). A dodatkowa analiza histogramów tych zmiennych wskazywałaby raczej na ich zgodność z rozkładem wykładniczym.

Tab. 3.3. Wyniki testu Shapiro – Wilka dla zmiennych *czas poszukiwania miejsca parkingowego* – pilotażowe badanie ankietowe

test Shapiro – Wilka			
Kraków		Wrocław	
W	$Pvalue$	W	$Pvalue$
0,70	< 0,00	0,79	< 0,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych pomiarów

Ze względu na to, do sprawdzenia czy pomiędzy danymi z ankiet prowadzonych w Krakowie i we Wrocławiu występują istotne statystycznie różnice, wykorzystano nieparametryczny test U Manna-Whitney'a (Wilcoxon), który porównuje mediany obu próbek danych [40]. Przyjęto następujące hipotezy:

- H_0 – próby pochodzą z jednej populacji,
- H_1 – próby pochodzą z różnych populacji.

Wartość statystyki testowej U wyznaczono wzorem (12):

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_2 + 1)}{2} - R_1 \quad (12)$$

gdzie:

- n_1, n_2 – liczebności poszczególnych prób danych,
- R_1 – suma rang przypisanych do wartości pierwszej próby.

Dane uzyskane w wyniku tej analizy przedstawiono w tabeli (Tab. 3.4).

Tab. 3.4. Wyniki testu U Manna-Whitney'a dla zmiennych *czas poszukiwania miejsca parkingowego* – pilotażowe badanie ankietowe

testu U Manna-Whitney'a	
U	$Pvalue$
10209	0,162

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych pomiarów

Wyniki testu wskazują, że średnie wartości czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (t_{dsz}) uzyskane z obu serii badania ankietowego pochodzą z jednej populacji ($pvalue > 0,05$), co należy interpretować, jako że nie ma pomiędzy nimi istotnych statystycznie różnic (na poziomie istotności równym $\alpha = 0,05$). Średni czas tracony na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (t_{dsz}) można oszacować na 7,1 minuty z odchyleniem standardowym równym 8,4 min. Należy jednak zwrócić uwagę, że zarówno dane analizowane osobno, jak również traktowane jako

próba pochodząca z jednej populacji charakteryzują się bardzo dużą zmiennością – współczynnik zmienności wartości deklarowanego przez kierowców czasu poszukiwania miejsca parkingowego przekracza 100%.

Bazując na uzyskanych wynikach wywiadów ankietowych, zaplanowano rozszerzenie badań dotyczących weryfikacji *krążących* pojazdów w analizowanych obszarach o wideorejestrację – badanie polegające na rejestracji filmowej pojazdów przejeżdżających przez wyznaczone przekroje ulic w celu weryfikacji ich ścieżek ruchu.

3.3. Badania ruchu i parkowania

Ponieważ pilotażowe badanie ankietowe wykazało, że duża część kierowców ma trudności ze znalezieniem wolnego miejsca parkingowego i z różnych powodów podejmuje poszukiwanie tego miejsca przemieszczając się ulicami obranych poligonów, zdecydowano o przeprowadzeniu szczegółowej analizy tych przemieszczeń. Na zdjęciach (Rys. 3.13) przedstawiono zestawy do zapisu wideo (kamera + rejestrator danych) wykorzystane podczas pomiaru w Krakowie i we Wrocławiu. Niżej (Rys. 3.14) przedstawiono widok z kamer zamontowanych do pomiaru ruchu i parkowania przy ul. Szlak w Krakowie.



Rys. 3.13. Zestawy kamerowe wykorzystane do pomiaru ruchu w Krakowie (z lewej) i we Wrocławiu (z prawej)
Źródło: fotografie własne



Rys. 3.14. Widok z kamer wykorzystanych do zapisu danych o pojazdach przemieszczających się w obszarze badania oraz parkujących w Krakowie
Źródło: fotografie własne

Badania w obu obszarach przeprowadzono w typowym dniu roboczym w godzinach: w Krakowie od 8:00 do 15:00 i we Wrocławiu od 8:00 do 14:00. Okres filmowania ruchu został podyktowany

możliwościami odczytu danych z zapisu wideo – przed godziną 8:00 i po godzinie 15:00, ze względu na warunki widoczności w porze jesiennej i wiosennej, numery rejestracyjne poszczególnych pojazdów, których odczyt był konieczny, były słabo widoczne. W porze letniej okres, w którym możliwy jest odczyt danych z materiału filmowego wydłuża się do około 14 godzin – od godziny 6:00 do godziny 20:00.

Aby rozpatrywać dane dotyczące *krążących* pojazdów również w kontekście sytuacji parkingowej w ww. obszarach przeprowadzono równoległe pomiar parkowania. W Krakowie, pomiar został zrealizowany z wykorzystaniem zapisu wideo. Kamery podzielono na dwie sekcje – sekcja pierwsza obejmowała grupę kamer, które rejestrowały wymianę pojazdów na miejscach postojowych przy ul. Szlak, natomiast sekcja druga to kamery rejestrujące (równoległe z rejestracją manewrów parkowania) pojazdy przejeżdżające przez wyznaczone przekroje ul. Szlak.

We Wrocławiu pomiar parkowania zrealizowano metodą patrolową, natomiast kamery wideo rejestrowały ruch pojazdów przemieszczających się do-, z- i wewnątrz wyznaczonego obszaru.

Pomiarem ruchu i parkowania objęto wybrane ulice, reprezentatywne z punktu widzenia charakteru danego poligonu: w przypadku badania prowadzonego w Krakowie, pomiar ruchu i parkowania przeprowadzono na ul. Szlak, natomiast we Wrocławiu na ul. Kościuszki (Rys. 3.15 i Rys. 3.16).



Rys. 3.15. Zawężony poligon badania *search traffic* w Krakowie
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

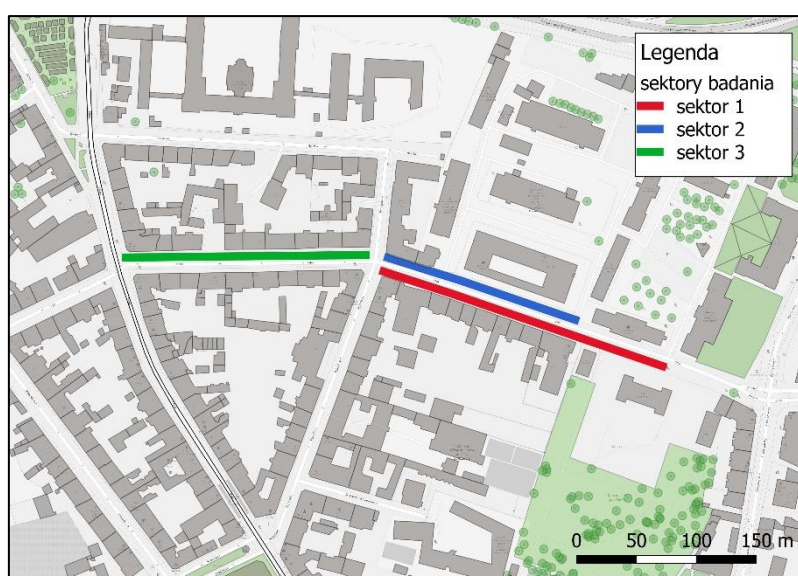


Rys. 3.16. Zawężony poligon badania *search traffic* we Wrocławiu
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

3.3.1. Metodyka badania parkowania – badanie z wykorzystaniem kamer wideo

W przypadku Krakowa, gdzie do badania parkowania wykorzystano zapis wideo, kamery sekcji pierwszej rejestrowały manewry wykonywane przez pojazdy parkujące na poszczególnych miejscach postojowych obszaru. Przy analizowanym odcinku ul. Szlak wyznaczonych było w tym okresie 100 miejsc postojowych (w tym 2 miejsca przeznaczone dla pojazdów prowadzonych przez osoby niepełnosprawne). Były to miejsca zlokalizowane w zatokach oraz bezpośrednio na jezdni – wyznaczone oznakowaniem poziomym.

Analizowany obszar został podzielony na 3 sektory (Rys. 3.17). Pierwszy sektor (czerwony) obejmował miejsca postojowe zlokalizowane przy lewej (patrząc od strony skrzyżowania z ulicą Warszawską) krawędzi, drugi sektor (niebieski) – miejsca zlokalizowane przy prawej krawędzi ulicy. Sektor trzeci (zielony) obejmował miejsca usytuowane na odcinku od skrzyżowania z ul. Pędzichów do skrzyżowania z ul. Długą. W każdym z 3 sektorów zainstalowano kamery, rejestrujące manewry wykonywane przez pojazdy parkujące na poszczególnych miejscach postojowych.



Rys. 3.17. Podział poligonu badania *search traffic* na sektory
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

Na podstawie uzyskanego materiału filmowego stworzono bazę danych, zawierającą informacje o wymianie pojazdów w czasie na poszczególnych stanowiskach postojowych z dokładnością do 1 min. Proces tworzenia bazy danych wymagał zaangażowania obserwatora, który na podstawie danych z zapisu wideo zakodował zarejestrowane procesy parkowania samochodów w arkuszu kalkulacyjnym (podobnie jak w arkuszu *metody patrolowej*, dla każdego miejsca parkingowego zapisywano dokładną godzinę wjazdu i wyjazdu pojazdu o konkretnym numerze rejestracyjnym).

Pomiar prowadzono równoległe do pomiaru ruchu, w typowym dniu roboczym w godzinach od 8:00 do 15:00. Jak wspomniano wcześniej, okres pomiaru został podyktowany warunkami widoczności w zapisie wideo – przed godziną 8:00 i po godzinie 15:00, ze względu na późny wschód i wczesny zachód słońca, jakość obrazu uniemożliwiała poprawny odczyt numerów tablic rejestracyjnych poszczególnych pojazdów.

3.3.2. Metodyka badania parkowania – badanie patrolowe

We Wrocławiu, ze względu na ograniczone możliwości wykorzystania kamer wideo, badanie parkowania zostało przeprowadzone tradycyjną *metodą patrolową*. Badanie *patrolowe* polega na przemieszczaniu się w ustalonej sekwencji ulicami wybranego poligonu i zapisywaniu w kolejnych

wierszach arkusza pomiarowego numerów rejestracyjnych samochodów zaparkowanych na kolejnych miejscach postojowych [56]. Formularz *patrolowego* pomiaru parkowania załączono, jako Załącznik 2.

Poligon badawczy wrocławskiego badania parkowania obejmował ulicę Kościuszki, na długości od Placu Kościuszki do Placu Muzealnego – w okresie pomiaru funkcjonowało tam łącznie 66 miejsc postojowych. Były to miejsca postojowe zlokalizowane w zatokach oraz bezpośrednio na jezdni – wyznaczone oznakowaniem poziomym.

3.3.3. Wyniki analizy danych, dotyczących parkowania w obszarze – Kraków (seria I)

Analizując uzyskane wyniki pomiarów przyjęto następujące założenia, wynikające z bieżącej sytuacji w poligonie badawczym:

- 1) Ze względu na ograniczenia dostępu, w obliczeniach nie uwzględniano miejsc przeznaczonych wyłącznie dla osób niepełnosprawnych (w obranym obszarze badania zinwentaryzowano 2 miejsca dedykowane osobom niepełnosprawnym).
- 2) Jako całkowitą liczbę dostępnych miejsc postojowych w obszarze objętym pomiarem, przyjęto 98 miejsc postojowych – jest to liczba pełnowymiarowych miejsc postojowych, wyznaczonych w ramach organizacji ruchu strefy płatnego parkowania – z wyłączeniem miejsc dla niepełnosprawnych (punkt 1).

Przyjmując te założenia, określono następujące miary wykorzystania powierzchni parkingowej obszaru [56]:

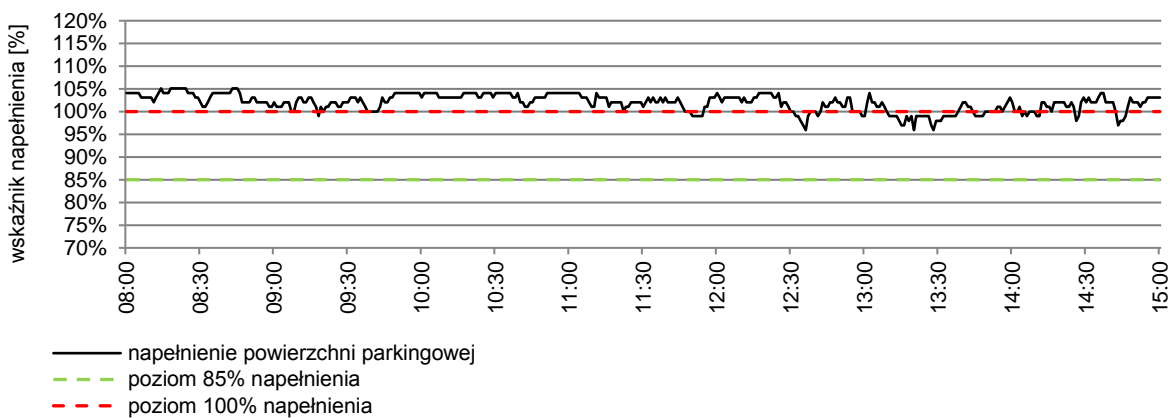
wskaźnik napełnienia powierzchni parkingowej w_p – który określa procentowy udział zajętych miejsc parkingowych, w liczbie wszystkich dostępnych miejsc poligonu:

$$w_p = \frac{p_p}{m_p} \cdot 100 [\%] \quad (13)$$

gdzie:

- p_p – liczba zaparkowanych pojazdów
- m_p – liczba dostępnych miejsc parkingowych poligonu

Wskaźnik napełnienia powierzchni parkingowej (w_p), w okresie objętym pomiarem, wahał się w granicach od 94% do 104% (Rys. 3.18).

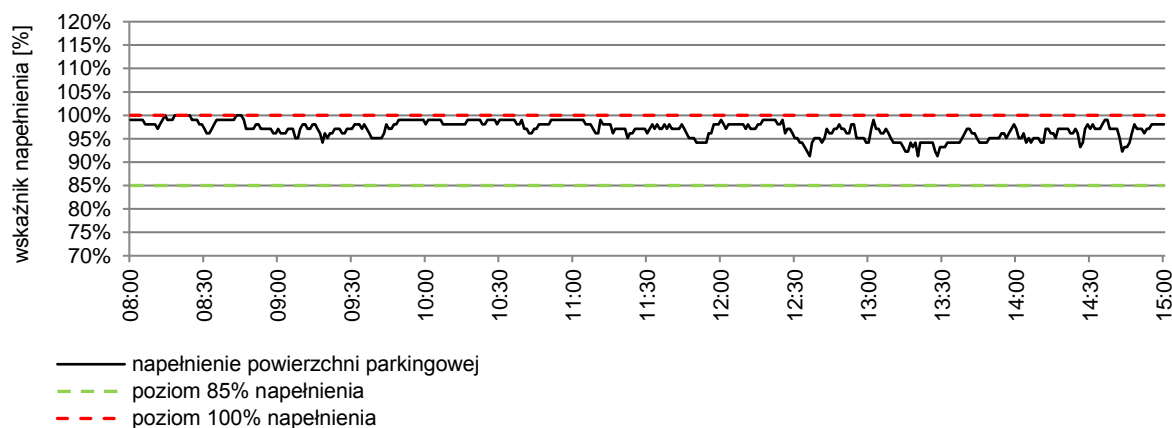


Rys. 3.18. Wskaźnik napełnienia powierzchni parkingowej obszaru w okresie pomiaru (8:00 – 15:00) | badanie *search traffic*, Kraków seria I
Źródło: opracowanie własne

Jak wskazuje wykres (Rys. 3.18), wskaźnik napelnienia powierzchni parkingowej niejednokrotnie przekroczył 100% – oznacza to, że w okresie pomiaru na wyznaczonej powierzchni parkingowej, przewidzianej na 98 pojazdów ($m_p = 98$), zinwentaryzowano (w okresie maksymalnego napelnienia powierzchni parkingowej) 103 zaparkowane pojazdy ($p_p = 103$) – nie wliczając pojazdów na miejscach przeznaczonych dla osób niepełnosprawnych – przy czym każdy z nich został zaparkowany zgodnie z obowiązującymi przepisami. Obserwacja zapisu wideo wskazała, że faktyczna pojemność powierzchni przewidzianej dla parkujących pojazdów zależy od układu pojazdów parkujących w okresie napelniania się powierzchni parkingowej (w godzinach porannych) oraz rozmiaru parkujących samochodów, który charakteryzuje duża losowość.

Wykres wskazuje także okres największego i najmniejszego wykorzystania powierzchni parkingowej obszaru. W analizowanym przypadku maksymalny poziom wykorzystania powierzchni utrzymywał się niemal przez cały okres pomiarowy – nieznaczny udział wolnych miejsc postojowych zaobserwowano w okresie od około 12:20 do około 13:40.

Literatura [15], [138] wskazuje, że optymalny wskaźnik napelnienia powierzchni parkingowej (w_p) w obszarze o podobnej funkcji wynosi 85% (poziom optymalnego wskaźnika oznaczono na wykresie zieloną przerywaną linią). Utrzymujący się poziom 85% wykorzystania powierzchni parkingowej wyznaczonego sektora, dla wielu zagranicznych miast jest wyznacznikiem dobrze funkcjonującego systemu parkowania przykrawężnikowego (oznaczający adekwatnie ustaloną stawkę za godzinę postojową). W przypadku parkowania przy ul. Szlak, ww. wskaźnik napelnienia powierzchni w całym okresie pomiaru znacznie przewyższał poziom 85%. Również w sytuacji, gdyby za 100% miejsc postojowych (m_p) przyjęto 103 stanowiska – zgodnie z zaobserwowanym napelnieniem obszaru – poziom wskaźnika (w_p) nie osiągnął poziomu niższego niż 85% w całym okresie analizy (Rys. 3.19).



Rys. 3.19. Wskaźnik napelnienia powierzchni parkingowej obszaru w okresie pomiaru (8:00 – 15:00) | badanie *search traffic*, Kraków seria I
Źródło: opracowanie własne

Zastosowanie wideorejestracji pozwoliło na zidentyfikowanie nieprawidłowego parkowania pojazdów – poza powierzchnią do tego celu przeznaczoną, tj. na powierzchni wyłączanej z ruchu pojazdów wyznaczonej oznakowaniem poziomym (P-21), na chodniku, w miejscach zarezerwowanych na wjazd lub wyjazd z posesji, itp. Zinwentaryzowano lokalizacje, w których pojazdy zaparkowano niezgodnie z przepisami:

- 6 miejsc zlokalizowanych w ramach powierzchni wyłączanej z ruchu pojazdów (3 w sektorze pierwszym i 3 w sektorze trzecim) – w okresie pomiaru, na różny okres czasu zaparkowało w tych miejscach łącznie 41 pojazdów,
- 4 miejsca zlokalizowane na chodniku (1 w sektorze pierwszym, 2 w sektorze drugim i 1 w sektorze trzecim) – w okresie pomiaru zaparkowało w tych miejscach łącznie 11 pojazdów, przy czym każdy z nich z zachowaniem wolnej przestrzeni dla pieszych na szerokości 1,5 m,

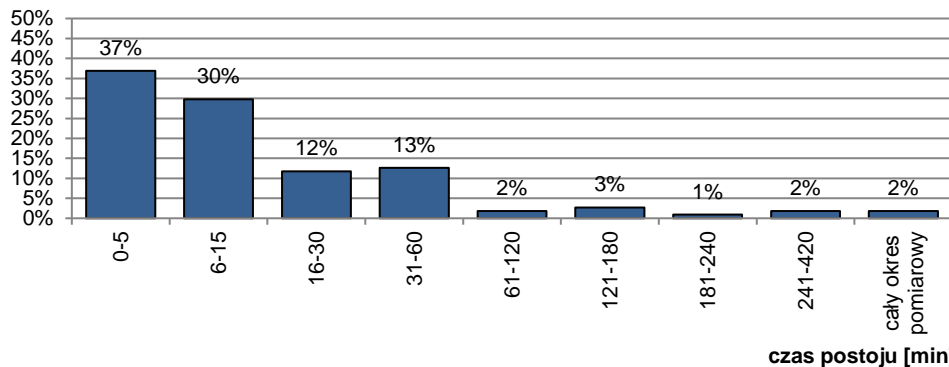
- 11 miejsc zlokalizowanych w obrębie wjazdów/wyjazdów z posesji, garażów, itp. – w okresie pomiaru zaparkowało w tych miejscach w sumie 59 pojazdów.

Na zdjęciach (Rys. 3.20) przedstawiono przykłady nieprawidłowego parkowania w obszarze objętym badaniem.



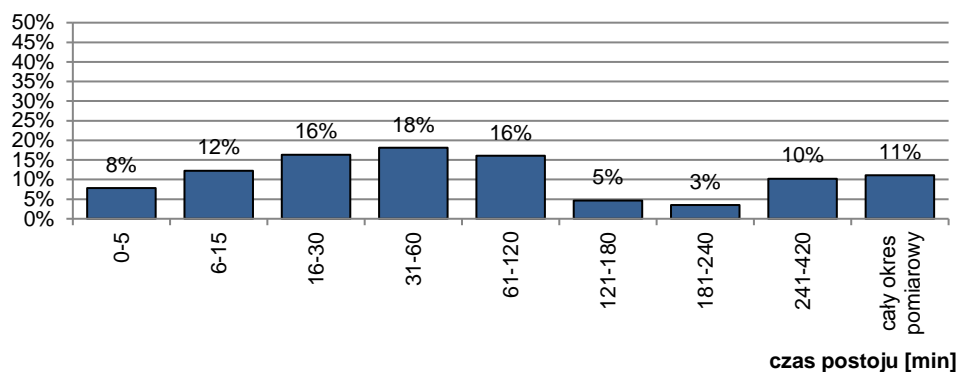
Rys. 3.20. Przykłady pojazdów zaparkowanych nieprawidłowo | badanie *search traffic*, Kraków seria I
Źródło: materiały własne

Łącznie, w miejscach zlokalizowanych poza powierzchnią przewidzianą dla postoju pojazdów zaparkowało w całym okresie pomiaru 111 samochodów, co stanowi około 32% wszystkich pojazdów zajmujących w okresie pomiaru wyznaczone stanowiska postojowe. Czas postoju (t_p) większości z tych pojazdów był stosunkowo krótki (37% samochodów pozostawionych na okres do 5 minut), w szczególności tych, które zaparkowano na powierzchni wyłączanej z ruchu oraz w obrębie wjazdu/wyjazdu z posesji. Czas postoju (t_p) analizowanej kategorii pojazdów wahał się w granicach od 2 do 421 minut. Na uwagę zasługuje informacja o tym, że w miejscach niewyznaczonych znalazły się samochody pozostawione na cały okres pomiarowy, tj. czas dłuższy niż 7 godzin – świadczy to o nieszczelności strefy płatnego parkowania. Średni czas postoju (t_p) w analizowanym przypadku wyniósł 32 minuty. Dalej przedstawiono histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych nieprawidłowo (Rys. 3.21).



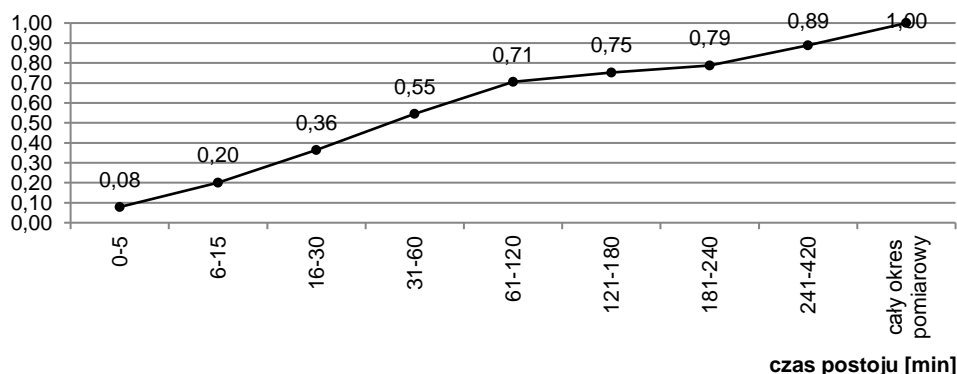
Rys. 3.21. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych w sposób nieprawidłowy | badanie *search traffic*, Kraków seria I
Źródło: opracowanie własne

Czasy postoju pojazdów zaparkowanych w sposób prawidłowy przedstawiono na wykresach (Rys. 3.22 i Rys. 3.23).



Rys. 3.22. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych w sposób prawidłowy | badanie *search traffic*, Kraków seria I

Źródło: opracowanie własne

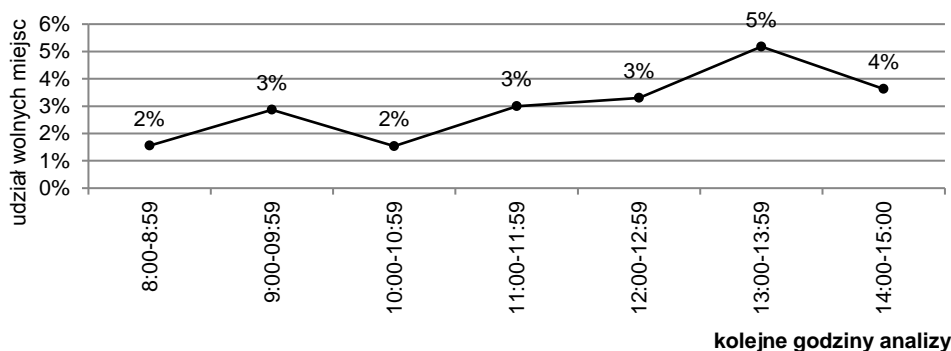


Rys. 3.23. Empiryczna dystrybuanta rozkładu czasów postoju pojazdów | badanie *search traffic*, Kraków seria I

Źródło: opracowanie własne

Dzięki wideorejestracji uzyskano bardzo szczegółowe dane dotyczące czasu postoju pojazdów (t_p), co jest istotne w szczególności dla czasów z przedziału od 0 do 60 minut. Wyznaczono udział procentowy samochodów pozostawionych na miejscu parkingowym na okres od 0 do 5 oraz od 6 do 15 minut. Pojazdy te stanowiły łącznie 20% wszystkich zaparkowanych samochodów (Rys. 3.23). Samochody pozostawione na miejscu parkingowym na okres dłuższy niż 7 godzin stanowiły 11% wszystkich zaparkowanych pojazdów. Średni czas postoju (t_p) wyniósł w tym przypadku 121 minut.

Zastosowanie zapisu wideo pozwoliło dodatkowo na określenie czasu, w którym miejsce postojowe pozostaje wolne (t_w), co pozwoliło zobrazować szanse na znalezienie wolnego miejsca postojowego przez poszukujących go kierowców. W analizowanym przypadku, w ciągu okresu pomiarowego (7 godzin), średni czas, w którym dowolne miejsce postojowe pozostawało wolne (t_w), wyniósł 10 minut. Na wykresie (Rys. 3.24) przedstawiono średni procentowy udział wolnej powierzchni parkingowej w danym przedziale czasowym. Wskazuje on, że największą szansę na znalezienie wolnego stanowiska do postoju mieli kierowcy podróżujący w okresie między 13:00, a 14:00.



Rys. 3.24. Średni udział wolnych miejsc parkingowych w okresie pomiaru | badanie *search traffic*, Kraków seria I

Źródło: opracowanie własne

Wskaźnik rotacji parkingowej w_r – wskazuje średnią liczbę pojazdów wykorzystujących jedno stanowisko postojowe poligonu w ustalonym okresie czasu [56]:

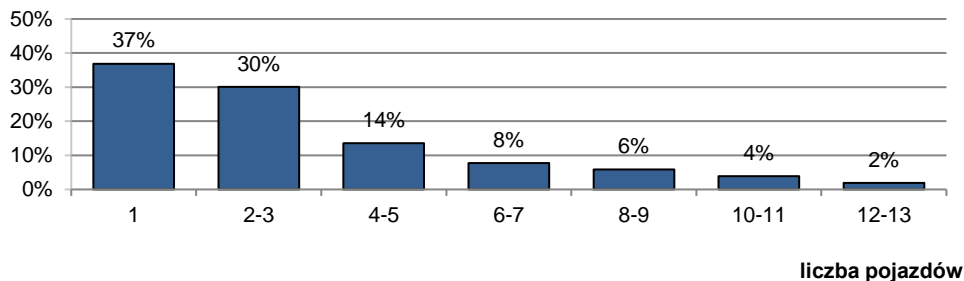
$$w_r = \frac{p_{pn}}{m_p} \text{ [pojazd/stanowisko]} \quad (14)$$

gdzie:

- p_{pn} – całkowita liczba pojazdów parkujących w obszarze w całym okresie pomiarowym
- m_p – liczba dostępnych miejsc parkingowych poligonu

Rotacja pojazdów na stanowiskach parkingowych (w_r) wyniosła (dla całego obszaru) średnio 3,33 pojazdu przypadającego na 1 stanowisko w całym okresie analizy (7 godzin), czyli średnio 0,48 pojazdu na 1 stanowisko postojowe w okresie 1 godziny. Wg [56], wystarczającą podaż miejsc postojowych oznacza wskaźnik rotacji (w_r) należący do przedziału od 1 do 5 pojazdów na miejscu postojowym – nie sprecyzowano jednak dla jakiej jednostki czasu odpowiednie są podane wartości.

Na wykresie (Rys. 3.25) przedstawiono histogram liczby pojazdów, która pojawiła się średnio na poszczególnych stanowiskach postojowych w okresie pomiaru.

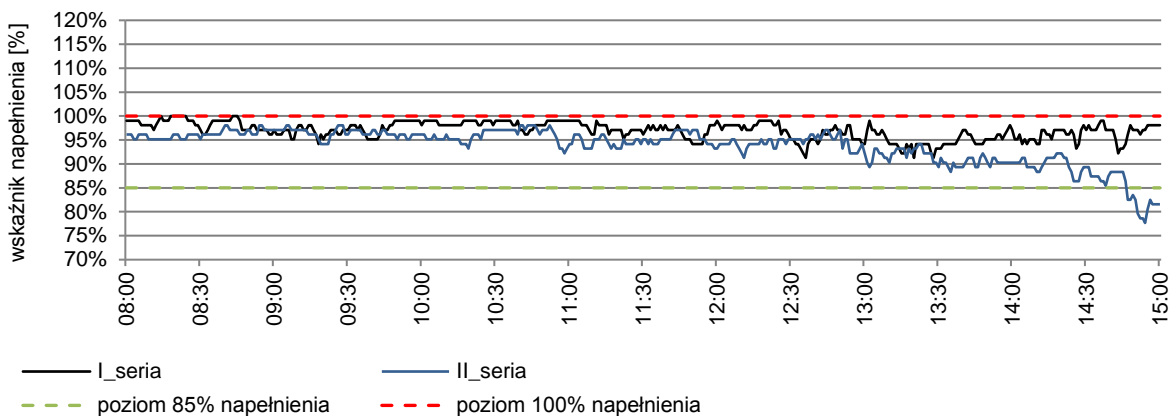


Rys. 3.25. Liczba pojazdów na miejscach parkingowych dla 7-godzinnego okresu pomiarowego | badanie *search traffic*, Kraków seria I
Źródło: opracowanie własne

Wykres wskazuje, że 38 miejsc parkingowych było zajmowanych w całym okresie analizy przez tylko jeden pojazd. Miejsca te stanowią 37% ogólnej powierzchni parkingowej analizowanego odcinka ulicy. Na 5% miejsc pojazdy wymieniały się bardzo często (więcej niż 10 pojazdów przypadających na jedno stanowisko).

3.3.4. Wyniki analizy danych, dotyczących parkowania w obszarze – Kraków (seria II)

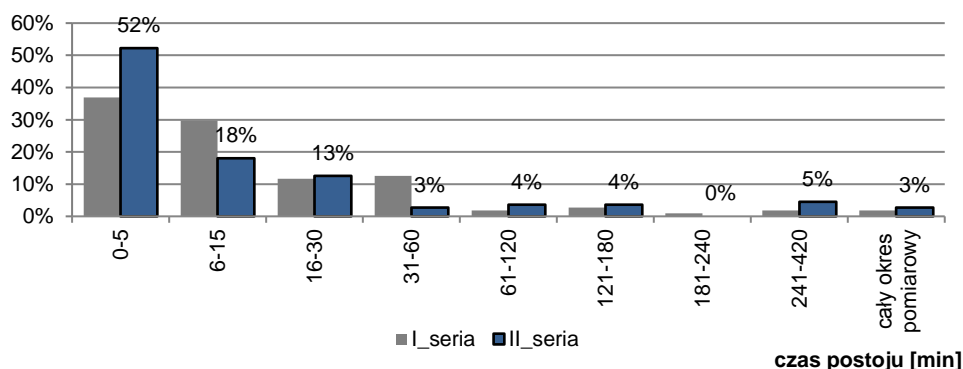
W serii II zrealizowanej w kwietniu 2017, badanie parkowania zostało przeprowadzone analogicznie, jak w serii I. Wyznaczono te same miary parkowania, przy niezmiennych warunkach i organizacji postoju w analizowanym poligonie oraz tych samych założeniach dotyczących analizy danych (przyjęta liczba miejsc parkingowych). Poniżej przedstawiono zestawienie wyników obu serii. Wskaźnik wykorzystania powierzchni parkingowej (w_p), w okresie objętym pomiarem powtórny, wahał się w granicach od 82% do 103% – biorąc pod uwagę całkowitą liczbę wyznaczonych miejsc postojowych równą ($m_p = 98$). Wykres porównawczy z wynikami I serii pomiaru (Rys. 3.26) przygotowano jednak w oparciu o rzeczywistą wartość napełnienia powierzchni parkingowej, tj. z uwzględnieniem, że w przeznaczony do postoju powierzchni analizowanego obszaru możliwe jest zaparkowanie maksymalnie średnio 103 pojazdów ($m_p = 103$).



Rys. 3.26. Wskaźnik napętnienia powierzchni parkingowej obszaru | badanie *search traffic*, Kraków – porównanie wyników I i II serii badań
Źródło: opracowanie własne

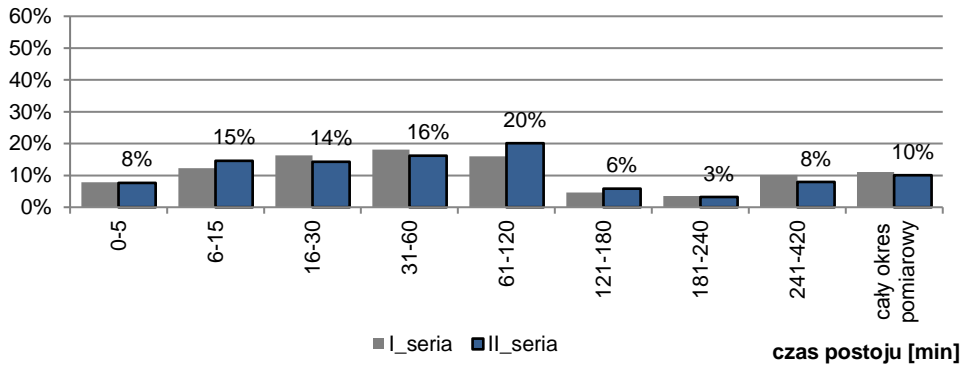
Również w II serii badań wskaźnik wykorzystania powierzchni parkingowej obszaru (w_p) sięgał poziomu 100%. Sytuacja ta zmieniła się w drugiej części dnia – po godzinie 13:00 wartość wskaźnika w_p sukcesywnie malała, osiągając na okres ostatnich 15 minut pomiaru wartość niższą niż założona wartość graniczna równa 85%. Pomimo tego, stopień napętnienia powierzchni parkingowej obszaru uznano za wysoki.

Druga seria przeprowadzonego pomiaru wykazała także znaczny udział pojazdów zaparkowanych nieprawidłowo – w miejscach zlokalizowanych poza powierzchnią przewidzianą dla postoju pojazdów zaparkowało, podobnie jak w serii pierwszej, 111 samochodów, co stanowi około 29% wszystkich pojazdów zajmujących w okresie pomiaru wyznaczone stanowiska postojowe. Czas postoju (t_p) większości z tych pojazdów był krótszy, w porównaniu z czasem postoju pojazdów tej grupy w serii pierwszej: 52% samochodów pozostawionych na okres do 5 minut, czas postoju pojazdów w granicach od 1 minuty do 421 minut (Rys. 3.27).



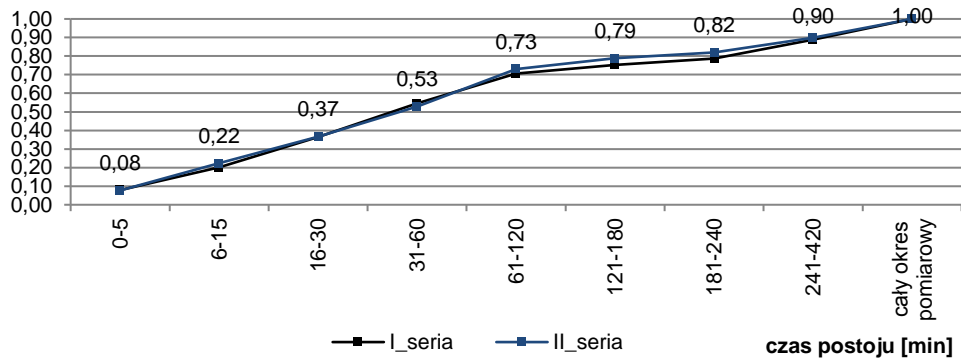
Rys. 3.27. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych nieprawidłowo | badanie *search traffic*, Kraków – porównanie wyników I i II serii badań
Źródło: opracowanie własne

Czasy postoju pojazdów (t_p) zaparkowanych w sposób prawidłowy przedstawiono na wykresach (Rys. 3.28 i Rys. 3.29).



Rys. 3.28. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych prawidłowo | badanie *search traffic*, Kraków – porównanie wyników I i II serii badań

Źródło: opracowanie własne

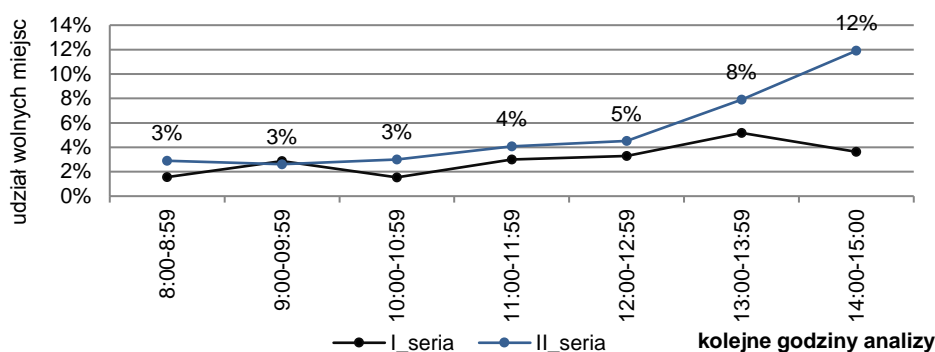


Rys. 3.29. Empiryczna dystrybuanta rozkładu czasów postoju pojazdów | badanie *search traffic*, Kraków – porównanie wyników I i II serii badań

Źródło: opracowanie własne

Udział procentowy samochodów pozostawionych na miejscu postojowym na okres od 0 do 5 oraz od 6 do 15 minut wyniósł łącznie (dla obu tych grup) 22% wszystkich zaparkowanych samochodów (Rys. 3.29). Samochody zaparkowane na okres dłuższy niż 7 godzin stanowiły 10% wszystkich zaparkowanych pojazdów. Średni czas postoju (t_p) wyniósł w tym przypadku 115 minut.

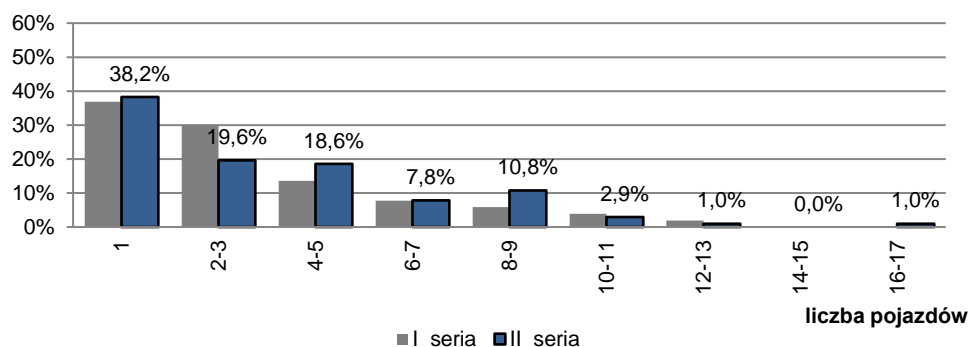
W drugiej serii pomiarowej, w ciągu okresu pomiarowego (7 godzin), średni czas, w którym dowolne miejsce parkingowe pozostawało wolne (t_w) był równy 22,3 min. Stosunkowo wysoka wartość tego wskaźnika wynika w tym przypadku z (często spotykanej w obszarze postoju przy ulicy) sytuacji, w której parkujący kierowcy nie zajmują wyznaczonych oznakowaniem poziomym miejsc postojowych, ale parkują pojazdy, dopasowując ich ustawienie do dostępnej wolnej przestrzeni – w wyniku czego, zwolnienie stanowiska przez mniejszy samochód, nie umożliwia wjazdu na nie pojazdu o większym gabarycie. Średni procentowy udział wolnej powierzchni parkingowej w danym przedziale czasowym przedstawiono na wykresie (Rys. 3.30).



Rys. 3.30. Średni udział wolnych miejsc parkingowych w okresie pomiaru | badanie *search traffic*, Kraków – porównanie wyników I i II serii badań

Źródło: opracowanie własne

Rotacja pojazdów, wyznaczona wzorem (14), na stanowiskach postojowych wyniosła średnio (dla całego obszaru w okresie 7 analizowanych godzin) $w_r = 3,7$ pojazdu na 1 stanowisko postojowe (0,53 pojazdu na 1 miejsce postojowe w jednej godzinie). Histogram liczby pojazdów, która pojawiła się na poszczególnych stanowiskach postojowych w okresie pomiaru przedstawiono na wykresie (Rys. 3.31).



Rys. 3.31. Liczba pojazdów na poszczególnych miejscach postojowych dla 7-godzinnego okresu pomiarowego | badanie *search traffic*, Kraków – porównanie wyników I i II serii badań

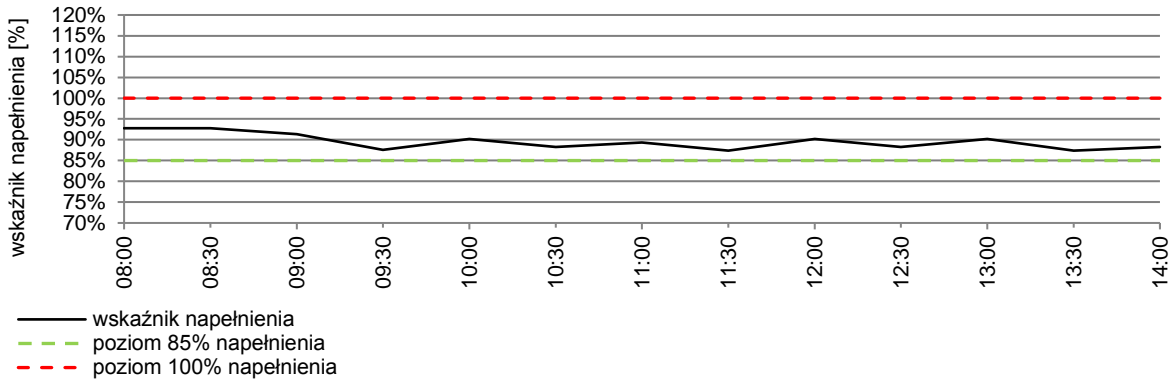
Źródło: opracowanie własne

3.3.5. Wyniki analizy danych, dotyczących parkowania w obszarze – Wrocław

W obszarze, który został objęty badaniem we Wrocławiu, nie zinwentaryzowano miejsc postojowych z jakimkolwiek ograniczeniem dostępu. W związku z tym, za całkowitą liczbę miejsc postojowych w obszarze przyjęto liczbę 66 miejsc postojowych. Jest to liczba wynikająca z maksymalnej liczby pojazdów zajmujących przestrzeń parkingową wyznaczoną wg [132] w ramach strefy płatnego parkowania. W analizowanym poligonie, w przeciwieństwie do poligonu krakowskiego, poszczególne miejsca postojowe nie są wyznaczone oznakowaniem poziomym (wyznaczony jest tylko obszar przeznaczony do zajmowania przez parkujące samochody, bez rozróżniania pojedynczych miejsc postojowych). Przez zróżnicowanie wymiarów pojazdów, rzeczywista liczba zajmowanych miejsc postojowych może – podobnie jak w Krakowie – różnić się od liczby miejsc pełnowymiarowych, przewidzianych projektem organizacji ruchu w strefie płatnego parkowania.

Przyjmując określoną wyżej całkowitą liczbę miejsc parkingowych w analizowanym poligonie ($m_p = 66$), określono miary wykorzystania powierzchni parkingowej obszaru:

Wskaźnik napełnienia powierzchni parkingowej w_p , wyznaczony równaniem (13), w analizowanym poligonie we Wrocławiu, w okresie pomiaru przyjmował wartości z zakresu od 87% do 93%.



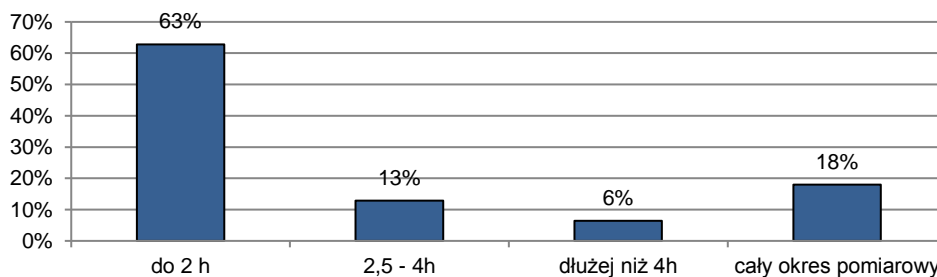
Rys. 3.32. Wskaźnik napelnienia powierzchni parkingowej obszaru w okresie pomiaru (8:00 – 14:00) | badanie *search traffic*, Wrocław

Źródło: opracowanie własne

Jak wskazuje wykres (Rys. 3.32), poziom napelnienia miejsc postojowych w całym okresie pomiaru przekraczał optymalny poziom zajętości równy 85%. Najniższy poziom wykorzystania miejsc parkingowych odnotowano o godzinie 11:30 i 13:00. W obu tych godzinach wskaźnik napelnienia (w_p) wynosił 87%.

Zastosowanie *metody patrolowej* pozwala na wykonanie pomiaru z mniejszą dokładnością (w tym przypadku w interwale 30 minutowym), niż przy zastosowaniu wideorejestracji. Pomimo tego, podczas badania przeprowadzonego we Wrocławiu, również udało się zidentyfikować pojazdy pozostawione w miejscach do tego nieprzeznaczonych – najczęściej poza wyznaczoną przestrzenią parkingową. Łącznie, zidentyfikowano 4 takie miejsca, w tym 1 w obrębie Placu Muzealnego i 3 na odcinku pomiędzy Placem Muzealnym i ul. Bałuckiego. Zidentyfikowano tam łącznie 9 pozostawionych pojazdów, przy czym – ze względu na mniejszą dokładność pomiaru, niż w przypadku badania krakowskiego, istnieje możliwość, że nie zostały zidentyfikowane pojazdy parkujące na tych miejscach na bardzo krótki okres czasu (mniejszy niż założony interwał pomiarowy, wynoszący 30 minut). Średni czas postoju tych pojazdów (t_p) wynosił niewiele ponad 3 godziny, przy czym 1 z nich został pozostawiony w tym miejscu na cały okres pomiarowy.

Czas postoju pojazdów (t_p) zaparkowanych w sposób prawidłowy, ze względu na przyjętą metodę pomiaru, przedstawiono w mniej dokładnych przedziałach czasowych, niż w przypadku badania krakowskiego: wyznaczono przedziały w których czas postoju wynosił odpowiednio: mniej niż 2 godziny, od 2,5 do 4 godzin, dłużej niż 4 godziny oraz 6 lub więcej godzin (Rys. 3.33).

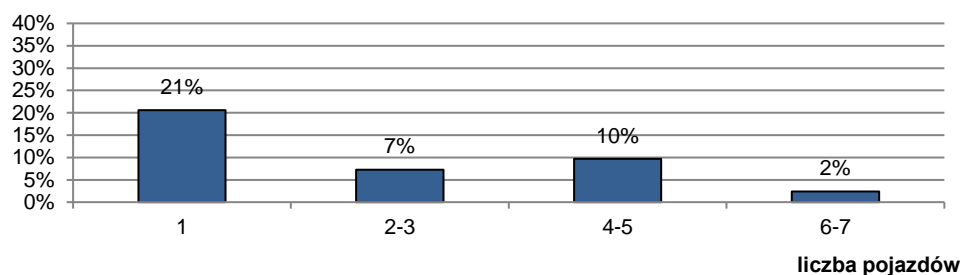


Rys. 3.33. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych prawidłowo | badanie *search traffic*, Wrocław

Źródło: opracowanie własne

W analizowanym poligonie wrocławskim, pojazdy zaparkowane na miejscach postojowych na okres krótszy niż 2 godziny stanowiły w okresie pomiaru 63% wszystkich zaparkowanych w obszarze pojazdów (w Krakowie, udział ten wynosił 71 i 73% w obu seriach przeprowadzonego badania). Pojazdy pozostawione na miejscach postojowych przez cały okres pomiarowy stanowiły natomiast aż 16% wszystkich zidentyfikowanych samochodów. Średni czas postoju (t_p) wynosił w okresie pomiaru 151 minut.

Wskaźnik rotacji parkingowej w_r , wyznaczony równaniem (14), wyniósł średnio (dla całego obszaru) 2,4 pojazdu na 1 stanowisko postojowe w 6-godzinny okresie obserwacji (0,4 pojazdu na godzinę). Na wykresie (Rys. 3.34) przedstawiono histogram liczby pojazdów, która pojawiła się na poszczególnych stanowiskach postojowych w okresie pomiaru.



Rys. 3.34. Liczba pojazdów na miejscach parkingowych dla 6-godzinny okres pomiarowy | badanie *search traffic*, Wrocław

Źródło: opracowanie własne

Wykres wskazuje, że aż 21% miejsc parkingowych było zajmowanych w całym okresie analizy przez tylko jeden pojazd. Na 2% miejsc pojazdy wymieniały się bardzo często (nawet do 7 pojazdów na stanowisko), przy czym liczba ta była niższa, niż w Krakowie.

3.3.6. Zestawienie najważniejszych wyników i wnioski z przeprowadzonych badań parkowania

W tabeli (Tab. 3.5) zestawiono najważniejsze wyniki uzyskane w badaniu parkowania w obu przyjętych poligonach badawczych: w Krakowie i we Wrocławiu.

Tab. 3.5. Zestawienie najważniejszych wyników badania parkowania | badanie *search traffic*,

	Kraków (seria I)	Kraków (seria II)	Wrocław
Wykorzystanie miejsc parkingowych w_p	Wykorzystanie miejsc powyżej poziomu 85% przez cały okres pomiaru Wartość średnia z całego okresu: 97%	Wykorzystanie miejsc powyżej poziomu 85%: do godz. 14:50 Wartość średnia z całego okresu: 94%	Wykorzystanie miejsc powyżej poziomu 85%: do godz. 14:00 Wartość średnia z całego okresu: 90%
Rotacja pojazdów na miejscach parkingowych w_r	3,3 pojazdu na 1 stanowisko postojowe w okresie od 8:00 do 15:00 0,48 pojazdu średnio na 1 stanowisko w okresie 1 godziny	3,7 pojazdu na 1 stanowisko postojowe w okresie od 8:00 do 15:00 0,53 pojazdu średnio na 1 stanowisko w okresie 1 godziny	2,4 pojazdu na 1 stanowisko postojowe w okresie od 8:00 do 14:00 0,40 pojazdu średnio na 1 stanowisko w okresie 1 godziny
Czas postoju pojazdów t_p	średnia = 121 minut odch. stand. = 144 minuty udział postoju krótkoterminowego (do 2 godzin) 71%	średnia = 115 minut odch. stand. = 142 minuty udział postoju krótkoterminowego (do 2 godzin) 73%	średnia = 151 minut odch. stand. = 133 minuty udział postoju krótkoterminowego (do 2 godzin) 63%

Źródło: opracowanie własne

Zestawione wyniki wskazują wyraźnie, że obciążenie przestrzeni parkingowej w obu miastach było bardzo duże – wskaźnik wykorzystania powierzchni parkingowej w każdym przypadku w znacznej części dnia przekraczał optymalny poziom 85% napełnienia, często sięgał też 100%. Pomimo tego, że czas postoju (t_p) nie był krytycznie długi – wynosił średnio około 2 godziny przypadające na jeden

samochód, to wymiana na stanowiskach parkingowych (w_r) nie była zbyt duża, zwłaszcza we Wrocławiu, gdzie wyniosła jedynie 2,4 pojazdu na jedno miejsce parkingowe w ciągu 6 godzin obserwacji. Zauważalne jest jednak większe wykorzystanie powierzchni parkingowej w poligonie krakowskim – o czym świadczy większa wartość wskaźnik rotacji i większy wskaźnik napełnienia niż w poligonie wrocławskim.

Opisywanie badania parkowania zostały przeprowadzone równoległe do obserwacji ruchu w wyznaczonych obszarach. Mają one na celu uzyskanie informacji o przemieszczaniach wykonywanych wewnątrz obszaru – wśród których potencjalnie znajdują się również przemieszczenia pojazdów poszukujących wolnego miejsca do zaparkowania.

Uzyskane wyniki pomiarów parkowania będą stanowiły uzupełnienie do bazy danych o przemieszczeniach, na podstawie której przeprowadzone zostanie wnioskowanie o wielkości ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego.

3.3.7. Metodyka badania dotyczącego ruchu pojazdów poszukujących wolnego miejsca parkingowego

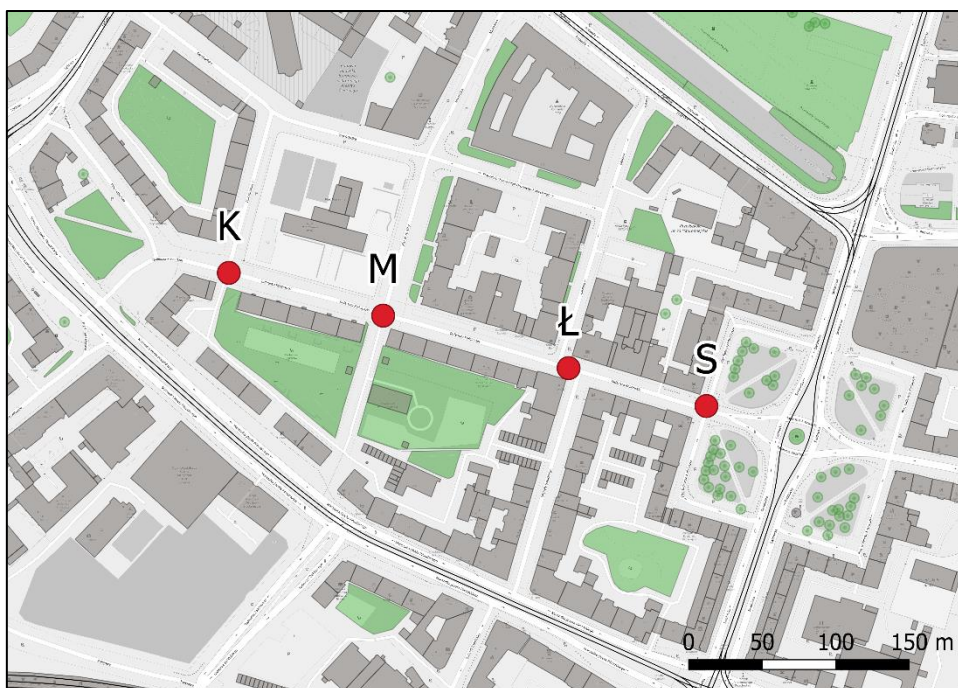
Kamery zamontowane w celu badania przemieszczeń pojazdów, zarówno w Krakowie, jak i we Wrocławiu, rejestrowały ruch pojazdów w poszczególnych relacjach na każdym ze skrzyżowań poligonu.

W przypadku obu serii badania prowadzonego w Krakowie, w ramach wyznaczonego poligonu kamery zamontowano na 3 skrzyżowaniach (oznaczonych punktami D, P i W). Rejestrowały one ruch pojazdów w 13 relacjach skrętnych. Przyjęte oznaczenia oraz lokalizację skrzyżowań przedstawiono na rysunku (Rys. 3.35).



Rys. 3.35. Punkty pomiarowe – badanie *search traffic* | Kraków
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

We Wrocławiu, poligon obejmował 4 skrzyżowania, oznaczone punktami K, M, Ł i S. Przyjęte oznaczenia oraz lokalizację skrzyżowań przedstawiono na rysunku (Rys. 3.36).



Rys. 3.36. Punkty pomiarowe – badanie *search traffic* | Wrocław
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

Każda z zainstalowanych kamer została ustawiona tak, aby z zapisanego przez nią obrazu można było odczytać numer rejestracyjny przejeżdżającego pojazdu, czas pojawienia się pojazdu w określonym przekroju ulicy (punkcie pomiarowym) oraz stwierdzić w jakiej relacji samochód przejechał dane skrzyżowanie. Ustawienia zegarów wszystkich urządzeń rejestrujących dane z kamer zostały zsynchronizowane, aby możliwe było zestawienie pozycji poszczególnych pojazdów w czasie. W ten sposób stworzono wykaz pojazdów poruszających się w miarę upływu czasu w poszczególnych relacjach, a następnie odtworzono trasy realizowane w okresie analizy przez konkretne samochody, identyfikowane po ich numerach rejestracyjnych.

Analiza zarejestrowanego obrazu wymagała zatrudnienia obserwatora, który na podstawie danych z zapisu wideo zakodował informacje dotyczące ruchu poszczególnych pojazdów i w efekcie stworzył obszerną bazę danych z zapisem tras wykonanych w obszarze przez samochody w analizowanym okresie.

W wyniku analizy danych, w okresie pomiaru w Krakowie zidentyfikowano w obszarze łącznie 5772 pojazdy (posiadające unikalny numer rejestracyjny). Można więc stwierdzić, że zostały wykonane 5772 podróże o różnym celu. Udział nieodczytanych numerów rejestracyjnych poszczególnych pojazdów, wynikający z bieżących warunków widoczności podczas rejestracji wideo wyniósł $a = 1,2\%$, przy czym:

$$a = \frac{L_{rn}}{L_{rw}} \cdot 100 [\%] \quad (15)$$

gdzie:

L_{rn} – liczba numerów rejestracyjnych nieodczytanych (niewidocznych),
 L_{rw} – liczba wszystkich pojazdów zidentyfikowanych podczas badania.

We Wrocławiu natomiast zidentyfikowano łącznie 3674 pojazdy, a wyznaczony udział nieodczytanych numerów rejestracyjnych, wynikający z bieżących warunków widoczności podczas rejestracji wideo wyniósł $a = 1,9\%$.

Na podstawie odtworzonych tras poszczególnych pojazdów, określono charakter tych podróży względem analizowanego poligonu i sklasyfikowano je w następujące kategorie:

- *podróże tranzytowe* – przejazdy, w których pojazd jednokrotnie wjechał i wyjechał z obszaru analizy (w tym pojazdy, które jednokrotnie przejechały ulicą obszaru, parkowały w obszarze lub miały inny cel swojej podróży na obszarze wybranym do badania) – kategoria 1,
- *tylko wjazd/tylko wyjazd z obszaru* – przejazdy, w których pojazd, w okresie analizy tylko wjechał lub wyjechał z analizowanego obszaru – kategoria 2,
- *krążył w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego* – zgodnie z podaną wcześniej definicją pojazdów *krążących* – kategoria 3,
- *przejazdy o innym charakterze*, niezakwalifikowane do żadnej z opisanych kategorii – kategoria 4.

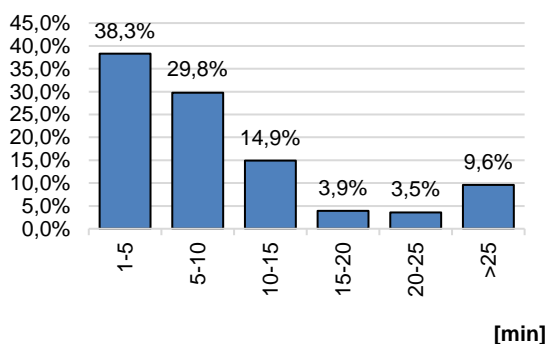
Pojazdy 3 i 4 kategorii, podczas realizowania swojej podróży, wykonywały po kilka przejazdów ulicami obranego poligonu – z tego względu przy definiowaniu charakteru ruchu pojazdów w obszarze uwzględniano przede wszystkim liczbę przejazdów wykonanych przez poszczególne pojazdy (natężenie ruchu pojazdów), a nie liczbę poszczególnych pojazdów (unikalnych numerów rejestracyjnych) pojawiających się w obszarze.

Opisana metodyka została opracowana na podstawie metod wykorzystywanych w zagranicznych badaniach prowadzonych w zakresie poszukiwania miejsca parkingowego (opisanych w rozdziale 2) – z uwzględnieniem polskich warunków funkcjonowania obszarów z parkowaniem płatnym. Po testach przeprowadzonych w Krakowie została ona zaprezentowana na międzynarodowej konferencji parkingowej organizowanej przez European Parking Association – międzynarodowe stowarzyszenie zrzeszające praktyków i ekspertów branży parkingowej [166]. Metodykę wraz z wynikami pomiarów otrzymanych z poligonu w Krakowie opublikowano w [44].

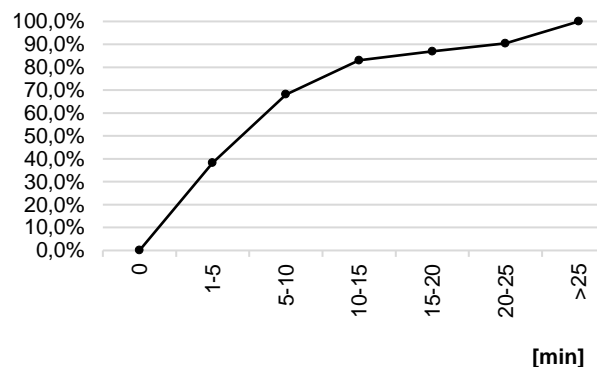
3.3.8. Wyniki analizy danych dotyczących *search traffic* – Kraków (seria I)

Analiza zebranych danych wykazała, że wśród wszystkich wykonanych podróży, w okresie analizy, 38,2% przejazdów miało charakter tranzytowy, natomiast 35,4% zidentyfikowanych przejazdów zakwalifikowano do kategorii 2 – oznacza to, że każdy z nich w okresie badania jedynie rozpoczął lub zakończył podróż w obszarze. Pojazdy zidentyfikowane, jako przemieszczające się w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego wykonały 10,4% wszystkich zidentyfikowanych w okresie badania przejazdów ($u_{sz} = 10,4\%$). W grupie tych pojazdów znalazły się zarówno samochody zarejestrowane w Krakowie – 61,7% wszystkich *krążących* pojazdów i w powiecie krakowskim – 10,6%. Udział pozostałych pojazdów wyniósł 27,7%.

Zbadano czas poszukiwania miejsca parkingowego (t_{sz}) przez zarejestrowane pojazdy (Rys. 3.37 i Rys. 3.38). Średni czas tracony przez kierowcę na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (t_{sz}) oszacowano na 9 min 56 sek. (szacowany czas maksymalny: 45 min) – przy czym dla 64,9% pojazdów zakwalifikowanych do kategorii pojazdów *krążących* czas poszukiwania oszacowano na niższy od średniej. Odchylenie standardowe wyniosło 9 min 18 sek.



Rys. 3.37. Histogram czasów poszukiwania wolnego stanowiska parkingowego | badanie *search traffic*, Kraków seria I
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.38. Dystrybuanta empiryczna średniego czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego | badanie *search traffic*, Kraków seria I
Źródło: opracowanie własne

Nie stwierdzono żadnej przesłanki ku temu, by istniała konieczność sprawdzenia zależności pomiędzy czasem poszukiwania miejsca parkingowego, a domniemanym źródłem podróży danego pojazdu, rozpoznawanym po jego numerze rejestracyjnym. Średnia i odchylenie standardowe czasu poszukiwania wolnego miejsca w 3 grupach pojazdów (samochody zarejestrowane w Krakowie (KR), powiecie krakowskim (KRA) i pozostałe) były zbliżone.

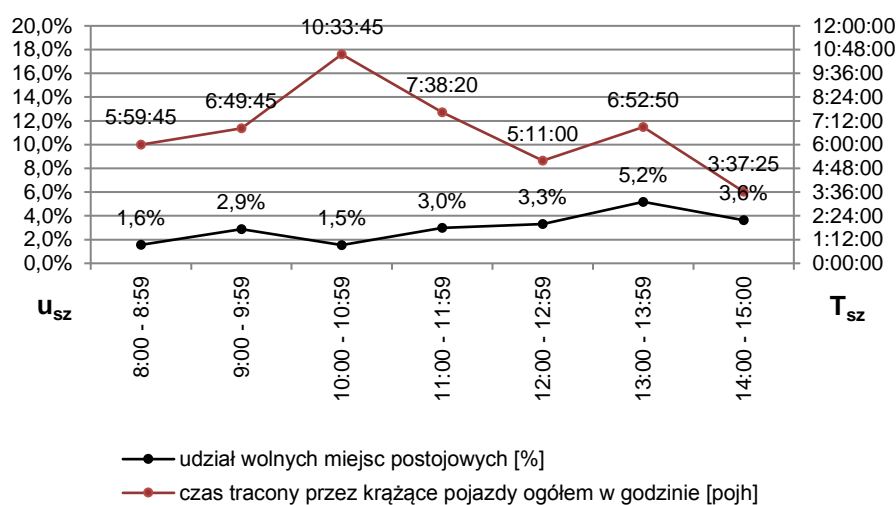
Na wykresie (Rys. 3.39) przedstawiono łączny czas (T_{sz}), który wszystkie zidentyfikowane pojazdy spędziły w analizowanym odcinku sieci ulicznej na poszukiwaniu wolnego stanowiska postojowego w każdej godzinie (linia czerwona), w zestawieniu z udziałem wolnej przestrzeni parkingowej obszaru (linia czarna), przy czym:

$$T_{sz} = \sum_{i=1}^n t_{szi} \quad [poj h] \quad (16)$$

gdzie:

- n – liczba zidentyfikowanych pojazdów poszukujących wolnego miejsca parkingowego
- t_{sz} – średni czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego

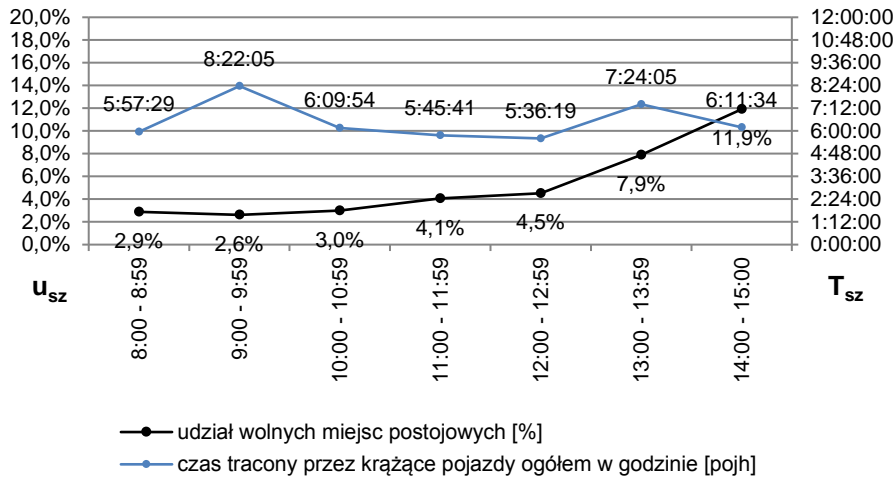
Analiza porównawcza czasu traconego w sieci drogowej (T_{sz}) przez pojazdy poszukujące wolnego miejsca w poszczególnych godzinach oraz udziału wolnej przestrzeni parkingowej obszaru w tym okresie pokazuje, że w czasie największego jej wykorzystania – łączny czas tracony na poszukiwanie wolnego stanowiska był najdłuższy. Łącznie, wszystkie zidentyfikowane pojazdy *krążące* w sieci spędziły na poszukiwaniu wolnego stanowiska 46 godzin i 42 minuty (T_{sz}).



Rys. 3.39. Łączny czas tracony przez pojazdy *krążące* ogółem w godzinie | badanie *search traffic*, Kraków seria I
Źródło: opracowanie własne

3.3.9. Wyniki analizy danych dotyczących *search traffic* – Kraków (seria II)

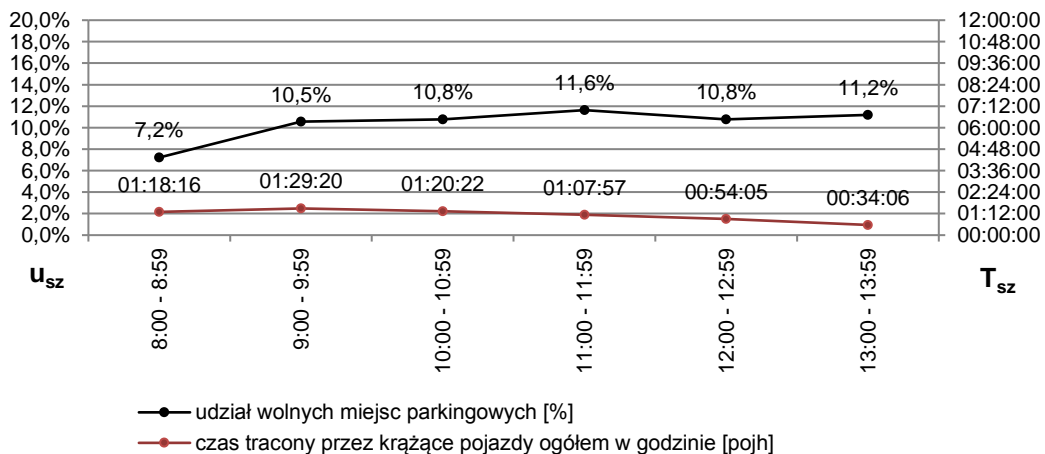
W II serii pomiarów ruchu w obranym obszarze, pojazdy zidentyfikowane, jako przemieszczające się w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego wykonały 8,8% wszystkich zidentyfikowanych przejazdów (u_{sz}). Średni czas tracony przez kierowcę na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (t_{sz}) natomiast oszacowano na 11 min 51 sek., przy odchyleniu standardowym równym 8 min i 7 sek. Łącznie, wszystkie zidentyfikowane pojazdy *krążące* w sieci ulicznej spędziły na poszukiwaniu wolnego stanowiska (T_{sz}) 42 godziny i 25 minut. Na wykresie (Rys. 3.40) przedstawiono łączny czas tracony przez *krążące* pojazdy w każdej godzinie pomiaru (linia niebieska), w zestawieniu z udziałem wolnej przestrzeni parkingowej obszaru (linia czarna).



Rys. 3.40. Łączny czas tracony przez pojazdy *krążące* ogółem w godzinie | badanie *search traffic*, Kraków seria II
Źródło: opracowanie własne

3.3.10. Wyniki analizy danych dotyczących *search traffic* – Wrocław

Pomiary ruchu pojazdów przeprowadzone na ul. Kościuszki we Wrocławiu również wykazały realizowanie przemieszczeń generowanych wyłącznie poszukiwaniem miejsca do zaparkowania. Wśród wszystkich wykonanych przejazdów, pojazdy poszukujące miejsca zrealizowały ich 5,5% (u_{sz}), a czas tracony na to poszukiwanie (t_{sz}) wynosił średnio 3 minuty i 52 sekundy (odchylenie standardowe równe 2 min 25 sek.). Czas tracony na poszukiwanie miejsca ogółem dla wszystkich *krążących* pojazdów wyniósł w dniu badania 6 godzin i 35 minut (T_{sz}). Na wykresie (Rys. 3.41) przedstawiono go w poszczególnych godzinach obserwacji w porównaniu z udziałem wolnej przestrzeni parkingowej.



Rys. 3.41. Łączny czas tracony przez pojazdy *krążące* ogółem w godzinie | badanie *search traffic*, Wrocław
Źródło: opracowanie własne

3.4. Zestawienie wyników i podsumowanie badań

Przeprowadzone badania – zarówno pilotażowe badania ankietowe, jak również obserwacje w konkretnych lokalizacjach – potwierdziły występowanie zjawiska *krążenia* w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego w tych obszarach śródmiejskich, które objęto badaniem. Były to obszary z wyraźnym deficytem miejsc postojowych. W tabeli (Tab. 3.6) zestawiono najważniejsze wyniki uzyskane w ramach przeprowadzonych badań *search traffic* w wybranych lokalizacjach w Krakowie i we Wrocławiu.

Tab. 3.6. Zestawienie wyników badań *search traffic*

	Kraków (seria I)	Kraków (seria II)	Wrocław
Napełnienie powierzchni parkingowej w_p	Średnie wykorzystanie miejsc powyżej poziomu 85%: przez cały okres pomiaru Wartość średnia z całego okresu: 97% Średni udział wolnych miejsc postojowych = 3,0 %	Średnie wykorzystanie miejsc powyżej poziomu 85%: do godz. 14:50 Wartość średnia z całego okresu: 94% Średni udział wolnych miejsc postojowych = 5,3%	Średnie wykorzystanie miejsc powyżej poziomu 85%: do godz. 14:00 Wartość średnia z całego okresu: 90% Średni udział wolnych miejsc postojowych = 10,4%
Czas postoju t_p	średnia = 121 minut odch. stand. = 144 minuty udział postoju krótkoterminowego (mniej niż 2 godziny) 71%	średnia = 115 minut odch. stand. = 142 minuty udział postoju krótkoterminowego (mniej niż 2 godziny) 73%	średnia = 149 minut odch. stand. = 136 minut udział postoju krótkoterminowego (mniej niż 2 godziny) 65%
Średnia rotacja pojazdów w_r	3,3 pojazdu na 1 stanowisko postojowe w okresie od 8:00 do 15:00 0,48 pojazdu średnio na 1 stanowisko postojowe w okresie 1 godziny	3,7 pojazdu na 1 stanowisko postojowe w okresie od 8:00 do 15:00 0,53 pojazdu średnio na 1 stanowisko postojowe w okresie 1 godziny	2,5 pojazdu na 1 stanowisko postojowe w okresie od 8:00 do 15:00 0,36 pojazdu średnio na 1 stanowisko postojowe w okresie 1 godziny
Czas krążenia t_{sz}	średnia = 9 min 56 sek. odch. stand. = 9 min 18 sek.	średnia = 11 min 38 sek. odch. stand. = 8 min 7 sek.	średnia = 3 min 52 sek. odch. stand. = 2 min 25 sek.
Udział pojazdów krążących u_{sz}	10,4%	8,8%	5,5%

Źródło: opracowanie własne

Wyniki pomiarów ruchu pojazdów wskazały, że oszacowany udział w ruchu ogólnym przemieszczeń wykonanych w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego (u_{sz}) był mniejszy niż, podawany często w publicystycznej literaturze branżowej (oraz niektórych artykułach naukowych, np. [32]), poziom 30%. Wyniósł on w dniu badania około 8 i 10% odpowiednio w I i II serii pomiarów przeprowadzonych w Krakowie oraz 5,5% we Wrocławiu.

Ze względu na to, że zjawisko poszukiwania miejsca parkingowego jest zjawiskiem złożonym, a jego badanie wymaga rozbudowanych i kosztownych obserwacji z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu – zakres przeprowadzonych badań był zbyt wąski, aby na podstawie ich wyników stwierdzić zależność udziału *krążących* w ruchu ogólnym pojazdów od konkretnych czynników. Uzyskane informacje należałoby potraktować raczej jako potwierdzenie występowania tego typu zjawiska w systemie transportowym, a także uzyskanie wstępnego obrazu interakcji ruchu pojazdów oraz warunków parkowania w danym obszarze. Należy tu zauważyć, że najwyższy średni udział wolnych miejsc wśród wszystkich miejsc postojowych danego poligonu (10,4%) odnotowano w poligonie wrocławskim, gdzie średni udział w ruchu ogólnym pojazdów *krążących* był najniższy (5,5%). Analogicznie, w ramach I serii obserwacji prowadzonych w poligonie krakowskim zarejestrowano najwyższy, spośród trzech przeprowadzonych badań, udział pojazdów poszukujących miejsca postojowego (10,4%), podczas gdy również w tym poligonie odnotowano najniższy spośród pozostałych wyników średni udział wolnych miejsc postojowych (3,0%). Istotnym jest także, że w poligonie krakowskim odnotowano znacznie większą liczbę wykonanych przejazdów ogółem.

Efekt tych obserwacji można więc uznać za wstępny, jednak znaczący wniosek w kontekście poszukiwania zależności ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego oraz skutków tego zjawiska i warunków parkowania w analizowanych obszarach.

3.5. Wyniki badań ankietowych dotyczących parkowania, przeprowadzonych w Krakowie i Wrocławiu w całym obszarze SPP

Opisane i zestawione w rozdziale 3.4 wyniki badań parkowania i ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego dają pogląd na poziom udziału tego ruchu w ogólnej

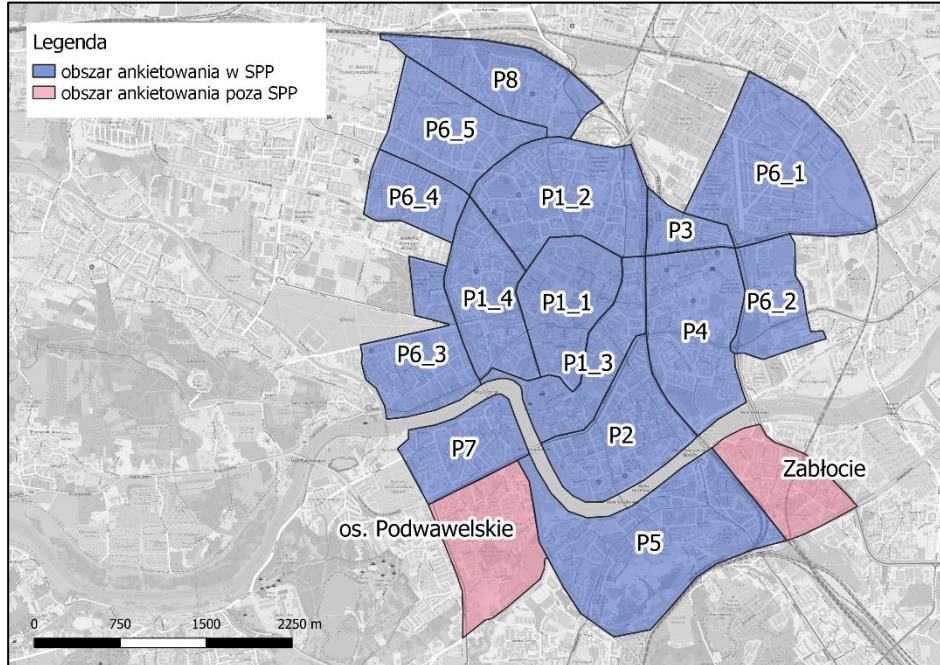
liczbie przemieszczeń wykonywanych przez samochody w obszarach śródmiejskich. Ze względów technicznych i operacyjnych, badania te były prowadzone w poligonach obejmujących wybrane ulice w śródmieściu Krakowa i Wrocławia, jednak problem poszukiwania miejsca do zaparkowania i przemieszczeń tym generowanych występuje w szerszym obszarze – wskazują na to wyniki badań ankietowych, przeprowadzonych w obu miastach wybranych do analizy (Kraków i Wrocław). Zarówno w Krakowie, jak i we Wrocławiu przeprowadzone zostały badania ankietowe na dużej próbie 1000 kierowców parkujących samochody na miejscach przykrawężnikowych w całym obszarze strefy płatnego parkowania. W Krakowie, badania ankietowe zostały przeprowadzone w ramach *Analizy Funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania* [45], natomiast badania we Wrocławiu przeprowadzono na potrzeby pracy – wdrażając analogiczną metodykę.

3.5.1. Zakres terytorialny badania ankietowego

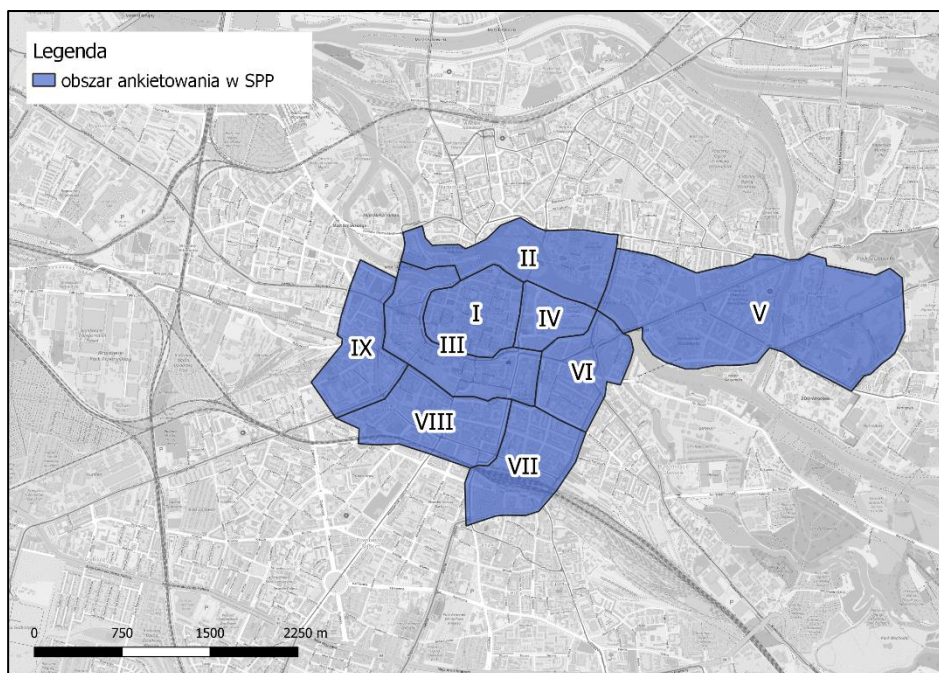
Badania ankietowe w obu miastach (Krakowie i Wrocławiu) zostały przeprowadzone na próbie 1000 kierowców, którzy parkowali swoje samochody na miejscach parkingowych przykrawężnikowych w całym obszarze strefy płatnego parkowania. W Krakowie obszar SPP podzielony był wówczas na podstrefy: P1 (a w tym: P1_1, P1_2, P1_3 i P1_4), P2, P3, P4, P5, P6 (a w tym: P6_1, P6_2, P6_3, P6_4, P6_5), P7 i P8, natomiast we Wrocławiu na podstrefy: I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII i IX. W przypadku Krakowa obszar ankietowania obejmował również dwa obszary wykraczające poza granice strefy płatnego parkowania, tj.:

1. Obszar ograniczony ulicami: Kapelanka – Monte Cassino – rzeki: Wisła i Wilga – nazywany dalej *os. Podwawelskim*
2. Obszar ograniczony ulicami: Herlinga Grudzińskiego – Klimeckiego – Powstańców Wielkopolskich – linia kolejowa – rzeka Wisła – nazywany dalej *Zabłociem*

Opisane obszary przedstawiono na Rys. 3.42. i Rys. 3.43.



Rys. 3.42. Zakres terytorialny badań ankietowych w całym obszarze SPP – Kraków
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap



Rys. 3.43. Zakres terytorialny badań ankietowych w całym obszarze SPP – Wrocław
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

Ankiety przeprowadzono w dni robocze w godzinach obowiązywania strefy płatnego parkowania, tj. między 10:00, a 20:00 w Krakowie i między 9:00 i 18:00 we Wrocławiu. W wybranych podstrefach SPP w Krakowie także w weekendy – również między godziną 10:00, a godziną 20:00. Wywiady ankietowe przeprowadzone w weekend stanowiły 10% wszystkich przeprowadzonych w Krakowie ankiet i zostały wykonane wśród kierowców parkujących pojazdy w obszarze pomiędzy I obwodnicą miejską, a Alejami Trzech Wieszców – tj. podstref P1_1, P1_2, P1_3 i P1_4 oraz podstrefy P2.

Przy założonej liczbie 1000 wywiadów ankietowych w każdym mieście, błąd oszacowania wyników ankiety – wyznaczony wzorem (10) – wyniósł 3%.

3.5.2. Wyniki badania ankietowego

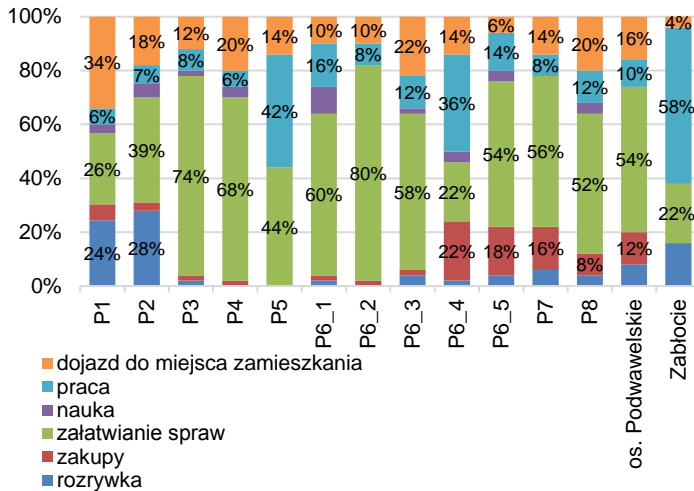
Ankieta realizowana w ramach tych badań była identyczna w obu miastach (w Krakowie i we Wrocławiu), jak również podobna do ankiety realizowanej w ramach pilotażowych badań ankietowych prowadzonych na ulicach poligonów badawczych wybranych do badania ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego – najważniejsze z punktu widzenia pracy pytania sformułowane były w ten sam sposób, dzięki czemu wyniki obu serii badań są porównywalne. Wzór przeprowadzonej ankiety załączono, jako Załącznik nr 3.

Pytania zadawane respondentom w ramach przeprowadzonego badania ankietowego dotyczyły dwóch generalnych kwestii – informacji o bieżącej podróży odbywanej przez ankietywanego kierowcę oraz jego subiektywnej opinii nt. warunków parkowania. Jednym z ważniejszych pytań było pytanie o dostępność miejsc postojowych – czy łatwo/trudno było respondentowi znaleźć w danym obszarze wolne miejsce postojowe oraz ile czasu stracił na znalezienie tego miejsca.

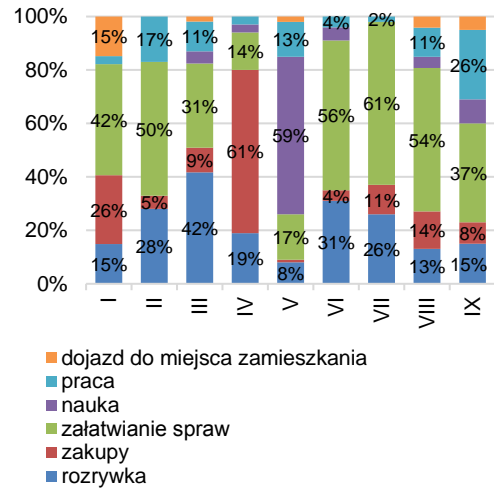
3.5.2.1. Charakterystyka podróży ankietowanych kierowców

Przeważający udział wszystkich podróży ankietowanych kierowców stanowiły w okresie badania podróże związane z załatwianiem różnego rodzaju spraw (22 – 80% w zależności od analizowanego obszaru). Na terenie zabytkowego centrum Krakowa znaczącą część stanowiły także podróże związane z rozrywką, a w pozostałych z zakupami (8 – 22% w podstrefach P6_4, P6_5, P7 i P8). Dość dużą grupę ankietowanych stanowili mieszkańcy danego obszaru, deklarujący dojazd do miejsca swojego zamieszkania – w szczególności w ścisłym centrum (34% w podstrefach P1_1 – P1_4). Szczegółowe

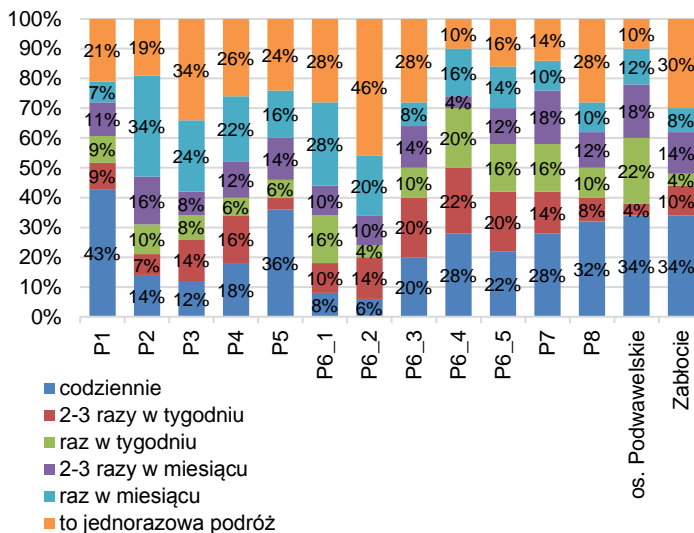
dane dotyczące motywacji podróży ankietowanych w poszczególnych obszarach oraz deklarowaną ich regularność przedstawiono na wykresach (Rys. 3.44 – Rys. 3.47).



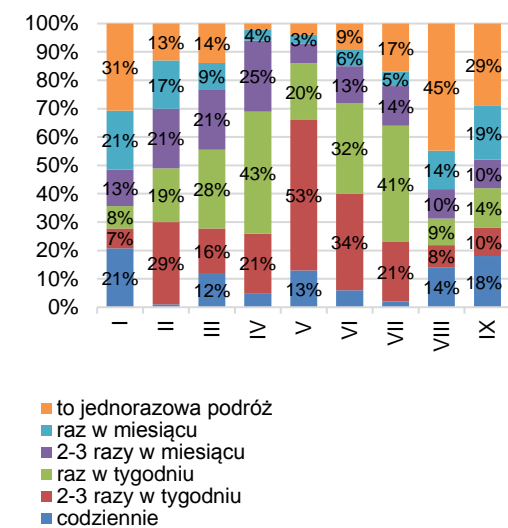
Rys. 3.44. Motywacje podróży ankietowanych kierowców – ogółem w podziale na poszczególne podstrefy SPP w Krakowie
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.45. Motywacje podróży ankietowanych kierowców – ogółem w podziale na poszczególne podstrefy SPP we Wrocławiu
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.46. Regularność podróży ankietowanych kierowców – ogółem w podziale na poszczególne podstrefy SPP w Krakowie
Źródło: opracowanie własne

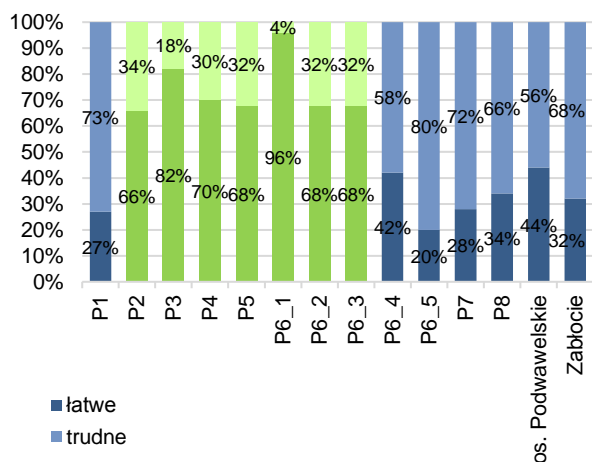


Rys. 3.47. Regularność podróży ankietowanych kierowców – ogółem w podziale na poszczególne podstrefy SPP we Wrocławiu
Źródło: opracowanie własne

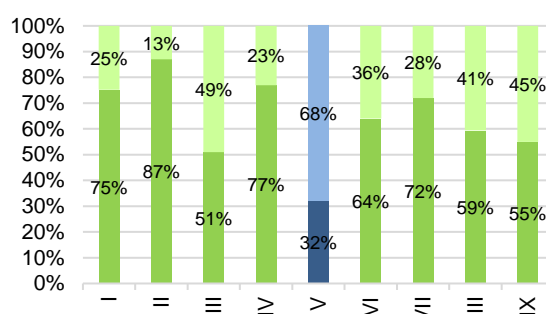
Wśród wszystkich ankietowanych w Krakowie, 83% stanowili kierowcy, którzy na pytanie o źródło wykonywanej aktualnie podróży wskazali Kraków – w tym 24% to mieszkańcy danej podstrefy. Pozostali to osoby spoza Krakowa – wskazujący za miejsce rozpoczęcia swojej podróży zarówno miejscowości Krakowskiego Obszaru Funkcjonalnego [162] (49%), jak i bardziej odległe: Sosnowiec, Łódź, Katowice, czy Radomsko – 10 osób odmówiło podania miejsca rozpoczęcia swojej podróży. Wśród respondentów we Wrocławiu, mieszkańcy Wrocławia stanowili 91% ankietowanych, a w tym 4% to mieszkańcy danej podstrefy. Pozostali (9%) to osoby podróżujące do Wrocławia spoza jego granic.

3.5.2.2. Ocena warunków parkowania

Najbardziej istotną częścią ankiety – z punktu widzenia celu pracy, była subiektywna ocena warunków parkowania w analizowanych obszarach. Kierowcy wyrażali ją bezpośrednio oceniając, czy ich zdaniem znalezienie miejsca parkingowego było w dniu ankietowania *łatwe*, czy *trudne*. Wyniki procentowego udziału poszczególnych odpowiedzi zestawiono dla wszystkich podstref oraz dla rejonów poza SPP (w Krakowie) na wykresach, gdzie na zielono zaznaczono dane z obszarów, w których udział odpowiedzi *łatwe* przekroczył poziom 50% (Rys. 3.48 i Rys. 3.49).



Rys. 3.48. Łatwość znalezienia miejsca parkingowego w SPP w opinii kierowców w Krakowie
Źródło: opracowanie własne

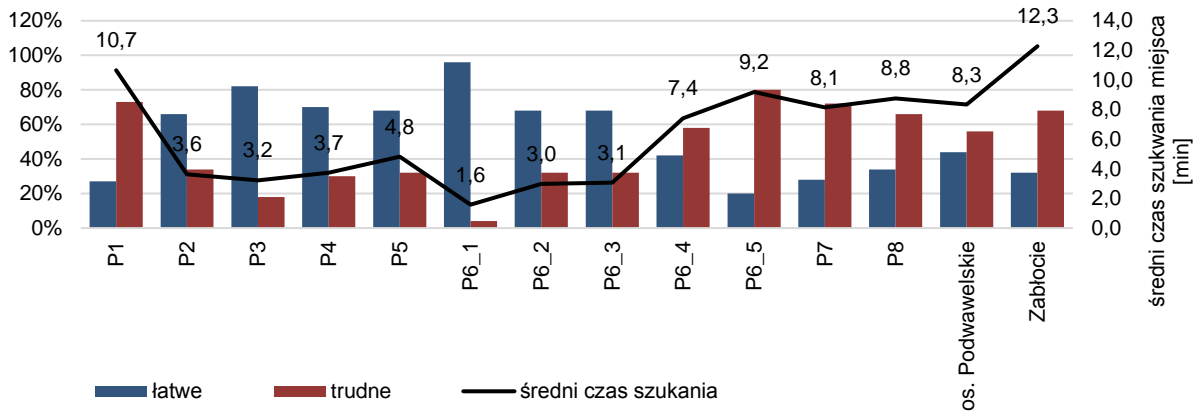


Rys. 3.49. Łatwość znalezienia miejsca parkingowego w SPP w opinii kierowców we Wrocławiu
Źródło: opracowanie własne

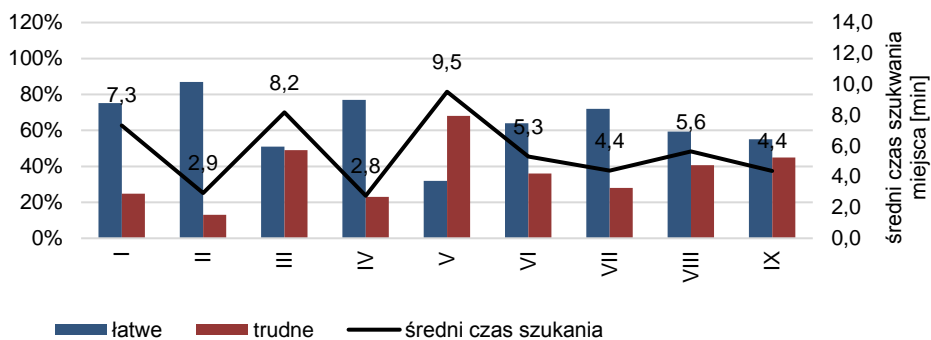
W Krakowie, łatwość znalezienia miejsca do zaparkowania zadeklarowała większość kierowców w 7 z 18 wyznaczonych do ankietowania obszarów, przy czym każdy z nich znajduje się w granicach strefy płatnego parkowania. Największy odsetek kierowców (aż 96%) stwierdziło łatwość znalezienia wolnego miejsca do zaparkowania w podstrefie P6_1. Najgorszy wynik odnotowano w ścisłym centrum miasta – podstrefie P1 i podstrefie P6_5 (odpowiednio 27% i 20% odpowiedzi stwierdzających łatwość znalezienia miejsca). Struktura odpowiedzi ankietowanych kierowców, odpowiadających na to pytanie w dni robocze i weekendowe nie różniła się znacząco w przypadku podstref ścisłego centrum (P1_1 – P1_4) – zarówno w weekend, jak i dzień roboczy, trudność w znalezieniu miejsca zadeklarowało tam odpowiednio 78% i 72% ankietowanych. Inaczej było w przypadku podstrefy P2 w obszarze Kazimierza, gdzie w dniu roboczym łatwość znalezienia zadeklarowało aż 96% ankietowanych kierowców, podczas gdy w weekend już tylko 36% respondentów.

Odpowiedzi ankietowanych kierowców udzielone we Wrocławiu wskazały, że znalezienie miejsca w całym obszarze SPP było generalnie łatwe. Jediną podstrefą, w której odsetek respondentów wskazujących na trudność ze znalezieniem wolnego miejsca była podstrefa nr V (68% ankietowanych w tej podstrefie kierowców wskazało na trudność ze znalezieniem wolnego miejsca do zaparkowania) – pozostałych podstrefach udział osób wskazujących łatwość znalezienia miejsca przekraczała 50%. Najlepszą sytuację pod tym względem odnotowano dla podstref nr I, II, IV i VII – w nich udział osób dobrze oceniających warunki parkowania w tym pytaniu przekraczał 70%.

Ze względu na to, że pojęcia *łatwe* i *trudne* – są pojęciami niejednoznacznymi, odpowiedzi dotyczące bezpośredniej oceny trudności w znalezieniu wolnego miejsca do zaparkowania zestawiono z subiektywną, szacunkową oceną czasu trwania tego poszukiwania. Średni czas poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania (t_{dsz}) dla każdego analizowanego obszaru wraz z oceną trudności znalezienia miejsca przedstawiono na wykresach (Rys. 3.50 i Rys. 3.51).



Rys. 3.50. Średni czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego w zestawieniu z subiektywną oceną trudności w znalezieniu wolnego miejsca w SPP w Krakowie
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3.51. Średni czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego w zestawieniu z subiektywną oceną trudności w znalezieniu wolnego miejsca w SPP we Wrocławiu
Źródło: opracowanie własne

W obu miastach deklarowany średni czas poszukiwania wolnego miejsca (t_{dsz}) różnił się znacznie w poszczególnych podstrefach. W Krakowie, najkrótszy, wynoszący zaledwie 1,6 min czas poszukiwania miejsca (t_{dsz}) stwierdzono w podstrefie P6_1, gdzie udział procentowy osób, które zadeklarowały łatwość znalezienia wolnego miejsca osiągnął poziom 96%. Najdłuższy średni czas poszukiwania miejsca do zaparkowania (t_{dsz}) stwierdzono w ścisłym centrum (P1) i w obszarze Zabłocia – wyniósł on tam odpowiednio 10,7 i 12,3 min. We Wrocławiu najkrótszy średni czas poszukiwania odnotowano na podstawie odpowiedzi kierowców podstref IV i II i wyniósł on tam odpowiednio 2,8 i 2,9 minuty. Adekwatnie do tego czasu, również odpowiedzi odnoszące się do odczucia związanego z trudnością znalezienia wolnego miejsca do zaparkowania w tych podstrefach stanowiły odpowiednio 23 i 13%. Najdłuższy czas na poszukiwanie miejsca parkingowego (t_{dsz}) poświęcili średnio ankietowani w podstrefie V (9,5 min) i również w tej podstrefie najwyższy był odsetek respondentów oceniających warunki parkowania w tym zakresie, jako *trudne*.

W celu sprawdzenia, czy istnieje istotny związek pomiędzy deklarowanym przez kierowców czasem poszukiwania miejsca parkingowego (t_{dsz}), a odczuwaną trudnością ze znalezieniem wolnego miejsca – który wstępnie stwierdzono w oparciu o wykresy (Rys. 3.50 i Rys. 3.51), przeprowadzono test korelacji wykorzystując test korelacji Spearmana, który można stosować dla prób o małej liczności, a także bez konieczności sprawdzenia zgodności danych z określonym rozkładem [145]. W obu przypadkach (zarówno w Krakowie, jak i we Wrocławiu) wyniki testu wskazały dużą korelację czasu poszukiwania miejsca parkingowego (t_{dsz}) oraz procentowego udziału kierowców, którzy ocenili znalezienie wolnego miejsca parkingowego, jako *łatwe*. Współczynnik korelacji R Spearmana wyznaczono wzorem [145]:

$$R_S = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (17)$$

gdzie:

- d_i – różnica rang w kolejnych uporządkowaniach badanych cech,
 $d_i = r_{1i} - r_{2i}$
- r_{1i} – ranga i -tego obiektu w pierwszym uporządkowaniu
- r_{2i} – ranga i -tego obiektu w drugim uporządkowaniu
- n – liczba badanych obiektów

Wartość współczynnika korelacji dla Krakowa, wyznaczona za pomocą statystycznego pakietu *Statgraphics* [146], wyniosła $R_S = -0,85$, natomiast dla Wrocławia $R_S = -0,72$, co oznacza dość dużą korelację analizowanych danych [145].

Ze względu na dużą liczbę uwarunkowań lokalnych każdego obszaru oraz indywidualne odczucia każdego kierowcy, subiektywną ocenę warunków parkowania w analizowanych obszarach należy jednak traktować z ostrożnością.

Ponieważ długość czasu traconego przez kierowców na poszukiwanie wolnego miejsca postojowego jest kwestią szczególnie istotną z punktu widzenia celu pracy, przeanalizowano ją bardziej szczegółowo, niż pozostałe dane. Średni czas poszukiwania miejsca parkingowego (t_{dsz}), biorąc pod uwagę wszystkie podstrefy SPP ogółem, wynosił 7,2 min i 5,6 min odpowiednio w Krakowie i we Wrocławiu. W pierwszej kolejności sprawdzono, czy dane uzyskane od respondentów w Krakowie i we Wrocławiu istotnie różnią się od siebie – czy można je traktować jako jedną próbę danych z jednej populacji. Wcześniej przy pomocy programu *Statgraphics* [146] sprawdzono zgodność danych z rozkładem normalnym wykorzystując test Shapiro – Wilka (11) [40].

Wyznaczone statystyki testu, zarówno dla danych pochodzących od ankietowanych w Krakowie, jak i Wrocławiu z 95% prawdopodobieństwem wskazały, że zmienne czas poszukiwania miejsca parkingowego (t_{dsz}) w obu próbach mają rozkład, który nie jest zbliżony do rozkładu normalnego (Tab. 3.7). Podobnie jak w przypadku odpowiedzi na dokładnie to samo pytanie zadawane w ramach badań pilotażowych (przed rozpoczęciem badania wielkości ruchu *search traffic*), dodatkowa analiza histogramów tych zmiennych wskazywałaby raczej na ich zgodność z rozkładem wykładniczym.

Tab. 3.7. Wyniki testu Shapiro – Wilka dla zmiennych czas poszukiwania miejsca parkingowego – badanie ankietowe w całym obszarze SPP

test Shapiro – Wilka			
Kraków		Wrocław	
W	$Pvalue$	W	$Pvalue$
0,83	0,00	0,85	0,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych pomiarów

Ze względu na to, do sprawdzenia, czy pomiędzy danymi z ankiet prowadzonych w Krakowie i we Wrocławiu występują istotne statystycznie różnice, wykorzystano nieparametryczny test U Mann-Whitney'a (Wilcoxon), który porównuje mediany obu próbek danych [40]. Analizę przeprowadzono analogicznie, jak w przypadku ankietowych badań pilotażowych. Przyjęto następujące hipotezy:

- H_0 – próby pochodzą z jednej populacji,
- H_1 – próby pochodzą z różnych populacji.

Wartość statystyki testowej U wyznaczono wzorem (12), a dane uzyskane w wyniku tej analizy przedstawiono w tabeli (Tab. 3.8).

Tab. 3.8. Wyniki testu U Manna-Whitney'a dla zmiennych *czas poszukiwania miejsca parkingowego* – badanie ankietowe w całym obszarze SPP

testu U Manna-Whitney'a	
<i>U</i>	<i>P</i> value
427751	< 0,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych pomiarów

Wyniki testu wskazują, że średnich wartości czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (t_{dsz}) uzyskanych z obu serii badania ankietowego nie można traktować, jako pochodzących z jednej populacji ($p_{value} < 0,05$), co należy interpretować, jako że występują pomiędzy nimi istotne statystycznie różnice (poziom istotności $\alpha = 0,05$). Jest to ważny wniosek z punktu widzenia realizowanych badań, ponieważ jest jedną z przesłanek ku temu, że czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego różni się w różnych miastach – jest zatem zależny od wielu czynników, w tym także subiektywnych odczuć kierowców. Należy tutaj zwrócić uwagę, że jest to czas deklarowany, a nie mierzony przez obserwatora z zewnątrz – jest więc wartością określoną bardzo subiektywnie. Dane o czasie poszukiwania miejsca w obu miastach analizowano więc oddzielnie, a w tabeli zestawiono najważniejsze charakterystyki ich dotyczące (Tab. 3.9):

Tab. 3.9. Podstawowe charakterystyki wyznaczone dla zmiennych *czas poszukiwania miejsca parkingowego* – badanie ankietowe w całym obszarze SPP

Czas poszukiwania wolnego miejsca (t_{dsz})	Kraków	Wrocław
wartość średnia	7,2 [min]	5,6 [min]
przedział ufności dla średniej ($1 - \alpha = 0,95$)	[6,8 min; 7,5 min]	[5,3 min; 6,0 min]
odchylenie standardowe	6,4 [min]	5,4 [min]
przedział ufności dla odchylenia standardowego ($1 - \alpha = 0,95$)	[6,2 min; 6,7 min]	[5,1 min; 5,6 min]

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych pomiarów

Średni czas poszukiwania miejsca parkingowego (t_{dsz}) w Krakowie wyniósł w dniu badania 7,2 minuty, przy czym błąd oszacowania tej średniej wynosi 0,4 minuty. W przypadku Wrocławia, średni czas tracony na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (t_{dsz}) podczas badań ankietowych wyniósł 5,6 minuty, a błąd oszacowania tej wartości to 0,3 minuty. Przy tak dużej liczności danych, jak w przypadku analizowanych badań, udało się określić średnią wartość ze stosunkowo małym błędem.

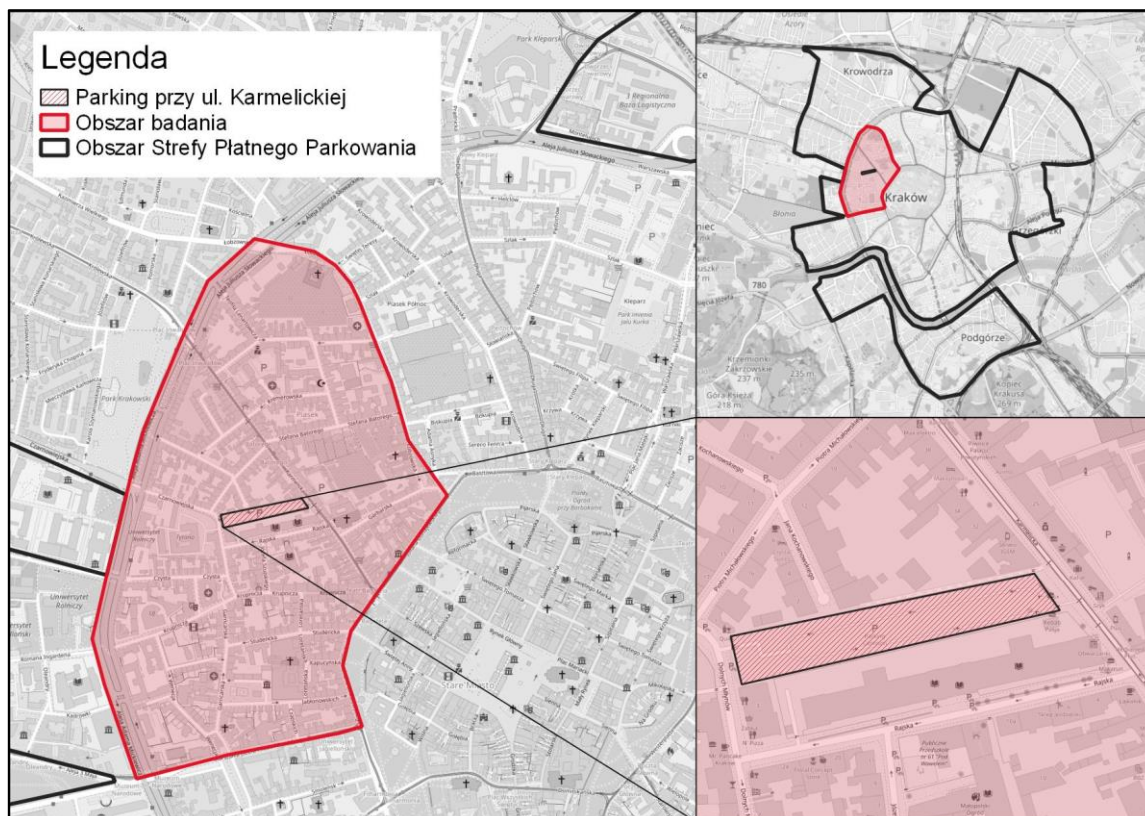
3.6. Badanie ankietowe czynników skłaniających kierowców do podejmowania poszukiwania wolnego miejsca parkingowego

Ponieważ nie zidentyfikowano wyników opublikowanych badań ankietowych z kierowcami parkingów przykrawężnikowych oraz wydzielonych, które dotyczyłyby kwestii potencjalnych czynników, mogących mieć wpływ na ich decyzje o podejmowaniu *krążenia* w sieci drogowo-ulicznej w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego w warunkach polskich, na potrzeby pracy przeprowadzono takie badania. Poligon badawczy obrano w Krakowie, w obszarze śródmieścia, w bezpośrednim sąsiedztwie poligonu obranego do badania *search traffic* – opisanego w rozdziale 3.2. W obszarze tym znajduje się parking wydzielony (przy ul. Karmelickiej) – prywatny, na którym stawki za postój samochodów w okresie badania nie odbiegały znacząco od stawek za postój na miejscu przykrawężnikowym w ramach strefy płatnego parkowania. Dzięki temu, kierowcy będący respondentami badania ankietowego, kończąc swoją podróż wybierali pomiędzy postojem na parkingu

wydzielonym lub na miejscu parkingowym przy ulicy w podobnych warunkach cenowych (wykluczono tym finansową determinantę *krążenia*). Wzór przeprowadzonych ankiet – nieznacznie różniących się dla respondentów parkujących przy ulicy i na parkingu, dołączono, jako Załączniki nr 4 i nr 5.

Przeprowadzono łącznie 597 ankiet, w tym 298 z kierowcami, którzy zaparkowali swój samochód na miejscu postojowym przy ulicy i 299 z kierowcami parkującymi na parkingu wydzielonym. Przy tej liczbie próby, błąd oszacowania wyników ankiety, określony równaniem (10), wynosi 4%.

Obszar terytorialny badania przedstawiono na mapie (Rys. 3.52).

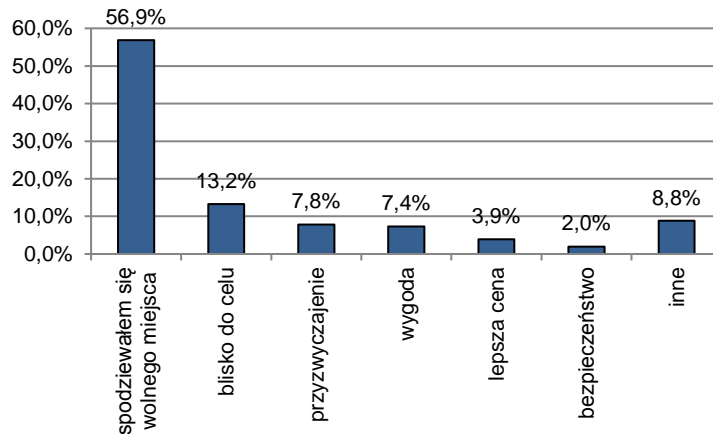


Rys. 3.52. Zakres terytorialny badania ankietowego dotyczącego czynników, które mogą mieć wpływ na podejmowanie przez kierowców decyzji o poszukiwaniu wolnego miejsca do parkowania – Kraków
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

Wyniki badania wskazały, że znalezienie miejsca parkingowego w analizowanym obszarze stanowiło w dniu ankietowania spory problem dla kierowców. Ci, którzy zdecydowali o zaparkowaniu pojazdu przy ulicy, szukali wolnego miejsca średnio przez około 6,6 minuty (t_{asz}). Osoby te stanowiły nieco ponad 80% wszystkich respondentów, przy czym poszukujący miejsca dłużej niż 5 minut stanowili aż 53% wszystkich pytanym kierowców. Wśród osób, które swój samochód pozostawiły na parkingu wydzielonym, 32% zdecydowało się na ten ruch po nieskutecznym poszukiwaniu miejsca przy ulicy.

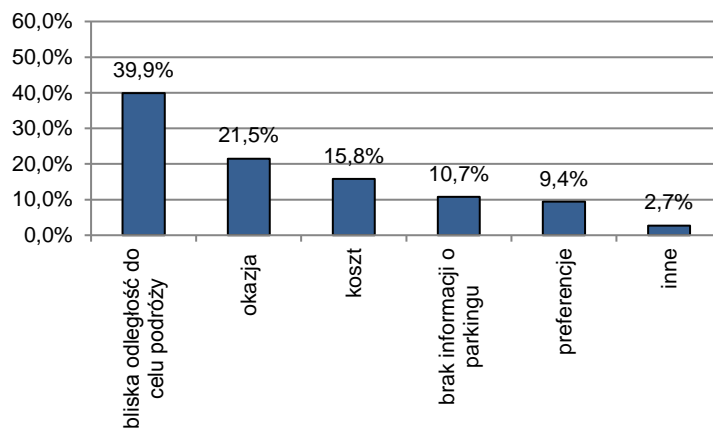
Obie grupy kierowców zapytano o powód wyboru danego rodzaju parkingu. Pytanie miało formę otwartą, aby odpowiedź w pełni wyrażała motyw ankietowanego i nie była sugerowana gotową możliwością wyboru. Uzyskane dane następnie uporządkowano w grupy identyczne dla obu serii odpowiedzi ankietowanych.

Wśród kierowców ankietowanych na parkingu wydzielonym, głównym powodem jego wyboru była *spodziewana dostępność wolnego miejsca* (56,9% ankietowanych) – znacząco odbiegając od pozostałych powodów wymienianych w badaniu (Rys. 3.53).



Rys. 3.53. Czynniki decydujące o wyborze parkingu wydzielonego | Kraków
Źródło: opracowanie własne

W przypadku kierowców zajmujących miejsca parkingowe przy ulicy, głównym powodem realizowania poszukiwania i wyboru miejsca właśnie przy ulicy była natomiast *bliskość celu podróży* (39,9%) oraz *okazja* (21,5%), co oznacza, że część kierowców nie ma konkretnie sprecyzowanych planów co do miejsca pozostawienia samochodu (Rys. 3.54).



Rys. 3.54. Czynniki decydujące o wyborze miejsca parkingowego przy ulicy | Kraków
Źródło: opracowanie własne

Obydwa wykresy (Rys. 3.53 i Rys. 3.54) wskazują, że *przyzwyczajenie*, *wygoda* (w domyśle szerokie miejsca parkingowe, obsługa, brak konieczności poszukiwania), czy *preferencje* stanowiły istotny czynnik decydujący o wyborze konkretnego typu parkingu u jedynie kilku (mniej niż 10) procent ankietowanych kierowców. W znacznej mierze, wybór ten był determinowany spodziewaną dostępnością miejsca oraz jego odległością od ostatecznego celu podróży.

Na uwagę zasługuje fakt, że w obu sytuacjach, za czynnik powodujący podjęcie danej decyzji o miejscu pozostawieniu samochodu podawano m.in. *koszt postoju* – w przypadku kierowców parkujących pojazdy na miejscach parkingowych przy ulicy powód ten zadeklarowało 15,8% wszystkich ankietowanych. W okresie prowadzenia badania ankietowego koszt godziny postoju na parkingu wydzielonym wynosił 4 zł, podczas gdy koszt postoju na miejscu postojowym przy ulicy wynosił 3,00 zł za pierwszą, 3,50 zł za drugą, 4,10 zł za trzecią i 3,00 za każdą kolejną godzinę postoju. Oznacza to, że koszt samego postoju w obu przypadkach był zbliżony. Dodatkowo, biorąc pod uwagę koszty własne ponoszone przez kierowcę podczas poszukiwania miejsca postojowego dla analizowanego przypadku, czas po którym poszukiwanie stawało się zupełnie nieopłacalne, wyznaczony wzorem (6), wynosił niespełna 1 minutę. Wynik ten stanowi potwierdzenie przypuszczenia o braku kalkulacji przez kierowców kosztów parkowania wykraczających poza koszt samego postoju pojazdu.

Kierowcy parkujący samochody przy ulicy pytani byli również o maksymalny akceptowalny czas, jaką są w stanie poświęcić na dojście piesze z zaparkowanego samochodu do punktu docelowego swojej podróży (t_{ad}). Wskazuje on jak daleko może sięgać obszar poszukiwania miejsca postojowego przez kierowców w sytuacji ich niedoboru. W przeprowadzonym badaniu ankietowym, maksymalny akceptowalny czas dojścia pieszego z miejsca postojowego od ostatecznego celu podróży (t_{ad}) wyniósł, w przypadku kierowców parkujących przy ulicy, średnio 8,4 minuty. Jest to wynik zbliżony do wyniku odpowiedzi na to samo pytanie, zadawane respondentom w ankiecie przeprowadzanej w ramach pilotażowego badania *search traffic* w Krakowie i we Wrocławiu (rozdział 3.2). Wynik uzyskany w ramach tamtych badań wskazał, że maksymalny akceptowalny czas dojścia do ostatecznego celu podróży od zaparkowanego przy ulicy samochodu (t_{ad}) wyniósł 8,2 i 9,8 minuty odpowiednio w Krakowie i we Wrocławiu.

3.7. Wnioski z rozdziału 3

Ze względu na brak zidentyfikowanych w ramach przeglądu literatury publikacji, które prezentowałyby wyniki polskich badań związanych z ruchem generowanym poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w obszarach śródmiejskich, przeprowadzono autorskie badania w tym zakresie. Obejmowały one badania ankietowe, badania natężenia ruchu wraz z odczytem numerów z tablic rejestracyjnych pojazdów oraz pomiary parkowania. Wyniki tych badań wyraźnie wskazały, że kierowcy mieli problemy ze znalezieniem wolnego miejsca do zaparkowania i decydowali się na przemieszczenia w przyległej sieci ulicznej, żeby to miejsce znaleźć. Było to powodowane głównie chęcią zaparkowania w jak najbliższej odległości od celu podróży, choć maksymalny akceptowany przez kierowców czas dojścia do niego od zaparkowanego przy ulicy samochodu (t_{ad}) – oszacowany na podstawie wyników badań ankietowych – wynosił średnio prawie 10 minut.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazały, że w obszarach śródmiejskich występuje ruch generowany wyłącznie poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego (*search traffic*), jednak nie jest znana dokładna zależność jego wielkości od efektywności funkcjonowania (stopnia jej wykorzystania i zaspokojenia popytu na parkowanie) przestrzeni parkingowej danego obszaru miasta. Pomiary tego ruchu przeprowadzono w dwóch miastach podobnej wielkości: Krakowie i Wrocławiu, w podobnych obszarach – w bliskiej odległości ścisłego centrum miasta, w obszarach z parkowaniem przykrawężnikowym, objętych strefą płatnego parkowania. W obu miastach oszacowany udział *search traffic* w ogólnym ruchu obserwowanym na ulicach wyznaczonych poligonów (u_{sz}) wyniósł odpowiednio 10,4, 8,8 i 5,5% w I i II serii badania przeprowadzonego w Krakowie oraz we Wrocławiu. Należy w tym miejscu podkreślić jednak, że najwyższy średni udział wolnych miejsc wśród wszystkich miejsc postojowych danego poligonu (10,4%) odnotowano we Wrocławiu, gdzie średni udział w ruchu ogólnym pojazdów *krążących* był najniższy (5,5%). Analogicznie, w ramach I serii obserwacji prowadzonych w poligonie krakowskim zarejestrowano najwyższy, spośród trzech przeprowadzonych badań, udział pojazdów poszukujących miejsca postojowego (10,4%), podczas gdy również w tym poligonie odnotowano najniższy spośród pozostałych wyników średni udział wolnych miejsc postojowych (3,0%).

Celem badania było również oszacowanie długości czasu poświęconego na poszukiwanie wolnego miejsca do postoju – jest to jeden z najważniejszych parametrów dotyczących *search traffic*. Wg wyników ankietowania wartość średnia tego czasu nie przekroczyła 10 minut w żadnym z poligonów badawczych (wyniosła 7,13 i 6,4 minuty w poligonach lokalnych – odpowiednio w Krakowie i we Wrocławiu, a także 7,2 i 5,6 minuty dla obszaru całej SPP – odpowiednio w Krakowie i we Wrocławiu). Pomiary terenowe *search traffic* wykazały z kolei, że szacowany czas stracony na *krążenie* w poszukiwaniu miejsca do postoju wynosił – 9,93 i 11,85 min odpowiednio w I i II serii badań w Krakowie oraz 3,87 min we Wrocławiu. Należy tutaj podkreślić, że odpowiedzi uzyskane w badaniu ankietowym są obciążone niepewnością, wynikającą z subiektywnej oceny i szacunku czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego – który w warunkach niekomfortowych bywa przeszacowywany lub niedoszacowywany.

Opracowana metodyka badania wymaga sporych – w stosunku do zakresu terytorialnego analizy – nakładów finansowych. Z tego względu może być stosowana raczej lokalnie, w wybranych wcześniej

lokalizacjach, w których spodziewane jest występowanie *search traffic*. Jest jednak dobrym narzędziem do weryfikacji lokalnych problemów z parkowaniem.

Aby sformułować bardziej szczegółowe wnioski co do istnienia zależności wielkości *search traffic* i warunków parkowania w danym obszarze, konieczne jest wypracowanie metodyki oceny tych warunków. Z tego względu – ponieważ nie sformułowano do tej pory metodyki, która ujednoliciłaby sposób badania i oceny funkcjonowania przestrzeni parkingowych oraz definiowała wskaźniki będące miarą tej oceny, w kolejnym rozdziale (4), przedstawiono autorską propozycję takiej metodyki oceny efektywności parkingowej wybranych obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym.

Efektom analizy wszystkich wyników przeprowadzonych badań oraz ich zestawienia z wnioskami formułowanymi w literaturze jest ostrożne stwierdzenie, że o wielkości obserwowanego w sieci ulicznej danego obszaru ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego decydują czynniki zależne od zagospodarowania i infrastruktury parkingowej danego obszaru, tj.:

- wielkość popytu na parkowanie w danym obszarze,
- podaż parkingowa, a także
- subiektywne odczucia i decyzje kierowców podejmowane pod ich wpływem – determinowane jednak w dużej mierze lokalizacją i dostępnością miejsc parkingowych, a nie wygodą, przyzwyczajeniem czy indywidualnymi upodobaniami.

4. Analiza relacji podaży i popytu na parkowanie – propozycja parametrów oceniających efektywność parkingową obszaru w oparciu o teorię masowej obsługi

Analizy funkcjonowania stref płatnego parkowania lub parkowania w innych wybranych obszarach polskich miast opierają się najczęściej na analizie trzech podstawowych parametrów [13], [77], [85], [89], [118], [120], [121], [123], których sposób wyznaczania przedstawiono w rozdziale 3.3.:

- napełnienia dostępnej w danym obszarze powierzchni parkingowej, analizowanego w kolejnych godzinach dnia/okresu badawczego (w_p),
- rotacji parkingowej (w_r) oraz
- czasu postoju pojazdów na miejscach parkingowych (t_p).

Wskaźniki te są podstawowymi miarami charakteryzującymi sytuację parkingową, podawanymi przez podręczniki, m.in. [56]. Są ze sobą powiązane – szczególnie w warunkach dużego napełnienia powierzchni parkingowej, krótszy średni czas postoju pojazdów determinuje większą ich rotację. Również z operacyjnego punktu widzenia nie mogą one być analizowane niezależnie, ponieważ tylko wspólnie wyrażają pewien stopień wykorzystania powierzchni parkingowej. Parking o 10 dostępnych miejscach parkingowych (M_p), napełniony (w_p) przez cały dzień w 100% w sytuacji nr 1 może być wykorzystany w ciągu całego dnia łącznie przez tylko 10 pojazdów – wówczas czas postoju (t_p) jest bardzo długi i rotacja parkingowa (w_r) wynosi 1 pojazd na miejsce parkingowe. Ten sam parking, przy 100% napełnieniu (w_p), w sytuacji nr 2, może być wykorzystany w ciągu całego dnia przez 100 pojazdów – wtedy czas postoju (t_p) jest bardzo krótki, a wskaźnik rotacji (w_r) wynosi 10 pojazdów na miejsce parkingowe. Oznacza to, że analizując tylko i wyłącznie poziom napełnienia powierzchni parkingowej można sformułować mylne (w stosunku do rzeczywistości) wnioski: w obu przytoczonych sytuacjach średnie napełnienie parkingu (w_p) wynosiło 100%, przy skrajnie różnych wartościach wskaźnika rotacji parkingowej (w_r). Podobny przykład można podać w sytuacji, gdy analizie poddaje się wyłącznie wskaźnik rotacji: parking o 10 dostępnych miejscach (m_p), napełniony średnio w ciągu dnia (w_p) tylko w kilku procentach, może uzyskać wskaźnik rotacji (w_r) równy 1 pojazdowi na miejsce parkingowe – czyli niekorzystny, mówiący o słabym wykorzystaniu powierzchni parkingowej i domniemanym długim czasie postoju (t_p). Może to wynikać jednak z niskiego poziomu jego napełnienia (w_p): przy krótkim czasie postoju pojazdów (t_p), 10 pojazdów w ciągu dnia może parkować kolejno po sobie, na jednym miejscu parkingowym – np. miejscu zlokalizowanym w najbliższej odległości od wejścia (pozostałe miejsca pozostaną puste). Średni wskaźnik rotacji (w_r) – wysoki, dla miejsca postojowego najbliższej wejścia do budynku, zostanie obniżony (uśredniony) przez pozostałe miejsca parkingowe, niewykorzystywane w ciągu dnia.

Wymienione parametry opisują wykorzystanie powierzchni parkingowej danego obszaru. Aby je ocenić, należałoby wyznaczone empirycznie ich wartości porównać z kluczem wartości optymalnych. W praktyce, interpretacja wartości tych parametrów w kontekście efektywności wykorzystania przestrzeni parkingowej rodzi dużą trudność. Nie sprecyzowano dotąd jak tę efektywność wyrazić i pod jakim kątem należy ją oceniać. Nie określono czy któraś z opisanych miar parkowania w pełni ją wyraża. Nie sprecyzowano jaki poziom poszczególnych parametrów parkowania jest optymalny dla danego obszaru. Nie przygotowano do tej pory (dla polskich warunków parkingowych) uniwersalnego, kompleksowego schematu, wg którego byłaby możliwa obiektywna ocena funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej pod tym kątem. Brakuje również wytycznych porządkujących kwestie parkowania, polityki parkingowej, prowadzenia pomiarów i badań w tej kwestii oraz inżynierskiej analizy parametrów parkowania⁷. Poniżej zestawiono interpretacje opisywanych wskaźników, występujące w literaturze:

⁷ Właściwie jedynym podręcznikiem polskich autorów, który zawiera uporządkowanie w ww. tematyce jest [56].

Napełnienie powierzchni parkingowej obszaru (w_p) – za optymalny poziom napełnienia powierzchni parkingowej obszaru uważa się poziom 85% [15], [138]. Jest to wartość, na której opierają się zagraniczne polityki rynkowej zasady ustalania wysokości opłat za postój na miejscach przykrawężnikowych. Napełnienie niższe niż 85% dostępnej powierzchni parkingowej danego obszaru wskazuje, że miejsca postojowe nie są efektywnie wykorzystywane – przez zbyt wysoką stawkę godzinową generują spadek dochodów, bo duża część z nich pozostaje wolna. Napełnienie wyższe niż 85% z kolei, wyraża zbyt duży popyt na parkowanie w stosunku do podaży, co wskazuje na zbyt niską stawkę godzinową za postój. Wg D. Shoupa [138], 15% wolnych miejsc postojowych przypadających na dany obszar pozwala na znalezienie miejsca do zaparkowania samochodu w akceptowalnym czasie.

W polskich opracowaniach nie zidentyfikowano określonego optymalnego poziomu napełnienia powierzchni parkingowej obszaru.

Wskaźnik rotacji parkingowej (w_r) – S. Gaca, W. Suchorzewski i M. Tracz [56] podają 3 przedziały wskaźnika rotacji parkingowej, w których można ulokować jego wartości celem ich oceny:

- wskaźnik rotacji mniejszy lub równy 1 – niewykorzystana podaż miejsc postojowych,
- wskaźnik rotacji zawierający się w przedziale (1; 5) – wystarczająca podaż miejsc postojowych,
- wskaźnik rotacji większy od 5 – duże zapotrzebowanie na krótkie postoje, wskazane ograniczenie czasu postojowego.

Wg nich [56], ogólnie podaje się, że dla śródmieścia wskaźnik rotacji wynosi zazwyczaj około 4 pojazdy na miejsce postojowe. Wg przytoczonych w [56] danych amerykańskich natomiast wskaźnik ten zależy od wielkości miasta i wynosi od 3 pojazdów na miejsce postojowe w miastach stutysięcznych, do 1,6 pojazdu na miejsce postojowe w miastach dwumilionowych. W [56] nie podano źródeł, na których oparto tę interpretację. Nie sprecyzowano również jaki poziom wskaźnika rotacji jest poziomem optymalnym, ani też w jakiej jednostce czasu należy jego wartości analizować. Jego zakres, określony jako *wystarczająca podaż miejsc postojowych*, zawarty w przedziale (1; 5) jest bardzo duży. Średnia liczba 2 pojazdów przypadających na jedno miejsce postojowe w ciągu jednego dnia determinuje, przy 10-ciu miejscowym parkingu, wykorzystanie go przez 20 pojazdów w ciągu całego dnia. Przy wskaźniku rotacji równym 5 pojazdów na miejsce postojowe, wykorzystanie parkingu w ciągu dnia wzrasta do 50 pojazdów, co stanowi aż 250% początkowej wartości.

Czas postoju pojazdów (t_p) – jest parametrem zależnym od zapotrzebowania, motywacji podróży kierowców, dlatego nie określa się jego poziomu optymalnego. Determinuje on poziom wskaźnika rotacji parkingowej oraz pośrednio wskaźnika napełnienia powierzchni parkingowej.

Ogólny brak instrukcji do interpretacji tych podstawowych parametrów wynika najpewniej z dużej złożoności procesów związanych z parkowaniem, które dodatkowo silnie uzależnione są od decyzji człowieka oraz indywidualnego charakteru analizowanego obszaru. Z tego powodu bardzo trudne jest przygotowanie klucza optymalnych wartości tych parametrów, uniwersalnego dla każdego rejonu w losowo wybranym mieście, w kontekście efektywności wykorzystania analizowanej przestrzeni parkingowej. **Wskaźniki te należałoby raczej interpretować, odnosząc się do relacji podaży i popytu na miejsca postojowe w danym obszarze i tym samym ocenić ogólną efektywność funkcjonowania przestrzeni parkingowej, jako zdolność do zaspokojenia popytu na parkowanie.** Dlatego podjęto próbę sformułowania wskaźnika, który uwzględniając stosunek podaży do popytu na parkowanie w danym obszarze, wyrazi poziom efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej danego obszaru w tej interpretacji. Będzie on tym samym miarą obrazującą poziom *dostępności* parkingowej, która do tej pory była niejednoznacznym określeniem mówiącym o tym jak trudno/łatwo w danej okolicy znaleźć wolne miejsce do zaparkowania samochodu – nie podjęto jednak próby jej kwantyfikowania. Będzie to **wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej** danego obszaru.

4.1. Relacja podaży i popytu na parkowanie

Zagadnienie parkowania pojazdów na miejscach postojowych przykrawężnikowych (publicznych) rozważane jest w literaturze zagranicznej [138], [170] w kategoriach rynku towarów lub usług. Wg tego podejścia, publiczne miejsca parkingowe traktowane są jak dobro lub usługa, których cena (w tym przypadku stawka za godzinę postoju) powinna być regulowana na zasadach rynkowych – czyli zależęć przede wszystkim od wielkości popytu na nie. W opracowaniach, analizach i publikacjach wprowadza się często pojęcia *podaży* i *popytu* w odniesieniu do parkowania, określając nimi odpowiednio: dostępne miejsca postojowe i kierowców (pojazdy), które mają potrzebę skorzystania z nich.

Uszczegółowiono koncepcję postrzegania miejsc parkingowych i korzystających z nich kierowców (pojazdów) jako podaży i popytu, a relację pomiędzy nimi wykorzystano do oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej. Założono, że:

1. Sytuacja parkingowa danego obszaru powinna odzwierciedlać rynkową sytuację równowagi, w której przy określonej cenie za postój (bądź z pominięciem ceny w obszarach bez opłat za parkowanie) następuje równowaga wielkości podaży i popytu, co oznacza, że każdy pojazd (kierowca) potrzebujący miejsca do zaparkowania i skłonny zapłacić określoną kwotę za parkowanie – znajdzie je.
2. Nawiązując do koncepcji opisanej w [15] i [138], poziom równowagi rynkowej w odniesieniu do parkowania powinien występować na poziomie 85% napełnienia dostępnej powierzchni parkingowej. Oznacza to, że przyjęta cena za postój (w obszarach z płatnym postojem) powinna regulować popyt na parkowanie tak, aby stan równowagi był osiąganym z 15% buforem wolnych miejsc parkingowych.
3. Jeśli podaż w pełni zaspokaja popyt na parkowanie (przy określonym poziomie cen w obszarach z płatnym postojem), zapewniając dodatkowo 15% bufor wolnych miejsc parkingowych, to przestrzeń parkingowa funkcjonuje efektywnie.
4. Jeśli podaż przewyższa popyt na parkowanie, przekraczając znacząco 15% bufor wolnych miejsc, to przestrzeń parkingowa nie funkcjonuje efektywnie – system przynosi straty w postaci słabego wykorzystania miejsc parkingowych.
5. Jeśli popyt przewyższa podaż parkingową, to przestrzeń parkingowa nie funkcjonuje efektywnie – system nie jest w stanie zapewnić miejsc postojowych dla wszystkich pojazdów (kierowców), które wyrażają taką chęć/konieczność, przy ustalonej cenie.

Do precyzyjnego określenia czy dana przestrzeń parkingowa funkcjonuje efektywnie, tzn. czy podaż parkingowa w pełni zaspokaja popyt na parkowanie w danym obszarze, nie jest wystarczająca analiza wyłącznie wspomnianych parametrów parkowania – napełnienia powierzchni parkingowej (w_p), wskaźnika rotacji (w_r) oraz czasu postoju pojazdów (t_p). Ważnym parametrem, który często pomija się w analizach jest *rzeczywisty popyt na parkowanie*. Chodzi tutaj o liczbę pojazdów (kierowców), którzy wyrażają chęć zaparkowania w określonym miejscu (również w sytuacji, gdy konieczne jest uiszczenie konkretnie określonej opłaty za postój), włącznie z tymi pojazdami (kierowcami), które nie mogą tego zrobić ze względu na brak wolnych miejsc parkingowych. Jest to miara, którą trudno dokładnie wyznaczyć w wyniku analizy danych z pomiarów terenowych, ponieważ pojazdy, które potencjalnie zajęłyby miejsca postojowe w danym obszarze – z powodu ich braku są *nieuchwytnie*: kierowcy *krążą* w poszukiwaniu stanowiska postojowego, rezygnują z postoju, zmieniają cel podróży, itd. Dlatego też, w bardzo obciążonych obszarach, sam parametr napełnienia powierzchni parkingowej (w_p) – również uzupełniony o wskaźnik rotacji (w_r) i czasu postoju (t_p), nie mówi precyzyjnie o tym jaka liczba pojazdów (kierowców) jest – przy ustalonej cenie za postój – skłonna zaparkować w danym obszarze.

Również kwestia podaży, która w kontekście parkowania jest najczęściej interpretowana jako liczba dostępnych w danym obszarze miejsc parkingowych, traktowana jest często w analizach zbyt ogólnie. Ze względu na to, że parkowanie jest procesem dynamicznym i powinno być analizowane w czasie – pojazdy zajmują miejsca postojowe na określony czas (wynikający z zapotrzebowania kierowców), po czym zwalniają je i udostępniają innym pojazdom – podaż parkingową należy więc rozważać w ścisłej

relacji z rotacją pojazdów na miejscach postojowych (w_r), która wyraża dynamikę zmian na tych stanowiskach.

Ponieważ opisane podejście do sposobu analizy podaży i popytu oraz ich relacji w odniesieniu do parkowania wymaga uwzględnienia dynamicznego charakteru tych zjawisk – w celu interpretacji tych zależności podjęto próbę porównania ich do relacji zachodzących w *systemach masowej obsługi (kolejkowych)*. *Teoria masowej obsługi*, znana także pod nazwą *teorii kolejek*, jest gałęzią badań operacyjnych, której celem jest opisywanie/przewidywanie, za pomocą modeli analitycznych bądź symulacyjnych, zachowania się systemów obsługujących losowo napływające zadania (zgłoszenia, klientów). Jest stosowana przede wszystkim do oceny jakości ich pracy oraz wyboru i dopasowania optymalnej struktury obsługi i organizacji pracy na stanowiskach obsługi danego systemu [49], [74], [117], [131], [189]. *Teoria masowej obsługi* znajduje zastosowanie m.in. w modelowaniu różnego rodzaju procesów transportowych [2], [3], [69], [190]. Traktując parking jako system obsługi pojazdów, za pomocą *teorii kolejek* można określić najważniejsze parametry funkcjonowania tego systemu, a także ustalić kierunek zmian, aby proces tej obsługi udoskonalić.

4.2. Powierzchnia parkingowa jako system masowej obsługi

Potraktowanie możliwości pozostawienia pojazdu na miejscu parkingowym przez określony czas, jako usługi, gdzie kierowca *zgłasza się* – wjeżdża do danego obszaru chcąc zaparkować pojazd, a pozostawiając go na określony czas *jest obsługiwany* przez dane *stanowisko obsługi* – miejsce postojowe, pozwala na opisanie procesu tej obsługi parametrami wykorzystywanymi w *teorii kolejek*. Przestrzeń parkingowa, jako system masowej obsługi bazuje wówczas na:

- określonej liczbie stanowisk obsługi – czyli określonej liczbie miejsc parkingowych dostępnych w analizowanym obszarze,
- ciągłym napływie zgłoszeń – pojazdów wjeżdżających do analizowanego obszaru z zamiarem zakończenia tam podróży (zaparkowania),
- kolejce – którą stanowią pojazdy poszukujące (oczekujące na zwolnienie) miejsca postojowego.

Aby tak przedstawiony system masowej obsługi funkcjonował w sposób jak najbardziej zbliżony do funkcjonowania przestrzeni parkingowej w warunkach rzeczywistych, należy przyjąć następujące założenia:

1. Stanowiska obsługi (miejsca parkingowe) w liczbie m_p obsługują zgłoszenia (pojazdy) z określoną intensywnością. Intensywność ta zależy od czasu postoju pojazdów (t_p), który z kolei zależy od indywidualnego zapotrzebowania kierowcy. Średnią intensywność obsługi zgłoszeń na stanowisku postojowym w danym obszarze wyraża wskaźnik rotacji parkingowej (w_r) – ponieważ podaje on średnią liczbę pojazdów, które korzystały z jednego miejsca parkingowego w całym okresie pomiarowym, czyli liczbę zgłoszeń obsługiwanych średnio przez jedno stanowisko obsługi w danej jednostce czasu.
2. Odpowiednie przeprowadzenie pomiarów parkowania pozwala na uzyskanie precyzyjnych informacji o czasie postoju pojazdów t_p (czasie obsługi zgłoszeń) oraz rotacji pojazdów w_r (intensywności obsługi zgłoszeń) na stanowiskach postojowych (stanowiskach obsługi) w liczbie m_p w analizowanym obszarze.
3. Potok wejściowy stanowią pojazdy (kierowcy) wjeżdżające do obszaru z zamiarem zaparkowania, pojawiające się na wejściu do systemu (wlotach do obszaru) w określonych interwałach lub w konkretnej liczbie przypadającej na daną jednostkę czasu.
4. Odpowiednio przeprowadzone pomiary ruchu na wszystkich wlotach do danego obszaru (na wejściach do systemu) lub wykorzystanie informacji o podróżach kończących się w danym obszarze, pochodzących z modeli ruchu dla miast, pozwalają na uzyskanie, z mniejszą lub większą dokładnością, wszystkich parametrów opisujących intensywność strumienia zgłoszeń do systemu.
5. W przypadku parkowania przykrawężnikowego, pojazdy (kierowcy) z zamiarem zaparkowania, wjeżdżające do obszaru z zajętymi miejscami postojowymi poszukują wolnego stanowiska parkingowego tworząc tym samym kolejkę oczekujących zgłoszeń. Kolejka ta nie jest kolejką

w rozumieniu potocznym – rzędem pojazdów oczekujących stacjonarnie na zwolnienie się stanowiska – ale grupą pojazdów przemieszczających się w sieci ulicznej obszaru w oczekiwaniu na zwolnienie się miejsca postojowego. To założenie powoduje, że dyscyplina obsługi tej kolejki w praktyce nie jest dyscypliną naturalną (FIFO), ale raczej dyscypliną SIRO – w której pojazdy z kolejki są przydzielane do zwalnianego się stanowiska obsługi w sposób losowy (parkuje ten pojazd, który znalazł się w pobliżu zwalnianego się miejsca parkingowego). Założono, że kolejka ta nie ma ograniczeń rozmiarowych, ale pojazdy oczekujące w niej na zwolnienie się miejsca postojowego rezygnują z oczekiwania po upływie określonego (maksymalnego akceptowalnego) czasu.

6. W przypadku parkowania na parkingu wydzielonym, pojazdy (kierowcy) z zamiarem zaparkowania, wjeżdżające na parking z zajęтыми miejscami parkingowymi poszukują wolnego stanowiska tworząc tym samym kolejkę oczekujących zgłoszeń. Kolejka ta może być kolejką w rozumieniu potocznym – rzędem pojazdów oczekujących stacjonarnie na zwolnienie się stanowiska. To założenie powoduje, że dyscyplina obsługi tej kolejki może być dyscypliną naturalną (FIFO). Kolejka ta może mieć ograniczenia rozmiarowe (w zależności od dostępnej przestrzeni), ale pojazdy oczekujące w niej na zwolnienie się miejsca parkingowego rezygnują z oczekiwania po upływie określonego (maksymalnego akceptowalnego) czasu.

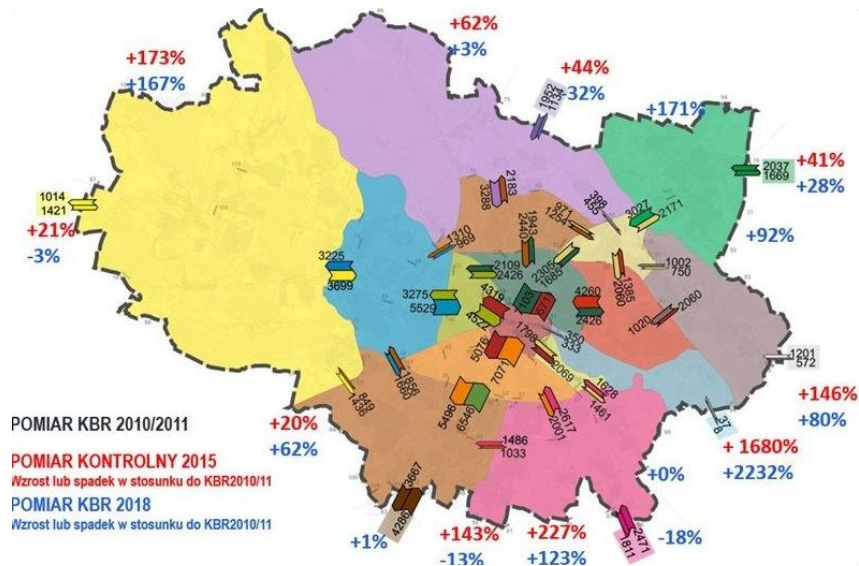
Dodatkowo ustalono, że:

1. Liczba pojazdów wjeżdżających do danego obszaru w określonym czasie, która może być opisana w sposób matematyczny poprzez interwał zgłoszeń lub średnią liczbą zgłoszeń przypadających na jednostkę czasu jest rozumiana jako wielkość *popytu na parkowanie*.
2. Intensywność obsługi pojazdów na miejscach postojowych, wyrażona wskaźnikiem rotacji parkingowej (w_r) i czasem postoju tych pojazdów (t_p) w powiązaniu z liczbą dostępnych w analizowanym obszarze miejsc parkingowych (m_p), opisuje matematycznie *zdolność* obsługi parkingowej danego obszaru, wyrażaną czasem jako *chłonność parkingowa* i należy ją rozumieć jako *podaż parkingową*.
3. System kolejkowy powinien obsługiwać zgłaszające się obiekty z prędkością większą niż ich przybywanie [49]. W związku z tym, mając na uwadze dynamiczny charakter zarówno popytu, jak i podaży parkingowej, relacja popyt – podaż w kontekście parkowania powinna porównywać obydwie wielkości w tej samej jednostce czasu.

4.2.1. Popyt na parkowanie

Każda podróż wykonana samochodem kończy się na miejscu parkingowym (prywatnym lub publicznym), więc każdy samochód wjeżdżający do analizowanego obszaru wymaga wolnego miejsca parkingowego. Założeniem wyjściowym jest stwierdzenie, że aby każdy kierowca mógł bez problemu zaparkować samochód, liczba pojazdów, których postój zostanie zrealizowany – iloczyn rotacji parkingowej (w_r) i liczby miejsc postojowych obszaru (m_p) – powinien być większy od liczby pojazdów wjeżdżających do analizowanego obszaru w danej jednostce czasu. Wniosek ten wynika z podstaw *teorii masowej obsługi*: wszystkie zależności i równania wykorzystywane w *teorii kolejek* są ważne jedynie dla systemu *ustabilizowanego* – tj. systemu, w którym średnia liczba zgłoszeń do systemu pojawiająca się w danej jednostce czasu jest mniejsza od liczby zgłoszeń, które system zdolny jest obsłużyć w tej samej jednostce czasu [49], [74], [189]. Precyzyjne określenie rzeczywistego zapotrzebowania na miejsca parkingowe w danym obszarze wymaga więc oszacowania liczby pojazdów wjeżdżających do danego obszaru i jest możliwe przy zastosowaniu tzw. *kordonowego badania ruchu*.

Kordonowe badanie ruchu polega na zliczaniu (rejestracji) pojazdów przekraczających umowną granicę (kordon) obszaru w danym okresie czasu wraz z ich numerem rejestracyjnym [87]. Punkty pomiarowe muszą być zlokalizowane na każdym wlocie do ustalonego obszaru (Rys. 4.1) tak, aby uzyskana baza danych z wszystkich punktów pomiarowych zawierała informację o każdym pojeździe wjeżdżającym i wyjeżdżającym z obszaru w analizowanym okresie czasu.



Rys. 4.1. Schemat punktów pomiarowych wyznaczonych dla celów kontrolnych pomiarów kordonowych w ramach KBR 2018 we Wrocławiu
 Źródło: [160]

Analiza numerów rejestracyjnych, będących unikalną daną charakteryzującą każdy z pojazdów oraz czasów pojawienia się danego pojazdu na granicy obszaru (*kordonie*) pozwala na określenie, które pojazdy wjechały do obszaru kończąc w nim swoją podróż, a które przejechały przez obszar tranzytem (wówczas dany pojazd pojawia się najpierw na jednym z wlotów do obszaru, a po stosunkowo krótkim odstępie czasu na jednym z wylotów z obszaru). Informacje uzyskane w wyniku badań kordonowych pozwalają na szczegółową analizę liczby pojazdów wjeżdżających do analizowanego obszaru w kolejnych godzinach w ciągu dnia.

Próby oszacowania zapotrzebowania (popytu) na parkowanie w danym obszarze podejmowane są często także za pomocą tzw. wskaźników (norm) zapotrzebowania na parkowanie. Są one wyznaczone na podstawie zależności pomiędzy ruchem docelowym danego obszaru i akumulacją pojazdów na tym obszarze oraz norm zapotrzebowania na parkingi [56]. Wielu autorów różnych publikacji podejmowało próbę szacowania popytu na parkowanie w danym obszarze, uzależniając jego wielkość od czynników, takich jak zagospodarowanie przestrzenne obszaru, parametry parkowania, uwzględniając stawki za parkowanie, strategie zarządzania, liczbę pojazdów przypadających na gospodarstwo domowe, przychody przypadające na gospodarstwo domowe, liczbę zamieszkującej obszar ludności, rozkład podróży i wiele innych [1], [106], [116]. Wyznaczenie takich wskaźników wymaga wykorzystania dużej bazy danych o podróżach realizowanych w mieście, co znacząco wykracza poza zakres zwykłej analizy parkowania w danym obszarze.

Zakładając, że każda indywidualna podróż kończąca się danym obszarze wymaga miejsca parkingowego, informacje o popycie na parkowanie można uzyskać także analizując dane pochodzące z modelu ruchu dla danego miasta. Z przybliżeniem można przyjąć, że potencjał absorbujący – *atrakcja* danego rejonu komunikacyjnego, oznaczająca liczbę podróży wykonanych samochodem osobowym, kończonych w danym rejonie komunikacyjnym w danej jednostce czasu, stanowi wielkość rzeczywistego popytu na parkowanie w tym rejonie w analizowanej jednostce czasu.

Ze względu na niepewność wielu czynników, które wpływają na decyzje o parkowaniu, zapotrzebowanie na parkowanie wyrażane z wykorzystaniem szacowanych wskaźników lub informacji o podróżach pozyskanych z modelu ruchu jest wartością szacowaną na pewnym poziomie uogólnienia.

Popyt na parkowanie, w zależności od wykorzystanego źródła informacji, można analizować na różnym poziomie szczegółowości. Przeprowadzenie kordonowych pomiarów ruchu pozwala na uzyskanie bardzo szczegółowych danych o liczbie pojazdów wjeżdżających do obszaru w kolejnych godzinach dnia oraz odstępach czasu pomiędzy poszczególnymi wjazdami pojazdów, co pozwala na bardzo dokładny, statystyczny opis strumienia zgłoszeń, tworzonego przez te wjazdy. Należy wówczas

zauważyć, że zgłoszenia (pojazdy) pojawiają się w systemie (obszarze) w losowych odstępach czasu – do scharakteryzowania strumienia zgłoszeń można więc wykorzystać funkcję rozkładu interwałów pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami.

4.2.2. Podaż parkingowa

Ze względu na to, że popyt na parkowanie wyrażany jest liczbą pojazdów wjeżdżających do obszaru w danej jednostce czasu, a pojazdy te kończą w tym obszarze swoją podróż z koniecznością zaparkowania na określony czas, podaż parkingowa musi – poza całkowitą liczbą dostępnych miejsc parkingowych (m_p) – uwzględniać również dynamikę wymiany tych pojazdów na poszczególnych stanowiskach. Dynamika tej wymiany związana jest z czasem postoju pojazdów (t_p) oraz wskaźnikiem rotacji parkingowej (w_r). Obydwa te parametry można uzyskać z dużą dokładnością w wyniku terenowych pomiarów parkowania.

Podaż parkingową w odniesieniu do obsługi zgłoszeń na stanowiskach, podobnie jak w przypadku strumienia zgłoszeń do systemu, można analizować na różnym poziomie szczegółowości informacji. Zakładając, że czas obsługi zgłoszeń, który w tym konkretnym przypadku odpowiada czasowi postoju na miejscach postojowych (t_p), jest zmienną losową – do charakterystyki procesu obsługi należy ustalić funkcję rozkładu czasów obsługi na stanowiskach postojowych.

4.3. Wykorzystanie teorii masowej obsługi do analizy i oceny funkcjonowania powierzchni parkingowej w literaturze

Wykorzystanie *teorii kolejek* w modelowaniu parkowania jest w ostatnich latach coraz częściej spotykane w zagranicznych publikacjach. Ze względu na kontekst, można je podzielić na zastosowanie dla przypadków parkowania przykrawężnikowego (*on-street*) oraz zastosowanie dla parkingów wydzielonych (*off-street*). Podstawą tego zróżnicowania jest bardziej statyczny charakter funkcjonowania parkingów wydzielonych, w stosunku do dynamicznej zmiany sytuacji w obszarach z parkowaniem przykrawężnikowym. Miary wyznaczające efektywność systemu (stopień zaspokojenia napływających zgłoszeń) w obu wariantach dają obraz funkcjonowania tych parkingów. W przypadku parkingów wydzielonych, który w polskich warunkach najczęściej jest parkingiem prywatnym, mają wskazać drogę do zwiększenia zysków czerpanych z opłat za parkowanie, natomiast w przypadku obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym – stanowić pomoc w ograniczeniu głównie kosztów zewnętrznych, ponoszonych przez otoczenie, w sytuacji permanentnego deficytu miejsc parkingowych.

Parking wydzielony – funkcjonuje jako system o skończonej liczbie n stanowisk obsługi (miejsc parkingowych). Posiada często jeden wjazd i jeden wyjazd, które odpowiadają wejściu i wyjściu z systemu, a jedna kolejka pojazdów ustawia się przy wjeździe na parking w oczekiwaniu na zwolnienie któregoś ze stanowisk obsługi (miejsc parkingowych) [164]. Jeśli parking ma kilka wjazdów i wyjazdów, osobna kolejka może ustawiać się przy każdym z nich [103]. W niektórych przypadkach, bramy wjazdowe mogą być traktowane, jako stanowiska obsługujące zgłoszenia. Wówczas parking, zamiast jednego systemu o k wejściach (wjazdach na parking), k kolejkach ustawiających się przy wjazdach do systemu i n stanowiskach obsługi (miejscach parkingowych), traktowany jest jako jeden system z k stanowiskami obsługi i k kolejkami ustawiającymi się przy każdym z nich [103]. Regulamin obsługi kolejki to najczęściej regulamin naturalny (FIFO) [103], a jej rozmiar, ze względów przestrzennych, najczęściej jest ograniczony [102], [103]. Z reguły, jeśli analizowane jest funkcjonowanie parkingów wydzielonych jako całości, kolejka nie jest tutaj rozumiana, jako grupa pojazdów *krążących* w poszukiwaniu wolnego miejsca po jezdniach manewrowych parkingów, jak ma to miejsce w przypadku parkingów *on-street*, ale jako grupa pojazdów oczekujących przed bramą wjazdową na zwolnienie miejsca parkingowego. Stąd naturalny regulamin kolejki FIFO jest w tym przypadku uzasadniony. W celu odtworzenia sytuacji wewnątrz parkingów wydzielonych, tworzone są osobne, bardziej

szczegółowe modele odwzorowujące proces poszukiwania wolnego miejsca⁸, które również mogą opierać się na teorii obsługi masowej [195].

Szacowanie parametrów efektywności funkcjonowania parkingu wydzielonego, jako systemu masowej obsługi służy głównie przewidywaniu potrzebnej liczby miejsc parkingowych, optymalnej liczby bram wjazdowych lub wyjazdowych [102],[103] oraz zajętości parkingu [30], [80], [194] najczęściej dla potrzeb aplikacji naprowadzających na wolne miejsca do zaparkowania.

W przypadku **parkowania przykrawężnikowego**, jako system obsługi masowej traktowany jest pewien obszar, obejmujący swym zakresem terytorialnym n stanowisk obsługi (miejsc parkingowych), zlokalizowanych przy ulicach analizowanego obszaru. Wejścia i wyjścia z systemu stanowią wszystkie ulice, którymi możliwy jest wjazd pojazdów do wydzielonego obszaru, dlatego punktem wyjścia do procesu modelowania jest ustalenie dokładnego zakresu terytorialnego, który zostanie objęty modelowaniem oraz jego struktury. W przypadku parkingów wydzielonych, precyzowanie zakresu terytorialnego jest łatwiejsze, ponieważ obszar parkingu jest z góry zdefiniowany.

Stopień dokładności odwzorowania rzeczywistego funkcjonowania obszaru parkingowego z parkowaniem przykrawężnikowym jest zróżnicowany w rozwijanych modelach. W najbardziej uproszczonym wariantcie modelowany jest indywidualnie dany fragment miasta, o określonej powierzchni z określoną liczbą miejsc parkingowych, które odzwierciedlają pracę stanowisk obsługi [91]. Pojazdy wjeżdżające do modelowanego obszaru są traktowane jako zgłoszenia do systemu. Po wjeździe rozpoczynają poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego, co jest równoznaczne z przystąpieniem do kolejki. Kolejka może mieć ograniczoną [41], [128] lub nieograniczoną [41] liczbę miejsc, podobnie jak czas oczekiwania w niej może być nieograniczony lub określony. Kierowca rezygnujący z poszukiwania miejsca postojowego po upływie pewnego dopuszczalnego czasu opuszcza system nie korzystając z obsługi. Jest to równoznaczne z tym, że wybrał on inną opcję pozostawienia pojazdu, przykładowo parking wydzielony [91].

Najczęściej jednak obszar z parkowaniem przykrawężnikowym analizowany jest w literaturze, jako model sieci powiązanych ze sobą kolejek z ograniczoną liczbą miejsc, *ustawiających się* do pewnych grup lub pojedynczych stanowisk obsługi [41], [42], [128]. Przez *kolejkę* rozumiana jest tutaj pewna liczba pojazdów *krążących* w wybranym wycinku sieci drogowo – ulicznej, poszukujących wolnego miejsca parkingowego w tymże rejonie, który jest częścią większego obszaru. Pojazd (kierowca) wjeżdżający do danego obszaru z parkowaniem przykrawężnikowym z zamiarem zaparkowania traktowany jest, jako zgłoszenie pojawiające się w sieci. Wybiera dany wycinek sieci drogowo – ulicznej, w którym zamierza znaleźć wolne miejsce postojowe, co jest równoznaczne z *przyłączeniem się* do odpowiedniej kolejki. Wybór kolejki (rejonu poszukiwania miejsca) może być losowy lub oparty na zdefiniowanych uprzednio kryteriach podejmowania decyzji [128]. Jeśli dana kolejka jest pełna (nie ma w niej już wolnych miejsc), pojazd musi wybrać inną, co oznacza zmianę rejonu poszukiwania miejsca postojowego (jednak nadal pozostaje on w sieci kolejek).

Opisany wariant zakładający przemieszczenia pojazdów pomiędzy kolejkami w sieci kolejek jest przez autorów przyrównywany do grafu, w którym przemieszczenia pomiędzy węzłami oznaczają przemieszczenia pomiędzy kolejkami. C. Dowling i inni w [41] określili szczegółowe zasady, wg których zgłoszenie przemieszcza się pomiędzy poszczególnymi węzłami: w wariantcie pierwszym założono, że sieć węzłów jest jednolita, a więc liczba stanowisk obsługi w każdej kolejce jest taka sama, podobnie jak intensywność obsługi zgłoszeń oraz ich pojawianie się. Nie jest to założenie, które odzwierciedla realną topologię ulic miast, w szczególności miast europejskich⁹. W wariantcie drugim założono więc nieregularną strukturę grafu.

W obu opisanych wariantach modelowania obszaru z parkowaniem przykrawężnikowym, dodatkowe uszczegółowienie modelu stanowią założenia przyjmowane na poszczególnych jego

⁸ W rozdziale 2.5.2, gdzie opisano hierarchię, zakładającą cztery poziomy modelowania procesów parkowania, różniąc skalę, zakres terytorialny oraz szczegółowość i zakres merytoryczny prowadzonej analizy – zakwalifikowano je, jako modele 1 poziomu klasyfikacji – *Modelowanie parkowania wewnątrz danego obiektu parkingowego*.

⁹ Założenie to może być odpowiednie dla topologii ulic miast amerykańskich, o regularnej sieci drogowo – ulicznej.

etapach, tj. strumienia zgłoszeń, kolejki, obsługi zgłoszeń i ewentualnej rezygnacji zgłoszeń z obsługi w systemie.

Parametry potoku wejściowego (strumień zgłoszeń) i wyjściowego (obsługa) z systemu, tj. średni interwał pomiędzy zgłoszeniami oraz średni czas obsługi zgłoszenia powinny zostać określone. Jeśli są zmiennymi losowymi, ustalony powinien zostać rozkład prawdopodobieństwa dla tych zmiennych. W przypadku strumienia wejściowego, w *teorii masowej obsługi*, przyjmuje się, że jest on strumieniem Poissona [41], [42], [91], [128], [164], [194]. W przypadku strumienia wyjściowego (procesu obsługi) równie często przyjmuje się wykładniczy rozkład czasów obsługi zgłoszeń [41], [42], [91], [128], [194] i/lub (jeśli założono rezygnację) Poissonowski strumień rezygnujących z obsługi pojazdów.

Dyscyplina kolejki w najprostszym wariacie modelu zakłada obsługiwane zgłoszeń (pojazdów) w kolejności wg przybycia, tj. wg procedury FIFO (*first in first out*) [41]. Przyjęcie tej procedury jest równoznaczne z sytuacją, w której pojazdy przemieszczające się w sieci drogowo – ulicznej analizowanego obszaru tworzą kolumnę pojazdów, a zwalniające się miejsce postojowe zajmuje pojazd, który jest w kolejce na pozycji pierwszej. Sytuacja ta, w rzeczywistym obszarze z parkowaniem przykrawężnikowym, jest możliwa wtedy, gdy możliwości wyboru trasy *krążenia* są bardzo małe i wszystkie *krążące* pojazdy przemieszczają się wg tego samego schematu. W analizach prowadzonych dla większych obszarów bardziej odpowiednią dla warunków rzeczywistych dyscypliną obsługi pojazdów w kolejce wydaje się być dyscyplina SIRO (*service in random order*) [91], w której zgłoszenia są obsługiwane w kolejności losowej. Wówczas zwolnione miejsce parkingowe zajmuje losowo wybrany pojazd z kolejki *krążących* pojazdów.

Niektóre modele dopuszczają dobrowolne rezygnowanie z obsługi w systemie, równoznaczne z opuszczeniem kolejki. Przyjęcie takiego założenia sprawia, że staje się on bardziej realny. Założenie, że zgłoszenia oczekują w kolejce przez nieograniczony czas oznaczałoby, że pojazdy *krążą* w sieci ulicznej danego obszaru z parkowaniem przykrawężnikowym w *nieskończoność*. Rozróżnić można dwa typy opuszczania systemu [189] – rezygnację *od razu*, w momencie wejścia do systemu – jeśli kolejka pojazdów oczekujących na miejsce jest dla danego kierowcy zbyt długa – lub rezygnację po upływie maksymalnego, akceptowalnego czasu oczekiwania na wolne miejsce.

Proces rezygnowania po upływie akceptowalnego czasu poszukiwania miejsca wymaga wprowadzenia do modelu dodatkowej zmiennej losowej – maksymalnego akceptowalnego czasu oczekiwania na zwolnienie stanowiska postojowego oraz określenie jego rozkładu, a następnie natężenia strumienia pojazdów rezygnujących z obsługi (postoju) [49].

Ze względu na charakter otoczenia, w którym funkcjonują obydwie warianty parkingów, o wiele większą trudność stanowi modelowanie sytuacji na parkingach przykrawężnikowych. Podstawową uciążliwością jest relatywna trudność pozyskania szczegółowych danych o potokach wejściowych do systemu z parkowaniem przykrawężnikowym – parkingi wydzielone funkcjonują w odseparowaniu od sieci drogowo – ulicznej miasta, przez co pojazdy wjeżdżające do systemu z potrzebą zaparkowania (zgłoszenia do obsługi w systemie) mogą zostać łatwo zliczone, a parametry strumienia wejściowego oszacowane. W systemie z parkowaniem przykrawężnikowym, pojazdy wjeżdżające do systemu *mieszają się* z pojazdami przejeżdżającymi przez dany obszar w ruchu tranzytowym w jednym potoku pojazdów, przez co trudno jest je zidentyfikować i tym samym zbadać parametry strumienia wejściowego. Dodatkowo, brak odseparowania tych pojazdów powoduje, że odwzorowanie funkcjonowania parkingów przykrawężnikowych, jako modeli kolejkowych jest mniej dokładne, niż w przypadku parkingów wydzielonych, gdzie w ich pracę nie ingerują inne pojazdy.

Trudność w pozyskaniu danych wejściowych do modelowania funkcjonowania parkingów, jako systemów kolejkowych (zwłaszcza w przypadku parkingów *on-street*) powoduje, że tworzone modele teoretyczne często nie są weryfikowane w sytuacjach rzeczywistych [172]. Częstym zjawiskiem jest wykorzystywanie do tego celu danych pozyskiwanych z baz danych o transakcjach sprzedaży biletów za parkowanie w parkometrach [41]. Są one dobrym źródłem informacji o długości postoju pojazdów, który odpowiada czasowi obsługi zgłoszeń na poszczególnych stanowiskach. Jeśli jednak napelnienie powierzchni parkingowej jest bliskie 100%, nie jest ona jednak informacją, na podstawie której może być wyznaczana wielkość strumienia wejściowego do systemu – liczba pojazdów, których kierowcy opłacają parkowanie nie odpowiada popytowi na parkowanie (pomijana jest liczba pojazdów, która nie

była w stanie zaparkować z powodu braku wolnego miejsca oraz kierowców, którzy parkują z abonamentem, np. dla mieszkańca danego obszaru) [41].

Biorąc pod uwagę praktyczny aspekt prowadzenia analiz parkowania w dużych miastach w Polsce (mały nacisk i niski budżet przewidziany na badania parkowania przy dość rozległym obszarowo terenie, który tym badaniem powinien zostać objęty) uzyskanie danych dla tak szczegółowego odwzorowania funkcjonowania systemu parkingowego i przyległego układu drogowo – ulicznego stanowi trudność organizacyjną i techniczną. Z tego względu jest to możliwe lokalnie – dla niewielkich obszarów o spodziewanych problemach z parkowaniem lub małych parkingach wydzielonych lub wydzielonych parkingach wyposażonych w system gromadzący szczegółowe dane o parkowaniu.

4.4. Parametry efektywności funkcjonowania systemu parkingowego – teoria masowej obsługi

W rozdziałach 4.2.1 oraz 4.2.2 zauważono, że strumień wejściowy oraz proces obsługi zgłoszeń na stanowiskach może być analizowany na różnym poziomie szczegółowości. Zakładając, że funkcjonowanie danej przestrzeni parkingowej potraktowane zostanie, jako system masowej obsługi, wówczas obydwa procesy: zgłoszeń i obsługi, są procesami o charakterze losowym – ponieważ zarówno pojawienie się na wlotach do obszaru pojazdów z potrzebą zaparkowania, jak również sam czas ich postoju są zjawiskami losowymi.

Podstawowymi wielkościami charakteryzującymi procesy pojawiania się zgłoszeń oraz obsługi na stanowiskach są [185]:

1. funkcja gęstości dla przedziału czasu t pomiędzy dwoma kolejnymi zgłoszeniami (interwału zgłoszeń):

$$f(t), \text{ gdzie } t \geq 0 \quad (18)$$

2. wartość oczekiwana długości przedziału czasu pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami (interwału zgłoszeń):

$$\frac{1}{\lambda} \quad (19)$$

co oznacza, że: λ – wartość oczekiwana liczby zgłoszeń w jednostce czasu (intensywność strumienia zgłoszeń)

3. funkcja gęstości długości okresu czasu t przeznaczonego na obsługę jednego zgłoszenia:

$$g(t), \text{ gdzie } t \geq 0 \quad (20)$$

4. wartość oczekiwana długości czasu obsługi zgłoszenia:

$$\frac{1}{\mu} \quad (21)$$

co oznacza, że: μ – intensywność obsługi (liczba zgłoszeń obsłużonych) na jednostkę czasu, w którym stanowisko obsługi jest zajęte.

Przy założeniu, że:

- rozkład interwałów zgłoszeń do takiego systemu (obszaru) jest zgodny z rozkładem wykładniczym – poissonowski strumień zgłoszeń (rozdział 4.3),
- rozkład czasów postoju może być opisywany rozkładem wykładniczym (rozdział 4.3),

- w systemie (obszarze) występuje m stanowisk obsługi, czyli m miejsc postojowych,
- regulamin kolejki to regulamin tzw. naturalny – zgodny z regułą FIFO,
- kolejka nie jest ograniczona,

wówczas do oceny funkcjonowania tego systemu parkingowego oznaczonego zapisem:

$$M/M/m/FIFO/\infty \quad (22)$$

można zastosować następujące parametry systemu opisane wzorami wprowadzonymi przez A.K. Erlanga [49], [74], [185], wykorzystując dane o ruchu i parkowaniu pojazdów pochodzące z pomiarów terenowych:

- 1) względna intensywność obsługi – rozumiana jako **względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych**:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (23)$$

gdzie:

- λ – intensywność strumienia zgłoszeń (intensywność wjazdów pojazdów do określonego obszaru),
- μ – intensywność obsługi zgłoszeń (intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych określonego obszaru).

W zastosowaniu do określenia efektywności systemu parkingowego, **parametr średniej intensywności obsługi systemu odpowiada parametrowi rotacji parkingowej (w_r)**.

- 2) prawdopodobieństwo, że wszystkie stanowiska obsługi są wolne – które należy interpretować, jako **prawdopodobieństwo, że wszystkie miejsca parkingowe w obszarze (m_p) są wolne**:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{m-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^m}{(m-1)!(m-\rho)}}, \quad \frac{\rho}{m} < 1 \quad (24)$$

gdzie:

- p_0 – prawdopodobieństwo, że wszystkie stanowiska obsługi (miejsca parkingowe) są wolne,
- m – liczba stanowisk obsługi (miejsc parkingowych),
- ρ – względna intensywność obsługi (względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych),
- i – indeks przyporządkowany do kolejnego stanowiska obsługi (miejsca parkingowego), tj.: $i = 1, 2, \dots, m$.

- 3) prawdopodobieństwo, że s kanałów obsługi jest zajętych – które należy interpretować, jako **prawdopodobieństwo, że s miejsc parkingowych jest zajętych**:

$$p_s = \frac{\rho^s}{s!} \cdot p_0 = \frac{\frac{\rho^s}{s!}}{\sum_{i=0}^{m-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^m}{(m-1)!(m-\rho)}}, \quad 1 \leq s \leq m-1, \quad \rho < m \quad (25)$$

gdzie:

- p_s – prawdopodobieństwo, że s stanowisk obsługi (miejsc parkingowych) jest zajętych,
- s – liczba zajętych stanowisk obsługi (miejsc parkingowych),
- m – liczba stanowisk obsługi (miejsc parkingowych),

- ρ – względna intensywność obsługi (względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych),
 i – indeks przyporządkowany do kolejnego stanowiska obsługi (miejsca parkingowego), tj.: $i = 1, 2, \dots, m$.

- 4) prawdopodobieństwo tego, że długość kolejki wynosi r – interpretowane jako **prawdopodobieństwo tego, że liczba pojazdów krążących w sieci (l_{sz}), szukających miejsca parkingowego wynosi r :**

$$p_{m+r} = \frac{\rho^{m+r}}{m! \cdot m^r} \cdot p_0 \frac{\frac{\rho^{m+r}}{m! \cdot m^r}}{\sum_{i=0}^{m-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^m}{(m-1)!(m-\rho)}}, \quad r \geq 0, \rho < m \quad (26)$$

gdzie:

- p_{m+r} – prawdopodobieństwo, że długość kolejki wynosi r ,
 r – długość kolejki (liczba zgłoszeń przebywających w kolejce – liczba pojazdów krążących w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego),
 m – liczba stanowisk obsługi (miejsc parkingowych),
 j – liczba zgłoszeń (pojazdów) przebywających w systemie (zaparkowanych) i w kolejce (krążących) łącznie: $m + r = j$,
 ρ – względna intensywność obsługi (względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych),
 i – indeks przyporządkowany do kolejnego stanowiska obsługi (miejsca parkingowego), tj.: $i = 1, 2, \dots, m$.

- 5) prawdopodobieństwo, że wszystkie kanały obsługi są zajęte – które należy interpretować, jako **prawdopodobieństwo, że wszystkie miejsca parkingowe w obszarze (m_p) są zajęte:**

$$p_m = \frac{\rho^m}{m!} \cdot p_0 = \frac{\frac{\rho^m}{m!}}{\sum_{i=0}^{m-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^m}{(m-1)!(m-\rho)}}, \quad r \geq 0, \rho < m \quad (27)$$

gdzie:

- p_m – prawdopodobieństwo, że wszystkie kanały obsługi (miejsca parkingowe) są zajęte (m kanałów jest zajętych),
 r – długość kolejki (liczba zgłoszeń przebywających w kolejce – liczba pojazdów krążących w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego),
 m – liczba kanałów obsługi (miejsc parkingowych),
 ρ – względna intensywność obsługi (względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych),
 i – indeks przyporządkowany do kolejnego stanowiska obsługi (miejsca parkingowego), tj.: $i = 1, 2, \dots, m$.

- 6) średnia liczba klientów oczekujących w kolejce – interpretowana, jako **średnia liczba pojazdów, które krążą w sieci ulicznej szukając wolnego miejsca do zaparkowania (l_{sz}):**

$$\bar{v} = \frac{\frac{\rho^{m+1}}{(m-\rho)^2(m-1)!}}{\sum_{i=0}^{m-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^m}{(m-1)!(m-\rho)}}, \quad \frac{\rho}{m} < 1 \quad (28)$$

gdzie:

- \bar{v} – średnia liczba klientów (pojazdów) oczekujących w kolejce (*krążących* w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego),
 m – liczba stanowisk obsługi (miejsc parkingowych),
 ρ – względna intensywność obsługi (względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych),
 i – indeks przyporządkowany do kolejnego stanowiska obsługi (miejsca parkingowego), tj.: $i = 1, 2, \dots, m$.

7) średni czas oczekiwania zgłoszenia na obsługę – który stanowi **średni czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego (t_{sz})**:

$$\bar{t}_f = \frac{\rho^{m+1}}{\lambda(m-1)!(m-\rho)^2} \cdot p_0, \quad (29)$$

gdzie:

- \bar{t}_f – średni czas oczekiwania zgłoszenia w kolejce (średni czas poszukiwania miejsca parkingowego),
 λ – intensywność strumienia zgłoszeń (pojazdów),
 m – liczba stanowisk obsługi (miejsc parkingowych),
 ρ – względna intensywność obsługi (względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych),
 p_0 – prawdopodobieństwo, że wszystkie stanowiska obsługi (miejsca parkingowe) są wolne.

Należy zaznaczyć, że opisane zależności są prawdziwe:

- dla przyjętego naturalnego regulaminu kolejki (FIFO), który przydziela do zwolnionego stanowiska obsługi zgłoszenie, które w systemie oczekuje najdłużej. Zakładając, że kolejkę stanowią pojazdy *krążące* w sieci drogowo – ulicznej obszaru w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego, regulamin ten obserwowany jest w warunkach rzeczywistych w obszarach, w których nie ma możliwości wyboru ścieżki *krążenia*. Wtedy pojazdy przemieszczające się w tej sieci tworzą kolumnę pojazdów, a zwalniające się miejsce postojowe zajmie pojazd, który zajmuje w niej pierwszą pozycję.
- dla sytuacji, w której wskaźnik przybyć do systemu nie przekracza wskaźnika obsługi zgłoszeń, co oznacza, że system spełnia tzw. *warunek ergodyczności*. Wówczas kolejka nie narasta, a system jest w stanie obsłużyć wszystkich zgłaszających się klientów. Warunek ten jest wyrażany wzorem:

$$\frac{\lambda}{m\mu} < 1 \quad (30)$$

gdzie:

- λ – intensywność strumienia zgłoszeń (pojazdów),
 μ – intensywność obsługi zgłoszeń (rotacja pojazdów na miejscach parkingowych),
 m – liczba stanowisk obsługi (miejsc parkingowych).

W analizowanym przypadku założono również, że kolejka jest nieograniczona, a także nie dodano warunku, mówiącego o ograniczonym czasie oczekiwania w kolejce. Praktyka pokazuje, że na miejsce postojowe nie oczekuje się (nie *krąży* się w jego poszukiwaniu) długo – po upływie pewnego akceptowalnego czasu oczekiwania klienci rezygnują z postojem w danym obszarze, zmieniają cel podróży, itp. Aby uwzględnić tę kwestię założono, że czas przebywania klienta (pojazdu) w kolejce – czas *krążenia* w poszukiwaniu miejsca postojowego – jest ograniczony i oznaczono go przez t_{asz} . Jest on zmienną losową o rozkładzie wykładniczym i funkcji gęstości $h(t)$ [49]:

$$h(t) = \begin{cases} \nu e^{-\nu t} & \text{dla } t \geq 0 \\ 0 & \text{dla } t < 0 \end{cases} \quad (31)$$

gdzie parametr v oznacza wielkość odwrotnie proporcjonalną do czasu oczekiwania w kolejce (*krążenia* w poszukiwaniu wolnego miejsca):

$$v = \frac{1}{M(t_{asz})} \quad (32)$$

Można go interpretować jako natężenie strumienia zgłoszeń opuszczających system bez otrzymania usługi – czyli natężenie pojazdów rezygnujących z postoju w danym obszarze. Uwzględniając w analizie proces rezygnacji zgłoszeń, miary wyznaczone wzorami (24), (25), (26) można zapisać w następujący sposób:

- 1) prawdopodobieństwo, że wszystkie kanały obsługi są wolne – które należy interpretować, jako **prawdopodobieństwo, że wszystkie miejsca parkingowe w obszarze (m_p) są wolne:**

$$p_0 = \left[\sum_{k=0}^m \frac{\rho^k}{k!} + \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\lambda^{m+r}}{m! \mu^m \prod_{n=1}^r (m\mu + nv)} \right]^{-1} \quad (33)$$

gdzie:

- p_0 – prawdopodobieństwo, że wszystkie stanowiska obsługi (miejsca parkingowe) są wolne,
- m – liczba stanowisk obsługi (miejsc parkingowych),
- k – liczba zgłoszeń (pojazdów) przebywających w systemie (zaparkowanych) i kolejce (*krążących*) łącznie: $m + r = k$, $r \geq 1$,
- r – długość kolejki (liczba zgłoszeń przebywających w kolejce – liczba pojazdów *krążących* w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego),
- μ – intensywność obsługi zgłoszeń (rotacja pojazdów),
- ρ – względna intensywność obsługi (względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych),
- n – indeks przyporządkowany do kolejnego miejsca w kolejce, tj.: $n = 1, 2, \dots, r$.
- v – średnia intensywność rezygnowania z obsługi (z parkowania) – wielkość odwrotnie proporcjonalna do czasu oczekiwania w kolejce (*krążenia*).

Po wprowadzeniu parametru:

$$\beta = \frac{v}{\mu} \quad (34)$$

gdzie:

- v – średnia intensywność rezygnowania z obsługi (z parkowania) – wielkość odwrotnie proporcjonalna do czasu oczekiwania w kolejce (*krążenia*),
- μ – intensywność obsługi zgłoszeń (rotacja pojazdów),

można oszacować:

- 2) prawdopodobieństwo, że k kanałów obsługi jest zajętych – które należy interpretować, jako **prawdopodobieństwo, że k miejsc parkingowych jest zajętych:**

$$p_k = \frac{\rho^k}{k!} \cdot p_0, \quad 0 < k \leq m \quad (35)$$

oraz

- 3) prawdopodobieństwo tego, że długość kolejki wynosi r – interpretowane jako **prawdopodobieństwo tego, że liczba pojazdów krążących w sieci (l_{sz}), szukających miejsca parkingowego wynosi r :**

$$p_{m+r} = \frac{\frac{\rho^{m+r}}{m!} \cdot p_0}{\prod_{n=1}^r (m + n\beta)}, \quad r \geq 1 \quad (36)$$

przy czym:

$$p_0 = \left[\sum_{k=0}^m \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^m}{m!} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\rho^r}{\prod_{n=1}^r (m + n\beta)} \right]^{-1} \quad (37)$$

gdzie:

- p_k – prawdopodobieństwo, że k stanowisk obsługi (miejsc parkingowych) jest zajętych,
- k – liczba zgłoszeń (pojazdów) przebywających w systemie (zaparkowanych) i kolejce (krążących) łącznie: $m + r = k$, $r \geq 1$,
- m – liczba stanowisk obsługi (miejsc parkingowych),
- p_{m+r} – prawdopodobieństwo, że długość kolejki (liczba pojazdów krążących) wynosi r ,
- p_0 – prawdopodobieństwo, że wszystkie stanowiska obsługi (miejsca parkingowe) są wolne,
- ρ – względna intensywność obsługi (względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych),
- r – długość kolejki (liczba zgłoszeń przebywających w kolejce – krążących),
- n – indeks przyporządkowany do kolejnego miejsca w kolejce, tj.: $n = 1, 2, \dots, r$,
- β – parametr: $\beta = \frac{v}{\mu}$,
- v – średnia intensywność rezygnowania z obsługi (parkowania) – wielkość odwrotnie proporcjonalna do czasu oczekiwania w kolejce (krążenia),
- μ – intensywność obsługi zgłoszeń (rotacja pojazdów).

Dodatkowo można oszacować:

- 4) prawdopodobieństwo tego, że zgłoszenie opuści kolejkę bez otrzymania obsługi z powodu zbyt długiego czasu oczekiwania – co należy rozumieć przez **prawdopodobieństwo sytuacji w której kierowca, po przekroczeniu optymalnego dla siebie czasu poszukiwania miejsca (t_{asz}), rezygnuje z parkowania lub zmienia cel podróży, itp.:**

$$p_w = \frac{\frac{\beta \rho^m}{\rho m!} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{r \rho^r}{\prod_{n=1}^r (m + n\beta)}}{\sum_{k=0}^m \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^m}{m!} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\rho^r}{\prod_{n=1}^r (m + n\beta)}} \quad (38)$$

gdzie:

- p_w – prawdopodobieństwo tego, że zgłoszenie (pojazd) opuści kolejkę bez otrzymania obsługi z powodu zbyt długiego czasu oczekiwania – rezygnuje z parkowania,
- β – parametr: $\beta = \frac{v}{\mu}$,
- ρ – względna intensywność obsługi (względna intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych),
- m – liczba stanowisk obsługi (miejsc parkingowych),
- k – liczba zgłoszeń (pojazdów) przebywających w systemie (zaparkowanych) i kolejce (krążących) łącznie: $m + r = k$, $r \geq 1$,

- r – długość kolejki (liczba zgłoszeń przebywających w kolejce – *krążących*),
- n – indeks przyporządkowany do kolejnego miejsca w kolejce, tj.: $n = 1, 2, \dots, r$,
- v – średnia intensywność rezygnowania z obsługi (parkowania) – wielkość odwrotnie proporcjonalna do czasu oczekiwania w kolejce (*krążenia*),
- μ – intensywność obsługi zgłoszeń (rotacja pojazdów).

4.5. Analiza efektywności funkcjonowania systemu parkingowego z wykorzystaniem matematycznego aparatu modeli kolejkowych – przykład obliczeniowy w programie komputerowym winQSB

Podstawowe możliwości wykorzystania aparatu matematycznego *teorii masowej obsługi* opisanego w rozdziale 4.4 do analizy i oceny efektywności niewielkiego systemu parkingowego, przedstawiono przeprowadzając prostą symulację funkcjonowania parkingu wydzielonego o liczbie $m_p = 10$ miejsc parkingowych i 1 bramie wjazdowej/wyjazdowej. Przyjęto scenariusz, w którym podstawowe parametry – interwał zgłoszeń oraz czas ich obsługi – są zmiennymi losowymi. Ich parametry zostały przyjęte w oparciu o przegląd literatury.

Symulację przeprowadzono w programie winQSB – narzędziu do zarządzania metodami ilościowymi. Pozwala ono na rozwiązywanie wielu problemów decyzyjnych w dziedzinach związanych z funkcjonowaniem przedsiębiorstw, tj. administracją, produkcją, zarządzaniem zasobami ludzkimi, projektami, itp. [35].

Analizę przeprowadzono dla następujących wariantów:

- **WARIANT 1** – czas postoju pojazdu na miejscu parkingowym (t_p) wynosi 2 godziny, co interpretowane jest, jako długość procesu obsługi zgłoszenia w systemie – intensywność obsługi zgłoszeń na danym stanowisku ($\mu = w_r$) wynosi więc 0,5 zgłoszenia na godzinę. Pojazdy wjeżdżają na parking w interwale co godzinę, stąd intensywność strumienia zgłoszeń (λ) wynosi 1 zgłoszenie (pojazd) na godzinę. Założono, że strumień zgłoszeń do systemu jest strumieniem Poissona, a czas ich obsługi na stanowiskach można opisać rozkładem wykładniczym. W wariantcie 1 system funkcjonuje z nieograniczoną kolejką, co oznacza, że pojazdy mogą bez ograniczeń czasowych oczekiwać na zwolnienie się stanowiska postojowego, a kolejność obsługi zgłoszeń jest zgodna z regułą FIFO – na wolne miejsce postojowe wjeżdża pojazd, który pierwszy wjechał na parking. Nie ma także ograniczenia, co do liczby pojazdów, które wjeżdżają na parking.
- **WARIANT 2** – czas postoju pojazdu na miejscu parkingowym (t_p) wynosi 2 godziny, co interpretowane jest, jako długość procesu obsługi zgłoszenia w systemie – intensywność obsługi zgłoszeń na danym stanowisku ($\mu = w_r$) wynosi więc – podobnie jak w wariantcie 1: 0,5 zgłoszenia na godzinę. Pojazdy wjeżdżają jednak na parking częściej – w interwale co 15 minut (0,25 godziny), stąd intensywność strumienia zgłoszeń (λ) wynosi 4 zgłoszenia (pojazdy) na godzinę. Również w tym przypadku założono, że strumień zgłoszeń do systemu jest strumieniem Poissona, a czas ich obsługi na stanowiskach można opisać rozkładem wykładniczym. System ten także funkcjonuje z nieograniczoną kolejką, co oznacza, że pojazdy mogą bez ograniczeń czasowych oczekiwać na zwolnienie się stanowiska postojowego, a kolejność obsługi zgłoszeń jest zgodna z regułą FIFO – na wolne miejsce postojowe wjeżdża pojazd, który pierwszy wjechał na parking. Nie ma również ograniczenia, co do liczby pojazdów, które wjeżdżają na parking.
- **WARIANT 3** – w wariantcie 3 przyjęto parametry, które bardzo obciążają symulowany system: czas postoju pojazdu na miejscu parkingowym (t_p) wynosi 8 godzin, co powoduje, że intensywność obsługi zgłoszeń ($\mu = w_r$) na danym stanowisku wynosi 0,125 zgłoszenia na godzinę. Pojazdy wjeżdżają na parking w interwale co około pół godziny, stąd intensywność strumienia zgłoszeń (λ) wynosi 2 zgłoszenia (pojazdy) na godzinę. Dodatkowe założenia nie różnią się od wariantów 1 i 2: strumień zgłoszeń do systemu jest strumieniem Poissona, a czas ich obsługi na stanowiskach można opisać rozkładem wykładniczym. System funkcjonuje z nieograniczoną kolejką, a kolejność obsługi zgłoszeń jest zgodna z regułą FIFO. Nie ma ograniczenia, co do liczby pojazdów, które wjeżdżają na parking.

- **WARIANT 4** – w sytuacji gdy parking jest pełny, a kolejka oczekujących na możliwość zaparkowania jest długa, kierowcy najczęściej zmieniają plany: wybierają inny parking, rezygnują z parkowania, itp. – czego nie uwzględniała symulacja przeprowadzona dla wariantu nr 3. Aby sprawdzić różnicę charakterystyk funkcjonowania systemów bez założonej rezygnacji z parkowania oraz z założeniem, że pojazdy (kierowcy) rezygnują z parkowania na widok długiej kolejki oczekujących, wprowadzono wariant 4. Przyjęto parametry analogiczne jak w wariacie 3, jednak założono także maksymalną liczbę pojazdów oczekujących na możliwość parkowania, równą 1. Założono, że każdy kierowca, który jako drugi nadjedzie na parking napelniony w 100%, rezygnuje z postoju i odjeżdża. Czas postoju pojazdu na miejscu parkingowym (t_p) wynosi 8 godzin, co powoduje, że intensywność obsługi zgłoszeń na danym stanowisku ($\mu = w_r$) wynosi 0,125 zgłoszenia na godzinę – średnio 1,25 pojazdu kończy parkowanie i wyjeżdża z parkingu w okresie jednej godziny. Pojazdy wjeżdżają na parking w interwale co około pół godziny, stąd intensywność strumienia zgłoszeń (λ) wynosi 2 zgłoszenia (pojazdy) na godzinę. Strumień zgłoszeń do systemu jest strumieniem Poissona, a czas ich obsługi na stanowiskach można opisać rozkładem wykładniczym. Kolejność obsługi zgłoszeń w systemie jest zgodna z regułą FIFO.

Dane wejściowe dla wszystkich wariantów zestawiono w tabeli (Tab. 4.1).

Tab. 4.1. Charakterystyki przyjęte w przykładowym systemie kolejkowym funkcjonującym jako parking - warianty

charakterystyka systemu		warianty			
		1	2	3	4
m_p	liczba miejsc postojowych obszaru analizy	10	10	10	10
$1/\lambda$	średni interwał pomiędzy zgłoszeniami	1,00 [h]	0,25 [h]	0,50 [h]	0,50 [h]
λ	średnia intensywność strumienia zgłoszeń	1 [poj/h]	4 [poj/h]	2 [poj/h]	2 [poj/h]
	strumień zgłoszeń	Poissona	Poissona	Poissona	Poissona
$1/\mu = t_p$	średnia długość czasu obsługi zgłoszeń	2 [h]	2 [h]	8 [h]	8 [h]
$\mu = w_r$	średnia intensywność obsługi zgłoszeń na jednym stanowisku	0,5 [poj/h]	0,5 [poj/h]	0,125 [poj/h]	0,125 [poj/h]
	czas obsługi zgłoszeń	rozkład wykładniczy	rozkład wykładniczy	rozkład wykładniczy	rozkład wykładniczy
	dyscyplina kolejki	FIFO	FIFO	FIFO	FIFO
	maksymalna długość kolejki	∞	∞	∞	1 [poj]

Źródło: opracowanie własne

Program winQSB, w ramach analizy przeprowadzanej dla systemu kolejkowego, wyznacza następujące parametry:

- wskaźnik intensywności strumienia zgłoszeń (na daną jednostkę czasu),
- wskaźnik intensywności obsługi zgłoszeń na pojedynczym stanowisku obsługi (na daną jednostkę czasu),
- ogólny wskaźnik intensywności zgłoszeń do systemu,
- ogólny wskaźnik intensywności obsługi w systemie,
- ogólny wskaźnik wykorzystania systemu,
- średnia liczba klientów w systemie,
- średnia liczba klientów w kolejce,
- średnia liczba klientów w kolejce, w sytuacji, gdy system jest zajęty w 100%,
- średni czas spędzony przez klienta w systemie,

- średni czas spędzony przez klienta w kolejce,
- średni czas spędzony przez klienta w kolejce, w sytuacji, gdy system jest w 100% zajęty,
- prawdopodobieństwo, że wszystkie stanowiska obsługi będą wolne,
- prawdopodobieństwo, że wszyscy przybywający do systemu klienci muszą czekać na obsługę lub że system jest w 100% zajęty, oraz
- inne charakterystyki dotyczące kosztów, które pominięto w tym przykładzie.

Na rysunku (Rys. 4.2) przedstawiono przykład okna wynikowego.

03-24-2020	Performance Measure	Result
1	System: M/M/10	From Formula
2	Customer arrival rate (lambda) per hour =	1,0000
3	Service rate per server (mu) per hour =	0,5000
4	Overall system effective arrival rate per hour =	1,0000
5	Overall system effective service rate per hour =	1,0000
6	Overall system utilization =	20,0000 %
7	Average number of customers in the system (L) =	2,0000
8	Average number of customers in the queue (Lq) =	0,0000
9	Average number of customers in the queue for a busy system (Lb) =	0,2500
10	Average time customer spends in the system (W) =	2,0000 hours
11	Average time customer spends in the queue (Wq) =	0,0000 hours
12	Average time customer spends in the queue for a busy system (Wb) =	0,2500 hours
13	The probability that all servers are idle (Po) =	13,5335 %
14	The probability an arriving customer waits (Pw) or system is busy (Pb) =	0,0048 %
15	Average number of customers being balked per hour =	0
16	Total cost of busy server per hour =	\$0
17	Total cost of idle server per hour =	\$0
18	Total cost of customer waiting per hour =	\$0
19	Total cost of customer being served per hour =	\$0
20	Total cost of customer being balked per hour =	\$0
21	Total queue space cost per hour =	\$0
22	Total system cost per hour =	\$0

Rys. 4.2. Przykład okna wynikowego analizy systemu kolejkowego w programie winQSB
Źródło: opracowanie własne

Szczegółowe wyniki symulacji dla poszczególnych wariantów zestawiono w tabeli (Tab. 4.2).

Tab. 4.2. Zestawienie wyników symulacji dla poszczególnych wariantów modelu kolejkowego – warianty

Charakterystyka systemu	Warianty			
	1	2	3	4
wskaźnik intensywności strumienia zgłoszeń [poj/h]	1,0000	4,0000	2,0000	20,0
wskaźnik intensywności obsługi zgłoszeń na pojedynczym stanowisku obsługi [poj/h]	0,5000	0,5000	0,1250	0,1250
ogólny wskaźnik intensywności zgłoszeń do systemu [poj/h]	1,0000	4,0000	1,9965	1,1731
ogólny wskaźnik intensywności obsługi w systemie [poj/h]	1,0000	4,0000	1,2327	1,1731
ogólny wskaźnik wykorzystania systemu [%]	20,0000	80,0000	99,3238	93,8472
średnia liczba klientów w systemie [poj]	2,0000	9,6367	374,9478	9,7982
średnia liczba klientów w kolejce [poj]	0,0000	1,6367	365,0150	0,4135
średnia liczba klientów w kolejce, w sytuacji, gdy system jest zajęty w 100% [poj]	0,2500	4,0000	369,1526	0,6154
średni czas spędzony przez klienta w systemie [h]	2,0000	2,4092	193,6701	8,3524
średni czas spędzony przez klienta w kolejce [h]	0,0000	0,4092	185,6686	0,3524
średni czas spędzony przez klienta w kolejce, w sytuacji, gdy system jest w 100% zajęty [h]	0,2500	1,0000	187,7732	0,5246
prawdopodobieństwo, że wszystkie stanowiska obsługi będą wolne [%]	13,5335	0,0277	0,0327	0,0001
prawdopodobieństwo, że wszyscy przybywający do systemu klienci muszą czekać na obsługę lub że system jest w 100% zajęty [%]	0,0048	40,9180	98,8792	67,1864

Charakterystyka systemu	Warianty			
	1	2	3	4
Średnia liczba klientów w godzinie, rezygnujących z oczekiwania w kolejce (ograniczona liczba miejsc w kolejce)	-	-	-	0,8269

Źródło: opracowanie własne

Informacje o funkcjonowaniu systemów, uzyskane w wyniku symulacji poszczególnych wariantów wskazują, że:

WARIANT 1 – w wariacie 1 obciążenie parkingu jest słabe – ogólny wskaźnik wykorzystania analizowanego systemu wynosi 20%. Przy takich parametrach efektywności funkcjonowania systemu, wszystkie pozostałe wyznaczone charakterystyki systemu również są dobre – kierowca zawsze będzie w stanie znaleźć wolne miejsce do zaparkowania pojazdu – średni czas oczekiwania w kolejce jest równy 0. Jest małe prawdopodobieństwo (0,0048%), że zdarzy się sytuacja, w której system będzie obciążony w 100% – jednak nawet w takiej sytuacji wyznaczony czas oczekiwania na zwolnienie stanowiska został oszacowany na (średnio) 15 minut.

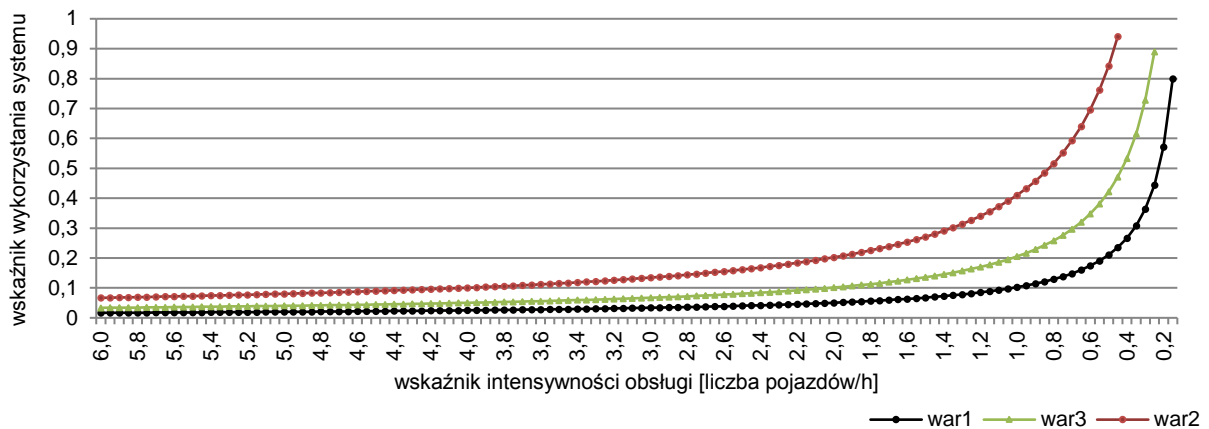
WARIANT 2 – założona w wariacie numer 2 średnia liczba wjazdów na parking, wynosząca 4 pojazdy w ciągu godziny, przy średnim czasie ich postoju równym 2 godziny, skutkuje silniejszym obciążeniem parkingu, niż w sytuacji odwzorowanej w wariacie 1 – wyznaczony wskaźnik wykorzystania systemu jest równy 80%. Średni czas oczekiwania na zwolnienie miejsca został oszacowany na niecałe 25 minut, natomiast jeśli system będzie zajęty w 100%, średni czas w niej spędzony będzie wynosić średnio około 60 minut. Prawdopodobieństwo takiej sytuacji jest wyższe niż w wariacie 1 i wynosi prawie 41% co oznacza, że nie każdy kierowca wjeżdżając na parking zastanie dla siebie wolne miejsce do zaparkowania pojazdu.

WARIANT 3 – odwzorowuje sytuację, w której system jest przeciążony – oznacza to, że więcej pojazdów wjeżdża na parking z zamiarem zaparkowania (2 pojazdy w ciągu godziny), niż z niego wyjeżdża po zakończonym postoju (1,25 pojazdu w godzinie) – w takim przypadku równania przedstawione w rozdziale 4.4 nie są ważne [189] – kolejka oczekujących na miejsce kierowców – nie będzie się rozładowywać, ale narastać. Program stosuje wtedy metodę Monte Carlo do oszacowania odpowiednich estymatorów nieznanymi prawdopodobieństwami poszczególnych stanów systemu [35]. W efekcie takiej symulacji wyznaczono charakterystyki funkcjonowania tego parkingu, wśród których jedną z ważniejszych jest prawdopodobieństwo, że system jest w 100% zajęty – wynosi ona 98,9% co oznacza, że praktycznie każdy kierowca wjeżdżający na parking będzie zmuszony do oczekiwania na zwolnienie miejsca parkingowego. Wyznaczona przez program średnia liczba klientów w kolejce sięga 365, a średni czas spędzony przez klienta w systemie (na postoju oraz oczekiwaniu na wolne miejsce) przekracza 193 godziny. Tak duża liczba pojazdów oczekujących i długi czas ich oczekiwania na wolne miejsce wynika ze zwiększającego się rozmiaru kolejki w systemie, który nie jest stabilny (liczba zgłoszeń do systemu w danej jednostce czasu jest większa niż liczba zgłoszeń w tej jednostce czasu obsługiwanych).

WARIANT 4 – pokazuje sytuację, w której kierowcy rezygnują z oczekiwania na zwolnienie miejsca, w którym będą mogli zaparkować swój samochód. Wyniki symulacji wyraźnie wskazują, jak duży wpływ na parametry systemu ma ta rezygnacja – przy analogicznie, jak w wariacie 3, założonym dużym obciążeniu parkingu (większej liczbie wjazdów na parking, niż wyjazdów z niego w ciągu godziny) – wskaźnik ogólnego wykorzystania systemu jest niższy, a prawdopodobieństwo, że system jest w 100% zajęty wynosi 67%. Czas oczekiwania w kolejce, gdy parking jest w 100% zajęty skraca się do 0,5 godziny, a średnia liczba klientów w tej kolejce to 0,6 pojazdu.

Funkcjonalność programu winQSB pozwala na przeprowadzenie analizy wrażliwości systemu kolejkowego na zmianę jego parametrów [35]. Wykres (Rys. 4.3) przedstawia wpływ wartości wskaźnika wykorzystania systemu – w każdym z 3 wariantów, które nie przewidywały rezygnacji z oczekiwania, na

zmianę wskaźnika intensywności obsługi w systemie, czyli – w interpretacji dla systemu parkingowego – średniej liczby pojazdów, które parkowały przez określony czas (w godzinie) na wszystkich miejscach parkingowych analizowanych łącznie.



Rys. 4.3. Zależność wartości wskaźnika wykorzystania systemu parkingowego od intensywności obsługi pojazdów w systemie – w zakresie od 6 do 0,1 pojazdu w godzinie, tj. od 10 do 480 min postoju | WinQSB
Źródło: opracowanie własne przy użyciu programu WinQSB

Wykres wskazuje, że dla przyjętych założeń funkcjonowania systemu, wskaźnik wykorzystania systemu rośnie wykładniczo wraz ze zmniejszeniem liczby pojazdów obsługiwanych przez system parkingowy (wzrostem średniego czasu postoju). Wzrost ten jest najbardziej intensywny w przypadku wariantu (war1), w którym założono mały wskaźnik intensywności zgłoszeń do systemu (1 poj./h). Przy założonym 8-godzinym średnim czasie postoju (0,125 pojazdu obsługowanego przez system w ciągu godziny) – w wariantcie 1, gdzie w ciągu godziny na parkingu pojawiał się średnio 1 pojazd, wykorzystanie systemu wynosi 80%, podczas gdy w wariantcie 2 i 3 system jest już niestabilny – co oznacza, że obsługa funkcjonuje wolniej niż przybywanie nowych zgłoszeń.

Na wykresach (Rys. 4.4 i Rys. 4.5) z kolei, przedstawiono założoną zmianę średniej liczby obsługiwanych w godzinie pojazdów i jej wpływ na prawdopodobieństwo, że wszystkie miejsca na analizowanym parkingu będą zajęte przez parkujące pojazdy, a także na średni czas, który będą zmuszeni spędzić kierowcy w oczekiwaniu na zwolnienie miejsca – przy 100% zajętości parkingu.



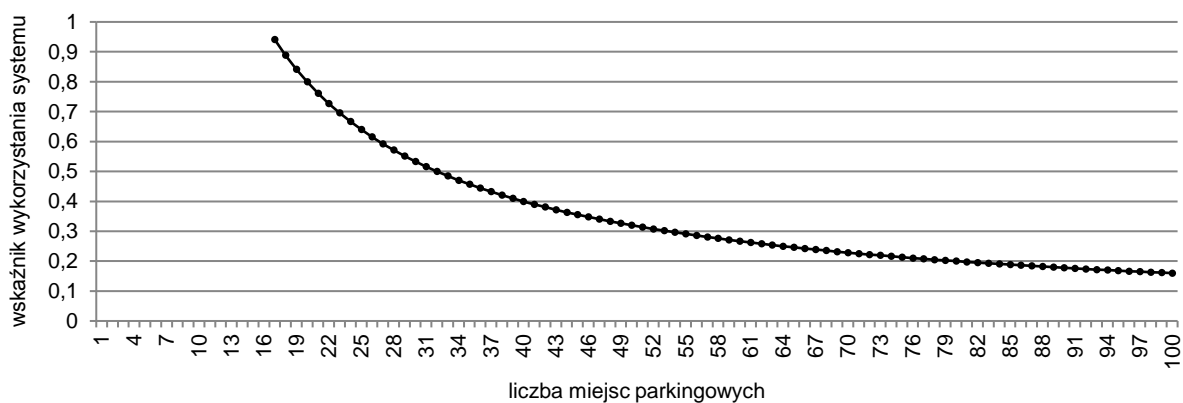
Rys. 4.4. Zależność wielkości prawdopodobieństwa, że wszystkie miejsca parkingowe będą zajęte od intensywności obsługi pojazdów w systemie – w zakresie od 6 do 0,1 pojazdu w godzinie, tj. od 10 do 480 min postoju | WinQSB
Źródło: opracowanie własne przy użyciu programu WinQSB



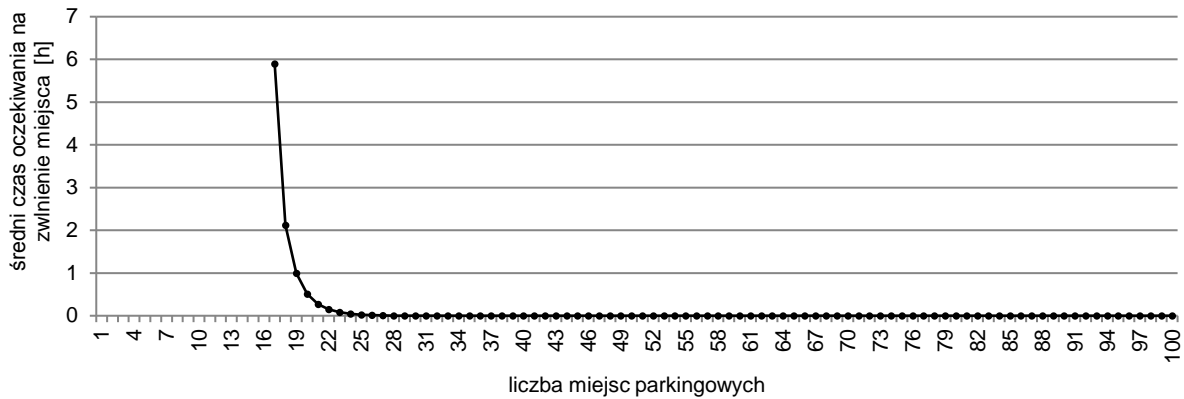
Rys. 4.5. Zależność średniego czasu oczekiwania w kolejce przy 100% zajętości parkingu od intensywności obsługi pojazdów w systemie – w zakresie od 6 do 0,1 pojazdu w godzinie, tj. od 10 do 480 min postoju | WinQSB
Źródło: opracowanie własne przy użyciu programu WinQSB

Wszystkie przeprowadzone symulacje wskazują wyraźnie, że przy założonych parametrach funkcjonowania systemu, zmiana intensywności obsługi, może wpłynąć na sprawność obsługi parkingowej – im większa liczba pojazdów *obsłużonych* przez system w godzinie (krótszy średni czas postoju), tym mniejsze wykorzystanie systemu, jak również mniejsze prawdopodobieństwo, że parking będzie w 100% zajęty i krótszy czas oczekiwania w przypadku, gdy jednak wszystkie miejsca będą zajęte. W odniesieniu do zarządzania parkowaniem na danym obszarze, przeprowadzona analiza wskazuje zakres możliwości, jakie niesie ze sobą ingerencja (ograniczenie) w czas postoju pojazdów.

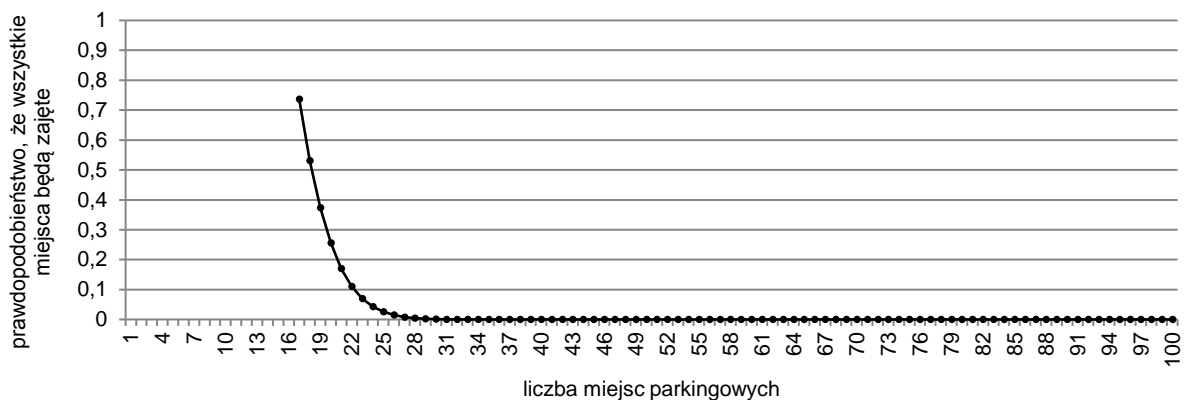
Podobną analizę przeprowadzono odnosząc się do liczby dostępnych miejsc postojowych parkingu. Wskazuje ona jak zwiększenie miejsc parkingowych wpływa na wykorzystanie systemu (Rys. 4.6), czas oczekiwania na zwolnienie miejsca (Rys. 4.7), czy prawdopodobieństwo, że po przyjeździe na parking kierowca zostanie parking napelniony w 100% (Rys. 4.8). Analizę przeprowadzono dla wariantu nr 3, w którym założono następujące parametry funkcjonowania systemu: w ciągu godziny, na parking przyjeżdżają średnio 2 pojazdy, a czas postoju jest równy średnio 8 godzin.



Rys. 4.6. Zależność wskaźnika wykorzystania systemu od liczby miejsc parkingowych | WinQSB
Źródło: opracowanie własne przy użyciu programu WinQSB



Rys. 4.7. Zależność średniego czasu oczekiwania na zwolnienie miejsca od liczby miejsc parkingowych | WinQSB
Źródło: opracowanie własne przy użyciu programu WinQSB



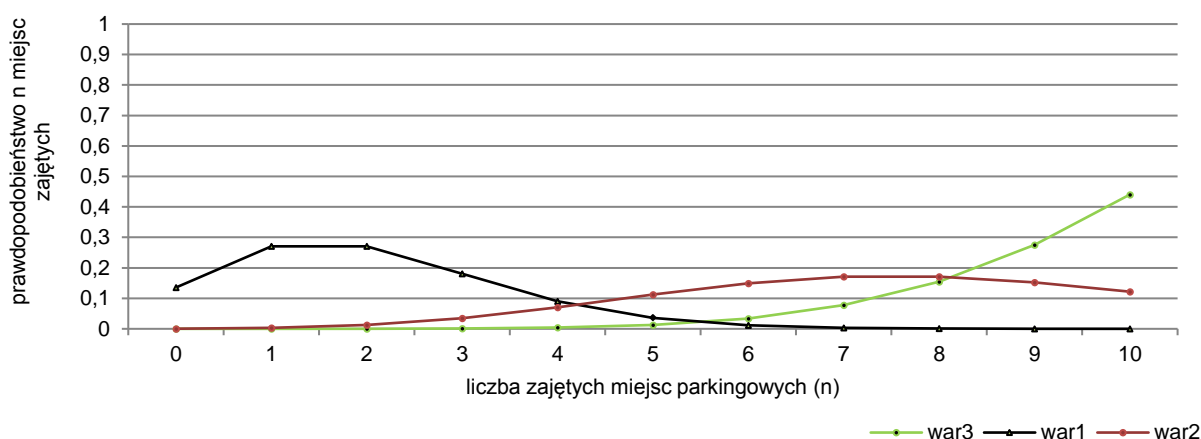
Rys. 4.8. Zależność prawdopodobieństwa, że parking będzie napełniony w 100% od liczby miejsc parkingowych | WinQSB
Źródło: opracowanie własne przy użyciu programu WinQSB

Wg wyników symulacji, system funkcjonujący w opisany sposób staje się niestabilny przy liczbie miejsc parkingowych mniejszej niż 17, natomiast przy 23 miejscach parkingowych średni czas oczekiwania na wolne miejsce przyjmuje wartość niespełna 5 minut, co można uznać za czas akceptowalny dla kierowcy.

W tej interpretacji, wyniki symulacji mogą być wskazówką dla zarządców przestrzeni parkingowych względem optymalnej liczby miejsc parkingowych przy określonej godzinowej liczbie wjazdów na parking oraz określonym czasie postoju pojazdów.

Należy zwrócić uwagę, że wskaźnik wykorzystania systemu (parkingu) nie może być interpretowany *stricte* jako wskaźnik wykorzystania istniejącej przestrzeni parkingowej – rozumiany, jako stosunek liczby zajętych do liczby wszystkich dostępnych miejsc parkingowych danego parkingu. W tym przypadku wskaźnik wykorzystania parkingu określa raczej udział zgłoszeń (pojazdów), które zgłaszają się do systemu (wjeżdżają na parking w celu krótkiego lub długiego postoju), w liczbie wszystkich zgłoszeń (pojazdów), które mogą zostać obsłużone przez system (zaparkować na danym parkingu).

Analizę zależności napełnienia powierzchni parkingowej omawianego systemu przedstawiono na wykresie (Rys. 4.9) i w tabeli (Tab. 4.3). Przedstawia on prawdopodobieństwo, że konkretna (n) liczba miejsc parkingowych będzie zajęta, co w *teorii kolejek* określane jest prawdopodobieństwem liczby klientów przebywających w systemie. Prawdopodobieństwo zostało oszacowane przy pomocy programu winQSB dla 3 analizowanych do tej pory wariantów obciążenia parkingu z 10 miejscami parkingowymi. Dla celów analizy założono, że nie ma możliwości ustawiania się pojazdów oczekujących w kolejce na zwolnienie miejsca (zgodnie z nomenklaturą – system $M/M/10/FIFO/10$)



Rys. 4.9. Prawdopodobieństwo liczby zajętych miejsc parkingowych | WinQSB
Źródło: opracowanie własne przy użyciu programu WinQSB

Tab. 4.3. Prawdopodobieństwo liczby zajętych miejsc parkingowych | WinQSB

Charakterystyka systemu	Warianty		
	1	2	3
wskaźnik intensywności strumienia zgłoszeń [poj/h]	1,0	4,0	2,0
wskaźnik intensywności obsługi zgłoszeń na pojedynczym stanowisku obsługi [poj/h]	0,5	0,5	0,125
średni czas postoju pojazdu [h]	2	2	8

Źródło: opracowanie własne przy użyciu programu WinQSB

Wykres pokazuje najbardziej prawdopodobne napełnienie parkingu dla każdego z analizowanych wariantów jego obciążenia. Dane dla wariantu nr 3 – najbardziej obciążonego na skutek założonego bardzo długiego czasu postoju pojazdów – wskazują największe prawdopodobieństwo 100% napełnienia parkingu, a prawdopodobieństwo to jest równe 0,44. Porównując natomiast dane dla wariantów nr 1 i 2, w których założono ten sam średni czas postoju równy 2h, jednak ze zróżnicowanym popytem na parkowanie można zauważyć, że:

1. w wariantcie 1 parking najprawdopodobniej będzie słabo napełniony (w około 10 – 20%), a prawdopodobieństwo takiej sytuacji wynosi 0,27,
2. pewność sytuacji, w której parking w tym wariantcie będzie napełniony w 100% jest niewielka,
3. napełnienie parkingu w wariantcie nr 2 będzie z największym prawdopodobieństwem (równym 0,17) równe 70 – 80%.

4.6. Zastosowanie teorii masowej obsługi do oceny funkcjonowania obszarów parkingowych – wnioski

Przedstawione w poprzednich rozdziałach przykłady sposobów modelowania systemów parkingowych pochodzące z literatury, podstawy wykorzystywanego aparatu matematycznego oraz przeprowadzone symulacje wskazują, że wykorzystanie teorii masowej obsługi do oceny funkcjonowania obszarów parkingowych jest możliwe i pozwala na określenie wielu przydatnych charakterystyk opisujących efektywność funkcjonowania danego systemu. Pozwalają one na monitoring i wprowadzanie zmian dążących do optymalizacji ich pracy. Wątpliwości budzi jednak praktyczne zastosowanie teorii masowej obsługi przy założeniach, które dążą do dużej dokładności odwzorowania w modelu systemu parkingowego, a zwłaszcza systemu z parkowaniem przykrawężnikowym.

Zidentyfikowano następujące problemy, które mogą być powodem trudności w praktycznym zastosowaniu elementów teorii masowej obsługi do analiz funkcjonowania systemów parkingowych:

1. Trudność pozyskiwania danych wejściowych do analiz – w szczególności w przypadku strumienia wejściowego do systemu – uzyskanie szczegółowych informacji niezbędnych do

scharakteryzowania strumienia wejściowego, czyli informacji o wszystkich wjazdach pojazdów do analizowanego obszaru oraz interwałów pomiędzy tymi wjazdami jest możliwe, jednak wymaga, jak wspomniano w rozdziale 4.2.1, przeprowadzenia tzw. *kordonowych pomiarów ruchu*. Dopiero na ich podstawie możliwym jest ustalenie rozkładów interwałów zgłoszeń do systemu. Z praktycznego punktu widzenia, pomiary takie muszą być przeprowadzane z wykorzystaniem techniki wideofilmowania, bądź innej techniki rejestracji numerów rejestracyjnych pojazdów oraz dokładnych momentów ich pojawienia się na wlotach/wylotach do/z obszaru, co jest rozwiązaniem realnym lecz kosztownym, jeśli ma być przeprowadzone dla wielu poligonów badawczych równolegle. Łatwiejszą do uzyskania jest średnia liczba pojazdów wjeżdżających (z zamiarem pozostania) do obszaru w wybranej jednostce czasu, bez uwzględnienia losowego charakteru długości interwału pomiędzy zgłoszeniami – z założeniem, że interwał ten jest stały w czasie.

Również analiza rozkładu czasów postoju poszczególnych pojazdów na miejscach parkingowych rodzi pewną trudność. O ile przy wykonywanych pomiarach parkowania czasy te są znane – tak w gotowej analizie parkowania, przygotowywanej najczęściej na zlecenia Zarządców przestrzeni parkingowej – którą można by w tych celach wykorzystywać – operuje się najczęściej jedynie ich wartościami średnimi, bez wglądu w bazę danych zawierającą poszczególne wartości. Dodatkowo, już na etapie pomiaru, przy wykorzystaniu najczęściej stosowanej (najtańszej, a dającej przy tym wyniki na akceptowalnym, dla celów analiz wykonywanych przez Zarządców, poziomie dokładności) metody patrolowej pomiaru czasu postoju pojazdów, dopuszczane są pewne uproszczenia (o dokładności pomiaru decyduje przyjęty interwał obejścia pętli pomiarowej, równy najczęściej 0,5 godziny).

2. Złożony aparat matematyczny, który przy założeniu losowości procesów zgłoszeń i obsługi ogranicza zastosowanie podstawowych wariantów modeli wykorzystywanych w teorii masowej obsługi do analizy i oceny obszarów o dużej liczbie miejsc postojowych. Przykładowe założenie, że strumień zgłoszeń jest strumieniem Poissona, a czas obsługi na stanowiskach opisywany jest rozkładem wykładniczym¹⁰ – wprowadza do stosowanych w teorii kolejek wzorów na prawdopodobieństwa poszczególnych sytuacji działania systemu operacje oparte na silni i potęgowaniu liczby stanowisk obsługi (liczby dostępnych miejsc postojowych). Wyznaczenie ich wartości dla rzeczywistej liczby miejsc postojowych analizowanych obszarów (najczęściej znacznie większej od 100¹¹) powoduje problemy obliczeniowe standardowo wykorzystywanych komputerów.

Ze względu na to, że modele kolejkowe dość dobrze odzwierciedlają pracę systemów parkingowych, mając na względzie wymienione problemy praktyczne, proponuje się zastosowanie modelowania kolejkowego do analizy i oceny przestrzeni parkingowej przykrawężnikowej, jednak z przyjęciem pewnych uproszczeń. Uproszczenia te miałyby polegać głównie na **założeniu**, że zarówno interwał zgłoszeń do systemu, jak również czas obsługi tych zgłoszeń w systemie jest stały – co oznacza, że **strumień zgłoszeń i proces obsługi mają charakter deterministyczny**. Propozycję takiej metodyki zawarto w rozdziale 4.7.

Elementy teorii masowej obsługi bez nadmiernych uproszczeń, z powszechnie przyjmowanymi założeniami, mogą jednak znaleźć zastosowanie dla symulacji pracy parkingów o niewielkiej liczbie miejsc postojowych – dając w efekcie bardzo przydatne i bardzo precyzyjne parametry, które można wykorzystać do szczegółowej oceny ich funkcjonowania. Ich wykorzystanie umożliwi darmowe oprogramowanie, jak m.in. wykorzystany pakiet winQSB [35].

¹⁰ (...), które przyjmuje się najczęściej ze względu na stosunkowe uproszczenie obliczeń i jest możliwe w analizowanym przypadku [49],[189].

¹¹ Liczba miejsc postojowych całej strefy płatnego parkowania w Krakowie, biorąc pod uwagę stan z dnia przeprowadzania badań parkowania opisywanych w pracy, sięgał 19 tysięcy.

4.7. Autorska propozycja metodyki analizy i oceny efektywności funkcjonowania powierzchni parkingowej

Ze względu na wiele ograniczeń (opisanych w rozdziale 4.6), które powodują, że zastosowanie matematycznego aparatu *teorii masowej obsługi* często nie jest praktycznie możliwe do wykorzystania w ocenie funkcjonowania dużej przestrzeni parkingowej, a w szczególności obszaru z parkowaniem przykrawężnikowym – celem rozdziału 4.7 jest propozycja metodyki analizy i oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej – w szczególności przykrawężnikowej. Efektem tej oceny będzie *wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej* (ρ_p), który w sposób liczbowy odzwierciedli relację popyt na parkowanie – podaź parkingowa, opisz stopień trudności znalezienia wolnego miejsca parkingowego w danym obszarze lub parkingu, zobrazuje jej dostępność (strona 120, 121).

4.7.1. Przegląd literatury

Efektywność funkcjonowania powierzchni parkingowych jest w literaturze oceniana za pomocą różnych parametrów – przyjmowanych do tej oceny w zależności od upodobań i doświadczenia osoby prowadzącej analizę, ponieważ nie przygotowano dla takiej oceny uniwersalnej metody (rozdział 4.1). Nie zidentyfikowano w polskiej literaturze także żadnego wskaźnika, który bierze pod uwagę stopień zaspokojenia popytu na parkowanie przez istniejącą podaź. Najbliższym tej interpretacji efektywności parkingowej wydaje się być pojęcie *dostępności parkingowej*, które jednak w polskiej literaturze pojawia się głównie w odniesieniu do napełnienia powierzchni parkingowej/liczby wolnych miejsc dostępnych w danym obszarze. Nie jest używane, jako ogólna miara efektywności funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej, która jednocześnie może dać odpowiedź na pytanie: jak trudno na danym parkingu lub w danym obszarze znaleźć wolne miejsce postojowe dla samochodu?

Samo pojęcie *dostępność*, które wg Słownika Języka Polskiego [141] oznacza: *taki, do którego można dojść bez przeszkód, na który można wejść stosunkowo łatwo, nietrudny do zdobycia, (...)* prowadzi do wniosku, że w kontekście parkowania mogłaby ona wyrażać stopień trudności znalezienia wolnego stanowiska postojowego.

Również w literaturze zagranicznej pojęcie *dostępności parkingowej* funkcjonuje najczęściej jako określenie bez przypisanej do niego miary [127] lub w odniesieniu do poziomu napełnienia powierzchni parkingowej (% wolnych miejsc) w danym momencie lub średnio, dla określonego przedziału czasowego [97]. Z rzadka spotykane jest wykorzystanie pojęcia *dostępności parkingowej* jako wskaźnika kwantyfikowanego, wykorzystywanego do różnego rodzaju analiz parkingowych. W niektórych publikacjach *dostępność parkingowa* jest traktowana jako miara, jednak nadal odnosi się jedynie do liczby (lub udziału) wolnych miejsc postojowych w danym obszarze. Jest przy tym wykorzystywana w analizach, w których procentowy udział dostępnych miejsc parkingowych danego obszaru jest czynnikiem, wpływającym przykładowo na wybór trasy, miejsca parkowania, itp. przez użytkownika systemu transportowego. W kilku pracach podjęto próbę skwantyfikowania *dostępności parkingowej*, a w próbie tej wykorzystano elementy teorii masowej obsługi.

J-H. Shin i J. Hong-Bae w pracy [136] założyli, że *dostępność wolnych miejsc postojowych* jest czynnikiem, który ma wpływ na stopień trudności znalezienia w konkretnym obszarze wolnego miejsca do zaparkowania przez kierowcę, który w bieżącym momencie jest w trakcie jazdy do miejsca zaparkowania samochodu – będąc prowadzonym przez *inteligentny system naprowadzania na wolne miejsca postojowe*. Zdefiniowali wskaźnik R_{ij} nazwany *stopniem dostępności parkingowej*, który wyznacza się wzorem:

$$R_{ij} = \frac{T_{ij}}{\overline{MTBA}_j} \quad (39)$$

gdzie:

R_{ij} – stopień dostępności parkingowej parkingu j w momencie t ,

- T_{ij} – szacowany czas przejazdu z bieżącej lokalizacji pojazdu i na parking j ,
 $MTBA_j$ – średni interwał wjazdów na parking j w określonym przedziale czasowym,
 f_j – liczba wolnych miejsc na parkingu j dostępna w momencie t .

Wynik działania zawartego w liczniku ułamka równania (39):

$$\frac{T_{ij}}{MTBA_j} \quad (40)$$

określa spodziewaną liczbę pojazdów, która w określonym przedziale czasu wjedzie na dany parking, tj. *intensywność strumienia zgłoszeń* pojazdów. Autorzy tworzą wskaźnik dostępności parkingowej przyrównując go do liczby wolnych w tym przedziale czasu miejsc postojowych.

W pracy [97] natomiast, stopień dostępności parkingowej danego obszaru określono wzorem:

$$availability = \sum_{s_j}^c s_j \cdot p_{s_i s_j}(\tau) \quad (41)$$

gdzie:

- c – całkowita liczba miejsc postojowych danego parkingu/obszaru,
 s_j – liczba zajętych aktualnie miejsc parkingowych,
 s_i – status napełnienia parkingu (liczba zajętych miejsc),
 $p_{s_i s_j}(\tau)$ – prawdopodobieństwo, że dana liczba miejsc postojowych będzie zajęta w momencie τ .

co można przedstawić następującym przykładem: wyznaczone (z wykorzystaniem aparatu matematycznego *teorii masowej obsługi*) prawdopodobieństwa, że konkretna liczba miejsc postojowych parkingów P1 i P2, o całkowitej pojemności równej 5 miejsc będzie zajęta, wynoszą odpowiednio (Tab. 4.4):

Tab. 4.4. Przykład wyznaczania wskaźnika dostępności parkingowej dla konkretnej liczby miejsc postojowych

	0	1	2	3	4	5	Availability
P1	0,1	0,4	0,2	0,15	0,1	0,05	1,9
P2	0,1	0,1	0,1	0,15	0,4	0,15	3,1

Źródło: [97]

Wyznaczoną w tabeli (Tab. 4.4) wartość wskaźnika dostępności (*availability*) B. Li i inni w pracy [97] interpretują, jako wskaźnik trudności w znalezieniu wolnego miejsca postojowego w analizowanym obszarze – im wyższy wskaźnik dostępności, tym łatwiej znaleźć wolne miejsce postojowe. W przypadku zobrazowanym w tabeli (Tab. 4.4) większą dostępnością miejsc postojowych, tj. niższym stopniem trudności znalezienia wolnego miejsca charakteryzuje się (w momencie τ) parking P2.

Obydwa opisane podejścia można zastosować do określenia poziomu trudności znalezienia wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu w danym obszarze, co można wykorzystać do oceny efektywności przestrzeni parkingowych które w nich występują. Opierają się one jednak na danych, bądź konkretnych operacjach, które uniemożliwiają ich zastosowanie w odniesieniu do parkowania przykrawężnikowego: pierwszy z nich nie uwzględnia rotacji pojazdów na miejscach postojowych i należałoby go wyznaczać dla konkretnego momentu, a także wymaga stałego monitorowania zajętości parkingu – co sprawdzi się w przypadku parkingów wydzielonych z ograniczeniami dostępu i funkcjonującymi systemami zliczania wjazdów i wyjazdów z obiektu. Drugi również opiera się na aktualnym stanie napełnienia parkingu, ale także wykorzystuje wartość prawdopodobieństwa, że konkretna liczba miejsca parkingowych będzie w określonym czasie zajęta – co ogranicza jego wykorzystanie w dużych obszarach z parkowaniem przykrawężnikowym.

4.7.2. Wskaźnik względnej intensywności obsługi zgłoszeń jako wskaźnik obrazujący poziom obciążenia powierzchni parkingowej obszaru

Proponowana metodyka analizy i oceny przestrzeni parkingowej przykrawężnikowej, zapożycza odwzorowanie systemu parkingowego z *teorii kolejek*, jednak z przyjęciem wspomnianych uproszczeń, polegających na założeniu o deterministycznym charakterze strumieni zgłoszeń i obsługi. Proponuje się ocenę funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej z parkowaniem przykrawężnikowym opartą na podstawie analizy relacji podaży i popytu na parkowanie, utrzymując następujące założenia:

1. Przestrzeń parkingowa traktowana jest jako system, w którym liczbę wszystkich dostępnych miejsc parkingowych oznacza się przez $m_{p,o}$ i traktuje jako stanowiska obsługujące zgłaszające się pojazdy. Analizowany obszar oznacza się indeksem o , a więc **liczbę miejsc parkingowych w obszarze o** oznacza się przez $m_{p,o}$.
2. Potok wejściowy stanowią pojazdy wjeżdżające do obszaru o z zamiarem zaparkowania, pojawiające się na wlotach do tego obszaru w konkretnej liczbie przypadającej na daną jednostkę czasu, którą jest godzina. Wówczas $\lambda_{p,o}$ [poj/h] oznacza **średnią intensywność strumienia zgłoszeń**, tj. średnią liczbę pojazdów wjeżdżających do obszaru w ciągu godziny, przy czym o jest oznaczeniem analizowanego obszaru. Jest ona rozumiana jako **godzinowy popyt na parkowanie w obszarze o** .
3. **Intensywność obsługi** zależna jest od liczby dostępnych miejsc parkingowych oraz czasu postoju pojazdów, który z kolei zależy od indywidualnego zapotrzebowania kierowcy powiązanego z zagospodarowaniem obszaru, do którego przyjechał z zamiarem załatwienia sprawy, a przy tym zaparkowania pojazdu. W *teorii kolejek* oznacza się ją przez μ , więc **liczbę pojazdów obsłużonych na miejscach parkingowych w obszarze o** w danej jednostce czasu oznaczono przez $\mu_{p,o}$. Średnią intensywność obsługi zgłoszeń na jednym stanowisku postojowym w obszarze o wyraża wskaźnik rotacji parkingowej (w_r) – ponieważ podaje on średnią liczbą pojazdów, które korzystały z jednego miejsca parkingowego w okresie pomiarowym. Ważnym jest, że rotacja parkingowa powinna być wyrażona w tej samej jednostce czasu co potok wejściowy. Wtedy intensywność obsługi (parkowania) pojazdów wyraża się w jednostce [liczba pojazdów/1miejsce postojowe/godzinę], co pozwala na porównywanie obu wielkości.
4. Zgodnie z koncepcją D. Shoupa [137] i [138] przyjęto, że poziom równowagi rynkowej podaży i popytu w odniesieniu do parkowania powinien występować na poziomie 85% napełnienia dostępnej powierzchni parkingowej – ponieważ tylko wówczas przestrzeń ta funkcjonuje efektywnie (bez strat dla Zarządców tej przestrzeni oraz jej Użytkowników). Z tego względu, przy wyznaczaniu średniej liczby pojazdów obsłużonych na miejscach parkingowych danego obszaru $\mu_{p,o}$ należy uwzględnić liczbę 85% dostępnych miejsc parkingowych tego obszaru. Wówczas:

$$\mu_{p,o} = 0,85 \cdot m_{p,o} \cdot w_{r,o} \quad (42)$$

- o – oznaczenie analizowanego obszaru,
- $\mu_{p,o}$ – średnia liczba pojazdów obsłużonych w analizowanym obszarze o w przyjętej jednostce czasu – średnia intensywność obsługi zgłoszeń obszaru o ,
- $m_{p,o}$ – liczba wszystkich dostępnych miejsc parkingowych w obszarze o ,
- $w_{r,o}$ – średnia intensywność obsługi zgłoszeń na jednym stanowisku parkingowym obszaru o (średni wskaźnik rotacji parkingowej).

Możliwa liczba pojazdów obsłużonych w całym analizowanym obszarze o w przyjętej jednostce czasu wynika z długości postoju pojazdów (wyrażającego potrzeby kierowców powiązane z zagospodarowaniem przestrzennym obszaru). Wielkość tę określa się też jako **zdolność parkingową danego obszaru**. W niektórych publikacjach, np. [56], parametr określający liczbę

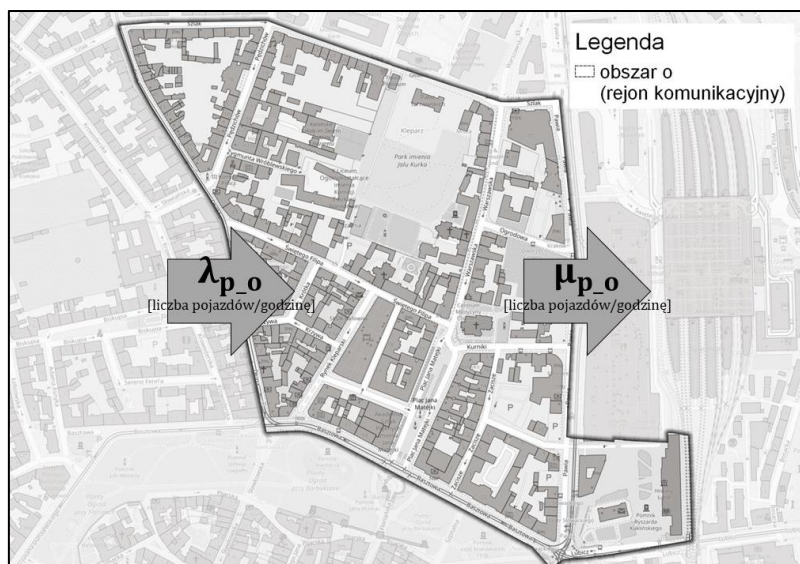
pojazdów, która korzystała z danej przestrzeni parkingowej określa się mianem *chłonności parkingowej* danego obszaru.

5. Pojazdy wjeżdżające do obszaru z zamiarem zaparkowania poszukują wolnego stanowiska postojowego tworząc tym samym kolejkę oczekujących zgłoszeń. Kolejka ta jest rozumiana, jako grupa pojazdów przemieszczających się w sieci ulicznej obszaru w oczekiwaniu na zwolnienie się miejsca parkingowego.

Rekomenduje się, aby za jednostkę czasu wykorzystywaną w analizach przyjąć 1 *godzinę*. Jest to podyktowane kilkoma warunkami:

1. *Godzina* jest jednostką czasu wykorzystywaną szeroko w analizach transportowych, zarówno tych dotyczących ruchu, jak i parkowania pojazdów – co pozwala na wykorzystywanie do omawianej analizy funkcjonowania obszaru parkingowego danych już zgromadzonych przy okazji innych badań.
2. Problematyczną kwestią jest jednostka przyjmowana dla wyrażenia wskaźnika rotacji parkingowej (w_r). Najczęściej podawany jest on dla jednego miejsca parkingowego w całym okresie analizy – który zależy od preferencji i wymagań zlecającego badanie parkowania. W proponowanej metodyce wykorzystującej podstawowe założenia *teorii kolejek*, rotację pojazdów na miejscach parkingowych (w_r) należy wyrażać w godzinie, tj. [*poj/1mp/h*], czyli liczba pojazdów przypadająca średnio na jedno miejsce parkingowe w ciągu jednej godziny.
3. Czas postoju pojazdów (t_p) w rzeczywistych warunkach parkowania przykrawężnikowego w miastach waha się najczęściej w granicach od 1 do 8 godzin [45], [56], [126], [138]. Z tego powodu, analizowanie relacji podaży – popyt na parkowanie w mniejszych jednostkach, pomimo, być może, większej dokładności tego porównania, nie jest zalecane.

Za obszar analizy przyjmuje się obszar wyznaczony granicami rejonów komunikacyjnych miasta. Wiąże się to z założeniem, że w sieci ulicznej obszaru centrów miast obserwowany jest ruch generowany poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego. Przyjęto, że ze względu na fakt, iż z definicji [34], [87], [201] granicami rejonu komunikacyjnego są zazwyczaj elementy infrastruktury stanowiące istotną barierę komunikacyjną, jak np. linia kolejowa, droga wysokiej klasy, itp. – granice rejonu komunikacyjnego są więc dobrym odzwierciedleniem przestrzennej granicy przemieszczeń realizowanych w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego. Analizowanie relacji podaży – popyt w ramach jednej ulicy nie jest zalecane i uzasadnione ze względu na udowodnione (rozdział 3.4 oraz m.in. [44], [137], [138]) liczne przemieszczenia tych pojazdów wewnątrz takiego obszaru. Schemat przedstawiający opisaną zależność przedstawiono na rysunku (Rys. 4.10). Należy tutaj zwrócić uwagę na większą trudność określenia średniej liczby pojazdów kończących podróż w rejonie komunikacyjnym na podstawie badań terenowych (*kordonowych*), aniżeli na podstawie danych pochodzących z modelu ruchu dla miasta. Podstawową trudność generuje bardzo duża liczba *wlotów* do obszaru, która musiałaby zostać poddana obserwacji równolegle.



Rys. 4.10. Schemat: popyt – podaż parkingowa w ramach rejonu komunikacyjnego
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

Do oceny funkcjonowania przestrzeni parkingowej zaproponowano wykorzystanie analizy porównawczej parametrów opisujących potok zgłoszeń oraz proces obsługi na stanowiskach parkingowych, czyli opisywanych wcześniej:

- λ_{p_o} – średniej intensywności strumienia zgłoszeń, traktowanej, jako wielkości opisującej średni godzinowy popyt na miejsca parkingowe obszaru o ,
- μ_{p_o} – średniej intensywności obsługi zgłoszeń, traktowanej, jako wielkości opisującej godzinową zdolność parkingową obszaru o .

Jednym z założeń *teorii masowej obsługi* jest, że średni wskaźnik przybyć do systemu nie powinien być większy niż średni wskaźnik obsługi systemu [74], [189]. Analogiczne założenie należy przyjąć w analizie tegoż modelu, jako obszaru parkingowego: średni wskaźnik zgłoszeń pojazdów w obszarze o nie powinien przekraczać średniej zdolności parkingowej tego obszaru w tej samej jednostce czasu, a więc:

$$\lambda_{p_o} < \mu_{p_o} \quad (43)$$

czyli:

$$\frac{\lambda_{p_o}}{\mu_{p_o}} < 1 \quad (44)$$

Niespełnienie tego warunku w *teorii obsługi masowej* oznacza, że system jest *niestabilny*, tzn., że napływające szybciej niż odpływające z systemu zgłoszenia będą tworzyć kolejkę, której wielkość dąży do nieskończoności (ponieważ system nie jest w stanie obsłużyć wszystkich zgłoszeń). Jeśli natomiast warunek jest spełniony, a obie wielkości są stałe (jak w założeniu analizowanego przypadku przestrzeni parkingowej) – układ zmierza do stanu równowagi [71], czyli nawet jeśli w niektórych okresach czasu kolejka będzie się tworzyć – system będzie w stanie *w miarę na bieżąco ją rozładowywać*.

Iloraz liczby zgłoszeń przybywających do systemu w jednostce czasu oraz liczby zgłoszeń obsłużonych w tej samej jednostce czasu w *teorii kolejek* nazywany jest parametrem *względnej intensywności obsługi zgłoszeń* i oznaczany przez ρ , więc:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (45)$$

Jeśli zatem:

$$\rho \geq 1 \quad (46)$$

układ jest niestabilny, a prawdopodobieństwo długiej kolejki jest bardzo duże i się zwiększa. Osiągnięcie stanu równowagi jest możliwe tylko przy zmianie warunków działania systemu [71], czyli w analizowanym przypadku, zaingerowanie w system parkingowy: zwiększenie liczby zgłoszeń obsługiwanych w jednostce czasu – co oznacza zwiększenie wskaźnika rotacji parkingowej obszaru lub spowodowanie zmniejszenia liczby zgłoszeń do systemu – czyli popytu na parkowanie (poprzez ograniczenia możliwości czy zniechęcanie do wjazdu w analizowany obszar).

Jeśli natomiast:

$$\rho < 1 \quad (47)$$

system w teorii jest stabilny, jednak aby poprawnie funkcjonował, należy zapewnić pewną, pozornie zbędną, bo niewykorzystaną, rezerwę wydajności stanowisk obsługi [189]. Wyznaczenie optymalnej wielkości tej rezerwy oraz własności systemu przy założeniu, że ρ dąży do 1, są zagadnieniami trudnymi po względem matematycznym. Pewnym natomiast jest, że im intensywność obsługi ρ bliższa jest wartości 1, tym obciążenie systemu, a co za tym idzie prawdopodobieństwo długich kolejek i średnia długość średniego czasu oczekiwania w nich, będzie większa [189].

Proponuje się zatem, aby wskaźnik względnej intensywności obsługi zgłoszeń (ρ) przy uwzględnieniu wszystkich opisanych założeń był parametrem stosowanym do oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej danego obszaru – jako wskaźnik obciążenia przestrzeni parkingowej (ρ_p).

Należy zauważyć, że porównanie wielkości godzinowych popytu i podaży, wyrażone jako *obciążenie powierzchni parkingowej* obszaru, jest traktowane z pewnym uproszczeniem – co jest istotne zwłaszcza, przy stosowaniu opisanych zależności do opisu funkcjonowania przestrzeni parkingowej, z której korzystają kierowcy utożsamieni z ich pojazdami. Wskaźnik $\rho_{p,o}$ wskazuje, czy obszar parkingowy o będzie w stanie *obsłużyć* wszystkie pojazdy, które wjechały do niego w przeciągu jednej godziny, uwzględniając liczbę miejsc parkingowych ($m_{p,o}$) oraz czas ich postoju wyrażony przez wskaźnik rotacji ($w_{r,o}$). Należy jednak zwrócić uwagę, że w warunkach rzeczywistych czas postoju i interwały zgłoszeń są zmienne w czasie i w ciągu godziny mogą wystąpić okresy, w których liczba zgłaszających się pojazdów znacznie przewyższy możliwości parkingowe obszaru, jak również okres, w którym część miejsc postojowych pozostanie niewykorzystana. Przyjmując założenie, że nieobsłużona część pojazdów krąży w poszukiwaniu miejsca parkingowego należy pamiętać, że czas tego poszukiwania nie jest nieograniczony i po upływie maksymalnego dopuszczalnego czasu oczekiwania na zwolnienie się miejsca parkingowego część kierowców opuszcza system nieobsłużona. Należałoby więc przyjąć, że czas oczekiwania w kolejce jest ograniczony i z tym założeniem analizować funkcjonowanie powierzchni parkingowej, w rozumieniu systemu kolejkowego. Przyjęcie założenia o ograniczonym czasie poszukiwania miejsca wprowadza jednak konieczność analizowania zmian pracy systemu w czasie, a podstawowym wskaźnikiem efektywności jego działania jest wówczas prawdopodobieństwo starty zgłoszenia [71]. Analizy te wymuszają konieczność stosowania rozwiązań analitycznych, które bazują na działaniach stanowiących wspomnianą wcześniej trudność obliczeniową dla bardzo dużej liczby stanowisk postojowych, co w warunkach rzeczywistych jest normą (liczba miejsc postojowych w rejonach komunikacyjnych, zwłaszcza w centralnych obszarach miast, bardzo często znacznie przekracza 100, sięgając nawet 2000). Z tego powodu, do analizy funkcjonowania powierzchni parkingowych z parkowaniem przykrawężnikowym przyjęto najprostszy wariant obliczeniowy, pomijając kwestię ograniczonego czasu oczekiwania w kolejce na zwolnienie się stanowiska postojowego, uśredniając również interwały zgłoszeń do systemu oraz czas obsługi. Przyjęto, że pomimo takich uproszczeń zaproponowane zależności w ogólny sposób dobrze opisują funkcjonowanie obszarów parkingowych w centrach miast.

Proponuje się następujące warunki oceny funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej:

- $\rho_p > 1$ – oznacza, że w ciągu godziny do danego obszaru wjeżdża z zamiarem zaparkowania więcej pojazdów, niż jest w stanie *obsłużyć* (przy danym średnim czasie postoju w tym obszarze) jego przestrzeń parkingowa. Liczba pojazdów wjeżdżających do obszaru, która stanowi nadwyżkę nad jego zdolnością parkingową $\lambda_p - \mu_p$, zaliczana jest do grupy pojazdów *krążących* w sieci ulicznej obszaru w poszukiwaniu wolnego miejsca do zaparkowania. Ponieważ system jest niestabilny, liczba *krążących* pojazdów może się zwiększać – niektóre pojazdy/kierowcy rezygnują z parkowania.
Zdolność parkingowa obszaru jest zbyt mała, w stosunku do popytu na parkowanie. Znalezienie wolnego miejsca parkingowego jest trudne – należy wdrożyć środki zaradcze: ograniczyć czas postoju, zwiększyć rotację lub zmniejszyć popyt na parkowanie.
- $\rho_p = 1$ – oznacza, że liczba pojazdów wjeżdżających do obszaru jest równa zdolności parkingowej tego obszaru – w ciągu godziny. System jest na granicy stabilności.
Zdolność parkingowa obszaru jest równa popytowi, a niewielkie zwiększenie popytu spowoduje, że zdolność parkingowa nie będzie dla niego wystarczająca. Należy monitorować sytuację i utrzymywać gotowość do podjęcia działań mających na celu ograniczenie czasu postoju, zwiększenie rotacji lub zmniejszenie popytu na parkowanie.
- $\rho_p < 1$ – oznacza, że godzinowy popyt na parkowanie w obszarze jest w całości zaspokajany przez podaż parkingową obszaru, rozumianą jako jego zdolność parkingową. Im wskaźnik ρ_p jest bliższy 0, tym większe są tzw. *rezerwy parkingowe*.
Zdolność parkingowa obszaru jest wystarczająca, miejsca parkingowe są stosunkowo łatwo dostępne.

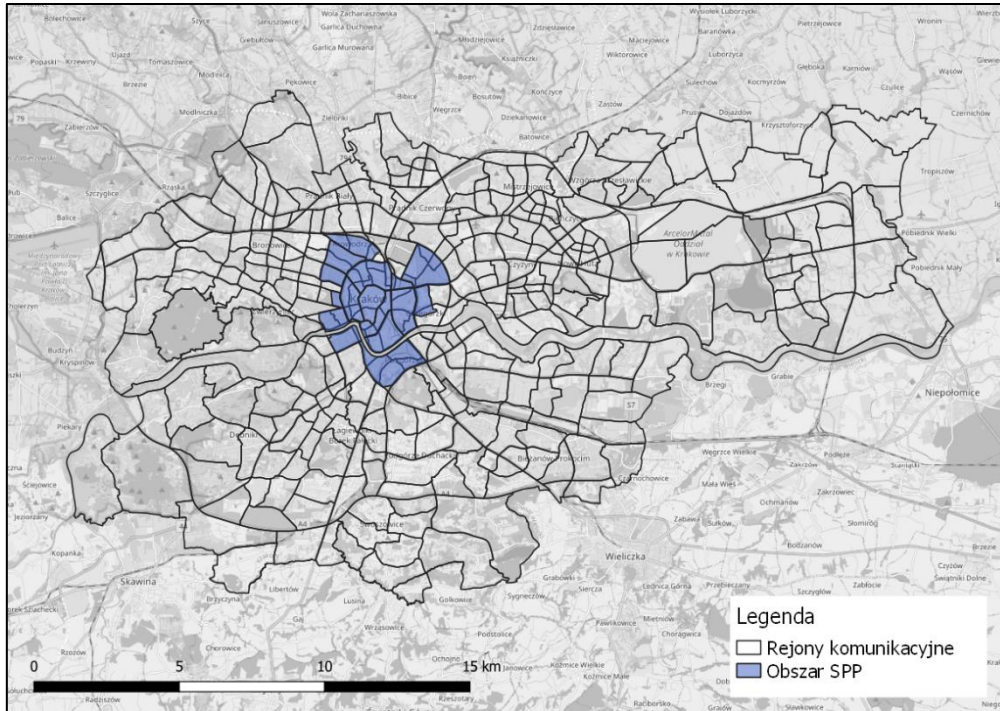
W sytuacji, gdy dany obszar charakteryzuje się poziomem obciążenia powierzchni parkingowej należącym do przedziału $\rho_p \in (0; 1)$, zaleca się monitorowanie średniego poziomu napełnienia w kolejnych godzinach dnia.

4.7.3. Zastosowanie zaproponowanego wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej w podstrefach strefy płatnego parkowania w Krakowie

W celu sprawdzenia zasadności stosowania zaproponowanej metodyki oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowych z parkowaniem przykrawężnikowym, przeprowadzono autorską analizę danych o podaży i popycie na parkowanie w okresie popołudniowego szczytu komunikacyjnego, uzyskanych z badań parkowania przeprowadzonych na zlecenie Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie [45] oraz modelu ruchu dla miasta Krakowa [108].

4.7.3.1. Szczegółowa charakterystyka danych wejściowych do analizy

Analizę oparto na wynikach pomiarów parkowania przeprowadzonych w poszczególnych podstrefach SPP w Krakowie w ramach [45] oraz danych o absorpcji podróży wybranych rejonów komunikacyjnych Krakowa. Podział miasta na rejony komunikacyjne jest podziałem definiowanym na potrzeby budowy modelu ruchu i raz przyjęty dla danego miasta, może być wykorzystywany w różnych analizach transportowych. Na rysunku (Rys. 4.11) przedstawiono podział Krakowa na rejony komunikacyjne.



Rys. 4.11. Podział Krakowa na rejony komunikacyjne
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap oraz [108]

Kluczową kwestią prowadzonej analizy jest porównanie danych o popycie i podaży parkingowej wybranych obszarów:

1. Dane o popycie na parkowanie, czyli średnią liczbę pojazdów wjeżdżających do danego obszaru w godzinie, uzyskano dla wszystkich rejonów komunikacyjnych Krakowa, korzystając z modelu ruchu [108], agregując je dla poszczególnych podstref SPP (Rys. 1.2).
2. Baza danych o podaży parkingowej natomiast, opiera się w głównej mierze na wynikach wykonanych pomiarów parkowania [45].
3. W analizach nie wzięto pod uwagę podstrefy P1_1, która swymi granicami obejmuje obszar *Starego Miasta, Rynek Główny* i wiele ulic, przy których parkować mogą wyłącznie mieszkańcy lub dostawcy, a ruch jest znacząco ograniczony.

Dodatkowo, ze względu na konieczność przygotowania jednorodnych danych o popycie i podaży parkingowej, które pochodzą z różnych źródeł należy podkreślić, że:

1. Badania parkowania zostały przeprowadzone w poszczególnych podstrefach SPP na wybranych ulicach – reprezentatywnych z punktu widzenia zakresu terytorialnego danej podstrefy – które zostały wyznaczone przez Zarząd Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie. Nie uwzględniano przy tym podziału podstref na rejony komunikacyjne. Przyjmując założenie, że wyznaczone dla [45] poligony badawcze dobrze reprezentują sytuację parkingową danej podstrefy, parametry parkowania z poszczególnych poligonów odpowiednio uśredniono, uzyskując reprezentatywne dane dla każdej z podstref SPP.
2. Dane o liczbie podróży kończących się w poszczególnych rejonach komunikacyjnych zagregowano tak, aby suma liczby podróży kończących się była adekwatna dla danej podstrefy SPP. Uwzględniono przy tym terytorialny zakres poszczególnych rejonów komunikacyjnych oraz podstref SPP.

Szczególnie istotną charakterystyką poligonów badawczych w prowadzonej analizie jest liczba dostępnych miejsc parkingowych obszaru (m_p), która wpływa na poziom jego zdolności parkingowej. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku analizowania obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym, w każdym z nich, poza dostępną liczbą miejsc postojowych przy ulicy, istnieje

także pewna liczba miejsc parkingowych zlokalizowanych na terenach prywatnych – w podworcach kamienic, w garażach podziemnych, na terenach prywatnych posesji, parkingach firmowych, urzędowych, przy galeriach handlowych, itp. Porównując wielkość godzinowego popytu na parkowanie w danym obszarze z jego zdolnością parkingową, należy więc uwzględnić wszystkie miejsca parkingowe, które mogą być potencjalnym celem pojazdów wjeżdżających do danego obszaru, w tym również te zlokalizowane na ww. terenach prywatnych. Jednocześnie, uzyskanie informacji o liczbie miejsc na terenach prywatnych jest bardzo trudne, w szczególności w przypadku garaży podziemnych i prywatnych posesji. Podobnie trudne do uzyskania są parametry parkowania na tych miejscach.

Wobec opisanego problemu dostępności danych przyjęto następujące założenia:

1. Ponieważ przeprowadzone pomiary parkowania obejmowały wyłącznie miejsca postojowe przykrawężnikowe, zlokalizowane przy wybranych ulicach – informacje o parkowaniu pojazdów uzyskano wyłącznie dla tych wybranych ulic. Założono, że sytuacja parkingowa jest taka sama na wszystkich ulicach danego rejonu komunikacyjnego. Przyjęto, że średni czas postoju pojazdów (t_p), jak również wskaźnik rotacji parkingowej (w_r) są takie same dla każdej z ulic danego rejonu komunikacyjnego.
2. Ze względu na brak informacji o liczbie oraz charakterystykach parkowania na miejscach parkingowych prywatnych – nie uwzględniono ich w analizach.
3. Ze względu na pominięcie w analizie podaży miejsc parkingowych zlokalizowanych na prywatnych posesjach – również wielkość popytu na parkowanie, wyrażona liczbą wjeżdżających do obszaru pojazdów – pozyskana z modelu ruchu, została skorygowana tak, aby uwzględniała wyłącznie pojazdy (kierowców), które po wjeździe do obszaru korzystają z miejsc parkingowych przy ulicy.
4. Korekcja wielkości godzinowego popytu na parkowanie w analizowanym obszarze została przeprowadzona na bazie informacji uzyskanych z Kompleksowych Badań Ruchu [192]. Opracowany w ramach tych badań tzw. *dzienniczek podróży*, polegający na badaniu ankietowym przeprowadzonym w gospodarstwach domowych w krakowskim badaniu KBR zawierał pytanie o miejsca parkowania pojazdu – co w efekcie pozwoliło ustalić procentowy udział podróży kończących się na miejscach parkingowych przykrawężnikowych w poszczególnych rejonach komunikacyjnych miasta.

Niestety, pozyskanie danych o udziale procentowym podróży realizowanych do danego rejonu komunikacyjnego, kończących się na miejscach parkingowych przykrawężnikowych – które w przypadku krakowskim zostało określone na podstawie danych z *dzienniczek podróży* przeprowadzonych w ramach Kompleksowych Badań Ruchu [192] – nie jest łatwe w przypadku innych miast. Analiza raportów zawierających wyniki takich badań dla miast: Warszawy [187], Wrocławia [191], Gdańska [59], Krakowa [113], Szczecina [81], Łodzi [14] oraz Subregionu Centralnego Województwa Śląskiego [112], Radomskiego Obszaru Funkcjonalnego [115] i Aglomeracji Rybnickiej [114] wykazała, że pytanie o miejsce parkowania pojazdu w ramach realizowanej podróży nie było do tej pory uwzględniane w większości wywiadów w gospodarstwach domowych. Tylko w Łodzi [14] i Krakowie [113] ankietowani zostali zapytani o miejsce parkowania pojazdu. Problem pozyskiwania danych do celów oceny efektywności przestrzeni parkingowych miast pogłębiono w rozdziale 6.

4.7.3.2. Godzinowy popyt na parkowanie w podstrefach SPP w Krakowie

Wielkości godzinowego popytu na parkowanie zostały ustalone na podstawie danych z modelu ruchu dla miasta Krakowa. Dla wszystkich analizowanych rejonów komunikacyjnych zawierających się w poszczególnych podstrefach SPP ustalono liczby pojazdów wjeżdżających do obszaru każdego z nich (i kończących tam podróże) w ciągu jednej godziny – średnio w okresie godziny szczytu popołudniowego (*atrakcja* obszaru o oznaczona przez A_o). Dane zestawiono w tabeli (Tab. 4.5).

Tab. 4.5. Liczba pojazdów wjeżdżających do wybranych rejonów – dane z Modelu Ruchu dla Miasta Krakowa

Lp.	Podstrefa SPP (Rys. 1.2)	Liczba wszystkich pojazdów wjeżdżających do obszaru o średnio w godzinie szczytu popołudniowego
	o	A_o
1	P1_2	880
2	P1_3	370
3	P1_4	550
4	P2	712
5	P3	136
6	P4	809
7	P5	763
8	P6_1	588
9	P6_2	647
10	P6_3	478
11	P6_4	390
12	P6_5	907
13	P7	241
18	P8	276

Źródło: opracowanie własne na podstawie [108]

Całkowitą liczbę pojazdów wjeżdżających w ciągu godziny szczytu popołudniowego do każdego obszaru skorygowano tak, aby uzyskać ostateczną liczbę wjazdów do obszaru, które kończyły się na miejscach parkingowych przykrawężnikowych. Wyniki uzyskane dla poszczególnych rejonów zestawiono w Tab. 4.6., gdzie przez $\lambda_{p,o}$ oznaczono liczbę pojazdów wjeżdżających średnio do rejonu komunikacyjnego w ciągu godziny, które mają zakończyć się przy ulicy, a więc wyliczony średni godzinowy popyt na parkowanie dla każdego obszaru w analizowanym okresie czasu. Współczynnik korygujący, będący udziałem liczby podróży kończących się na miejscach parkingowych przykrawężnikowych wśród wszystkich podróży kończących się w obszarze oznaczono przez u_o .

Tab. 4.6. Godzinowy popyt na parkowanie w popołudniowym szczycie komunikacyjnym

Lp.	Podstrefa SPP (Rys. 1.2)	Współczynnik korygujący – udział liczby podróży kończących się na miejscach parkingowych przykrawężnikowych wśród wszystkich podróży kończących się w obszarze o	Średni godzinowy popyt na parkowanie – średnia liczba wjazdów do obszaru o , które zakończyły się w ciągu godziny na miejscach parkingowych przykrawężnikowych
	o	u_o	$\lambda_{p,o}$
1	P1_2	0,505	444
2	P1_3	0,517	191
3	P1_4	0,596	328
4	P2	0,379	270
5	P3	0,344	47
6	P4	0,349	282
7	P5	0,514	392
8	P6_1	0,396	233
9	P6_2	0,222	144
10	P6_3	0,731	349
11	P6_4	0,387	151
12	P6_5	0,514	466
13	P7	0,367	88
14	P8	0,429	118

Źródło: opracowanie własne na podstawie [108] i [192]

4.7.3.3. Zdolność parkingowa obszaru

Zdolność parkingową poszczególnych obszarów analizy wyznaczono wzorem (42):

$$\mu_{p_o} = 0,85 \cdot m_{p_o} \cdot w_{r_o}$$

w którym przez m_{p_o} rozumie się całkowitą liczbę dostępnych miejsc parkingowych danego obszaru (podstrefy SPP) o , a przez w_{r_o} – średni wskaźnik rotacji parkingowej wyznaczony z pomiarów parkowania dla okresu jednej godziny w tym obszarze. Ze względu na to, że pomiar parkowania prowadzony był w godzinach od 8:00 do 12:00, a następnie od 15:00 do 21:00, a do wyznaczenia popytu na parkowanie wzięto pod uwagę godzinę w szczycie popołudniowym, zakres danych wykorzystanych do wyznaczenia średniej rotacji pojazdów ograniczono do okresu szczytu popołudniowego. Wskaźnik rotacji parkingowej (w_{r_o}) wskazuje średnią liczbę pojazdów zajmujących jedno miejsce parkingowe w szczycie popołudniowym w przeliczeniu na jedną godzinę. Wartości wszystkich parametrów dla analizowanych rejonów przedstawiono w Tab. 4.7.

Tab. 4.7. Godzinowa zdolność parkingowa obszaru w popołudniowym szczycie komunikacyjnym

Lp.	Podstrefa SPP (Rys. 1.2)	liczba miejsc parkingowych przykrawężnikowych danego obszaru o	średni wskaźnik rotacji parkingowej wyznaczony dla obszaru o	średnia zdolność parkingowa obszaru o – liczba pojazdów obsługiwanych średnio na miejscach parkingowych w ciągu godziny
	o	m_{p_o}	w_{r_o}	μ_{p_o}
1	P1_2	1774	0,21	317
2	P1_3	1011	0,14	120
3	P1_4	1555	0,11	145
4	P2	1871	0,18	286
5	P3	487	0,14	58
6	P4	821	0,17	119
7	P5	2297	0,07	137
8	P6_1	1574	0,12	161
9	P6_2	977	0,09	75
10	P6_3	1242	0,10	106
11	P6_4	909	0,09	70
12	P6_5	1671	0,11	156
13	P7	717	0,12	73
14	P8	690	0,09	53

Zródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych pomiarów [45]

4.7.3.4. Wskaźnik obciążenia przestrzeni parkingowej w podstrefach SPP w Krakowie

Wartości wskaźnika obciążenia przestrzeni parkingowej wyznaczono w oparciu o zaproponowany wzór:

$$\rho_{p_o} = \frac{\lambda_{p_o}}{\mu_{p_o}} \quad (48)$$

gdzie ρ_{p_o} oznacza wskaźnik obciążenia przestrzeni parkingowej poszczególnych podstref SPP (o), przez λ_{p_o} oznaczono średni godzinowy popyt na parkowanie w danej podstrefie o SPP (Tab. 4.6), a przez μ_{p_o} – średnią godzinową zdolność parkingową danej podstrefy o (Tab. 4.7). Uzyskane wartości dla analizowanych poligonów (podstref SPP) zestawiono w Tab. 4.8 oraz na rysunku (Rys. 4.12). Przez ρ_{p_o} oznaczono w nich wskaźnik obciążenia przestrzeni parkingowej poszczególnych podstref SPP,

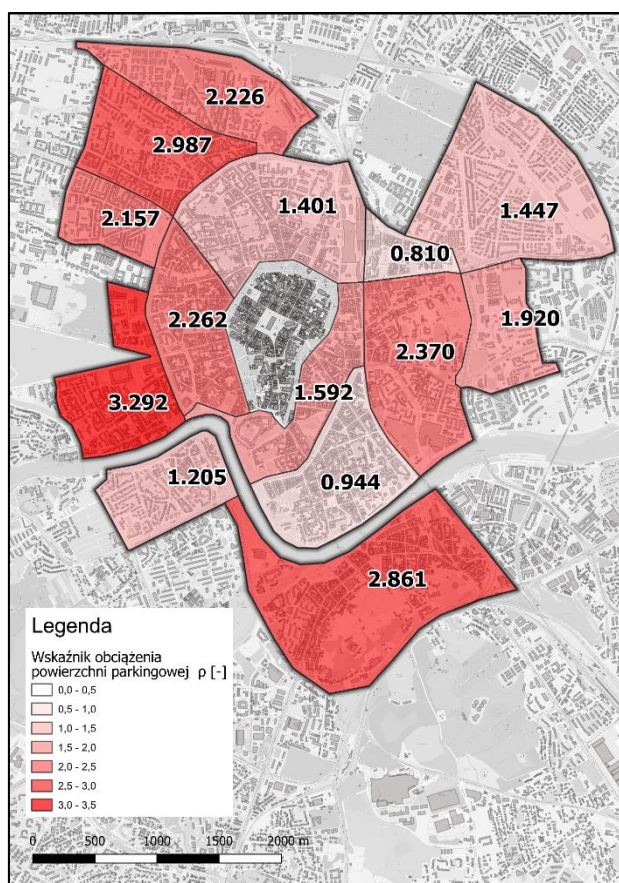
a wskaźnik u_{nob_o} oznacza odsetek pojazdów, które z powodu zbyt niskiej zdolności parkingowej nie mogły zostać od razu obsłużone w ciągu każdej godziny w każdym z wyznaczonych obszarów.

Tab. 4.8. Wskaźnik obciążenia przestrzeni parkingowej dla popołudniowego szczytu komunikacyjnego

Lp.	Podstrefa SPP (Rys. 1.2)	odsetek pojazdów, które z powodu zbyt niskiej zdolności parkingowej nie mogły zostać od razu obsłużone w obszarze o	wskaźnik obciążenia przestrzeni parkingowej obszaru o
	o	u_{nob_o}	ρ_{p_o}
1	P1_2	0,286	1,401
2	P1_3	0,372	1,592
3	P1_4	0,558	2,262
4	P2	0,000	0,944
5	P3	0,000	0,810
6	P4	0,578	2,370
7	P5	0,651	2,861
8	P6_1	0,309	1,447
9	P6_2	0,479	1,920
10	P6_3	0,696	3,292
11	P6_4	0,536	2,157
12	P6_5	0,665	2,987
13	P7	0,170	1,205
14	P8	0,551	2,226

Źródło: opracowanie własne

Wyniki zestawione w tabeli wskazują, że aż 12 z 14 podstref SPP w Krakowie charakteryzuje się silnym obciążeniem miejsc parkingowych (wartość wskaźnika ρ_{p_o} przekracza 1, więc pewien odsetek kierowców wykonujących podróż do tych podstref (u_{nob_o}) nie znajdzie wolnego miejsca do zaparkowania), a w pozostałych 2 podstrefach poziom wskaźnika obciążenia przekracza 0,8 (rezerwy parkingowe są małe, system jest na granicy stabilności). Najniższym poziomem obciążenia przestrzeni parkingowej, spośród wszystkich podstref charakteryzuje się podstrefa P3 – wskaźnik obciążenia wyznaczony dla tej podstrefy ma wartość $\rho_{p_{P3}} = 0,810$, co oznacza, że godzinowy popyt na parkowanie w obszarze jest w całości zaspokajany przez podaż parkingową obszaru, rozumianą jako jego zdolność parkingową. Wskaźnik ma wartość najbliższą zeru, co oznacza, że rezerwy parkingowe są największe (w stosunku do pozostałych podstref), zdolność parkingowa obszaru jest względnie wystarczająca, a miejsca parkingowe powinny być dostępne. Największy poziom obciążenia odnotowano w podstrefie P6_3 – jego wartość znacząco przekroczyła 1,0 ($\rho_{p_{P6_3}} = 3,292$) i można się spodziewać, że aż 70% podróży wykonywanych do niej średnio w godzinie szczytu porannego nie będzie mogła zakończyć się na miejscu postojowym przy ulicy. Na rysunku (Rys. 4.12) przedstawiono wartości *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* na mapie obszaru strefy płatnego parkowania w Krakowie.



Rys. 4.12. Wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej w szczycie popołudniowym, w poszczególnych podstrefach SPP w Krakowie – wersja graficzna
Źródło: opracowanie własne na podstawie OpenStreetMap

4.8. Podsumowanie rozdziału 4

Rozdział 4 porusza jeden z najistotniejszych wątków pracy – podejście do oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowych, rozumianej jako stopień zaspokojenia popytu na parkowanie. Kwestia obiektywnej oceny tej efektywności w warunkach polskich nie jest poruszana w literaturze, a wyniki prowadzonych pomiarów parkowania i ewentualnych badań ankietowych z parkującymi kierowcami oceniane są najczęściej bezwzględnie, na podstawie intuicji oraz wiedzy i doświadczenia osoby kierującej projektem. Nie ustalono do tej pory jednolitego klucza do oceny parametrów parkowania tak, aby możliwym było określenie jaki poziom napełnienia powierzchni parkingowej, jaki wskaźnik rotacji, czy jak długi czas postojów pojazdów jest akceptowalny, a jaki znacznie przekracza dopuszczalne normy oraz czy te parametry trafnie opisują efektywność funkcjonowania przestrzeni parkingowej. W treści rozdziału 4 podjęto próbę sprecyzowania problemu braku wytycznych, a także zaproponowano metodę prowadzenia tej oceny.

Przyjęta strategia oceny efektywności przestrzeni parkingowych analizowanego obszaru opiera się na analizie i ocenie relacji podaży i popytu na parkowanie. W odniesieniu do nich zaproponowano przyjęcie *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej*, którego wartość jest bazą do tej oceny. Zaproponowano następujące działania, zasadne w ramach oceny efektywności przestrzeni parkingowych:

1. *wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej* dla małych obszarów, przede wszystkim parkingów wydzielonych, może być określany z wykorzystaniem zasad *teorii masowej obsługi*. System parkingowy można porównać do wielostanowiskowego systemu masowej obsługi z liczbą stanowisk równą liczbie dostępnych miejsc postojowych oraz intensywnością zgłoszeń i intensywnością obsługi określoną na podstawie podstawowych miar parkowania (czasu postojów pojazdów, rotacji parkingowej). *Wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej* obszaru

powinien przyjąć wartość *wskaźnika względnej intensywności obsługi wg teorii masowej obsługi*. Należy przy tym założyć, że analizowany system parkingowy powinien spełniać wszystkie obostrzenia warunkujące wykorzystanie metod analitycznych do opisu własności i oceny jego funkcjonowania. W przypadku dokonywania analizy dla przestrzeni parkingowej przykrawężnikowej – należy dokonać odpowiedniej modyfikacji algorytmu obliczeń.

2. Do wyznaczenia *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* dla małych obszarów możliwe jest wykorzystanie dedykowanych programów komputerowych, wyznaczających podstawowe miary efektywności funkcjonowania *systemu masowej obsługi*. Mogą one zostać odniesione do efektywności funkcjonowania systemu parkingowego – przyjmując, że *względna intensywność obsługi* w systemie odzwierciedla poziom *obciążenia powierzchni parkingowej*, a miary opisujące pracę kolejki odnosić można do ruchu *search traffic*.
3. *Wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej* dla obszarów dużych (o liczbie miejsc postojowych większej niż 100) należy określić w sposób uproszczony: na podstawie stosunku średniej liczby pojazdów wjeżdżających (kończących podróży) w danym obszarze oraz iloczynu liczby dostępnych miejsc parkingowych i rotacji parkingowej obserwowanej w tym obszarze. *Wskaźnik obciążenia* większy od 1 oznacza istotną nadwyżkę popytu na parkowanie nad wielkością podaży parkingowej, natomiast *wskaźnik obciążenia* bliski 0 – znaczne rezerwy parkingowe.
4. Wyznaczenie *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* danego obszaru miasta wiąże się z koniecznością przeprowadzenia kordonowych pomiarów ruchu i pomiarów parkowania w tych obszarach. Prowadzenie złożonych operacyjnie pomiarów kordonowych, można zastąpić wykorzystaniem do tego celu danych o podróżach (*atrakcję* rejonów komunikacyjnych) pozyskanych z modelu ruchu dla danego miasta – pod warunkiem ich ujednoczenia pod względem obszarowym oraz wykorzystywanych jednostek czasu.
5. Rekomendowany sposób wyznaczania *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* musi być prosty, aby mógł być wykorzystywany w praktyce.

Do oceny efektywności funkcjonowania powierzchni parkingowej w danym obszarze wystarczające jest określenie i ocena poziomu obciążenia powierzchni parkingowej – na podstawie proponowanego *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* obszaru. Jego wartość wskazuje, czy podaż parkingowa danego obszaru jest wystarczająca, żeby zaspokoić wyrażony popyt na parkowanie w nim, czy też nie. Wielkością uzupełniającą, pomocną w podejmowaniu wielu decyzji strategicznych i prognozowania ich skutków jest spodziewany udział ruchu generowanego przemieszczeniami w poszukiwaniu wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu (*search traffic*) – traktowany jako skutek nadwyżki popytu nad podażą parkingową. Tematykę wpływu poziomu obciążenia powierzchni parkingowej obszaru na wielkość ruchu *search traffic* podjęto w Rozdziale 5.

5. Wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej obszaru – wpływ na wielkość ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego

Głównym celem pracy jest analiza sytuacji występowania w pewnych obszarach ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu. Ponieważ dotychczasowe badania własne, jak również wyniki pomiarów i wywiadów ankietowych prowadzonych przez zagranicznych badaczy wskazują na potencjalny związek ruchu *search traffic* i stopnia obciążenia powierzchni parkingowej, w rozdziale 5 podjęto próbę budowy modelu służącego wyznaczeniu i ocenie potencjalnej relacji pomiędzy *wskaźnikiem obciążenia powierzchni parkingowej* danego obszaru (sformułowanym w poprzednim rozdziale wskaźnikiem, różnicującym obszary pod względem intensywności obsługi pojazdów na miejscach parkingowych przy określonym zapotrzebowaniu na parkowanie), a wielkością ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego (*search traffic*).

Założono, że przemieszczenia związane z poszukiwaniem wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu są realizowane w obszarach, gdzie zapotrzebowanie na parkowanie (popyt) przewyższa zdolność parkingową, która z kolei wynika z liczby dostępnych miejsc parkingowych oraz czasu postoju pojazdów, a tym samym rotacji parkingowej. Związek więc wydaje się być prosty – im większy *wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej* obszaru, tym większa liczba kierowców nie może, w niedalekiej odległości od celu podróży, zaparkować na wolnym miejscu parkingowym przy ulicy, co wymusza przemieszczenia realizowane, żeby to miejsce znaleźć. Jednak liczba kierowców, która takie przemieszczenia będzie realizowała w określonych warunkach, jak również inne parametry tych przemieszczeń, które przełożą się na wielkość ruchu *search traffic*, jak np. czas ich trwania, liczba przejechanych w tym poszukiwaniu kilometrów, czy też wybór trasy (rozdział 2) są zagadnieniami nie dającymi się precyzyjnie zbadać. Czynnikiem wpływającym na proces poszukiwania miejsca parkingowego są m.in. stosunek kierowców do ceny za postój, preferencje dotyczące okoliczności parkowania pojazdu – np.: odległość od ostatecznego celu podróży, sposób parkowania, trudne warunki atmosferyczne, itp., a także motywacja bieżącej podróży czy znajomość obszaru (rozdział 2.4). Są to kwestie zależne od upodobań i charakteru kierowcy, które mogą się zmieniać w zależności od warunków zastanych w miejscu planowanego końca podróży, przez co trudno je opisać w sposób matematyczny. Dodatkowo, wspomniany w poprzednich rozdziałach problem braku dobrej jakości danych, występujący przede wszystkim na skutek małego zainteresowania kontrolowaniem kwestii trudności znajdowania wolnych stanowisk postojowych oraz przemieszczeń związanych z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego powoduje, że możliwości analityczne są w znaczący sposób ograniczone, a przy prognozowaniu wielkości ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do zaparkowania można operować jedynie przybliżonymi wartościami. Biorąc to pod uwagę przyjęto, że zakładany związek może być badany z zastosowaniem wnioskowania rozmytego.

Logika rozmyta jest narzędziem opisu i analizy zagadnień wieloznacznych, nieprecyzyjnych, związanych z subiektywnym rozumowaniem człowieka – czyli takich, które nie dają się opisać za pomocą klasycznej logiki dwuwartościowej. W teorii tej można mówić o częściowej przynależności danego punktu do opisywanego zbioru. Nie jest konieczne przypisywanie mu konkretnej wartości liczbowej, ale można go opisać z wykorzystaniem języka mówionego, przez co możliwe jest wykorzystanie do tego opisu takich stwierdzeń jak: *bardzo*, *trochę*, *średnio*, *mało*, itp. [72], [100], [135]. Ponieważ odczucia i reakcje kierowców w procesie podejmowania decyzji o realizowaniu (bądź nie) przemieszczeń w celu znalezienia wolnego miejsca do zaparkowania samochodu są bardzo indywidualne i zróżnicowane w zależności od sytuacji i warunków – do wyjaśnienia wielkości z nimi związanych wykorzystano właśnie ten sposób opisu. Został on przygotowany na podstawie eksperckiej znajomości funkcjonowania parkingowych przestrzeni przykrawężnikowych, opartej na analizie wyników wielu badań, w tym badań terenowych, jak również wywiadów ankietowych z kierowcami – również własnych.

5.1. Struktura modelu rozmytego

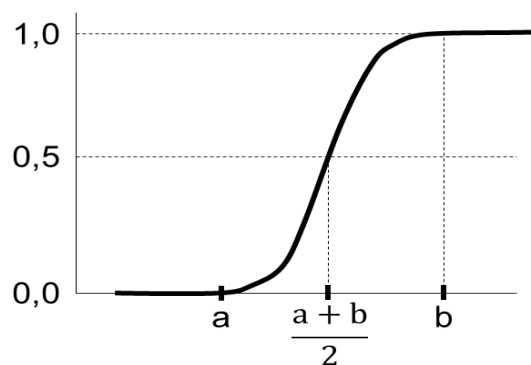
Zbiorem rozmytym A w określonym obszarze rozważań X nazywa się zbiór par [72]:

$$A = \{(\mu_A(x), x)\} \quad (49)$$

gdzie:

$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ – funkcja przynależności zbioru rozmytego A , która każdemu elementowi x z przestrzeni X przypisuje stopień przynależności do zbioru rozmytego A , przy czym $\mu_A(x) \in [0,1]$, a przynależność ta może być całkowita lub częściowa.

Należy więc zauważyć, że w teorii zbiorów rozmytych przejście pomiędzy całkowitą przynależnością danego elementu x do określonego zbioru A ($\mu_A(x) = 1$), a jego nieprzynależnością ($\mu_A(x) = 0$) jest stopniowe – występują tutaj również przynależności częściowe, a więc kształt funkcji przynależności ma charakter arbitralny [72]. Przykład funkcji przynależności zbioru rozmytego przedstawiono na rysunku Rys. 5.1.



Rys. 5.1. Przykład funkcji przynależności zbioru rozmytego
Źródło: opracowanie własne na podstawie [100]

Rozpatrywanie zależności przyczynowo – skutkowych w teorii zbiorów rozmytych opiera się na budowie odpowiednich *rozmytych zdań warunkowych*, opisujących te zależności, poprzez operacje mnogościowe przeprowadzane na funkcjach przynależności [72]. Na potrzeby analizy przyjęto następującą implikację dla rozmytego zdania warunkowego:

$$\text{IF } D \text{ jest } A1 \text{ AND } C \text{ jest } A2 \text{ THEN } U \text{ jest } A3 \quad (50)$$

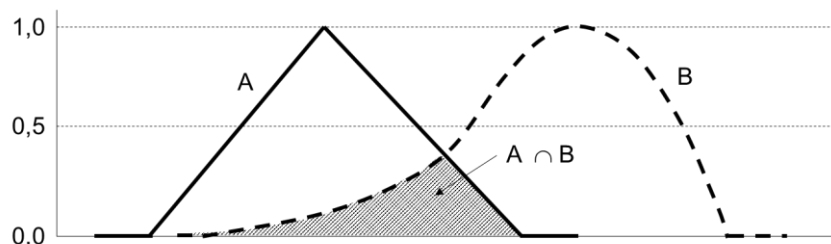
gdzie:

- D, C, U – wybrane pojęcia (zmiennne lingwistyczne), tj. *poziom obciążenia powierzchni parkingowej, czas poszukiwania miejsca,*
- A1, A2, A3 – zbiór terminów lingwistycznych wraz z odpowiadającymi im funkcjami przynależności,
- AND, THEN** – operacje mnogościowe na funkcjach przynależności.

W analizie wykorzystano operację mnogościową *przecięcie* zbiorów rozmytych D i C, należących do tej samej przestrzeni rozważań, która definiowana jest jako :

$$\mu_{D+C}(x) = \mu_D(x) \wedge \mu_C(x) \quad (51)$$

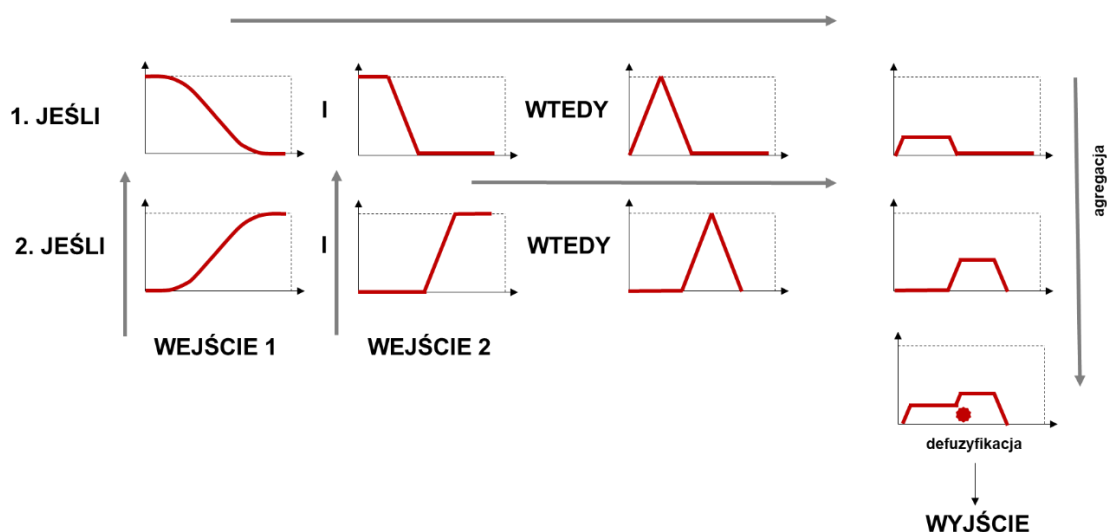
Graficzne wyjaśnienie działania operacji przecięcia zbiorów rozmytych przedstawiono na rysunku (Rys. 5.2).



Rys. 5.2. Działanie operacji przecięcia zbiorów rozmytych (AND)
Źródło: opracowanie własne na podstawie [100]

Kolejne etapy procesu wnioskowania rozmytego można prowadzić przy pomocy programu *Matlab* – z wykorzystaniem dedykowanego przybornika *Fuzzy Logic Design* [53]. Oprogramowanie umożliwia prowadzenie modelowania na dwa sposoby: z wykorzystaniem układu *Sugeno* oraz z wykorzystaniem układu *Mamdani* [53]. Sam proces wnioskowania rozmytego polega na przekształcaniu danych wejściowych i wyjściowych przy wykorzystaniu elementów logiki rozmytej. Układ *Sugeno* daje możliwość odwzorowania danych wyjściowych za pomocą funkcji stałej lub liniowej, co znacząco ogranicza możliwość opisu modelowanych zjawisk. Podejście *Mamdani* umożliwia natomiast zastosowanie także funkcji nieliniowych (np. Gaussa) – z tego powodu w prowadzonej analizie wykorzystano podejście Mamdaniego. Proces wnioskowania wg podejścia Mamdaniego składa się z 5 etapów, których graficzną interpretację przedstawiono na rysunku Rys. 5.3:

1. W pierwszym etapie procesu modelowania należy określić dane wejściowe do modelu, a także przyporządkować je do określonego zbioru rozmytego – zdefiniować ich funkcje przynależności (określić *poprzednik* reguł wnioskujących).
2. W kolejnym kroku, jeżeli dane wejściowe opisane są przez więcej niż jeden zbiór rozmyty, należy ustalić odpowiednią składnię warunków przy pomocy spójników AND lub OR.
3. Następnie należy przygotować odpowiednie reguły wnioskujące, a także przyporządkować im operator implikacji THEN (określić *następnik* reguł wnioskujących).
4. Jednym z ostatnich etapów jest agregacja wyników wnioskowania – jako zbiór wyjściowy otrzymuje się funkcję przynależności, przypisaną każdej sformułowanej wcześniej regule. Proces agregacji polega na złożeniu otrzymanych funkcji przynależności jako ich sumy mnogościowej, dzięki czemu powstaje jedna funkcja rozmyta.
5. Ostatni etap stanowi proces *defuzyfikacji*, który polega na wyznaczeniu na podstawie zbioru rozmytego jednej wartości wyjściowej (nierozmytej).



Rys. 5.3. Graficzna interpretacja procesu wnioskowania rozmytego wg podejścia Mamdaniego
Źródło: opracowanie własne na podstawie [168]

Na potrzeby tworzonego modelu przyjęto dwa zbiory danych wejściowych (*poprzednik* reguły wnioskującej) i jeden zbiór danych wyjściowych (*następnik* reguły wnioskującej), które opisano odpowiednimi funkcjami przynależności do odpowiednich zbiorów rozmytych.

Przyjęto, że zmiennymi wejściowymi do opracowywanego modelu będą:

1. Poziom obciążenia powierzchni parkingowej danego obszaru ρ_p ,
2. Czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego deklarowany przez kierowców w danym obszarze t_{dsz} .

Poziom obciążenia powierzchni parkingowej obszaru ρ_p opisano szczegółowo w rozdziale 4.7 – jest on wskaźnikiem, który obrazuje poziom trudności w znalezieniu wolnego miejsca parkingowego przez kierowców, bazując na wielkościach godzinowego popytu na parkowanie i podaży parkingowej danego obszaru. Wskaźnik ten będzie stanowił zmienną lingwistyczną o nazwie *obciążenie* – zbiór terminów dla zmiennej *obciążenie* przyjmie postać:

$$\rho_p (\text{obciążenie}) = \{\text{bardzo małe, małe, średnie, duże, bardzo duże}\}$$

Czas poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania t_{dsz} także obrazuje poziom trudności w znalezieniu wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu, jednak z punktu widzenia kierowcy. Obie informacje więc wzajemnie się uzupełniają. Czas poszukiwania miejsca będzie stanowił zmienną lingwistyczną o nazwie *czas szukania* – zbiór terminów dla zmiennej *czas szukania* przyjmie postać:

$$t_{dsz} (\text{czas szukania}) = \{\text{bardzo krótki, krótki, średni, długi, bardzo długi}\}$$

Jako zmienną wyjściową, przyjęto udział w ruchu ogólnym ruchu określanego mianem *search traffic* – który tworzą przemieszczenia w celu znalezienia wolnego miejsca do zaparkowania samochodu. Udział ruchu *search traffic* będzie stanowił zmienną lingwistyczną o nazwie *udział* – zbiór terminów dla zmiennej *udział* przyjmie postać:

$$u_{sz} (\text{udział search traffic}) = \{\text{bardzo mały, mały, średni, duży, bardzo duży}\}$$

5.1.1. Dobór funkcji przynależności dla zmiennych

Dobór odpowiedniego kształtu funkcji przynależności dla zmiennych jest jednym z kluczowych elementów procesu wnioskowania rozmytego. Program *Matlab* umożliwia zastosowanie ośmiu różnych typów funkcji przynależności – najprostsze funkcje: trójkątną (*trimf*) i trapezoidalną (*trampf*), funkcje sigmoidalne – otwartą jednostronnie (*sigmf*), zamkniętą-symetryczną (*dsigmf*) oraz zamkniętą-asymetryczną (*psigmf*), a także oparte na rozkładzie Gaussa funkcje: (*gaussmf*) i (*gauss2mf*) oraz funkcję dzwonową (*gbellmf*) [53]. Najczęściej wybieranymi do analiz są funkcje Gaussa [53] – głównie z powodu prostoty matematycznego zapisu, ale przede wszystkim kształtu, który umożliwia dość dokładny opis analizowanego zjawiska.

Kształt oraz zakres funkcji przynależności poszczególnych zmiennych dobrano w oparciu o wyniki badań własnych (badań ankietowych przeprowadzonych w obszarze strefy płatnego parkowania w Krakowie i Wrocławiu – opisanych szczegółowo w rozdziale 3.5, badań wielkości ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego – opisanych szczegółowo w rozdziale 3.3 oraz informacji o podróżach pozyskanych z modelu ruchu [108] i [192] – wykorzystanych do analizy danych o obciążeniu powierzchni parkingowej, opisanej w rozdziale 4.7.), a także przegląd udostępnionych wyników badań parkowania i ruchu *search traffic* prowadzonych przez innych badaczy oraz na podstawie własnego doświadczenia.

Obciążenie powierzchni parkingowej

Dla zmiennej *obciążenie*, charakteryzującej obciążenie powierzchni parkingowej danego obszaru przyjęto zbiór terminów:

$$\rho_p (\text{obciążenie}) = \{\text{bardzo małe}, \text{małe}, \text{średnie}, \text{duże}, \text{bardzo duże}\}$$

Zakres możliwych wartości wskaźnika obciążenie powierzchni parkingowej ρ_p został wyznaczony na podstawie danych o podaży i popycie na parkowanie, ustalonych dla poszczególnych podstref strefy płatnego parkowania w Krakowie (rozdział 4.7.3.4) oraz doświadczeń własnych. Z powodu braku odpowiednich danych, nie ma możliwości – zgodnie z rozdziałem 4.7.3.4 – obliczenia wartości tego wskaźnika na potrzeby analizy dla miast innych niż Kraków. Zakres możliwych wartości wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej można jednak wyznaczyć polegając na wiedzy eksperckiej – w oparciu o jego definicję.

Wartości wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej oscylują wokół wartości $\rho_p = 1$ – wówczas popyt na parkowanie jest równy podaży parkingowej analizowanego obszaru. Jeśli wskaźnik jest bliski $\rho_p = 0$ – popyt na parkowanie jest mały i podaż parkingowa danego obszaru jest wystarczająca do jego obsługi. Jeśli natomiast wskaźnik ten znacząco przekracza $\rho_p = 1$, oznacza to, że podaż parkingowa jest zbyt mała, w stosunku do popytu. W analizie wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej dla strefy płatnego parkowania w Krakowie (rozdział 4.7.3.4), najmniejsza wartość wskaźnika obciążenia w godzinie szczytu popołudniowego wyniosła $\rho_p = 0,810$, natomiast wartość największa wyniosła $\rho_p = 3,292$.

W teorii, minimalna wartość wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej to $\rho_p = 0$. Jest to sytuacja, w której w danym okresie czasu popyt na parkowanie również jest równy 0 – np. w okresie nocnym. W praktyce jednak wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej równy zero nie wystąpi, zwłaszcza w obszarach silnie zurbanizowanych, dla których prowadzona jest analiza. Wartość maksymalna natomiast nie jest w żaden sposób ograniczona matematyczną definicją proponowanego wskaźnika (wzór (45)) i zależy wyłącznie od parametrów parkowania w danym obszarze (wskaźnika rotacji parkingowej (w_r) i liczby dostępnych miejsc parkingowych (m_p)) oraz od popytu na parkowanie, który jest w nim obserwowany. Wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej w ogólności odpowiada na pytanie: *ilokrotnie popyt na parkowanie przekracza jego podaż?* Ponieważ analiza z założenia prowadzona jest dla obszarów miejskich (centrów dużych miast) przyjęto, że w obszarach tych (pomimo obserwowanego deficytu miejsc postojowych w godzinach szczytów komunikacyjnych) liczba miejsc postojowych jest dostosowywana do zgłaszanego zapotrzebowania. Istotną rolę odgrywają w tej kwestii także działania podejmowane w ramach prowadzonej polityki parkingowej. Przyjęto więc, że przewaga popytu nad podażą parkingową nie będzie w tych obszarach osiągała skrajnie dużych wartości. Biorąc pod uwagę te założenia, zakres danych wejściowych wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej ustalono w przedziale $\rho_p \in < 0,5; 4,0 > [-]$.

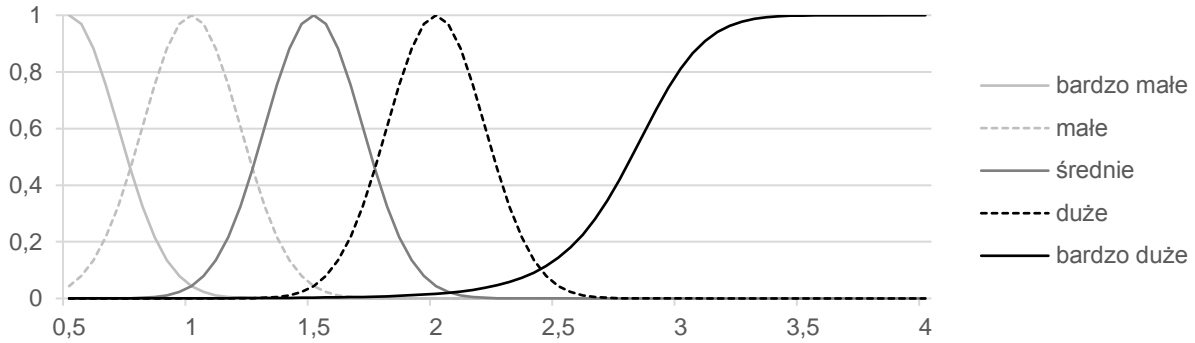
W analizie do opisu funkcji przynależności dla terminów *bardzo małe*, *małe*, *średnie* i *duże obciążenie* powierzchni parkingowej wybrano funkcję Gaussa (*gaussmf*) opisaną wzorem [100]:

$$f(x, \delta, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\delta^2}} \quad (52)$$

Do opisu funkcji przynależności dla terminu *bardzo duże obciążenie* powierzchni parkingowej wybrano funkcję dzwonową (*gbellmf*), opisaną wzorem [100]:

$$f(x, a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (53)$$

Na rysunku (Rys. 5.4) przedstawiono przyjęte kształty funkcji przynależności dla wszystkich terminów opisujących zmienną *obciążenie*.



Rys. 5.4. Kształty funkcji przynależności dla poszczególnych terminów opisujących zmienną *obciążenie*
Źródło: opracowanie własne

Parametry przyjętych funkcji zestawiono w tabeli (Tab. 5.1).

Tab. 5.1. Parametry funkcji przynależności dla terminów opisujących zmienną lingwistyczną *obciążenie*

termin	wartość średnia c [–]	odchylenie standardowe δ [–]	
<i>bardzo małe</i>	0,5	0,2	
<i>małe</i>	1,0	0,2	
<i>średnia</i>	1,5	0,2	
<i>duże</i>	2,0	0,2	
termin	parametr a [–]	parametr b [–]	parametr c [–]
<i>bardzo duże</i>	1,2	4,0	4,0

Źródło: opracowanie własne

Czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego

Dla zmiennej *czas szukania*, charakteryzującej deklarowaną przez kierowców długość czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego w danym obszarze przyjęto zbiór terminów:

$$t_{dsz} (\text{czas szukania}) = \{\text{bardzo krótki, krótki, średni, długi, bardzo długi}\}$$

Możliwy zakres wartości czasu poszukiwania wolnego miejsca parkingowego deklarowanego przez kierowców parkujących pojazdy na miejscach postojowych przy ulicy określono głównie na podstawie wyników badań ankietowych przeprowadzonych wśród kierowców parkujących w obszarze SPP w Krakowie i Wrocławiu (opisanych w rozdziale 4.7.3.4). Są to wyniki badań z dwóch dużych polskich miast – przeprowadzonych na potrzeby pracy. Nie zidentyfikowano do tej pory innych opublikowanych prac, w których analizowano by czas poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania w warunkach polskich, na podstawie odpowiedzi uzyskanych bezpośrednio od kierowców. Do zbioru analizowanych danych dołączono również wyniki badań prowadzonych przez badaczy w innych miastach europejskich i amerykańskich – tabelę z zestawieniem wyników tych analiz opisano w rozdziale 2 (Tab. 2.7 i Tab. 2.8).

Wg wyników badania ankietowego przeprowadzonego w Krakowie, część kierowców zadeklarowała, że czas poszukiwania wyniósł 0 minut, tj. nie byli zmuszeni do szukania miejsca. Wśród tych osób, które zadeklarowały nawet bardzo krótki stracony czas, wartość minimalna wyniosła 1 minutę. Maksymalny czas stracony na poszukiwanie (zadeklarowany przez kierowcę) wyniósł natomiast 60 minut. W analogicznym badaniu przeprowadzonym we Wrocławiu, kierowcy deklarujący minimalny czas stracony na poszukiwanie miejsca także poszukiwali go przez 1 minutę, natomiast czas maksymalny przez nich zadeklarowany wyniósł 35 minut. Analogiczne badanie ankietowe przeprowadzono, jako badanie wstępne przed rozpoczęciem pomiarów ruchu *search traffic* w wybranym

do tej analizy poligonie badawczym w Krakowie i we Wrocławiu – średni czas poszukiwania miejsca zadeklarowany przez respondentów tych badań wyniósł 7,8 i 6,4 minuty odpowiednio w Krakowie i we Wrocławiu.

Opublikowane wyniki ankietowych badań zagranicznych ograniczają się jedynie do podanej średniej wielkości czasu straconego przez kierowców na poszukiwanie miejsca parkingowego. Wg badań przeprowadzanych po roku 2000, czas tracony na poszukiwanie miejsca przy ulicy wynosił średnio:

- wg badań przeprowadzonych w 2006 roku we Francji: 10 min., 3,3 min. i 11,8 min. odpowiednio w Paryżu, Grenoble i Lyonie,
- wg badań ankietowych ogólnokrajowych *Dutch National Travel Survey*, przeprowadzonych w latach 2005 – 2007: 30 sek.,
- wg badań przeprowadzonych w latach 2013 – 2015 w Australii: 13,38 min.,
- wg danych pochodzących z badań ankietowych prowadzonych w 2001 roku w Sydney: 6,5 min.

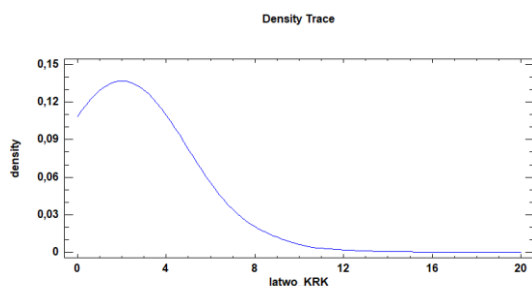
Badania ankietowe wykonane przed rokiem 2000 w Nowym Jorku (1995) i Kapsztadzie (1993) wykazały, że czas poszukiwania miejsca postojowego przy ulicy wyniósł w tych miastach odpowiednio 7,3 i 10,6 min w Nowym Jorku (odpowiednio w szczycie porannym i popołudniowym) oraz 12,2 min w Kapsztadzie. Zakres wartości średnich uzyskanych z opisanych wyników badań jest szeroki, jednak można zauważyć, że oscylują one wokół wartości 10 minut. Biorąc pod uwagę te informacje ustalono, że zakresem możliwych wartości czasu poszukiwania wolnego miejsca postojowego będzie przedział $t_{dsz} \in < 0,0; 30,0 > [\text{min}]$.

Do ustalenia zakresu możliwych wartości dla poszczególnych terminów długości czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego przy ulicy w warunkach polskich miast wykorzystano dodatkowe pytanie, zadawane respondentom w ramach wspomnianych wcześniej badań ankietowych (przeprowadzonych z kierowcami parkującymi w SPP w Krakowie i we Wrocławiu – rozdział 4.7.3.4). Poza odpowiedzią na pytanie o to jak długo poszukiwali miejsca do legalnego postoju, respondenci odpowiadali wcześniej na pytanie czy znalezienie wolnego miejsca było dla nich *łatwe*, czy *trudne*. Określenia *łatwe* i *trudne* są określeniami wyrażającymi subiektywną ocenę odpowiadającego na dany temat, jednak w analizowanym przypadku stanowiły pomocną wskazówkę w procesie ustalania zakresu oraz kształtów i parametrów funkcji opisujących termin *czas szukania*. Wyniki analizy odpowiedzi respondentów przedstawiono w tabeli (Tab. 5.2), natomiast na rysunkach (Rys. 5.5 – Rys. 5.8) przedstawiono pomocniczo wykresy gęstości danych dla poszczególnych grup odpowiedzi w obu miastach.

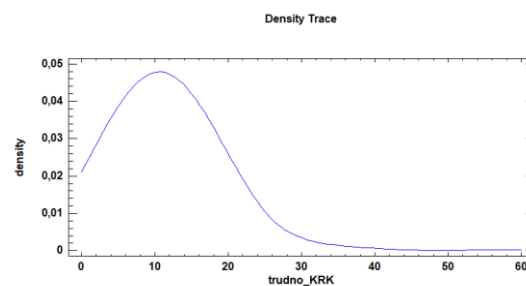
Tab. 5.2. Zestawienie wyników pomocniczej analizy danych z badań ankietowych w SPP

proces poszukiwania oceniono jako:	<i>łatwy</i>				<i>trudny</i>			
	min	max	średnia	odchylenie standardowe	min	max	średnia	odchylenie standardowe
Kraków [min]	1 (0)	20	2,41	2,17	1 (0)	60	11,41	6,00
Wrocław [min]	1 (0)	20	2,42	2,24	2	35	11,11	4,70

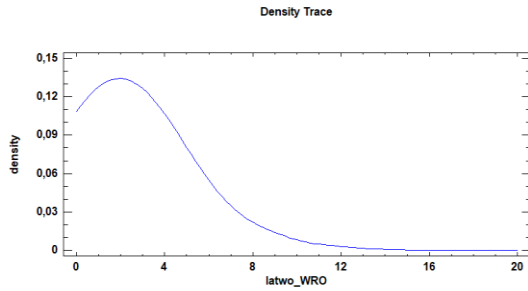
Źródło: opracowanie własne



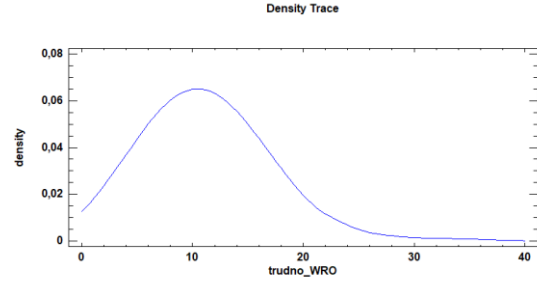
Rys. 5.5. Wykres gęstości dla zbioru danych dot. czasu poszukiwania miejsca deklarowanego przez osoby oceniające proces poszukiwania jako *łatwy* – Kraków. Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.6. Wykres gęstości dla zbioru danych dot. czasu poszukiwania miejsca deklarowanego przez osoby oceniające proces poszukiwania jako *trudny* – Kraków. Źródło: opracowanie własne



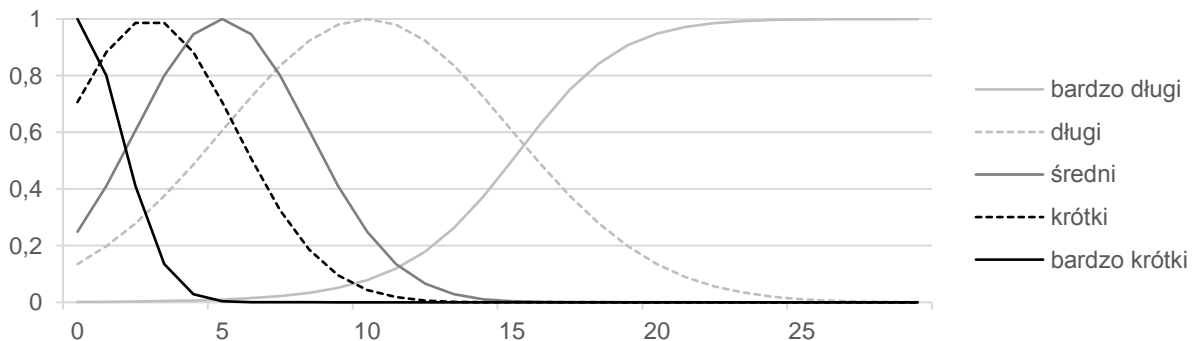
Rys. 5.7. Wykres gęstości dla zbioru danych dot. czasu poszukiwania miejsca deklarowanego przez osoby oceniające proces poszukiwania jako *łatwy* – Wrocław. Źródło: opracowanie własne



Rys. 5.8. Wykres gęstości dla zbioru danych dot. czasu poszukiwania miejsca deklarowanego przez osoby oceniające proces poszukiwania jako *trudny* – Wrocław. Źródło: opracowanie własne

Analiza uzyskanych wyników ankiet wskazuje na wyraźne podobieństwo odpowiedzi kierowców oceniających proces poszukiwania wolnego miejsca parkingowego jako *łatwy* – zarówno wśród kierowców ankietowanych w Krakowie, jak i tych ankietowanych we Wrocławiu, deklarowany czas poszukiwania zawierał się w przedziale pomiędzy 1, a 20 minut. Średni czas tego poszukiwania wynosił natomiast 2,41 i 2,42 minuty odpowiednio w Krakowie i we Wrocławiu. Wśród osób, które poszukiwanie ocenili jako *trudne*, średni deklarowany czas poszukiwania miejsca również był podobny i wynosił 11,41 i 11,11 min odpowiednio w Krakowie i we Wrocławiu. Porównanie danych z obu prób (próby pochodzącej z badań przeprowadzonych w Krakowie i próby z analogicznie przeprowadzonego badania we Wrocławiu) za pomocą testu dla dwóch średnich (t-test wykonany przy pomocy pakietu *Statgraphics* [146]) wykazało, że z 95% prawdopodobieństwem nie ma istotnych różnic ani pomiędzy odpowiedziami udzielanymi przez osoby deklarujące, że poszukiwanie było dla nich *łatwe* ani *trudne* w obu miastach¹². Biorąc pod uwagę wynik tej analizy przyjęto, że zakresy ustalone na podstawie badań uzyskanych w obu miastach będą adekwatne dla innych polskich miast podobnej wielkości (określanych jako *miast dużych*). Istotne różnice średnich występują natomiast pomiędzy deklarowanym czasem traconym na poszukiwanie miejsca w obu grupach deklarujących odmienny stopień trudności w znalezieniu miejsca postojowego w poszczególnych miastach.

Biorąc pod uwagę te informacje, podobnie jak w przypadku zmiennej *obciążenie*, do opisu funkcji przynależności dla terminów *bardzo krótki*, *krótki*, *średni*, *długi czas szukania* miejsca parkingowego wybrano funkcję Gaussa (*gaussmf*) opisaną wzorem (52). Do opisu funkcji przynależności dla terminu *bardzo długi czas szukania* miejsca postojowego wybrano funkcję dzwonową (*gbellmf*), opisaną wzorem (53). Na rysunku (Rys. 5.9) przedstawiono wykresy poszczególnych funkcji przynależności dla zmiennej *czas szukania*.



Rys. 5.9. Kształty funkcji przynależności dla poszczególnych terminów opisujących zmienną lingwistyczną *czas szukania*

Źródło: opracowanie własne

¹² Odpowiedzi osób deklarujących w Krakowie, że poszukiwanie było dla nich *trudne* porównano z odpowiedziami osób deklarujących we Wrocławiu, że poszukiwanie było dla nich *trudne* – analogicznie porównywano obie grupy z obu miast, deklarujące, że poszukiwanie było dla nich *łatwe*

Tabela (Tab. 5.3) przedstawia zestawienie przyjętych parametrów poszczególnych funkcji zmiennej *czas szukania*.

Tab. 5.3. Parametry funkcji przynależności dla terminów opisujących zmienną lingwistyczną *czas szukania*

termin	wartość średnia c [min]	odchylenie standardowe δ [min]	
<i>bardzo krótki</i>	0	1,5	
<i>krótki</i>	2,5	3	
<i>średni</i>	5	3	
<i>długi</i>	10	5	
termin	parametr a [min]	parametr b [min]	parametr c [min]
<i>bardzo długi</i>	30	8	45

Źródło: opracowanie własne

Udział ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym

Dla zmiennej *udział search traffic*, charakteryzującej spodziewany udział ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego do zaparkowania samochodu obserwowanego w ruchu ogólnym danego obszaru przyjęto zbiór terminów:

$$u_{sz} (\text{udział krążenia}) = \{\text{bardzo mały, mały, średni, duży, bardzo duży}\}$$

Udział *search traffic* jest daną wyjściową – *następnikiem* reguły wnioskującej, a co za tym idzie jednym z najbardziej istotnych składników tworzonego modelu. Jak wspomniano w rozdziale 2, nie zidentyfikowano opublikowanych wyników badań mających na celu ustalenie wielkości ruchu *search traffic*, ani jego udziału w ruchu ogólnym analizowanego obszaru w warunkach polskich – w związku z tym, jedynym źródłem danych o możliwych jego wielkościach w warunkach polskich są wyniki autorskich badań przeprowadzonych dla dwóch wybranych poligonów w obszarze SPP w Krakowie i we Wrocławiu (rozdział 3). Ponieważ badania te nie obejmowały analizy zmienności tego udziału w kolejnych godzinach dnia, ustalona została jedynie średnia wartość udziału *search traffic* w ruchu ogólnym – udział ten wyniósł w odpowiednio 10,4% i 8,8% w I i II serii pomiaru ruchu wykonanego w Krakowie oraz 5,5% we Wrocławiu.

Jako dodatkowe źródło informacji o możliwych wielkościach udziału ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym, obserwowanego w obszarach śródmiejskich, potraktowano opublikowane wyniki badań tego ruchu, przeprowadzone w innych dużych miastach zagranicznych (zestawione w tabelach Tab. 2.7 i Tab. 2.8). Jak zaznaczono w rozdziale 2 pochodzą one z różnych okresów czasu, z różnych krajów, są efektem różnego typu badań, na różnych próbach użytkowników, w zróżnicowanych funkcjonalnie i przestrzennie obszarach, jednak pomimo tego stanowią pomocną bazę informacji o możliwych wielkościach udziału *search traffic* w ruchu ogólnym. Udział tego ruchu, będący wynikiem zestawionych wyników badań przyjmuje wartości z przedziału od 8% w Stanach Zjednoczonych do 74% w Niemczech. Zidentyfikowane badania prowadzone były jednak w większości w latach 1985 – 2000. W badaniach przeprowadzonych w 2006 roku w Los Angeles udział pojazdów poszukujących wolnego miejsca postojowego wyniósł 68% – w różnych okresach czasu, udział ten mieścił się w zakresie od 13 do nawet 96%. Średni udział *search traffic* w ruchu ogólnym wyznaczony ze wszystkich wyników badań zestawionych przez D. Shoupa w [137] wynosi natomiast 30%.

Minimalną możliwą wartość udziału *search traffic* ustalono na 0%, biorąc pod uwagę, że wg definicji *search traffic* nie występuje jeśli w analizowanym obszarze dostępna jest duża liczba wolnych miejsc parkingowych – jaką przewidziano w opisie danych wejściowych do modelu dla zmiennej *obciążenie powierzchni parkingowej*. Ponieważ skrajnie duże wartości tego udziału uzyskano w badaniach prowadzonych w miastach zagranicznych, a wyniki polskie oscylują wokół wartości 8% ruchu ogólnego – jako wartość maksymalną przedziału możliwych wartości udziału *search traffic* w ruchu ogólnym

ustalono 30%. Zakres możliwych wartości udziału ruchu realizowanego w poszukiwaniu miejsca parkingowego stanowi zatem przedział $u_{sz} \in < 0; 30 > [\%]$.

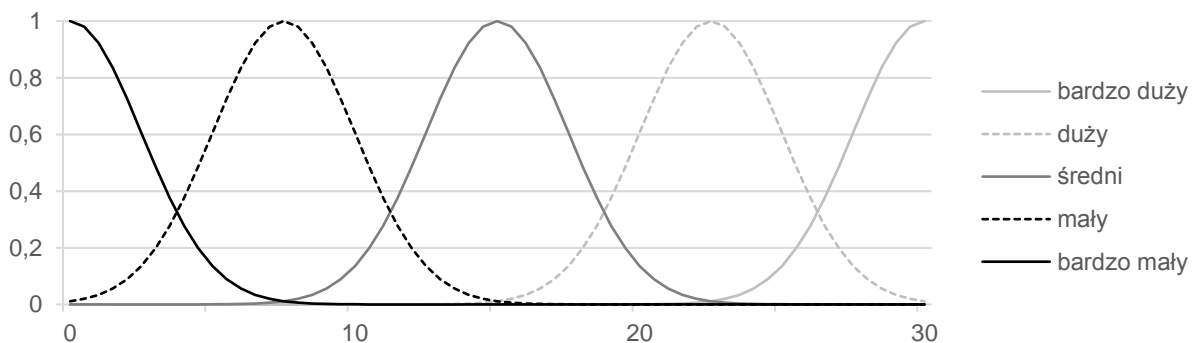
Do opisu funkcji przynależności dla wszystkich terminów określających zmienną *udział search traffic* wybrano funkcję Gaussa (*gaussmf*) opisaną wzorem (52). Ustalając zakres możliwych wartości dla poszczególnych terminów udziału *search traffic* w ruchu ogólnym ustalono wartości znajdujące się kolejno w $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ i $\frac{3}{4}$ całego zakresu możliwych wartości zmiennej *udział search traffic*. Ustalono, że będą one stanowiły wartości średnie dla terminów *mały*, *średni* i *duży* *udział search traffic*. Dla terminu *bardzo mały* i *bardzo duży* *udział search traffic*, jako wartość średnią przyjęto odpowiednio minimalną i maksymalną możliwą wartość zmiennej *udział search traffic*. Przyjęte parametry poszczególnych funkcji przynależności dla terminów określających zmienną lingwistyczną *udział search traffic* zestawiono w tabeli (Tab. 5.4).

Tab. 5.4. Parametry funkcji przynależności dla terminów opisujących zmienną lingwistyczną *udział search traffic*

termin	wartość średnia c [%]	odchylenie standardowe δ [%]
<i>bardzo duży</i>	30,0	2,5
<i>duży</i>	22,5	2,5
<i>średni</i>	15,0	2,5
<i>mały</i>	7,5	2,5
<i>bardzo mały</i>	0,0	2,5

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku (Rys. 5.10) przedstawiono kształty poszczególnych funkcji przynależności dla terminów opisujących zmienną lingwistyczną *udział search traffic*.



Rys. 5.10. Kształty funkcji przynależności dla poszczególnych terminów opisujących zmienną lingwistyczną *udział search traffic*

Źródło: opracowanie własne

5.1.2. Sformułowanie reguł wnioskujących

W kolejnym etapie tworzenia modelu rozmytego sformułowano tzw. *reguły wnioskowania*, opierające się na układzie IF...THEN (Rys. 5.3). Dane wejściowe opisują 2 zbiory rozmyte, dlatego ich składnię ustalono za pomocą spójnika AND – określającego wykonanie operacji przecięcia zbiorów rozmytych.

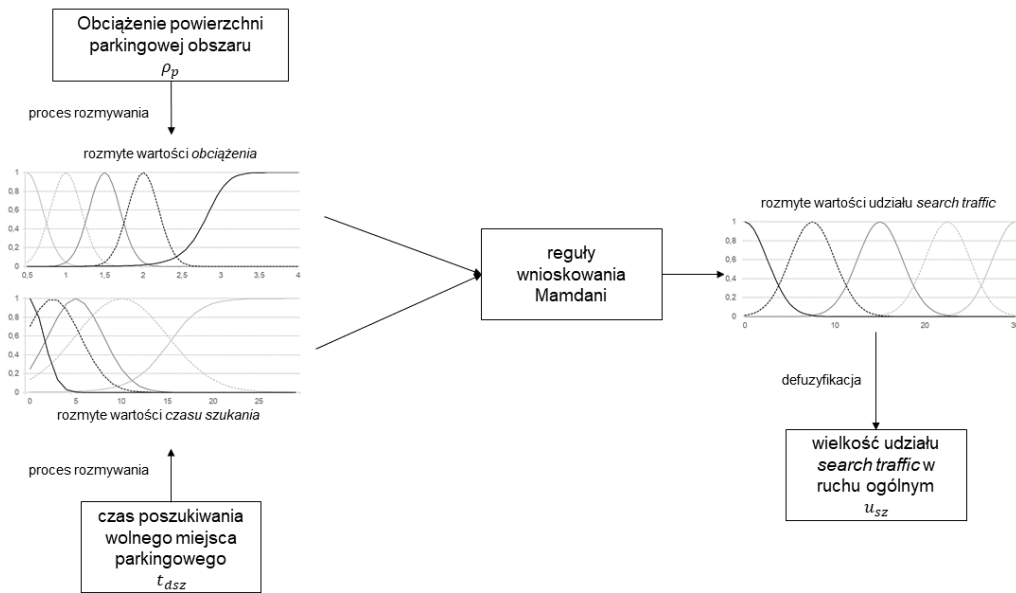
Z bazy wszystkich możliwych reguł zawierającej 125 wyrażen (5 terminów opisujących zmienną *obciążenie*, 5 terminów opisujących zmienną *czas szukania* i 5 terminów opisujących zmienną *udział search traffic*) odrzucono reguły nielogiczne np. „IF *obciążenie* jest bardzo duże AND *czas szukania* jest bardzo długi THEN *udział search traffic* jest bardzo mały”.

Drogą eliminacji uzyskano 25 reguł wnioskujących, które wykorzystano ostatecznie do budowy modelu – wpływ każdej z nich na zbiór wyników potraktowano z jednakową wagą:

1	IF	obciążenie	jest	bardzo duże	AND	czas szukania	jest	bardzo długi	THEN	udział_st	jest	bardzo duży
2	IF	obciążenie	jest	bardzo duże	AND	czas szukania	jest	długi	THEN	udział_st	jest	bardzo duży
3	IF	obciążenie	jest	bardzo duże	AND	czas szukania	jest	średni	THEN	udział_st	jest	duży
4	IF	obciążenie	jest	bardzo duże	AND	czas szukania	jest	krótki	THEN	udział_st	jest	duży
5	IF	obciążenie	jest	bardzo duże	AND	czas szukania	jest	bardzo krótki	THEN	udział_st	jest	duży
6	IF	obciążenie	jest	duże	AND	czas szukania	jest	bardzo długi	THEN	udział_st	jest	duży
7	IF	obciążenie	jest	duże	AND	czas szukania	jest	długi	THEN	udział_st	jest	duży
8	IF	obciążenie	jest	duże	AND	czas szukania	jest	średni	THEN	udział_st	jest	średni
9	IF	obciążenie	jest	duże	AND	czas szukania	jest	krótki	THEN	udział_st	jest	mały
10	IF	obciążenie	jest	duże	AND	czas szukania	jest	bardzo krótki	THEN	udział_st	jest	mały
11	IF	obciążenie	jest	średnie	AND	czas szukania	jest	bardzo długi	THEN	udział_st	jest	średni
12	IF	obciążenie	jest	średnie	AND	czas szukania	jest	długi	THEN	udział_st	jest	średni
13	IF	obciążenie	jest	średnie	AND	czas szukania	jest	średni	THEN	udział_st	jest	mały
14	IF	obciążenie	jest	średnie	AND	czas szukania	jest	krótki	THEN	udział_st	jest	mały
15	IF	obciążenie	jest	średnie	AND	czas szukania	jest	bardzo krótki	THEN	udział_st	jest	mały
16	IF	obciążenie	jest	małe	AND	czas szukania	jest	bardzo długi	THEN	udział_st	jest	średni
17	IF	obciążenie	jest	małe	AND	czas szukania	jest	długi	THEN	udział_st	jest	mały
18	IF	obciążenie	jest	małe	AND	czas szukania	jest	średni	THEN	udział_st	jest	bardzo mały
19	IF	obciążenie	jest	małe	AND	czas szukania	jest	krótki	THEN	udział_st	jest	bardzo mały
20	IF	obciążenie	jest	małe	AND	czas szukania	jest	bardzo krótki	THEN	udział_st	jest	bardzo mały
21	IF	obciążenie	jest	bardzo małe	AND	czas szukania	jest	bardzo długi	THEN	udział_st	jest	mały
22	IF	obciążenie	jest	bardzo małe	AND	czas szukania	jest	długi	THEN	udział_st	jest	bardzo mały
23	IF	obciążenie	jest	bardzo małe	AND	czas szukania	jest	średni	THEN	udział_st	jest	bardzo mały
24	IF	obciążenie	jest	bardzo małe	AND	czas szukania	jest	krótki	THEN	udział_st	jest	bardzo mały
25	IF	obciążenie	jest	bardzo małe	AND	czas szukania	jest	bardzo krótki	THEN	udział_st	jest	bardzo mały

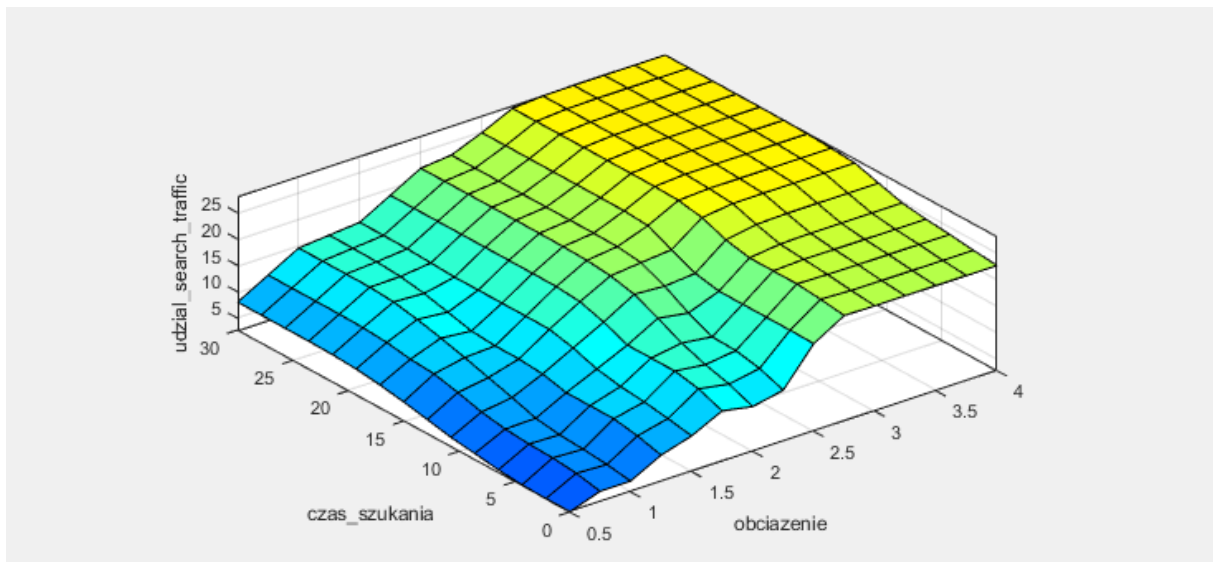
5.1.3. Wyniki analizy

Ostatnim etapem procesu wnioskowania rozmytego jest proces *defuzyfikacji*, polegający na wyznaczeniu nierozmytych wartości wynikowych z wynikowej funkcji rozmytej, będącej efektem działań na rozmytych zbiorach wejściowych do modelu. Blokowy schemat realizowanego modelu przedstawiono na rysunku (Rys. 5.11).



Rys. 5.11. Schemat blokowy modelu wnioskowania rozmytego przygotowanego dla określenia wielkości udziału ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym
Źródło: opracowanie własne

Proces *defuzyfikacji* przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu *Matlab*, który zbiór wyników procesu przedstawia w postaci przestrzeni rozwiązań – w analizowanym przypadku zbiór rozwiązań przedstawiono w formie przestrzeni zawartej w trójwymiarowym układzie współrzędnych, odzwierciedlającej związek pomiędzy poziomem obciążenia powierzchni parkingowej danego obszaru (ρ_p), długością czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca do zaparkowania samochodu w tym obszarze (t_{dsz}) i spodziewanym udziałem ruchu *search traffic* (u_{sz}), generowanym przemieszczeniami realizowanymi w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego, obserwowanym w ruchu ogólnym danego obszaru (Rys. 5.12).



Rys. 5.12. Powierzchnia wynikowa procesu wnioskowania rozmytego przedstawiająca zależność udziału ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym od stopnia obciążenia powierzchni parkingowej danego obszaru i długości czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego
Źródło: opracowanie własne

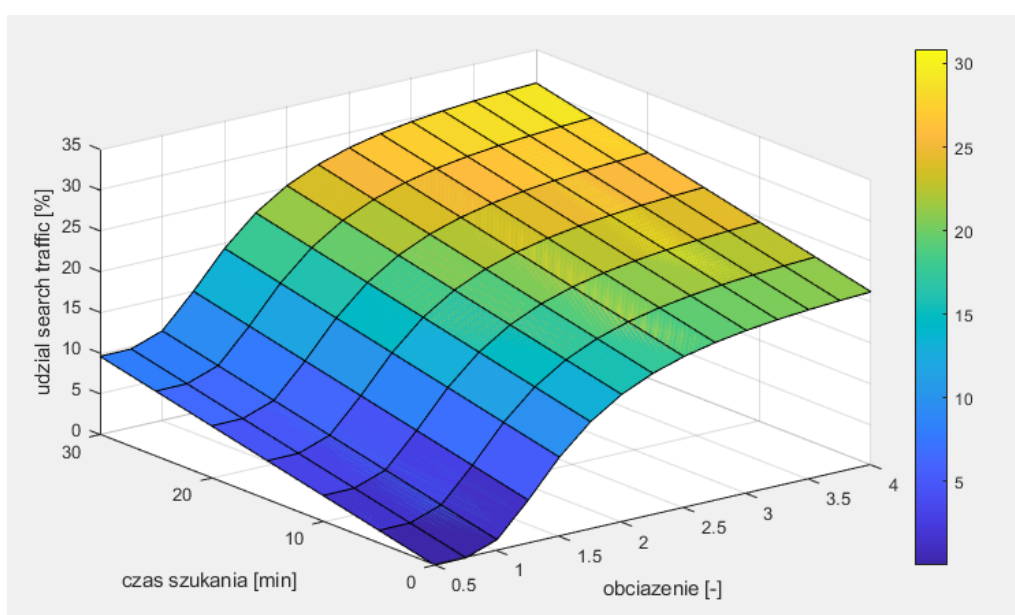
5.2. Aproksymacja powierzchni wynikowej modelu

Praktyczne wykorzystanie wyników modelowania rozmytego wymaga matematycznego opisu otrzymanej powierzchni wynikowej, który pozwoli na wyznaczanie wartości spodziewanego udziału ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym danego obszaru (u_{sz}), na podstawie informacji o obciążeniu jego powierzchni parkingowej (ρ_p) oraz deklarowanym czasie traconym średnio przez jednego kierowcę na znalezienie w jego obszarze wolnego miejsca do zaparkowania samochodu (t_{dsz}). Ze względu na dążenie do uproszczenia matematycznej formy modelu, aby tym samym ułatwić jego wykorzystanie – podjęto próbę aproksymacji otrzymanej powierzchni wynikowej różnymi funkcjami. Ostatecznie zdecydowano się na przyjęcie do opisu tej zależności następującego równania (Rys. 5.13). Proces aproksymacji przeprowadzono z wykorzystaniem programu *Statgraphics* [146]:

$$u_{sz}(\rho_p, t_{dsz}) = e^{-2,78 \cdot \rho_p^{-3} + 3,10} + 0,32 \cdot t_{dsz} \quad (54)$$

gdzie:

- u_{sz} – spodziewany udział ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym w danym obszarze [%]
- ρ_p – wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej danego obszaru [-]
- t_{dsz} – średni czas tracony przez jednego kierowcę na poszukiwanie miejsca do parkowania w danym obszarze [min]



Rys. 5.13. Wykres powierzchni równania (54), będącego aproksymacją wyników modelowania rozmytego
Źródło: opracowanie własne

Parametry służące ocenie jakości dopasowania modelu zestawiono w tabeli (Tab. 5.5):

Tab. 5.5. Parametry jakości dopasowania modelu (54) do danych wynikowych procesu wnioskowania rozmytego

parametr		wartość
R^2	współczynnik determinacji	89,91 [%]
Rs^2	skorygowany współczynnik determinacji	89,72 [%]
SEE	błąd standardowy estymacji	2,45 [%]
MAE	średni błąd bezwzględny	1,99 [%]

Źródło: opracowanie własne

Przyjęty model wyjaśnia 89,72% zmienności udziału *search traffic* w ruchu ogólnym ($R^2 = 89,72$ [%]), co przyjmuje się za wystarczające i bardzo dobre dopasowanie modelu do danych uzyskanych w wyniku prowadzonego wnioskowania rozmytego [40]. Najważniejsze parametry analizy reszt modelu, tj. błąd standardowy estymacji (SEE) i średni błąd bezwzględny (MAE) równe odpowiednio 2,45 [%] i 1,99 [%], oceniające stopień rozproszenia punktów danych wokół przyjętego modelu, wydają się być wystarczające – mając na uwadze przedmiot prowadzonej analizy.

5.3. Dyskusja wyników

Oceniając dopasowanie modelu wzięto pod uwagę, że informacje, na których oparto proponowany model nie wyjaśniają warunków występowania ruchu *search traffic* – dlatego bardziej niż na parametrach oceny jakości dopasowania modelu, skupiono się przede wszystkim na tym, żeby aproksymowana funkcja odzwierciedlała w realny sposób reakcję udziału ruchu *search traffic* na warunki parkowania w danym obszarze. Dobry wzór funkcji musiał również spełniać warunek względnej prostoty matematycznego zapisu, ze względu na dążenie do uproszczenia jego praktycznego wykorzystania. Spośród możliwych kształtów aproksymacji powierzchni wynikowej modelu odrzucono m.in. te, w których wyniku udział *search traffic* – przy bardzo małym obciążeniu i bardzo krótkim deklarowanym czasie traconym na poszukiwanie wolnego miejsca postojowego wyraźnie odbiegał od 0% – co w założeniu nie jest sytuacją możliwą.

Interpretując kształt funkcji, będącej aproksymacją wyników wnioskowania rozmytego należy zauważyć, że odzwierciedla ona założoną zależność – udział ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym (u_{sz}) danego obszaru zależy głównie od poziomu obciążenia jego powierzchni parkingowej (ρ_p), czyli stosunku realnego popytu na parkowanie do podaży wyrażonej przez liczbę miejsc parkingowych danego obszaru (m_p) z uwzględnieniem procesu wymiany pojazdów na tych miejscach (w_r). Ponieważ nie jest to jednak dana, której wielkość można z łatwością określić na podstawie obserwacji terenowych, a ponadto dodatkowym czynnikiem decydującym o podejmowaniu decyzji o *krążeniu* w poszukiwaniu miejsca parkingowego jest kwestia subiektywnych odczuć kierowcy, do bazy danych wejściowych dołączono informację uzupełniającą, jaką jest deklarowana przez kierowców długość czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (t_{dsz}) w danym obszarze. Nie jest on jednak główną determinantą wielkości udziału *search traffic* w ruchu ogólnym obszaru, a jedynie różnicuje jego wielkość na poszczególnych poziomach wielkości wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej.

Dyskusyjnym można uznać fakt, że w sytuacji, gdy wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej $\rho_p = 1$, co oznacza, że realny popyt na parkowanie jest równy podaży parkingowej danego obszaru, spodziewany udział *search traffic* w ruchu ogólnym osiąga wartości z przedziału od $u_{sz} = 1,38\%$ do $u_{sz} = 10,98\%$ – w zależności od deklarowanego przez kierowców czasu traconego na poszukiwanie miejsca – podczas gdy intuicyjnie, oczekiwaną wartością w takich warunkach wydaje się być $u_{sz} = 0\%$. Tłumacząc ten fakt należy odwołać się do przyjętej interpretacji zaproponowanego *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej*, która odnosi porównywane wartości podaży i popytu na parkowanie do większego obszaru¹³, w którym proces poszukiwania miejsca może odbywać się już w sytuacji, gdy wielkość realnego popytu jest zbliżona do podaży.

W tym miejscu należy także zauważyć, że określenie wielkości ruchu *search traffic* w przeprowadzonej analizie wyrażane jest procentowym udziałem tego ruchu w ruchu ogólnym danego obszaru, a nie liczbą pojazdów przemieszczających się w ten sposób, czy też wprost natężeniem ruchu, jeśli odniesiono by tę wartość do danego przekroju ulicy i danej jednostki czasu. Podobnie określono tę wielkość w oparciu o dane z badań, jak również w znaczącej części raportów z badań zagranicznych.

Przyjęty sposób określania wielkości ruchu *search traffic* wynika przede wszystkim z faktu, że jest on jedną ze składowych natężenia ruchu obserwowanego w sieci ulicznej danego obszaru (inną może być m.in. ruch tranzytowy względem tego obszaru, itd.). Wielkość tych składowych determinuje wielkość ruchu ogólnego i może być zróżnicowana. Dzięki określeniu procentowego udziału ruchu *search traffic*

¹³ (...)najmniejszym z nich może być obszar rejonu komunikacyjnego.

w ruchu ogólnym wyrażona zostaje proporcja liczby pojazdów *krążących* do liczby wszystkich pojazdów przemieszczających się po ulicach danego obszaru, co wskazuje pośrednio na możliwą jego uciążliwość oraz daje możliwość porównywania jego wielkości i uciążliwości w różnych obszarach miasta.

Istotnym jest, że weryfikacja zaproponowanego modelu za pomocą obserwacji terenowych jest bardzo trudna, przede wszystkim ze względu na to, że są to badania wymagające bardzo dużych nakładów finansowych i szeroko zakrojonych działań technicznych. Nie można również odnieść się *wprost* do wyników badań własnych (opisanych szczegółowo w rozdziale 3.3), ponieważ przyjęty zakres obszarowy poligonu badawczego jest zbyt mały, by móc precyzyjnie określić liczbę pojazdów, które w okresie jednej godziny wjechały do obszaru, żeby w nim zaparkować, a ponadto nie prowadzono obserwacji miejsca parkowania pojazdów, a zatem nie zebrano informacji o liczbie pojazdów, które zaparkowały na miejscach przykrawężnikowych.

Aby skontrolować jakość proponowanego modelu i jednocześnie przetestować jego działanie zdecydowano o jego aplikacji na danych o obciążeniu powierzchni parkingowej krakowskiej strefy płatnego parkowania (wyznaczonej w rozdziale 4.7.3) oraz danych z badań ankietowych przeprowadzonych na zlecenie Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie [45].

5.4. Aplikacja modelu

Do wyznaczenia wielkości udziału ruchu w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego w poszczególnych podstrefach SPP w Krakowie wykorzystano dane o obciążeniu powierzchni parkingowej (ρ_p) wyznaczone dla godziny szczytu popołudniowego w rozdziale 4.7.3 (Tab. 4.8). Wykorzystano także dane o deklarowanym czasie traconym na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego (t_{dsz}), przypadającym średnio na jednego kierowcę, uzyskaną z badań ankietowych przeprowadzanych w okresie funkcjonowania SPP (badania na zlecenie Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie [45]). Na podstawie tych informacji, z wykorzystaniem proponowanego modelu (54), określono spodziewany udział uchu *search traffic* w poszczególnych podstrefach SPP w godzinie szczytu popołudniowego (Tab. 5.6).

Tab. 5.6. Udział ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym w godzinie szczytu popołudniowego wyznaczony dla podstref SPP w Krakowie

Lp.	Podstrefa SPP (Rys. 1.2)	$\rho_{p,o}$ [-]	$t_{dsz,o}$		$u_{sz,o}$	
			wartość średnia [min]	przedział ufności [min]	wartość średnia [%]	zakres [%]
1	P1_2	1,401	11,056	<10,08;12,04>	11,62	<11,3;11,93>
2	P1_3	1,592	8,565	<6,93;10,2>	13,89	<13,36;14,41>
3	P1_4	2,262	10,865	<9,34;12,19>	20,93	<20,45;21,36>
4	P2	0,944	3,636	<3,02;4,18>	1,98	<1,78;2,15>
5	P3	0,81	3,220	<2,47;3,97>	1,15	<0,91;1,39>
6	P4	2,37	3,740	<2,75;4,73>	19,21	<18,89;19,53>
7	P5	2,861	4,820	<3,39;6,25>	21,26	<20,8;21,71>
8	P6_1	1,447	1,580	<1,12;2,04>	9,37	<9,23;9,52>
9	P6_2	1,92	2,980	<2,16;3,8>	15,94	<15,68;16,2>
10	P6_3	3,292	3,061	<2,18;3,82>	21,51	<21,23;21,76>
11	P6_4	2,157	7,410	<5,62;9,2>	19,20	<18,63;19,77>
12	P6_5	2,987	9,180	<8,15;10,21>	22,94	<22,61;23,27>
13	P7	1,205	8,140	<7,28;9>	7,14	<6,86;7,41>
14	P8	2,226	8,760	<7,64;9,88>	20,06	<19,7;20,41>

Źródło: opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych pomiarów

Uzyskane udziały procentowe ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym (u_{sz}) danej podstrefy zawierają się w przedziale między 1,15% w podstrefie P3, gdzie zarówno poziom obciążenia powierzchni parkingowej (ρ_p) był mały, jak również czas poszukiwania miejsca (t_{dsz}) był stosunkowo krótki, a 22,94% w podstrefie P6_5, w której poziom obciążenia powierzchni parkingowej był bliski $\rho_p = 3$, a czas szukania miejsca (t_{dsz}) wynosił ponad 9 minut. Wartości spodziewanego udziału *search traffic* wydają się być wartościami realnymi.

Analizując wyznaczoną spodziewaną wielkość procentowego udziału *search traffic* (u_{sz}) dla podstrefy P1_2, w obszarze której znajduje się poligon własnego badania terenowego (rozdział 3.3.7) należy zauważyć, że wyniosła ona 11,62%, podczas gdy według wyników badania autorskiego udział ten oszacowano na 10,4% w pierwszej i 8,8% w drugiej serii badania. Pomimo niewielkiej rozbieżności tych wyników uznano, że jest ona akceptowalna i z ostrożnością przyjęto, że jest potwierdzeniem wiarygodności zaproponowanego modelu. Wzięto przy tym pod uwagę:

- skalę możliwych wartości udziału *search traffic* (przyjętą wg założeń do modelowania rozmytego) zawierającą się w przedziale pomiędzy 0, a 30%,
- poziom dokładności modelu ruchu [108], z którego pozyskano dane wejściowe do określenia poziomu obciążenia powierzchni parkingowej analizowanych obszarów,
- kwestię różnych okresów czasu, dla których wyznaczone były poszczególne zależności – pomiary terenowe, których celem było ustalenie poziomu udziału ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym prowadzone były w okresie między godziną 8:00, a 15:00 – obejmując tym samym okres tuż po godzinie porannego szczytu komunikacyjnego (który w Krakowie wyznaczono na godzinę 7:00 – 8:00) i sięgający okresu tuż przed szczytem popołudniowym, natomiast dane konieczne do ustalenia udziału *search traffic* z wykorzystaniem zaproponowanego modelu pochodzą z okresu obejmującego szczyt popołudniowy,
- kwestię znacznie węższego poligonu badawczego, jakim był poligon przyjęty w badaniu terenowym, w stosunku do całego zakresu obszarowego podstrefy P1_2 (obszar ten obejmował swoimi granicami obszar 4 rejonów komunikacyjnych, w których warunki ruchu mogły być różne), a także
- uogólnienie zależności, w których znaczącą rolę odgrywa czynnik ludzki, co powoduje, że kwestia podejmowania decyzji na podstawie subiektywnych odczuć niesie ze sobą ryzyko pewnej niedokładności.

5.5. Interpretacja wyników analizy efektywności funkcjonowania strefy płatnego parkowania w Krakowie

W ramach analizy efektywności funkcjonowania strefy płatnego parkowania w Krakowie wyznaczono kilka różnych miar, spośród których najważniejszą jest wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej ρ_p – w tym przypadku poszczególnych podstref SPP. Wskazuje on relację pomiędzy wielkościami podaży i popytu na parkowanie w każdej z nich. Dodatkową ważną miarą jest spodziewany procentowy udział ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w ruchu ogólnym obserwowanym na ulicach tych podstref u_{sz} .

Analizując szczegółowo wielkości wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej dla każdej z podstref SPP w godzinie szczytu popołudniowego (Tab. 5.6), biorąc przy tym pod uwagę klucz ich interpretacji (rozdział 4.7.2) można stwierdzić, że:

1. W większości podstref wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej przekroczył wartość $\rho_p = 1$ co oznacza, że w ciągu godziny szczytu popołudniowego do każdej z nich wjeżdża z zamiarem zaparkowania więcej pojazdów, niż jest w stanie *obsłużyć* jego przestrzeń parkingowa (niż jego *zdolność parkingowa*).
2. Średnia liczba *obsługiwanych* pojazdów (*zdolność parkingowa*) zależy od liczby miejsc parkingowych danej podstrefy oraz średniego wskaźnika rotacji pojazdów na tych miejscach.
3. Największe *przeciążenie* systemu parkingowego można zauważyć w podstrefie P6_5, gdzie liczba pojazdów wjeżdżających do obszaru (z zamiarem zaparkowania w nim) jest aż 3-krotnie większa niż jego *zdolność parkingowa*.
4. W każdej z tych podstref można się więc spodziewać trudności ze znalezieniem wolnego miejsca parkingowego – tym większych, im większa jest wartość wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej. Spodziewane jest również występowanie ruchu związanego z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego.

5. W takiej sytuacji, aby wyrównać wielkości podaży i popytu, rekomenduje się podjęcie działań zaradczych (rozdział 4.7.2). Mogą to być: ograniczenie czasu postoju, zmniejszenie popytu na parkowanie lub zwiększenie liczby miejsc parkingowych (co jednak wiąże się z ryzykiem dodatkowych podróży – *ruch wzbudzony*).
6. Tylko w jednej podstrefie (P3) w szczycie popołudniowym warunki parkowania są względnie dobre – wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej osiągnął tam wartość równą $\rho_{p,P3} = 0,81$. Oznacza to, że zdolność parkingowa tej podstrefy jest wystarczająca, miejsca postojowe są stosunkowo dostępne. Zaleca się jednak monitorowanie średniego poziomu napełnienia powierzchni parkingowej w okresach szczytowych.
7. W podstrefie P2 wartość wskaźnika obciążenia wprawdzie nie przekracza 1, jednak jest jej bardzo bliska, co oznacza, że bardzo możliwe jest tam wystąpienie przeciążenia systemu parkingowego.

5.6. Możliwe zmiany poziomu obciążenia powierzchni parkingowej na skutek wdrożenia środków zaradczych

Środkami, które wpływają na poziom wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej są, wymienione wcześniej: ograniczenie czasu postoju, zmniejszenie popytu na parkowanie i zwiększenie liczby miejsc postojowych (co jednak wiąże się z ryzykiem dodatkowych podróży – *ruch wzbudzony*). Aby sprawdzić w jaki sposób zmieni się poziom obciążenia powierzchni parkingowej na skutek wprowadzenia takich zmian, wykorzystując dane z analizy efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej SPP w Krakowie (Tab. 5.6), przeprowadzono symulacje, zakładając następujące warianty ingerencji w system parkingowy poszczególnych podstref SPP:

1. Wariant I – wprowadzenie strefy ograniczonego postoju – ograniczenie czasu postoju,
2. Wariant II – zwiększenie liczby miejsc postojowych (np. kosztem zmiany organizacji ruchu),
3. Wariant III – ograniczenie popytu na parkowanie – wprowadzenie strefy ograniczonego ruchu, czyli strefy, do której wjechać mogą tylko pojazdy z zezwoleniem Zarządcy drogi.

Symulowane zmiany dotyczą wszystkich podstref strefy płatnego parkowania. W warunkach rzeczywistych, byłyby one zbyt restrykcyjne do wdrożenia na tak dużym obszarze – w szczególności propozycje wariantu III, zakładające ograniczenie wjazdu do określonych obszarów miasta. Biorąc jednak pod uwagę, że celem tej analizy jest przedstawienie możliwych efektów konkretnych działań – zdecydowano, że symulacja dla całego obszaru SPP da pełny obraz ich skuteczności w poszczególnych podstrefach – o różnym popycie na parkowanie i *zdolności parkingowej*.

Szczegóły proponowanych ograniczeń dla każdego z wariantów zestawiono w tabeli (Tab. 5.7).

Tab. 5.7. Ograniczenia w poszczególnych wariantach symulacji zmian w SPP

wariant	ograniczenie czasu postoju	liczba miejsc postojowych	popyt na parkowanie
Ia	do 1h	bez zmian	bez zmian
Ib	do 2 h	bez zmian	bez zmian
IIa	bez zmian	większa o 10%	bez zmian
IIb	bez zmian	większa o 20%	bez zmian
IIIa	bez zmian	bez zmian	mniejszy o 10%
IIIb	bez zmian	bez zmian	mniejszy o 20%

Źródło: opracowanie własne

Sprawdzono, jak zmieni się wartość wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej każdej podstrefy – w stosunku do jego poziomu bazowego (Tab. 5.6), w efekcie wprowadzenia opisanych ograniczeń. Uzyskane wyniki – wartości wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej dla każdej podstrefy po wprowadzeniu ograniczeń oraz procentową wartość jego zmiany – zestawiono w tabelach (Tab. 5.8 i Tab. 5.9). W tabeli z wartościami wskaźnika obciążenia, na zielono oznaczono komórki,

w których jego wartość jest mniejsza od 1 – co oznacza dobrą sytuację parkingową analizowanego obszaru (przewagę podaży nad popytem), na czerwono komórki z wartościami większymi od 1 – oznaczającymi złą sytuację parkingową (przewagę popytu nad podażą), a na żółto sytuację równowagi, gdzie wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej jest równy 1).

Tab. 5.8. Zmiana poziomu wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej na skutek wdrożenia poszczególnych wariantów zmian w organizacji SPP

Lp.	Podstrefa SPP (Rys. 1.2)	$\rho_{p,o}$ wariant bazowy	$\rho_{p,o}$ warianty symulowane					
			Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb
	<i>o</i>	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	P1_2	1,401	0,294	0,589	1,276	1,168	1,261	1,121
2	P1_3	1,592	0,222	0,444	1,447	1,326	1,433	1,273
3	P1_4	2,262	0,248	0,496	2,050	1,885	2,036	1,810
4	P2	0,944	0,170	0,340	0,857	0,787	0,850	0,755
5	P3	0,810	0,114	0,227	0,734	0,681	0,729	0,648
6	P4	2,370	0,404	0,808	2,169	1,986	2,133	1,896
7	P5	2,861	0,201	0,402	2,613	2,390	2,575	2,289
8	P6_1	1,447	0,174	0,348	1,316	1,207	1,302	1,158
9	P6_2	1,920	0,173	0,347	1,756	1,600	1,728	1,536
10	P6_3	3,292	0,330	0,661	3,009	2,748	2,963	2,634
11	P6_4	2,157	0,195	0,391	1,961	1,819	1,941	1,726
12	P6_5	2,987	0,328	0,656	2,709	2,492	2,688	2,390
13	P7	1,205	0,144	0,289	1,100	1,000	1,085	0,964
14	P8	2,226	0,201	0,403	2,034	1,873	2,004	1,781

Źródło: opracowanie własne

Tab. 5.9. Zmiana poziomu wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej na skutek wdrożenia poszczególnych wariantów zmian w organizacji SPP – skuteczność ograniczeń

Lp.	Podstrefa SPP (Rys. 1.2)	$\rho_{p,o}$ wariant bazowy	zmiana $\rho_{p,o}$ warianty symulowane					
			Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb
	<i>o</i>	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	P1_2	1,401	-79	-58	-9	-17	-10	-20
2	P1_3	1,592	-86	-72	-9	-17	-10	-20
3	P1_4	2,262	-89	-78	-9	-17	-10	-20
4	P2	0,944	-82	-64	-9	-17	-10	-20
5	P3	0,810	-86	-72	-9	-16	-10	-20
6	P4	2,370	-83	-66	-8	-16	-10	-20
7	P5	2,861	-93	-86	-9	-16	-10	-20
8	P6_1	1,447	-88	-76	-9	-17	-10	-20
9	P6_2	1,920	-91	-82	-9	-17	-10	-20
10	P6_3	3,292	-90	-80	-9	-17	-10	-20
11	P6_4	2,157	-91	-82	-9	-16	-10	-20
12	P6_5	2,987	-89	-78	-9	-17	-10	-20
13	P7	1,205	-88	-76	-9	-17	-10	-20
14	P8	2,226	-91	-82	-9	-16	-10	-20

Źródło: opracowanie własne

Uzyskane wyniki wskazują wyraźnie, że w analizowanym przypadku, najbardziej skuteczną metodą poprawy obciążenia miejsc postojowych jest ograniczenie czasu postoju, czyli wprowadzenie tzw. strefy ograniczonego postoju (warianty Ia i Ib). Ograniczenie czasu postoju do 1 godziny na wszystkich miejscach parkingowych podstrefy SPP jest rozwiązaniem bardzo radykalnym, zwłaszcza z punktu widzenia kierowców korzystających z miejsc parkingowych, ale jego skuteczność to około 80 – 90% (przy ograniczeniu do 2 godzin dostępność poprawia się o około 60 – 85%). Stopień tej poprawy będzie zależał od długości dozwolonego postoju.

Zmniejszenie popytu na parkowanie, czyli ograniczenie liczby pojazdów wjeżdżających do danego obszaru, przy niezmiennych parametrach podaży, poprawia sytuację parkingową proporcjonalnie do

wprowadzonej zmiany. W analizowanym przypadku, gdzie założono 10% i 20% spadek liczby wjazdów do poszczególnych podstref, poziom obciążenia powierzchni parkingowej poprawia się odpowiednio o 10% i 20%. Oczywistym jest, że 80% zmiana popytu na parkowanie przy niezmienionej podaży byłaby równie skuteczna, co ograniczenie czasu postoju do 1 godziny – jednak takie rozwiązanie jest praktycznie możliwe do wdrożenia wyłącznie w ścisłym centrum miasta.

Najmniej skuteczną metodą, przy zakładanych warunkach, jest utworzenie nowych miejsc postojowych. Przy założonym zwiększeniu ich liczby o 10% wszystkich miejsc danej podstrefy, obciążenie powierzchni parkingowej spada o około 9%. Należy przy tym zauważyć, że bardzo duże zwiększenie liczby miejsc parkingowych przykrawężnikowych (np. o 80% liczby wszystkich istniejących) wydaje się być działaniem najtrudniejszym technicznie – głównie z powodu ograniczonej przestrzeni ulicy, zwłaszcza w centrach miast.

Podkreślić należy, że w omawianym przypadku, efekt ograniczenia czasu postoju, jak również zmniejszenie popytu na parkowanie ma zostać osiągnięty poprzez wprowadzenie konkretnych restrykcji – przepisów, które obowiązują wszystkich kierowców. Maksymalny dopuszczony czas postoju w strefie ograniczonego postoju powinno regulować jej oznakowanie pionowe, a dodatkowo powinien on być odpowiednio kontrolowany w terenie. Tylko w takich warunkach możliwe jest osiągnięcie określonego dopuszczalnego poziomu rotacji pojazdów na miejscach parkingowych. W przypadku ograniczenia czasu postoju do 1 godziny, średni wskaźnik rotacji pojazdów będzie wynosił 1 pojazd na jednym miejscu parkingowym w ciągu godziny lub więcej (ale nie mniej). Podobnie liczbę wjeżdżających do poszczególnych podstref kierowców powinno regulować oznakowanie pionowe strefy ograniczonego ruchu, a uprawnienia do wjazdu powinny być kontrolowane w terenie, aby wielkość popytu na parkowanie nie przekroczyła maksymalnej dopuszczalnej wartości.

Skrócenie czasu postoju, czy też zmniejszenie popytu na parkowanie można osiągnąć także wprowadzając środki mniej restrykcyjne – np. zwiększając stawki godzinowych opłat za postój. Im wyższa będzie stawka, tym mniej chętnie kierowcy będą wjeżdżać do obszaru SPP, żeby tam zaparkować pojazd [45]. Czas tego postoju również będzie krótszy, niż w przypadku, gdyby nie musieli oni uiścić wysokich opłat. Jednak w takim przypadku wysokość wskaźnika rotacji pojazdów, jak również liczba kierowców chcących zaparkować w danym obszarze będzie zależać od poziomu akceptacji tej ceny przez kierowców (w przeciwieństwie do restrykcji, które obowiązywać miałyby wszystkich, bez względu na stosunek do ceny za postój w SPP). Określenie wpływu wysokości opłaty za postój na podział zadań przewozowych oraz na czas postoju w SPP jest zagadnieniem złożonym i powinno być przedmiotem odrębnej analizy.

Wyniki przeprowadzonych symulacji są wynikami poglądowymi – zakładają działania, które nie zawsze można wdrożyć ze względów organizacyjnych, prawnych, czy technicznych. Ich skuteczność będzie się różnić, w zależności od stopnia ich radykalności. Na uwadze należy mieć także, że skutkiem poprawy dostępności miejsc parkingowych wyrażonej zmianą wskaźnika obciążenia mogą być również generowane nią dodatkowe podróże (*ruch wzbudzony*), których pojawienie się może zmniejszyć jej skuteczność (wyjątkiem będzie tutaj wariant III, w którym liczba pojazdów wjeżdżających do danego obszaru z założenia jest regulowana). Pomimo tego, uzyskane wyniki ukazują skalę możliwości, jaką daje zastosowanie organizacyjnych metod regulowania funkcjonowania obszarów parkowaniem przykrawężnikowym.

5.7. Możliwe zmiany spodziewanego udziału ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w efekcie obniżenia stopnia obciążenia powierzchni parkingowej

Kontynuując analizę efektywności funkcjonowania strefy płatnego parkowania w Krakowie, dla każdego wariantu zmian (Tab. 5.7), które zaproponowano, aby poprawić dostępność parkingową (obniżyć poziom obciążenia powierzchni parkingowej) każdej podstrefy, wyznaczono spodziewany udział ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu (Tab. 5.10). Do analizy wykorzystano wzór (54).

Wg formuły (54), spodziewany udział ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego zależy od poziomu obciążenia powierzchni parkingowej, ale także od deklarowanego czasu traconego przez kierowcę na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego – dzięki któremu proponowany model uwzględni rzeczywiste zachowania komunikacyjne kierowców. Przez to jednak nie jest możliwe wyznaczenie spodziewanego udziału krążących pojazdów w symulowanych warunkach, ponieważ nie jest znany rzeczywisty czas poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania samochodu w danym obszarze, przy innym – w tym przypadku niższym – wskaźniku obciążenia powierzchni parkingowej. Z tego względu, wyznaczone wartości spodziewanego udziału *search traffic* dla każdej podstrefy należy traktować z pewną rezerwą.

Do wyznaczenia spodziewanej wielkości udziału ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego dla każdego z zaproponowanych wariantów wykorzystano obliczony poziom obciążenia powierzchni parkingowej (Tab. 5.8). Na potrzeby obliczeń założono również, że czas poszukiwania miejsca parkingowego w każdym wariantie skróci się o odpowiednio 10 i 20% dla wariantów a i b. Wyniki obliczeń zastawiono w tabeli (Tab. 5.10).

Tab. 5.10. Zmiana spodziewanego udziału *search traffic* na skutek wdrożenia poszczególnych wariantów zmian w organizacji SPP

Lp.	Podstrefa SPP (Rys. 1.2)	$u_{sz,o}$ wariant bazowy	$u_{sz,o}$ warianty symulowane					
			la	lb	IIa	IIb	IIIa	IIIb
	<i>o</i>	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	P1_2	11,62	3,18	2,83	9,01	6,72	8,72	5,91
2	P1_3	13,89	2,47	2,19	11,33	8,94	11,09	7,97
3	P1_4	20,93	3,13	2,78	19,20	17,44	19,10	16,67
4	P2	1,98	1,05	0,93	1,32	1,01	1,29	0,97
5	P3	1,15	0,93	0,82	0,95	0,83	0,94	0,83
6	P4	19,21	1,08	1,07	17,98	16,52	17,74	15,72
7	P5	21,26	1,39	1,23	20,38	19,34	20,25	18,84
8	P6_1	9,37	0,46	0,40	7,02	4,98	6,76	4,11
9	P6_2	15,94	0,86	0,76	14,14	12,02	13,81	11,07
10	P6_3	21,51	0,88	0,79	20,93	20,20	20,83	19,85
11	P6_4	19,20	2,13	1,90	17,49	15,89	17,32	14,82
12	P6_5	22,94	2,64	2,35	21,95	20,90	21,88	20,46
13	P7	7,14	2,34	2,08	5,09	3,46	4,86	3,08
14	P8	20,06	2,52	2,24	18,48	16,78	18,24	15,81

Źródło: opracowanie własne

Tab. 5.11. Zmiana spodziewanego udziału *search traffic* na skutek wdrożenia poszczególnych wariantów zmian w organizacji SPP – udział procentowy

Lp.	Podstrefa SPP (Rys. 1.2)	$u_{sz,o}$ wariant bazowy	zmiana $u_{sz,o}$ warianty symulowane					
			la	lb	IIa	IIb	IIIa	IIIb
	<i>o</i>	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
1	P1_2	11,62	-73	-76	-23	-42	-25	-49
2	P1_3	13,89	-82	-84	-18	-36	-20	-43
3	P1_4	20,93	-85	-87	-8	-17	-9	-20
4	P2	1,98	-47	-53	-34	-49	-35	-51
5	P3	1,15	-19	-28	-18	-28	-18	-28
6	P4	19,21	-94	-94	-6	-14	-8	-18
7	P5	21,26	-93	-94	-4	-9	-5	-11
8	P6_1	9,37	-95	-96	-25	-47	-28	-56
9	P6_2	15,94	-95	-95	-11	-25	-13	-31
10	P6_3	21,51	-96	-96	-3	-6	-3	-8
11	P6_4	19,20	-89	-90	-9	-17	-10	-23
12	P6_5	22,94	-88	-90	-4	-9	-5	-11
13	P7	7,14	-67	-71	-29	-52	-32	-57
14	P8	20,06	-87	-89	-8	-16	-9	-21

Źródło: opracowanie własne

W tabeli (Tab. 5.11) przedstawiono procentową zmianę spodziewanego udziału ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w poszczególnych podstrefach, osiągniętą na skutek zaproponowanych trzech wariantów zmian w funkcjonowaniu SPP. Wielkość zmiany wskaźnika $u_{sz,o}$ zależy od różnych czynników, m.in. od tego jak bardzo restrykcyjne warunki założono w danym wariantcie, co objawia się określoną zmianą wielkości wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej, ale także od wielkości bazowej wielkości udziału ruchu *search traffic* – jego związek z poziomem obciążenia powierzchni parkingowej danej podstrefy oraz deklarowanym czasem traconym na poszukiwania miejsca do zaparkowania nie jest liniowy.

5.8. Możliwe oszczędności wybranych kosztów zewnętrznych generowanych przez *search traffic*, uzyskane w efekcie wdrożenia zmian w funkcjonowaniu strefy płatnego parkowania

Ograniczenie ruchu pojazdów przemieszczających się w poszukiwaniu miejsca do zaparkowania, poza oszczędnością kosztów własnych, ponoszonych przez każdego kierowcę, daje określone korzyści dla otoczenia systemu transportowego – m.in. w postaci zmniejszenia generowanych przez ten ruch kosztów zewnętrznych, w tym kosztów środowiskowych. Wartość tej oszczędności można oszacować, posiadając wiedzę o stopniu osiągniętego ograniczenia. W tabeli (Tab. 5.12) zestawiono oszczędności kosztów zanieczyszczenia powietrza oraz emisji CO₂, które są możliwe do uzyskania w efekcie wdrożenia zaproponowanych wariantów zmian w funkcjonowaniu strefy płatnego parkowania w Krakowie. Do obliczeń wykorzystano oszacowaną zmianę wielkości udziału ruchu *search traffic* (Tab. 5.10 i Tab. 5.11)

Oszczędności wyznaczono dla jednej podstrefy P6_5, o najbardziej obciążonej przykrawężnikowej przestrzeni parkingowej.

Tab. 5.12. Oszczędności kosztów środowiskowych uzyskanych w ciągu godziny w efekcie zmniejszenia udziału *search traffic* na skutek wdrożenia zmian w funkcjonowaniu podstrefy P6_5

Lp.	rodzaj kosztu środowiskowego	wariant bazowy	warianty symulowane					
			Ia	Ib	IIa	IIb	IIIa	IIIb
koszty								
1	zanieczyszczenia powietrza [zł]	5367,96	618,66	550,20	5135,34	4890,13	5120,56	4786,96
2	emisja CO ₂ [kg]	4334,74	499,58	444,30	4146,89	3948,88	4134,97	3865,57
oszczędności								
1	zanieczyszczenia powietrza [zł]	-	4749,30	4817,76	232,62	477,83	247,40	581,00
2	emisja CO ₂ [kg]	-	3835,16	3890,45	187,85	385,86	199,78	469,17

Źródło: opracowanie własne

Analizę przeprowadzono przy następujących założeniach:

1. Do obszaru podstrefy P6_5 wjeżdża 600 pojazdów w godzinie – są to zarówno pojazdy, które podróż kończą w podstrefie, jak również te, które przejeżdżają tranzytem.
2. Pojazd traci średnio 10 minut na poszukiwaniu wolnego miejsca, przemieszczając się ze średnią prędkością 16km/h – utrzymano założenia przyjęte w przykładach z rozdziału 2.3.3.
3. Do wyznaczenia jednostkowych kosztów zanieczyszczeń powietrza wykorzystano założenia [111].
4. Średnią emisję CO₂ przyjęto na poziomie 118,1 g/km, wg [61].

Wyniki przedstawione w tabeli (Tab. 5.12) pokazują skalę szacunkowych wartości kosztów ponoszonych w ciągu jednej godziny przez środowisko w wyniku przemieszczeń generowanych poszukiwaniem wolnego miejsca do parkowania w symulowanych warunkach. Są to koszty tym bardziej uciążliwe, że *search traffic* to przemieszczenia bez konkretnej motywacji, spowodowane wyłącznie

trudną sytuacją parkingową danego obszaru. Przy zmniejszeniu jego wielkości, istotnie zmniejszają się ponoszone niepotrzebnie koszty, które w skali całego śródmieścia, bądź nawet miasta, mogą przyczynić się m.in. do istotnej poprawy jakości powietrza.

5.9. Podsumowanie i wnioski z rozdziału 5

Treść rozdziału 5 w całości dotyczy wyznaczenia zależności spodziewanej wielkości ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego (*search traffic*) obserwowanego w danym obszarze od warunków parkowania w nim (poziomu obciążenia powierzchni parkingowej oraz deklarowanego czasu poszukiwania miejsca do zaparkowania). Dysponowanie wiedzą o tym jak duży ruch jest generowany takimi przemieszczeniami w sytuacji niedoboru miejsc parkingowych pozwala na przewidywanie zmian funkcjonowania systemu transportowego, które mogą nastąpić wskutek różnych decyzji podejmowanych w ramach realizowania polityki parkingowej danego miasta.

Proces poszukiwania miejsca parkingowego w bezpośredniej okolicy ostatecznego celu podróży (podjęcie decyzji o realizowaniu tego poszukiwania, wybór trasy, maksymalna akceptowalna odległość dojazdu od zaparkowanego samochodu do ostatecznego celu podróży, itd.) jest zależny od wielu czynników, w tym zarówno uwarunkowań technicznych, jak i subiektywnych odczuć każdego użytkownika systemu transportowego. Z tego względu zdecydowano, że do budowy modelu uzależniającego wielkość *search traffic* od poziomu obciążenia powierzchni parkingowej i długości czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca, przypadającego średnio na jednego kierowcę, wykorzystany zostanie model wnioskowania rozmytego. Model ten uwzględni zarówno istniejącą infrastrukturalną *zdolność* danej przestrzeni parkingowej do obsługi parkujących pojazdów, jak również indywidualną ocenę aktualnych warunków parkowania wyrażoną przez kierowców deklarowaną długością czasu poświęconego na znalezienie miejsca do zaparkowania.

Na uwagę zasługuje fakt, że ruch *search traffic* nie był w warunkach polskich obiektem żadnych badań, których wyniki zostałyby opublikowane i nie zaproponowano do tej pory sposobu na szacowanie jego wielkości. Modele autorów zagranicznych nie mogą być do tego wykorzystane w warunkach krajowych ponieważ:

1. opierają się w dużej mierze na zasadach funkcjonowania zagranicznych polityk parkingowych miast.
2. Modele sieciowe wymagają bardzo dużego zbioru danych o systemie transportowym, w tym danych technicznych dotyczących sieci ulic – przepustowości, dozwolonej prędkości jazdy, informacji o obszarach przeznaczonych do parkowania – inwentaryzacji ilościowej miejsc parkingowych, regulacji prawnych dotyczących parkowania, danych o zagospodarowaniu, liczbie mieszkańców, pracowników, klientów danego obszaru, itp. – wieloma z nich polskie miasta nie dysponują, zwłaszcza w wersji elektronicznej.
3. Modele uwzględniające czynniki behawioralne – tzw. *modele agentowe* – bazują natomiast dodatkowo na szczegółowych wzorcach zachowań różnych grup kierowców w różnych sytuacjach – co wymaga szeroko zakrojonych badań ankietowych, wywiadów i eksperymentów, które miałyby na celu określenie tych wzorców.
4. Zastosowanie modeli o charakterze symulacyjnym jest trudne do praktycznego zastosowania w warunkach operacyjnych. Wymaga zatrudnienia kadry odpowiednio przeszkolonej matematycznie lub w danym środowisku informatycznym albo regularnego prowadzenia szkoleń w tym zakresie.

Zaproponowany model oparty o wnioskowanie rozmyte, uwzględniający zarówno infrastrukturalne, jak i behawioralne aspekty funkcjonowania danego systemu parkingowego, pomimo zastosowania pewnych uproszczeń, wydaje się być poprawnym odzwierciedleniem sytuacji parkingowej danego obszaru. Jest przy tym względnie prosty w zastosowaniu. Dużą zaletą opracowanego modelu jest stosunkowo łatwa droga pozwalająca stworzyć i skalibrować układ wnioskujący – jeśli zaszłaby konieczność jego aktualizacji. Nie wymaga on kosztownych i czasochłonnych badań, a opiera się na danych, którymi znaczna większość dużych polskich miast dysponuje lub będzie dysponować – ze względu na możliwość wykorzystania ich także do innych celów.

Weryfikacja przyjętej metody jest mocno utrudniona, ze względu na opisywany brak dostatecznie szerokiej bazy wyników badań w zakresie wielkości *search traffic*. Wstępną weryfikację przeprowadzono więc w oparciu o wyniki autorskich lokalnych obserwacji terenowych, które miały na celu wyłącznie weryfikację występowania i wstępne oszacowanie możliwej wielkości ruchu tego rodzaju w obszarze śródmiejskim. Ze względu na dość zbliżone wyniki uzyskane z pomiarów terenowych oraz z zastosowania proponowanego modelu (uwzględniając różnego rodzaju niejednorodność danych wejściowych do modelu z uwarunkowaniami obszarowymi poligonu badawczego) stwierdzono, że przyjęta droga rozumowania jest usprawiedliwiona i otrzymany model będzie można wstępnie rekomendować. Należy jednak brać pod uwagę konieczność jego szczegółowej weryfikacji i ewentualnej korekty, która będzie możliwa do przeprowadzenia w łatwy sposób po zrealizowaniu kolejnych serii Kompleksowych Badań Ruchu, aktualizacji modeli ruchu oraz analiz parkowania (przy zachowaniu koordynacji tych przedsięwzięć).

6. Praktyczne aspekty analizy efektywności parkingowej obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym

Punktem wyjścia analizy efektywności funkcjonowania przykrawężnikowych powierzchni parkingowych w obszarach miejskich był (opisywany w rozdziale 4) brak precyzyjnych wskaźników, będących miarą tej efektywności, którą można poddać ocenie i porównywać w różnych obszarach. Nie określono szczegółowo do tej pory jaki poziom poszczególnych parametrów parkowania wykorzystywanych w analizach jest optymalny dla danego obszaru. Brakuje również podręczników porządkujących kwestie parkowania, polityki parkingowej, prowadzenia pomiarów i badań w tej kwestii oraz inżynierskiej analizy parametrów parkowania prowadzonej w warunkach polskich.

Rozdział 6 stanowi podsumowanie wszystkich wniosków odnoszących się do przeprowadzania 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.

6.1. Badania parkowania

Podstawową informacją o sytuacji parkingowej danego obszaru są wyniki przeprowadzonych w nim badań parkowania. Należy zwrócić uwagę, że pod pojęciem *badanie parkowania* można umieścić nie tylko kwestię pomiarów parkowania – wykonywanych w terenie obserwacji pojazdów parkujących w analizowanych obszarach (polegających na rejestrowaniu różnego rodzaju informacji o ich postojach na miejscach parkingowych), ale także badań ankietowych z parkującymi kierowcami.

6.1.1. Pomiary parkowania

Aktualnie najczęściej wykorzystywanymi parametrami parkingowymi są: *napelnienie dostępnej powierzchni parkingowej* (w_p), *rotacja pojazdów* (w_r), na miejscach postojowych oraz *średni czas postoju pojazdów* (t_p). Wszystkie trzy wymienione parametry można uzyskać w wyniku poprawnie przeprowadzonych obserwacji terenowych. Możliwe metody prowadzenia pomiarów parkowania (*metodę patrolową* oraz metodę wykorzystującą zapis wideo) opisano w rozdziałach 3.3.1 i 3.3.2. W poprzednich rozdziałach podkreślono również, że przytoczone trzy parametry parkowania nie są wystarczające do kompleksowej oceny efektywności dostępnej powierzchni parkingowej danego obszaru. Nie uwzględniają one tzw. *rzeczywistego popytu na parkowanie*, który określa liczbę pojazdów (kierowców), wyrażających chęć zaparkowania w określonym miejscu (również w sytuacji, gdy konieczne jest uiszczenie konkretnie określonej opłaty za postój), włącznie z tymi pojazdami (kierowcami), które nie mogą tego zrobić ze względu na brak wolnych miejsc parkingowych. Jest to miara, którą bardzo trudno dokładnie wyznaczyć w wyniku analizy danych z pomiarów terenowych, ponieważ pojazdy, które potencjalnie zajęłyby miejsca postojowe w danym obszarze – z powodu ich braku są *nieuchwytnie*: kierowcy *krążą* w poszukiwaniu stanowiska postojowego, rezygnują z postoju, zmieniają cel podróży, itd. Dopiero określenie lub choćby oszacowanie rzeczywistej liczby tych pojazdów daje pogląd na to jak efektywnie funkcjonuje system parkingowy w analizowanym obszarze (czy zapotrzebowanie przekracza podaż, czy też nie). Planując i realizując pomiary terenowe należy więc wziąć pod uwagę, że wyznaczenie parametrów parkowania dla liczby pojazdów parkujących w danym czasie na stanowiskach postojowych nie jest wystarczającą informacją, która określi stopień efektywności funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej, a do jej określenia wymagane jest (opisane w rozdziale 4) porównanie wielkości podaży i popytu na parkowanie. Ponieważ ocena efektywności funkcjonowania danej powierzchni parkingowej zależy od tego ile pojazdów wjeżdża w określonym czasie do analizowanego obszaru, planując badania parkowania należy wziąć pod uwagę, że do analizy ich wyników niezbędnymi są informacje o podróżach realizowanych do analizowanego obszaru – które można pozyskać z pomiarów terenowych lub z modelu ruchu dla danego miasta.

Badania ruchu są w dużych miastach wykonywane cyklicznie, najczęściej w ramach Kompleksowych Badań Ruchu i stanowią wtedy duże przedsięwzięcie w skali całego miasta. Informacje o podróżach realizowanych w mieście, uzyskane z Kompleksowych Badań Ruchu stanowią obiecującą bazę danych, które mogą być wykorzystane także w analizie efektywności funkcjonowania miejskich przestrzeni parkingowych. Z tego powodu, planowanie pomiarów parkowania powinno odbywać się z uwzględnieniem uwarunkowań badań ruchu – w szczególności w zakresie przestrzennej i czasowej koordynacji tych badań (jednolite: poligony badawcze, okresy prowadzenia pomiarów, jednostka czasu w analizie danych).

6.1.2. Badania ankietowe

Biorąc pod uwagę założony wpływ subiektywnej oceny sytuacji na decyzje podejmowane przez człowieka (kierowcę) podczas wyboru miejsca parkingowego, badania ankietowe stanowią istotne uzupełnienie danych o sytuacji parkingowej danego obszaru pozyskanych z obserwacji terenowych. Pozwalają na sprecyzowanie zachowań kierowców w określonych sytuacjach i dają pogląd na subiektywny odbiór warunków parkowania. Dzięki tym informacjom możliwe jest, przynajmniej częściowo, określenie zakładanego wpływu tzw. *czynnika ludzkiego* na zachowania w systemie parkingowym i uwzględnienie go przy ocenie parametrów uzyskanych z obiektywnych obserwacji.

Wywiady ankietowe prowadzone z kierowcami parkującymi pojazdy na miejscach postojowych w przestrzeni parkingowej miasta najczęściej skupiają się na zbieraniu opinii tych kierowców, głównie nt. wysokości aktualnej stawki za godzinę postoju oraz informacji dotyczących bieżącej podróży (motywacja, źródło i cel podróży, sposób opłacenia parkowania w SPP, rodzaj abonamentu, itp.). Rzadko zadawane są pytania dotyczące trudności znalezienia wolnego miejsca do parkowania, czasu traconego na poszukiwanie tego miejsca, czy maksymalnego akceptowalnego czasu, bądź odległości dojścia pieszego od zaparkowanego samochodu do ostatecznego celu podróży, itp. Należy mieć na uwadze, że przy często ograniczonym budżecie przeznaczonym na realizację badań parkowania, informacje uzyskane z badań ankietowych stanowią istotne źródło danych przy względnie małym koszcie.

6.2. Wyznaczanie poziomu obciążenia powierzchni parkingowej

Oceny efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej danego obszaru można dokonać z wykorzystaniem zaproponowanego *wskaźnika poziomu obciążenia powierzchni parkingowej* (ρ_p), (rozdział 4.7). Opiera się on na porównaniu podaży i rzeczywistego popytu na parkowanie w określonym obszarze. W rozdziale 4.7.2 zdefiniowano pojęcie podaży parkingowej i rzeczywistego popytu na parkowanie w kontekście tej analizy, a także sprecyzowano warunki, jakie muszą być spełnione przy przygotowywaniu bazy danych wejściowych.

Podaż parkingowa ustalana jest na podstawie wskaźnika rotacji parkingowej (w_r), dla danego obszaru wyrażonego w jednostce czasu, jaką jest jedna godzina oraz całkowitej liczby dostępnych miejsc parkingowych danego obszaru (m_p). Jeśli analiza wykonywana jest dla przestrzeni parkingowej przykrawężnikowej, daną wejściową do analizy jest całkowita liczba dostępnych miejsc przykrawężnikowych.

Pomiar i wyznaczenie wskaźnika rotacji parkingowej (w_r) jest zagadnieniem znanym i szeroko wykorzystywanym w praktyce, dlatego procedura realizowania pomiaru i wyznaczenia wskaźnika rotacji nie jest kwestią problematyczną. Wskaźnik rotacji parkingowej (w_r) określa jaka liczba pojazdów wykorzystywała jedno miejsce parkingowe w analizowanym okresie czasu. Niedoprecyzowana pozostawała do tej pory jednak m.in. analizowana jednostka czasu, którą należy brać pod uwagę przy określaniu wskaźnika rotacji. Najczęściej podawany jest on dla jednego miejsca parkingowego w całym okresie analizy – który zależy od preferencji i wymagań zlecającego tę analizę. Na potrzeby wyznaczenia wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej (ρ_p) określono, że wskaźnik rotacji parkingowej (w_r) powinien być wyznaczany dla okresu jednej godziny. Zostało to podyktowane przede wszystkim faktem, że *godzina* jest uniwersalną jednostką czasu wykorzystywaną szeroko w analizach

transportowych, zarówno tych dotyczących ruchu, jak i parkowania pojazdów – co pozwala na wykorzystywanie do omawianej analizy funkcjonowania przestrzeni parkingowej danych już zgromadzonych przy okazji innych badań. Pozwala to także na porównywanie ze sobą intensywności wymiany pojazdów na miejscach parkingowych w różnych porach dnia. Należy tutaj zwrócić uwagę, że prezentowanie wartości wskaźnika rotacji parkingowej (w_r) dla okresu jednej godziny może spowodować pewną trudność w jego interpretacji, ponieważ liczba pojazdów parkujących na jednym miejscu postojowym w okresie godziny rzadko przekracza 1 pojazd (zwłaszcza w obszarach śródmiejskich) – co oznacza, że rotacja dla jednej godziny najczęściej będzie wyrażana ułamkiem.

W znowelizowanej wersji *Ustawy o drogach publicznych* [178], wskaźnik rotacji parkingowej (w_r) jest miarą, na wartościach której mają opierać się zmiany stawek za postój pojazdów w strefie płatnego parkowania – jednak bez szczegółowych wytycznych, co do sposobu jej wyliczania oraz prognozowania, a także oceny. Postuluje się, aby w tym celu wyznaczać wartość wskaźnika rotacji parkingowej (poza jedną wartością dla całego okresu pomiarowego i średniej dla jednej godziny) również dla godziny szczytu (porannego i popołudniowego) zgodnie z definicją – w przeliczeniu na jedno miejsce parkingowe, ale także sumarycznie dla całego analizowanego obszaru (rejonu komunikacyjnego lub podstrefy SPP). Według propozycji zawartej w rozdziale 4.7.2, określi ona wtedy aktualną *zdolność parkingową* danego obszaru. Ostateczna jej wartość powinna być konfrontowana z szacunkową wielkością popytu na parkowanie w odpowiednim okresie czasu. Z wykorzystaniem danych z modelu ruchu dla miasta, można ustalić jaka wartość wskaźnika rotacji parkingowej musi zostać osiągnięta, aby system parkingowy funkcjonował poprawnie i w pełni zaspokajał potrzeby parkingowe – obecne i/lub prognozowane.

Popyt na parkowanie natomiast jest trudny do oszacowania – zwłaszcza biorąc pod uwagę, że stanowią go zarówno pojazdy wjeżdżające do obszaru i w nim parkujące, jak również te, które nie były w stanie zaparkować z powodu deficytu miejsc parkingowych (*popyt rzeczywisty*). Ponieważ zidentyfikowanie tego popytu na podstawie pomiarów terenowych jest bardzo trudne, w szczególności dla większego obszaru, przykładowo całego obszaru strefy płatnego parkowania, rekomenduje się wykorzystanie do tego celu informacji o podróżach pozyskanych z innych możliwych źródeł, w tym wyników *Kompleksowych Badań Ruchu* i przygotowanego na ich podstawie modelu ruchu dla danego miasta.

6.2.1. Wykorzystanie danych o podróżach do formułowania wniosków dotyczących obciążenia powierzchni parkingowej

Regularne realizowanie *Kompleksowych Badań Ruchu* (KBR) w miastach daje wiele możliwości dla wykorzystania ich wyników – w szczególności do budowy modelu ruchu [87], [200]. W najprostszej wersji w ramach KBR realizowane są m.in. [87], [200]:

- badania reprezentacyjne podróży,
- pomiary natężeń ruchu, a w tym: pomiary *ekranowe* i pomiary *kordonowe*,
- pomiary warunków ruchu,

a dodatkowo mogą zostać zrealizowane także:

- badania preferencji użytkowników – w celu dokonania oceny i oczekiwań jakości funkcjonowania systemu transportowego.

Baza wyników KBR stanowi więc najbardziej szczegółową i obszerną informację o podróżach realizowanych w danym mieście. W oparciu o wyniki KBR budowany jest model potoków ruchu, który – wg A. Krycha [87] jest: *matematycznym zapisem struktury popytowej transportu, ujmujący decyzje transportowe użytkowników systemu transportowego w postaci funkcji matematycznych zależnych od podażowej struktury transportu oraz struktury zagospodarowania przestrzennego (...)*. Pozwala więc na prowadzenie szeregu analiz [66], [87], ale przede wszystkim na ustalenie liczby podróży wykonywanych do i z ustalonych obszarów miasta w przyjętej jednostce czasu.

6.2.1.1. Wykorzystanie modelu ruchu w analizie obciążenia powierzchni parkingowej

W analizie efektywności funkcjonowania powierzchni parkowania przykrawężnikowego danego miasta istotnymi są informacje o całkowitej liczbie pojazdów wjeżdżających w danej jednostce czasu do określonego obszaru (podróże wykonywane samochodami indywidualnymi, kończące się w tym obszarze – tzw. *atrakcja ruchu*). Liczba kończących się w danym obszarze podróży, odzwierciedlająca rzeczywisty popyt na parkowanie, stanowi podstawę analizy efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej.

Najczęściej stosowaną jednostką czasu, przyjętą dla modelu ruchu, jest godzina szczytu – porannego lub popołudniowego. Ponieważ budowa i kalibracja modelu ruchu to przedsięwzięcie na bardzo dużą skalę, a model raz zbudowany stanowi podstawę różnego rodzaju analiz transportowych będąc aktualizowany – do jego uwarunkowań powinny być dostosowane wszystkie badania, których wyniki będą analizowane w powiązaniu z danymi, które można z niego pozyskać. W związku z tym, jednostka czasu przyjęta w modelu ruchu powinna determinować także warunki pomiarów parkowania i analizy ich wyników (przykładowo, jeśli w modelu ruchu operuje się godziną szczytu porannego, jako jednostką czasu – pomiary parkowania powinny być zaplanowane tak, aby pomiar swoim zakresem czasowym obejmował również godzinę szczytu porannego, itd.). Dzięki temu, możliwe jest zestawienie danych o podróży zakończonych w danym obszarze z danymi o parkowaniu w tym samym obszarze – w tym samym okresie czasu. Jest to istotne zwłaszcza biorąc pod uwagę zmienność ruchu w kolejnych godzinach dnia.

Budowa modelu ruchu bazuje na podziale miasta na tzw. *rejon komunikacyjny*. Każdemu rejonowi komunikacyjnemu można wówczas przypisać obliczoną liczbę podróży w nim się rozpoczynających (*produkcja*) i kończących (*atrakcja*) – jest więc możliwość określenia rzeczywistego popytu na parkowanie dla każdego rejonu komunikacyjnego. Podział miasta na rejon komunikacyjny opiera się na założeniu jednorodności rejonów pod względem zachowań komunikacyjnych. Granicą rejonu są więc najczęściej naturalne bariery komunikacyjne, jak przykładowo drogi wysokich klas, rzeki, linie kolejowe, itp. Bazując na tej definicji przyjęto, że rejon komunikacyjny jest najlepszym odzwierciedleniem granicy przestrzennej przemieszczeń realizowanych w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego. Rekomenduje się więc, aby ustalając poligon dla planowanych pomiarów parkowania, jak również badań ankietowych w tym zakresie brać pod uwagę granice rejonów komunikacyjnych analizowanego miasta, a zakres terenowy pomiaru parkowania obejmował ulice znajdujące się wewnątrz wybranych rejonów. Istotnym jest, że w przypadku KBR oraz innych badań ruchu rekomenduje się zachowanie ciągłości przyjętych granic rejonów komunikacyjnych danego miasta w czasie – w celu umożliwienia analiz zmian i tendencji w różnych horyzontach czasu [87]. Dzięki utrzymywaniu koordynacji pomiędzy prowadzonymi badaniami parkowania i uwarunkowaniami modelu ruchu, możliwym będzie uwzględnienie w analizach parkowania wielkości przemieszczeń realizowanych w danym obszarze miasta.

6.2.1.2. Wykorzystanie wyników Kompleksowych Badań Ruchu

Model ruchu, bazując na wynikach *Kompleksowych Badań Ruchu* pozwala na oszacowanie liczby podróży wykonywanych pomiędzy wszystkimi rejonami komunikacyjnymi w danym mieście. KBR swoim zakresem obejmuje jednak nie tylko pomiary ruchu, ale także inne badania, w tym także wywiady ankietowe. W warunkach krajowych stosuje się najczęściej klasyczny sposób pozyskiwania informacji w postaci wywiadów w gospodarstwach domowych. Jest to podejście kosztowne, lecz wyniki końcowe prawidłowo przeprowadzonych badań stanowią dobrą bazę wyjściową do procesu modelowania podróży i budowy transportowych modeli symulacyjnych. Mają one charakter badań preferencji stwierdzonych, dotyczących zachowań transportowych ankietowanych osób w dniu poprzedzającym wywiad i są prowadzone w gospodarstwach domowych, wylosowanych wcześniej do wzięcia udziału w badaniach [171]. Podstawą takiego wywiadu są pytania o podróże realizowane dnia poprzedniego, ale mogą to być także pytania o preferencje dotyczące podróży ogółem – a w tym również parkowania. Baza wyników KBR stanowi niezastąpioną bazę informacji o podróży realizowanych w danym mieście, a w przy przeprowadzaniu analizy efektywności funkcjonowania powierzchni parkingowych

przykrawężnikowych jest jedynym tak obszernym, potencjalnym źródłem informacji o parkowaniu użytkowników systemu transportowego.

W wywiadach przeprowadzanych w gospodarstwach domowych, realizowanych w ramach KBR, nacisk kładziony jest na kwestie dotyczące przemieszczeń: środka transportu wykorzystywanego w podróży, motywacji, określeniu punktu docelowego i źródłowego (rejonu docelowego i źródłowego) podróży, itp. Bardzo rzadko natomiast poruszane są w nich kwestie związane z parkowaniem. Wśród 9 przeanalizowanych raportów zawierających wyniki takich badań dla miast: Warszawy [187], Wrocławia [191], Gdańska [59], Krakowa [113], Szczecina [81], Łodzi [14] oraz Subregionu Centralnego Województwa Śląskiego [112], Radomskiego Obszaru Funkcjonalnego [115] i Aglomeracji Rybnickiej [114] – tylko w krakowskim i łódzkim badaniu respondentom zadano pytanie o miejsce parkowania pojazdu. W badaniu łódzkim, ankietowani w ramach odpowiedzi dotyczących wczorajszej podróży, jeśli zadeklarowali podróż odbywaną własnym samochodem, podawali także miejsce parkowania, wybierając wśród następujących możliwości odpowiedzi: *na jezdni, na chodniku, bez opłat * parking ogólnodostępny płatny * parking ogólnodostępny bezpłatny * parking prywatny firmy * garaż * inne (teren nieurządzony, na podjeździe, wjeździe, na jezdni w strefie płatnego parkowania)*. Nie wydzielono jednak możliwości parkowania na jezdni w strefie płatnego parkowania, jako osobnej kategorii. W badaniu krakowskim, ankietowani także pytani byli o miejsca parkowania pojazdu w podróży dnia wczorajszego – wybierali spośród następujących możliwości odpowiedzi: *na jezdni/chodniku bez opłat * na jezdni w strefie płatnego parkowania * na ogólnodostępnym parkingu bezpłatnym * na ogólnodostępnym parkingu płatnym * na prywatnym parkingu firmy * w garażu * w innym miejscu*. Dzięki odpowiedziom na to pytanie, możliwe było określenie jaka część podróży kończących się w danych rejonach komunikacyjnych, kończyła się na miejscach postojowych przykrawężnikowych. Należy tutaj zwrócić uwagę, że podróż kończona w danym rejonie komunikacyjnym może zakończyć się na miejscu parkingowym przykrawężnikowym, ale także na miejscu parkingowym w garażu podziemnym, na posesji prywatnej, w podworcu kamienicy, na terenie parkingu danego zakładu pracy, itp. W ramach analizy efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowych, zestawiając informacje o rzeczywistym popycie na parkowanie danego rejonu komunikacyjnego oraz jego podaży parkingowej, należy wziąć pod uwagę, że obydwie wskaźniki muszą dotyczyć jednakowego obszaru analizy. Jeśli rzeczywisty popyt na parkowanie (liczba podróży indywidualnych, kończących się w danym rejonie komunikacyjnym) jest podany ogólnie, bez korekcji, która uwzględniłaby, że część z tych podróży kończy się na parkingach prywatnych, wydzielonych, innych niż miejsca przy ulicy – również wskaźnik rotacji parkingowej wyznaczony w celu określenia podaży parkingowej musi zostać oszacowany dla wszystkich miejsc parkingowych, włącznie z miejscami prywatnymi. Należy również dysponować wiedzą o liczbie miejsc przykrawężnikowych (które łatwo zliczyć w ramach inwentaryzacji), ale także miejsc prywatnych, na parkingach wydzielonych, w garażach, etc.

Biorąc pod uwagę, że informacja o okolicznościach parkowania i zwyczajach z tym związanych jest istotnym uzupełnieniem informacji o sposobie i przyzwyczajeniach odbywania codziennych podróży rekomenduje się, aby pytania zadawane w ramach wywiadów prowadzonych w gospodarstwach domowych (podczas KBR) obejmowały także serię pytań dotyczących parkowania – zarówno w odniesieniu do zachowań komunikacyjnych związanych z parkowaniem, jak również preferencji.

6.2.2. Inwentaryzacja miejsc parkingowych, a dokładność pomiaru parkowania

Inwentaryzacja ilościowa miejsc parkingowych jest istotna podczas wyznaczania wielkości parametrów parkowania dla ulic, a w szczególności *wskaźnika napełnienia powierzchni parkingowej* (w_p). Wskaźnik ten odnosi liczbę zajętych w danym momencie czasu miejsc parkingowych (p_p), do całkowitej liczby miejsc parkingowych (m_p) dostępnych w danym obszarze, na danej ulicy. Kwestią niedoprecyzowaną w praktycznym aspekcie analizy napełnienia powierzchni parkingowej jest pojęcie *całkowitej liczby miejsc parkingowych* (m_p) dostępnych w danym obszarze. Wielkość ta może być interpretowana w następujący sposób:

1. całkowita liczba miejsc parkingowych danego obszaru jest równa całkowitej liczbie miejsc parkingowych wyznaczonych w tym obszarze zgodnie z wytycznymi określonymi w [132], o wymiarach 2,5 x 6m (parkowanie równoległe) lub 2,5 x 5m (parkowanie prostopadłe),
2. całkowita liczba miejsc parkingowych danego obszaru, jest równa maksymalnej liczbie pojazdów, która może zostać zaparkowana w obrębie powierzchni parkingowej danego obszaru,
3. całkowita liczba miejsc parkingowych danego obszaru, jest równa średniej liczbie pojazdów, która może zostać zaparkowana w obrębie powierzchni parkingowej danego obszaru.

Różnica w liczbie ostatecznie przyjętej jako *całkowita liczba dostępnych miejsc parkingowych* danego obszaru (m_p) z wykorzystaniem każdej z 3 podanych definicji może być duża, co rodzi nieścisłości w interpretacji otrzymanej wielkości napelnienia danej powierzchni parkingowej (w_p). Różnica ta wynika z faktu niejednakowej długości i szerokości pojazdów wykorzystywanych w codziennych podróżach, odnoszonych do wyznaczonych miejsc parkingowych o konkretnych wymiarach. Powoduje to, że liczba wyznaczonych formalnie miejsc parkingowych przykrawężnikowych w ciągu danej ulicy jest zwykle o wiele niższa, niż liczba pojazdów, które fizycznie zmieszczą się w wyznaczonej przestrzeni parkingowej. Różnica ta jest widoczna zwłaszcza w przypadku parkowania równoległego. Stwierdzenie to potwierdziły wyniki pomiaru parkowania realizowanego metodą wykorzystującą rejestrację wideo – opisane w rozdziale 3.3. Przykład może stanowić tutaj również liczba pojazdów zaparkowanych przy wybranych ulicach w Krakowie – uzyskana w wyniku pomiaru parkowania przeprowadzonego na zlecenie Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie [45], porównana z danymi o liczbie miejsc parkingowych formalnie wyznaczonych na tej samej ulicy (Tab. 6.1).

Tab. 6.1. Liczba miejsc parkingowych wyznaczona na podstawie [132] oraz na podstawie maksymalnej liczby parkujących pojazdów

Ulica	Liczba miejsc parkingowych			
	wyznaczonych znakowaniem poziomym zgodnie z [132]	wg maksymalnej liczby pojazdów parkujących w dniu roboczym	wg maksymalnej liczby pojazdów parkujących w sobotę	wg maksymalnej liczby pojazdów parkujących w niedzielę
Smoleńsk	62	72	71	75
Rejtana	30	35	36	33

Zródło: opracowanie własne na podstawie [45] i [132].

W efekcie, przyjęcie jako *całkowitej liczby miejsc parkingowych danego obszaru* (m_p) liczby miejsc parkingowych wyznaczonych formalnie – wg wytycznych [132], spowoduje, że w większości poligonów badawczych wyznaczonych w obszarach o odczuwanym deficycie miejsc parkingowych, przeważać będzie napelnienie większe od 100%, interpretowane jako występowanie parkowania nielegalnego (poza wyznaczonym miejscem parkingowym), co niekoniecznie będzie zgodne z prawdą. W tabeli (Tab. 6.2) wyznaczono wielkość wskaźnika napelnienia powierzchni parkingowej (w_p) dla przyjętej liczby zaparkowanych pojazdów (65 i 32 pojazdy zaparkowane w przestrzeni parkingowej przykrawężnikowej odpowiednio przy ulicy Smoleńsk i ulicy Rejtana). Wskaźnik napelnienia powierzchni parkingowej (w_p) wyznaczony w oparciu o liczbę miejsc wyznaczonych zgodnie z warunkami określonymi w [132] w obu przypadkach przekroczył 100%. Napelnienie powierzchni parkingowej ulicy Smoleńsk wynoszące 105% można zinterpretować, jako że 5% pojazdów zaparkowano tam nielegalnie. Ten sam wskaźnik napelnienia dla tej samej liczby zaparkowanych pojazdów, wyznaczony jednak w oparciu o maksymalną liczbę pojazdów rzeczywiście zaparkowanych w danej wyznaczonej przestrzeni parkingowej w analizowanym okresie czasu jest znacznie niższy. Zwłaszcza w niedzielę, gdy liczba pojazdów, które w 100% realnie wypełniły powierzchnię parkingową jest najniższa – kierowcy najprawdopodobniej pozostawiali większe przerwy pomiędzy zaparkowanymi samochodami, a poziom napelnienia wyniósł blisko 85% – czyli wartość bliską poziomowi uznanemu za optymalny.

Tab. 6.2. Napełnienie miejsc postojowych wyznaczona na podstawie [132] oraz na podstawie maksymalnej liczby parkujących pojazdów

Ulica	Liczba zaparkowanych pojazdów	Liczba miejsc parkingowych			
		wyznaczonych znakowaniem poziomym zgodnie z [132]	wg maksymalnej liczby pojazdów parkujących w dniu roboczym	wg maksymalnej liczby pojazdów parkujących w sobotę	wg maksymalnej liczby pojazdów parkujących w niedzielę
		[%]	[%]	[%]	[%]
Smoleńsk	65	105	90	92	87
Rejtana	32	107	91	89	97

Źródło: opracowanie własne na podstawie [45] i [132].

Z punktu widzenia wyznaczenia miarodajnego wskaźnika napełnienia powierzchni parkingowej (w_p) najbardziej adekwatnym wydaje się być odniesienie liczby zajętych miejsc parkingowych do maksymalnej liczby pojazdów, które zaparkowały w przestrzeni parkingowej analizowanego obszaru w okresie analizy – uwzględniając także wolne miejsca, w przypadku gdy badana jest sytuacja parkingowa obszaru o małym popycie na parkowanie. Innymi słowy należy określić jaka maksymalna liczba pojazdów zmieściła się w wyznaczonej przestrzeni parkingowej w okresie pomiaru – wypełniając ją w 100%. Można również, na podstawie wieloletnich badań, określić średnią liczbę pojazdów mieszczących się zazwyczaj na danym odcinku ulicy i stosować ją konsekwentnie we wszystkich kolejnych seriach pomiarów parkowania.

6.3. Wyznaczanie wielkości ruchu *search traffic*

Do określenia efektywności funkcjonowania powierzchni parkingowej w danym obszarze wystarczającym jest określenie poziomu obciążenia powierzchni parkingowej. Wartość wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej (ρ_p) wskazuje, czy podaż parkingowa danego obszaru jest wystarczająca, żeby zaspokoić rzeczywisty popyt na parkowanie w nim. Jeśli zdolność parkingowa jest bliska wyczerpania, należy się spodziewać, że wśród pojazdów przemieszczających się w sieci drogowej – ulicznej danego obszaru pojawią się także pojazdy poszukujące wolnego miejsca do zaparkowania (*search traffic*). Sama wartość wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej (ρ_p) wyczerpująco informuje o tym, czy liczba miejsc parkingowych dostępna w danym obszarze jest wystarczająca dla spodziewanego popytu oraz co za tym idzie – czy konieczne jest podjęcie działań, mających na celu utrzymanie odpowiedniego buforu wolnych miejsc parkingowych. Wyznaczenie spodziewanej wielkości ruchu *search traffic* (u_{sz}) obserwowanego w sieci drogowej – ulicznej danego obszaru może natomiast stanowić istotną pomoc w procesie podejmowania decyzji związanych z redukcją lub zwiększeniem liczby miejsc parkingowych danego obszaru miasta. Pozwala na określenie wielkości dodatkowego ruchu pojazdów, jakiego można się spodziewać w wyniku tych zmian.

Do ustalenia wielkości ruchu *search traffic* (u_{sz}) z wykorzystaniem wzoru (54), zaproponowanego w pracy niezbędnym jest określenie poziomu obciążenia powierzchni parkingowej analizowanego obszaru (ρ_p) oraz uzyskanie informacji o długości czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca w tym obszarze (t_{asz}), w przeliczeniu średnio na jednego kierowcę.

6.4. Ograniczenia w zastosowaniu proponowanego modelu udziału ruchu *search traffic* w ruchu ogólnym

Zastosowanie wyznaczonego wzoru (54), określającego spodziewany udział ruchu *search traffic* (u_{sz}) w ruchu ogólnym obserwowanym w danym obszarze ma następujące ograniczenia:

1. Istotnym jest, że skutki poprawy dostępności do istniejącej przestrzeni parkingowej (zmniejszenie poziomu obciążenia powierzchni parkingowej) mogą generować dodatkowe podróże, które nie odbyłyby się, gdyby dostępność miejsc parkingowych u celu podróży była

niska (*ruch wzbudzony*). Należy więc przyjąć, że opisywana zależność jest prawdziwa przy uwzględnieniu faktu, że zmniejszenie napełnienia powierzchni parkingowej może powodować *ruch wzbudzony*, a pojazdy te wypełniłyby wypracowany bufor miejsc postojowych.

2. Dla ułatwienia procesu analizy, a także umożliwienia praktycznego zastosowania otrzymanych jej wyników, przyjęto uproszczenia polegające na założeniach, że:
 - a. do analizy obciążenia przestrzeni parkingowej przyjmuje się uśrednioną liczbę pojazdów kończących podróże w analizowanym obszarze oraz uśrednioną intensywność obsługi pojazdów na miejscach parkingowych (wskaźnik rotacji parkingowej),
 - b. nie bierze się pod uwagę losowości interwałów wjazdów poszczególnych pojazdów do obszaru analizy oraz losowości długości czasów ich postoju.
3. Do określenia poziomu obciążenia powierzchni parkingowej danego obszaru, w szczególności dla więcej niż jednego wydzielonego obszaru miasta (przykładowo poszczególnych podstref SPP) bardzo przydatnym jest dysponowanie modelem ruchu dla danego miasta oraz bazą danych o podróżach jego mieszkańców, wykonywaną w ramach *Kompleksowych Badań Ruchu*. Pozyskanie danych dla konkretnego obszaru bez możliwości posłużenia się, zwłaszcza, modelem ruchu może rodzić konieczność zorganizowania szczegółowych pomiarów ruchu, co jest operacją czasochłonną i kapitałochłonną.
4. Obszar, dla którego (z wykorzystaniem zaproponowanego modelu) wyznaczona ma zostać wielkość spodziewanego udziału ruchu *search traffic* (u_{sz}) musi odpowiadać granicom jednego lub kilku/kilkunastu rejonów komunikacyjnych. Wyznaczenie udziału *search traffic* dla obszaru mniejszego – przykładowo, obejmującego kilka lub nawet jedną ulicę – nie da realnego wyniku ze względu na dużą liczbę przemieszczeń pomiędzy ulicami w tym obszarze. Stanowi to uciążliwość, zwłaszcza przy określaniu liczby pojazdów wjeżdżających do danego obszaru na podstawie pomiarów terenowych.

6.5. Podsumowanie rozdziału 6

Ocena efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowych, a zwłaszcza tych z parkowaniem przykrawężnikowym, wydaje się być stosunkowo łatwą do przeprowadzenia analizą. Opiera się ona na określeniu parametrów parkowania w wybranych do tej analizy obszarach. Coraz większa liczba miast zleca przeprowadzenie odpowiednich pomiarów parkowania, a analiza ich wyników stanowi podstawę do wprowadzania (niejednokrotnie niepopularnych) zmian w organizacji systemu parkingowego. W rozdziale 6 zawarto podsumowanie wszystkich wniosków sformułowanych w odniesieniu do przeprowadzania badań parkowania oraz analizy ich wyników, które zawarto w poprzednich rozdziałach.

Podkreślenia wymaga fakt, że ostatnie zmiany prawne spowodowały istotne zwiększenie zapotrzebowania na badania parkowania. *Ustawa z dnia 5 lipca 2018 r. o zmianie ustawy o partnerstwie publiczno-prywatnym i niektórych innych ustaw* [180], w tym *Ustawy z 21 marca 1985 r. o drogach publicznych* [178] wprowadziła obowiązek przeprowadzenia analizy funkcjonowania strefy płatnego parkowania w sytuacji, gdy miasto przygotowuje się do wprowadzenia śródmiejskiej strefy płatnego parkowania, a co za tym idzie do zmiany wysokości stawek godzinowych za postój w tym obszarze (rozdział 1.2). Nie opublikowano przy tym dokładnych wytycznych, co do sposobu prowadzenia tej analizy.

Istotnym jest także, że w prowadzonych najczęściej analizach wyników pomiarów parkowania oraz ewentualnie przeprowadzonych ankiet z kierowcami parkującymi w danych obszarach, często nie uwzględnia się porównania podaży parkingowej danego obszaru z popytem na parkowanie w nim. Obserwowanym nierzadko zjawiskiem jest, że badania parkowania zlecane są bez uwzględnienia uwarunkowań innych badań, jak również szczególnie istotnych danych, wyznaczanych w oparciu o model ruchu dla miasta [118], [119], [120]. Dane takie w większości dużych miast polskich są mniej lub bardziej regularnie pozyskiwane, analizowane i (co ważne) publikowane. W koordynacji tych przedsięwzięć (badań parkowania, badań natężenia ruchu, badań zachowań komunikacyjnych mieszkańców, budowy modelu ruchu) w skali miasta upatruje się zwiększenia dokładności analiz

efektywności systemów parkingowych. Z tego względu, w rozdziale 6 zawarto zbiór rekomendacji do wykorzystania przy planowaniu pomiarów parkowania dla celów określenia efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowych obszarów miejskich.

7. Podsumowanie pracy

Kreowanie i realizacja polityki parkingowej jest jednym z ważniejszych zagadnień, z którymi należy się zmierzyć w ramach zarządzania systemem transportowym miasta. Decyzje, które kojarzone są wyłącznie z problematyką parkowania, skutkują zmianami w szerszym ujęciu – w tym zmianami wielkości potoków ruchu obserwowanych w sieci drogowo – ulicznej. Ponieważ problemy parkingowe miast, bez względu na opisaną zależność, wydają się być traktowane jako problemy drugorzędne – w stosunku do problemów zatłoczenia ulic i wydolności systemu transportu zbiorowego – zdecydowano, że wśród celów pracy powinny się znaleźć zarówno aspekty naukowe, jak i praktyczne.

Podstawowym celem naukowym pracy było określenie związku stopnia efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowych w obszarach miejskich z wielkością ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego w tych obszarach (*search traffic*). Związek ten określono, po uprzednim zdefiniowaniu wskaźników, które by tę efektywność kwantyfikowały, pozwalając tym samym na jej ocenę i porównywanie w różnych częściach analizowanego miasta.

W pierwszej kolejności ukazano istotę racjonalnego kształtowania polityki parkingowej miasta w odniesieniu do jego obsługi transportowej. Opisano jakimi narzędziami (organizacyjnymi, prawnymi) w tym zakresie mogą posługiwać się miasta, wskazano także ich istotne ograniczenia. Podkreślono, że istnieje związek pomiędzy efektywnością funkcjonowania systemu parkingowego, a wielkością ruchu obserwowanego w sieci drogowo – ulicznej miasta, czego dowodzą autorzy zagranicznych publikacji. Zwracają oni uwagę, że w obszarach o dużym deficycie miejsc postojowych stwierdza się występowanie ruchu generowanego przemieszczeniami realizowanymi w poszukiwaniu wolnego miejsca postojowego. Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury ustalono, że relacji tej w warunkach polskich nie badano, pomimo, że świadomość o występowaniu tego rodzaju przemieszczeń jest dość duża – jednak bez szczegółowej wiedzy w tym zakresie.

Uzupełnieniem postawionego problemu był wnikliwy przegląd literatury dotyczącej ruchu *search traffic*: definicji i interpretacji ruchu tego rodzaju, możliwych czynników wpływających na jego występowanie i parametry, przegląd stanu badań, metody badawcze, przykłady modelowania, stopień uwzględnienia w analizach różnego rodzaju. Przeprowadzono także lokalnie badania *ruchu search traffic* w warunkach polskich w dwóch miastach – w Krakowie i we Wrocławiu – które miały na celu potwierdzenie jego występowania, a także oszacowanie jego wielkości. Zarówno w Krakowie, jak i we Wrocławiu przeprowadzono również szeroko zakrojone badania ankietowe, w których pytano respondentów m.in. o długość czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego. Na podstawie przeprowadzonych badań ostatecznie potwierdzono występowanie *search traffic* także w warunkach polskich.

Na podstawie wyników badań oraz przeglądu literatury założono, że wielkość ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do parkowania zależy od *efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej*, która determinuje warunki parkowania w danym obszarze. Do tej pory nie sprecyzowano parametru, który by tę efektywność mierzył, dlatego w ramach badań własnych podjęto próbę jego zdefiniowania. Cel ten został zrealizowany – w oparciu o teorię masowej obsługi zdefiniowano *wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej*, który poprzez analizę relacji podaży i popytu na parkowanie określa, jaką część zapotrzebowania jest zdolny obsłużyć analizowany obszar. Wyznaczono taki wskaźnik dla wszystkich podstref strefy płatnego parkowania w Krakowie.

Bazując na wartościach *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* rozpoczęto pracę nad budową modelu, którego celem był opis zależności wielkości ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca do parkowania od warunków parkowania, wyrażonych przez ten wskaźnik. Ponieważ brak jest doświadczeń krajowych w tym zakresie oraz ze względu na wysoki koszt badań, które musiałyby być realizowane na bardzo szerokiej skali, nie było możliwe określenie wielkości ruchu *search traffic* na drodze empirycznej. Zdecydowano się na podejście polegające na wyborze układu wnioskowania rozmytego, bazującego na teorii zbiorów rozmytych. Wykorzystując wyniki wielu badań ankietowych możliwe było określenie formuł funkcji przynależności. W efekcie, uzyskano model zależności procentowego udziału ruchu *search traffic* od poziomu obciążenia powierzchni parkingowej

danego obszaru, uzupełnionego informacją o długości czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca do parkowania – spełniono tym samym główny i najważniejszy cel naukowy pracy.

W każdym etapie analizy odnoszono się wyłącznie do sytuacji w warunkach krajowych, ponieważ założenia i warunki kierowania polityką parkingową w różnych państwach, zarówno europejskich, czy też amerykańskich, różnią się istotnie. W śródmieściach miast często obowiązuje parkowanie płatne, a wysokość stawek godzinowych za parkowanie i – przede wszystkim – stosunek użytkowników do wysokości tej opłaty (a także skutki tego stosunku) są zróżnicowane.

Głównym celem praktycznym pracy było wypracowanie metody określania realnej efektywności funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej oraz warunków parkowania w danym obszarze. Cel ten został spełniony, poprzez definicję *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* danego obszaru, który oparto na relacji podaży i popytu na parkowanie. Należy podkreślić, że nie bez znaczenia jest słowo *realnej* – użyte do opisu efektywności funkcjonowania przestrzeni parkingowej. Do wyznaczenia *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* niezbędnym jest wyznaczenie rzeczywistego popytu na parkowanie, który uwzględni wszystkie pojazdy (kierowców), które wyrażają potrzebę zaparkowania w danym obszarze – również te, dla których nie znalazło się wolne miejsce parkingowe.

Ze względu na to, że problemy parkingowe miast bardzo często traktowane są jako problemy mniejszej wagi, nie wypracowano do tej pory metody kompleksowej oceny efektywności parkingowej obszarów z parkowaniem przykrawężnikowym. Nie sprecyzowano także skali kryteriów oceny dla znanych i stosowanych powszechnie parametrów parkowania. W ramach pracy, poprzez zdefiniowanie *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* umożliwiono tę ocenę, a także porównywanie warunków parkowania w różnych obszarach miasta. W pracy opisano najważniejsze zagadnienia związane z dokonywaniem tej oceny, a także doprecyzowano wiele niewyjaśnionych kwestii z nią związanych. Podkreślono konieczność zbierania danych o parkowaniu, ale także o ruchu realizowanym w sieci drogowo – ulicznej miasta, a także wyjaśniono w jaki sposób dane te można wykorzystać. Opisano w jaki sposób planować pomiary parkowania tak, aby ich wyniki pozostawały w integracji z pomiarami ruchu. Zdefiniowano problemy z interpretacją wskaźników parkowania wykorzystywanych do tej pory i wskazano w jaki sposób powinny być wyznaczane. Metoda wyznaczania *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* danego obszaru uzupełniona rekomendacjami w tym zakresie stanowi realizację drugiego z celów praktycznych pracy

7.1. Wnioski generalne

Na podstawie wszystkich analiz przeprowadzonych w pracy sformułowano następujące wnioski i rekomendacje:

1. Ruch generowany poszukiwaniem wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu (tzw. *search traffic*) jest realizowany – zwłaszcza w obszarach o dużym deficycie miejsc parkingowych. Wskazują na to wyniki analiz prowadzonych przez badaczy zagranicznych. Jego występowanie w warunkach polskich potwierdziły wyniki autorskich badań ankietowych i pomiarów ruchu.
2. Wielkość ruchu realizowanego w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego jest zależna przede wszystkim od poziomu efektywności funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej.
3. Poziom efektywności funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej, determinujący warunki parkowania w danym obszarze, można wyrazić *wskaźnikiem obciążenia powierzchni parkingowej*, który jest relacją podaży parkingowej i popytu na parkowanie odniesionego względem danego obszaru, którego granice wyznaczone są granicami rejonów komunikacyjnych. Obszar ten może pokrywać się z obszarem jednego lub kilku (kilkunastu) rejonów komunikacyjnych miasta.
4. Podaż parkingową można wyrazić iloczynem liczby dostępnych miejsc parkingowych obszaru i średniego wskaźnika rotacji na tych miejscach postojowych.
5. Popyt na parkowanie danego obszaru można wyrazić liczbą pojazdów kończących podróż w danym obszarze.

6. Do analizy funkcjonowania małych obszarów parkingowych (pod warunkiem spełnienia określonych wymagań funkcjonowania tego systemu) można wykorzystać zasady modelowania systemów masowej obsługi,
7. Na wielkość ruchu realizowanego w poszukiwaniu wolnego miejsca parkingowego, poza poziomem efektywności funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej (który jest postrzegany jako techniczny – związany z zagospodarowaniem obszaru oraz jego infrastrukturą – czynnik wpływający na wielkość tego ruchu) wpływ mają także czynniki behawioralne: subiektywne odczucia i decyzje kierowców podejmowane pod ich wpływem. Są one jednak determinowane lokalizacją i dostępnością miejsc parkingowych, bardziej niż wygodą, przyzwyczajeniem czy indywidualnymi upodobaniami. W analizie przyjęto, że adekwatnym parametrem jest deklarowana przez kierowców *długość czasu traconego na poszukiwanie miejsca do zaparkowania pojazdu*.
8. Ponieważ, zgodnie z punktem 7., wielkość ruchu *search traffic* jest zależna nie tylko od mierzalnych cech obszaru, a wpływ na nią ma również *czynnik ludzki* – uzasadnione jest modelowanie tej wielkości z wykorzystaniem wnioskowania rozmytego.
9. Wyznaczenie poziomu efektywności funkcjonowania wybranych przestrzeni parkingowych w obszarze śródmieścia (traktowanych oddzielnie lub jako całość) powinno być kluczowym punktem każdej analizy sytuacji parkingowej wykonywanej dla miasta.
10. Obok *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej*, istotną dodatkową miarą efektywności funkcjonowania danej przestrzeni parkingowej jest *udział ruchu generowanego poszukiwaniem wolnego miejsca postojowego* – pozwala ona na przewidywanie skutków decyzji mających na celu zmianę poziomu dostępności parkingowej danego obszaru.

7.2. Kierunki dalszych badań

Jako kontynuację prowadzonych badań proponuje się:

1. Wyznaczenie *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej* dla miast innych niż Kraków. Będzie to w pełni możliwe po pozyskaniu przez miasta danych o liczbie podróży realizowanych samochodem indywidualnym, kończących się na miejscach parkingowych przy ulicy w poszczególnych rejonach komunikacyjnych. Dane takie mogą być pozyskane w efekcie realizacji *Kompleksowych Badań Ruchu* oraz skoordynowanych z nimi w pełnym zakresie pomiarów parkowania.
2. Weryfikację, ocenę i ewentualną aktualizację zaproponowanego modelu zależności udziału ruchu *search traffic* od poziomu obciążenia powierzchni parkingowej obszaru i deklarowanej długości czasu traconego przez kierowców na to poszukiwanie, na większej bazie danych – co również będzie w pełni możliwe po pozyskaniu przez miasta danych o liczbie podróży realizowanych samochodem indywidualnym, kończących się na miejscach parkingowych przy ulicy w poszczególnych rejonach komunikacyjnych oraz przeprowadzeniu badań ankietowych z kierowcami parkującymi w analizowanych obszarach.
3. Modyfikację metody wyznaczania *wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej*, która uwzględniłaby w obliczeniach losowość procesów zgłoszeń i obsługi pojazdów w analizowanym systemie parkingowym.
4. Uzasadnienie racjonalności przyjmowania wskaźnika napełnienia powierzchni parkingowej równego 85%, jako optymalnego poziomu napełnienia – przy którym nie jest generowany ruch związany z poszukiwaniem wolnego miejsca parkingowego.
5. Kontynuację badań relacji pomiędzy zmianą poziomu obciążenia powierzchni parkingowej, a wielkością potoków ruchu obserwowanych w danym obszarze: zbadanie kierunku zmian podziału zadań przewozowych w wyniku poprawy/pogorszenia warunków parkowania, potwierdzenie występowania *ruchu wzbudzonego* w obszarach, gdzie dostępność parkingowa staje się większa.

Bibliografia

- [1] Aderamo A.J., Salau K.A., *Parking patterns and problems in developin countries: A case from Ilorin, Nigeria*, African Journal od Engineering Research, Vol. 1(2), 2013
- [2] Ambroziak T., Jacyna M.: *Queueing theory approach to transport process dynamics*. Part 1. Dynamics of transport network connections, Archives of Transport, 14(4), 2002.
- [3] Ambroziak T., Jacyna, M.: *Queueing theory approach to transport process dynamics*. Part 2. Parameters of the transport process dynamics, Archives of Transport, 15(1), 2003.
- [4] Ambroziak T., Merkisz-Guranowska A., Jacyna-Golda I., Pyza D., Sivets O., Szczepański E., Żak J., *Poziom emisji substancji szkodliwych spalin dla wybranego obszaru w Polsce na tle Unii Europejskiej*, Logistyka 4/2014
- [5] Anderson P.S., de Palma A., *The economics of pricing parking*, Journal of Urban Economics, 55, 2004
- [6] Arnott R., Inci E., *An integrated model of downtown parking and traffic congestion*, Journal of Urban Economics, 60, 2006
- [7] Arnott R., Rowse J., *Curbside parking time limits*, University of California Transportation Center, 2011
- [8] Arnott R., Rowse, J., *Downtown Parking in Auto City*, Boston College Working Papers in Economics, 665, Boston College Department of Economics, 2007
- [9] Arnott R., Williams P., *Cruising for parking around a circle*, 2016
- [10] Assemi B., Baker D., Paz A., *Searching for On-Street Parking: An Empirical Investigation of the Factors influencing Cruise Time*, Pre-proof, Parking Policy, 2020
- [11] Axhausen K.W., Polak J.W., *Parking search behaviour: a review of current research and future prospects*, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford 1990
- [12] Axhausen K.W., Polak J.W., *The role of parking search strategies in understanding parking behaviour*, Transport Studies Unit, Oxford University, Oxford 1989
- [13] *Badania I Analizy Funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania*, Raport wykonany przez: Pracownia Inżynierii Komunikacyjnej, Szczecin, 2015
- [14] *Badania zachowań komunikacyjnych mieszkańców Łodzi w ramach przygotowania „Planu zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Miasta Łodzi na lata 2014-2025” Badanie zrealizowane na zlecenie Miasta Łodzi - Zarządu Dróg i Transportu, Raport z badania zachowań transportowych wraz z syntezą wyników i szczegółowymi wnioskami*, PBS Sp. z o. o. Sopot, 2014
- [15] Barter P., *On-Street Parking Management*, An International Toolkit, Sustainable Urban Transport Technical Document #14, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development
- [16] Bauer M., *Pasy autobusowe, a strefa płatnego parkowania przykrawężnikowego – przypadek krakowski*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, Nr 1(100), 2013
- [17] Belloche S., *On-street parking search time modeling and validation with survey-based data*, Transportation Research Procedia 6, 2015
- [18] Ben-Elia E., Levy N., Benenson I., Ashkenazi S., *Serious game-based study of urban parking dynamics*, Conference paper, 2015
- [19] Benenson I., Elia E.B., Medvedev E., Ashkenazi S., Levy N., *Serious game-based study of urban parking dynamics*, Conference paper, XIII NECTAR International Conference, Ann Arbor, 2015
- [20] Benenson I., Martens K., Birfir S., *PARKAGENT: An agent –based model of parking in the city*, Computers, Environment and Urban Systems, 32, 2008
- [21] Birr K., *Modelowanie podziału zadań przewozowych w obszarach zurbanizowanych*, Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków, 2018
- [22] Bischoff J., Nagel K., *Integrating explicit parking search into a transport simulation*, Procedia Computer Science 109C, 2017

- [23] Bisseling M., *Evaluating SimPark as a parking policy analysis tool*, Submitted in partial fulfillment for the degree of master of science, Master Information Studies, Faculty of Science University of Amsterdam, 2019
- [24] Bonsall P., Palmer I., *Modelling drivers' car parking behaviour using data from a travel choice simulator*, Transportation Research Part C 12, 2004
- [25] Brierley J., *Parking of Motor Vehicles*, Applied Science Publishers LTD, London, 1972
- [26] Brooke S., Ison S., Quddus M., *On-street parking search: A UK local authority perspective*, The Journal of Transport and Land use, Vol. 10 No. 1, 2017
- [27] Brooke, S., Ison, S., Quddus, M., *On-Street Parking Search: a review and future research direction*, Transportation Research Board
- [28] Brzeziński A., Dybicz T., *Problemy funkcjonowania strefy płatnego parkowania w centrum miasta*, Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Seria: Materiały konferencyjne z konferencji Polityka parkingowa w miastach, nr 1(100), 2013
- [29] Brzeziński A., Rezwow M., *Zrównoważony transport – ekologiczne rozwiązania transportowe*, Ekorozwój i Agenda 21, Szczecin, 2014
- [30] Caliskan M., Barthles A., Scheuermann B., Mauve M., *Predicting parking lot occupancy in vehicular ad hoc networks*, IEEE 65th Vehicular Technology Conference - VTC-Spring, 22-25 April 2007
- [31] Cao J., Menendez M., *A parking-state-based transition matrix of traffic on urban networks*, Transportation Research Procedia 7, 2015
- [32] Cats O., Zhang C., Nissan A., *Empirical evaluation of an on-street parking pricing scheme in the city center*, 94th Annual Meeting of the Transportation Research 29 Board, Washington, 2015
- [33] Ceballos G., Curtis O., *Queue analysis at toll and parking exit plazas: a comparison between multi-server queuing models and traffic simulation*, Transportation Research, Proceedings of CTRG, 2017
- [34] Celiński I., Żochowska R., Sobota A., *Metoda podziału obszaru na rejony komunikacyjne na przykładzie konurbacji górnośląskiej*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z. 70, 2009
- [35] Chang Y-L., *WinQSB Version 2.0 – decision support software for MS/OM – Manual*
- [36] Chen J., Liu H., Mei Z., Wang W., *Modified Motor Vehicles Travel Speed Models on the Basis of Curb Parking Setting Method Under Mixed Traffic Flow*, Transportation Research Board, 2008
- [37] Ciastoń-Ciulkin A., Nosal K., *Hierarchizacja czynników mających wpływ na wybór środka podróży na przykładzie Krakowa*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 3, 2014
- [38] Czachórski T., *Modele kolejkowe systemów komputerowych*, Skrypty uczelniane Politechniki Śląskiej Nr 1844, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1994
- [39] Dieussaert K., Aerts K., Steenberghen T., Maerivoet S., Spitaels K., *SUSTAPARK: An Agent-based Model for Simulating Parking Search*, 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science 2009, Leibniz Universität Hannover, Germany, 2009
- [40] Dobosz M., *Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2004
- [41] Dowling C., Fiez T., Ratliff L., Zhang B., *How much traffic is searching for parking? Simulating curbside parking as a network of finite capacity queues*, ArXiv abs/1702.06156, 2017
- [42] Dowling C., Fiez T., Ratliff L., Zhang B., *Optimizing curbside parking resources subject to congestion constraints*, 2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC), 2017
- [43] Duda-Wiertel U., *Pomiar parkowania z wykorzystaniem zapisu video*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 04, 2017
- [44] Duda-Wiertel U., Szarata A., *The analysis of transport-related behaviours of drivers in highly occupied paid parking zones*, Advances in Transportation Studies: an international Journal Section A, 47, 2019

- [45] Duda-Wiertel U., Szubra M., *Analiza funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania w Krakowie*, International Management Services, materiały niepublikowane, Kraków, 2018
- [46] Duda-Wiertel U., *Konsekwencje zmiany dostępności przestrzeni parkingowej we wrażliwych obszarach centrów miast*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 7, 2018
- [47] Dzieszko P., Bartkowiak K., Gieda-Pinas K., *Modelowanie agentowe – nowoczesna koncepcja modelowania w GIS*, Roczniki Geomatyki Polskiego Towarzystwa Informatyki Przestrzennej, Tom XI, Zeszyt 4(61), 2013
- [48] Faron A., *Wpływ wybranych czynników struktury funkcjonalno – przestrzennej miasta na podział zadań przewozowych*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków, 2013
- [49] Filipowicz B., *Modele stochastyczne w badaniach operacyjnych. Analiza i synteza systemów obsługi sieci kolejkowych*. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1996
- [50] Fries R., Dunning A., Chowdhury M., *Impact of On-Street Parking in the Core of a University Campus*, Transportation Research Board, 2010
- [51] Fulman N., Benenson I., *Agent-based modeling for transportation planning: a method for estimating parking search time based on demand and supply*, 10th International Workshop on Agents in Traffic and Transportation (ATT 2018), Stockholm, 2018
- [52] Fulman N., Benenson I., *Approximation of search Times for on-street parking based on supply and demand*, ATT@IJCAI 2018
- [53] *Fuzzy Logic Toolbox*, for use with MATLAB, User's Guide, Version 2, The MathWorks Inc.
- [54] *Fuzzy Logic Toolbox*, User Guide, Version 2, The Math Works Inc., 2000
- [55] Gaca S., *Parkingi centrów handlowych - charakterystyka ruchowa i powiązanie z układem komunikacyjnym*, Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Seria: Materiały konferencyjne z konferencji Polityka parkingowa w miastach, nr 61, 1998
- [56] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria Ruchu Drogowego, Teoria i praktyka*, WKiŁ, Warszawa, 2011
- [57] Gallo M., D'Acerno L., Montella B., *A multilayer model to simulate cruising for parking in urban areas*, Transport Policy 18, 2011
- [58] Gantelet E., Lefauconnier A., *The time looking for a parking space: strategies, associated nuisances and stakes of parking management in France*, Association for European Transport and contributors, 2006
- [59] *Gdańskie Badania Ruchu 2016 wraz z opracowaniem transportowego modelu Gdańska*. Raport 3 – Raport z przeprowadzenia badań i pomiarów, Biuro Rozwoju Gdańska, 2016
- [60] Geroliminis N., *Dynamics of Peak Hour and Effect of Parking for Congested Cities*, Transportation Research Board, 2009
- [61] Gis M., *Emisja dwutlenku węgla z transportu drogowego - cz. 1 samochody klasy LDV*, Instytut Transportu Samochodowego
- [62] Glazer A., Niskanen E., *Parking fees and congestion*, Regional Science and Urban Economics, 22 (1), 1992
- [63] Greń J., *Statystyka matematyczna: podręcznik programowy*, Warszawa 1987
- [64] Hampshire R.C., Jordon D., Akinbola O., Richardson K., Weinberger R., Millard-Ball A., Karlin-Resnik J., *An analysis of parking search behavior using video from naturalistic driving*, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2017
- [65] Jachimowski R., Lewczuk K., Szczepański E., Wasiak M., *Wybrane aspekty prawne dotyczące rozwoju zrównoważonego systemu transportowego ze względu na ograniczenie emisji spalin*, Logistyka 6/2014
- [66] Jacyna Gołda I., Gołębiowski P., Izdebski M., Kłodawski M., Jachimowski R., Szczepański M., *The evaluation of the sustainable transport system development with the scenario analyses procedure*, Journal of Vibroengineering, Vol. 19, Issue 7, 2017
- [67] Jacyna M., *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009

- [68] Jacyna M., *Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009
- [69] Jacyna M., Żak J., *Zastosowanie teorii kolejek do analizy i oceny procesu transportowego w centrum logistycznym*, Logistyka 4/2012
- [70] Janecki R., *Nowa kultura mobilności jako kierunek rozwoju transportu miejskiego i regionalnego w województwie śląskim*, Studia Ekonomiczne, 143, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 2013
- [71] Jędrzejczyk Z., Kukuła K., Skrzypek J., Walkosz A., *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014
- [72] Kacprzyk J., *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*, PWN, Warszawa, 1986
- [73] Karwasz M., Szczuraszek T., *Analiza wybranych charakterystyk parkowania w strefie płatnego parkowania w śródmieściu Bydgoszczy w związku z wdrażaniem ITS*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 11, 2014
- [74] Kaufmann A., Faure R., *Badania operacyjne na co dzień*, PWN, Warszawa 1968
- [75] Kącki P., Duda-Wiertel U., *Zmiany terytorialne strefy płatnego parkowania w Krakowie w latach 1988–2018*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 9, 2018
- [76] Khaliq A., Kochan B., van der Waerden P., Janssens D., *PARKAGENT: Sensitivity Analysis & Integration with FEATHERS*, IMOB, Universiteit Hasselt, Belgium
- [77] Kiciński M., Zmuda-Trzebiatowski P., *Strefy Płatnego Parkowania w małych miastach. Analiza rozwiązań na przykładzie Środy Wielkopolskiej*, Transport Miejski i Regionalny 9, 2018
- [78] Kimley, Horn, Park+ Unlimited Parking Solutions, *Parking Generation – Replacing Flawed Standards with the Custom Realities of Park +*, White Paper Series, 2016
- [79] King D. A., *Estimating environmental and congestion effects from cruising for parking*, Transportation Research Board, 2019
- [80] Klappenecker A., Lee H., Welch J. L., *Finding available parking spaces made easy*, Ad Hoc Networks, Volume 12, January 2014
- [81] *Kompleksowe Badanie Ruchu w Szczecinie 2016*. Raport z wykonania Etapu III KBR 2016, Warszawa 2016
- [82] *Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997r.*
- [83] Kostecka A., *Badanie wybranych cech parkowania w polskich miastach*, Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Seria: Materiały konferencyjne z konferencji Polityka parkingowa w miastach, nr 1(105), 2015
- [84] Kotelnikova N., Leurent F., *Parking equilibrium along the street*, European Transport Research Review, 2016
- [85] Kozak K., *Analiza skuteczności funkcjonowania strefy płatnego parkowania oraz efektywności wprowadzenia nowych rozwiązań na przykładzie Gdyni*, Zeszyty studenckie *Nasze Studia*, Nr 8, Uniwersyteckie Czasopismo Naukowe, Uniwersytet Gdański, 2017
- [86] Koźlak A., *Ekonomika Transportu. Teoria i praktyka gospodarcza*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, 2008
- [87] Krych A., *Badania kompleksowe, modelowanie i planowanie ruchu – słownik terminologiczny*, Annale Inżynierii Ruchu i Planowania Transportu, Tom 2(XI), Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP Oddział w Poznaniu, 2018.
- [88] Kulpa T., Bujak A., *Polityka Parkingowa w miastach*, relacja z międzynarodowej konferencji naukowo – technicznej, organizowanej przez Politechnikę Krakowską oraz Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP Oddział w Krakowie, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 2016
- [89] Kulpa T., Kubala C., *Analiza wpływu rozszerzenia strefy płatnego parkowania w Krakowie na zachowania komunikacyjne kierowców*, Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Seria: Materiały konferencyjne z konferencji Polityka parkingowa w miastach, nr 1(105), 2015

- [90] Lam W. H.K., Li Z., Huang H., Wong S.C., *Modelling time-dependent travel choice problems in road networks with multiple user classes and multiple parking facilities*, Transportation Research Part B 40, 2006, p. 368 - 395
- [91] Larson R.C., Sasanuma K., *Congestion pricing: a parking queue model*, Journal of Industrial and System Engineering, Vol. 4, No. 1, 2010
- [92] Larson R.C., Sasanuma K., *Urban vehicle congestion pricing: a review*, Journal of Industrial and System Engineering, Vol. 4, No. 1, 2010
- [93] Lee J.B., Agdas D., Baker D., *New Empirical Evidence on Cruising for Onstreet Parking, a Brisbane Case Study*, Australasian Transport Research Forum 2016 Proceedings, Melbourne, 2016
- [94] Leurent F., Boujnah H., *Traffic equilibrium in a network model of parking and route choice, with search circuits and cruising flows*, Procedia – Social and Behavioral Sciences, 2012
- [95] Levy N., Benenson I., *GIS-based method for assessing city parking patterns*, Journal of Parking Geography 46, 2015
- [96] Levy N., Benenson I., Martens K., *Exploring cruising using agent-based and analytical models of parking*, Transportmetrica, 2012
- [97] Li B., Pei Y., Wu H., Huang D., *MADM-based smart parking guidance algorithm*. PLoS One, 12(12), 2017
- [98] Litman T., *Parking Management Comprehensive Implementation Guide*, Victoria Transport Policy Institute, 2017
- [99] Litman T., *Parking Management Strategies, Evaluation and Planning*, Victoria Transport Policy Institute, 2006
- [100] Łachwa, *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów i reguł*, Seria: Problemy współczesnej nauki: Informatyka, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2001
- [101] Macioszek E., Kurek A., *The Use of a Park and Ride System—A Case Study Based on the City of Cracow (Poland)*, Energies 13(13):3473, 2020
- [102] Marsanic R., Promet R., Drago P., *Applicability Of Information Technologies In Parking Area Capacity Optimization*, Interdisciplinary Management Research, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Economics, Croatia, vol. 6
- [103] Marsanic R., Zenzerovic Z., Mrnjavac E., *Application of the queuing theory in the planning of optimal number of servers (ramps) in closed parking systems*, Ekonomska Istraživanja / Economic Research 24(2), June, 2011
- [104] Martens K., Benenson I., Birfir S., *Evaluating urban parking policies using an agent-based model of driver parking behavior*, Transportation Research Board, 2008
- [105] Martens K., Benenson I., *Evaluating urban parking policies with agent-based model of driver parking behavior*, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 2008
- [106] Martin J., *Activity Centre Parking DEMand: a Novel Forecasting Model, its Applications and Extensions*, AITPM 2016
- [107] Materiały z obrad Rady Miasta Krakowa – posiedzenia z dni 10 i 17 lipca 2019 roku, Źródło: https://www.bip.krakow.pl/?bip_id=1&mimi=15450
- [108] Model ruchu miasta Krakowa
- [109] Montini L., Horni A., Rieser-Schussler R., Axhausen K.W., *Searching for parking in GPS data*, Travel Behaviour Research: Current Foundations, Future Prospects, 13th International Conference on Travel Behaviour Research, Toronto, 2012
- [110] Musioł M., *Strefa ograniczonego postoju w Tarnowskich Górach*, Parkanizer, źródło: www.slideshare.net/MarcinMusio2/parkanizer-strefa-ograniczonego-postoju-w-tarnowskich-grach,
- [111] *Niebieska księga*, Infrastruktura Drogowa, Nowe Wydanie, lipiec, 2015
- [112] Niepublikowane wyniki Kompleksowych Badań Ruchu Subregionu Centralnego Województwa Śląskiego
- [113] Niepublikowane wyniki Kompleksowych Badań Ruchu w Krakowie

- [114] Niepublikowane wyniki Kompleksowych Badań Ruchu w Ramach Planu Transportowego dla Aglomeracji Rybnickiej
- [115] Niepublikowane wyniki Kompleksowych Badań Ruchu w ramach Planu Transportowego dla Radomskiego Obszaru Funkcjonalnego
- [116] *Ninth Street Study Area*, City of Durham, Parking Demand
- [117] Oniszczyk W., *Metody modelowania*, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok, 1995
- [118] *Opis przedmiotu zamówienia – badanie i analiza funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania w Gdyni*, Zarząd Dróg i Zieleni, Gdynia, 2019
- [119] *Opis przedmiotu zamówienia – Badanie rotacji pojazdów w obszarze Strefy Płatnego Parkowania w Poznaniu*, Zarząd Dróg Miejskich, Poznań, 2019
- [120] *Opis przedmiotu zamówienia – Wykonanie analizy funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania w Opolu*, Miasto Opole, 2019
- [121] Parkitny W., *Analiza funkcjonowania strefy płatnego parkowania w Opolu*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 12, 2018
- [122] Parkitny W., *Postrzeganie przez kierowców kongestii ruchu w pobliżu dużych parkingów*, Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Seria: Materiały konferencyjne z konferencji Polityka parkingowa w miastach, nr 1(100), 2013
- [123] Pietruch M., *Analiza wykorzystania miejsc parkingowych w strefie płatnego parkowania w Krakowie*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 02, 2017
- [124] Polityka Parkingowa dla Miasta Krakowa na lata 2016 – 2025
- [125] Praca zbiorowa pod kierownictwem Turek D., *Poradnik w zakresie przeprowadzania ankietowego badania mobilności transportowej ludności*, Warszawa 2018
- [126] Praca zbiorowa pod redakcją Shoup D., *Parking in the city*, A planners Press Book, 2018
- [127] Rajabioun T., Ioannou P.A., *On-street and off-street parking availability prediction using multivariate spatiotemporal models*, IEEE Transactions on intelligent transportation systems, Vol. 16, No. 5, 2015
- [128] Ratliff L., Dowling C., Mazumdar E., Zhang B., *To observe or not to observe: queuing game framework for urban parking*, 2016 IEEE 55th Conference on Decision and Control (CDC), 2016
- [129] Regidor J.R.F., *A Review of Trip and Parking Generation Rates in the Philippines*, Philippine Engineering Journal, Vol. 27 No. 1, 2006
- [130] Richardston A., *Search models and choice set generation*, Transportation Research Part A: General, Volume 16, Issues 5–6, 1982
- [131] Rosołowski E., *Podstawy Modelowania Systemów*, Wykłady, Politechnika Wrocławska, 2019
- [132] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 1 sierpnia 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie*, Dz.U. 2019 poz. 1643
- [133] Rudnicki A., *Jakość komunikacji miejskiej*, Zeszyty Naukowe – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie, Seria: Monografie Nr 5 (Zeszyt 71), Kraków 1999
- [134] Rudnicki A., *Początki wdrażania idei uspokojenia ruchu i polityki parkingowej w Krakowie*, Prezentacja wygłoszona podczas Konferencji 30 lat Uspokojenia Ruchu i Płatnego Parkowania w Krakowie, Kraków, 2018
- [135] Rykaczewski K., *Systemy Rozmyte i ich zastosowania*, 2016: <https://fulmanski.pl/zajecia/ssn/materialy/duszek.pdf>
- [136] Shin J-H., Hong-Bae J., *A study on smart parking guidance algorithm*, Transportation Research Part C., 44, 2014
- [137] Shoup D., *Cruising for parking*, Transport Policy 13, 2006
- [138] Shoup D., *The high cost of free parking*, American Planning Association, Planners Press, Chicago, 2011
- [139] Sierpiński G., *Zachowania komunikacyjne osób podróżujących a wybór środka transportu w mieście*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z. 84, 2012

- [140] Simpson H.S., *Downtown Storage Garages*, The Annals of the American Academy of Political and Social Science, Vol. 133, Planning for City Traffic, 1927
- [141] *Słownik Języka Polskiego* PWN
- [142] Spitaels K., Maerivoet S., De Ceuster G., Nijs G., Clette C., Lannoy P., Dieussaert K., Aerts K., Steenberghen T., *Optimising price and location of parking in cities under a sustainability constraint „SUSTAPARK” – Final Report*, Science for a sustainable development, Transport and Mobility, SD/TM/07
- [143] Starowicz W., Nosal K., *Wybrane zagadnienia zarządzania mobilnością*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 3, 2010
- [144] Starowicz W., *Zarządzanie mobilnością wyzwaniem polskich miast*, Transport Miejski i Regionalny, Nr 1, 2011
- [145] Starzyńska W., *Podstawy statystyki. Podręcznik*, Wyd. Difin, Warszawa, 2009
- [146] *Statgraphics Centurion XV User Manual*, StatPoint, Inc. 2005 r.
- [147] Steenberghen T., Dieussaert T., Maerivoet S., and Spitaels K., *SUSTAPARK: An Agent-based Model for Simulating Parking Search*, URISA Journal, Vol. 24, No. 1, 2012
- [148] Storrs Center, *Parking Generation Analysis*, 2014
- [149] Strona internetowa: Department of Transportation, Seattle, <http://www.seattle.gov/transportation/parking/parkingstudy.htm>
- [150] Strona internetowa: <http://mi.krakow.pl/strefa-platnego-parkowania/stawki-oplat>
- [151] Strona internetowa: <http://minskmaz.com/news/od-1-listopada-powstana-strefy-ograniczonego-postoju>
- [152] Strona internetowa: <http://push-pull-parking.eu/>
- [153] Strona internetowa: <http://www.e-gniezno.pl/od-1-stycznia-zmiany-w-strefie-parkowania/>
- [154] Strona internetowa: <http://www.parkingwawel.pl/pl/Cennik-Parking-Plac-Na-Groblach.html>
- [155] Strona internetowa: <https://bdl.stat.gov.pl/>
- [156] Strona internetowa: <https://smigiel.nowinylokalne.pl/nowatorskie-rozwiazanie-strefa-ograniczonego-postoju/>
- [157] Strona internetowa: <https://www.nowiny.pl/77698-strefa-ograniczonego-postoju-w-ryduktowach.html>
- [158] Strona internetowa: https://www.raciborz.pl/urząd/aktualnosci_lista/Strefa-ograniczonego-parkowania-pamietajmy-o-zasadach/idn:5394
- [159] Strona internetowa: <https://www.traficar.pl/fees>
- [160] Strona internetowa: <https://www.wroclaw.pl/srodowisko/wyniki-kompleksowego-badania-ruchu-we-wroclawiu-i-aglomeracji-2018/>
- [161] Strona internetowa: www.edroga.pl: *Systemy naprowadzania na parkingi w miastach*, Przegląd systemów naprowadzania na miejsca parkingowe przeprowadzony przez Piotra Krukowskiego z firmy Qumak podczas VI Polskiego Kongresu ITS – Warszawa, 13-14 maja 2013 r.
- [162] Strona internetowa: www.metropoliakrakowska.pl
- [163] Strona internetowa: www.parkianzer.com: *Polska parkuje przy pracy, Część 1: parkingowi szczęściarze i skazańcy*. Raport z badań listopad 2017 - styczeń 2018
- [164] Sutjarittham T., Chen G., Gharakgeili H.H., Sivaraman V., Kanhere S.S., *Measuring and modeling car park usage: lessons learned from a campus field-trial*, Proceedings of the IEEE 20th International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (IEEE WoWMoM 2019), Washington D.C., USA, 2019
- [165] Szarata A., Bohatkiewicz J., Nowak P., *Pomiary parkowania i analizy wyników na przykładzie Kielc*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, nr 80, z. 134, 2007
- [166] Szarata A., Duda-Wiertel U., *The impact of the vacant parking place search on traffic condition* – prezentacja wygłoszona podczas międzynarodowego kongresu parkingowego organizowanego przez European Parking Association, Rotterdam, 2017

- [167] Szarata A., *Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej*, Monografia 439, Seria Inżynieria Lądowa, Politechnika Krakowska, Kraków, 2013
- [168] Szarata A., *Ocena efektywności funkcjonalnej parkingów przesiadkowych (P+R)*, Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków, 2005
- [169] Szarata A., *Rola pozyskiwania danych w kontekście funkcjonowania stref płatnego parkowania*, Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Seria: Materiały konferencyjne z konferencji Polityka parkingowa w miastach, nr 1(105), 2015
- [170] Szarata A., *Simulation Analysis of CO2 Emission for Different Land Use Development Schemes*, The Archives of Transport, Vol. XXIV, No 4, 2012
- [171] Szarata A., *Wyniki badań podróży w Krakowie – KBR 2013*, Transport Miejski i Regionalny nr 5, 2015
- [172] Tavafoghi H., Kameshwar P., Pravin V., *A queuing approach to parking: modeling, verification, and prediction*, Mathematics, Computer Science, Engineering, ArXiv, 2019
- [173] Tavafoghi H., Poolla K., Varaiya P., *A queuing approach to parking: modeling, verification and prediction*, ArXiv abs/1908.11479, 2019
- [174] Thompson R.G., Richardson A.J., *A parking search model*, Transportation Research Part A: policy and Practice, Volume 32, issue 3, 1998
- [175] Topp H.H., *The role of parking in traffic calming*, World Transport Policy and Practice, Volume 1, Number 3, 1995
- [176] *Uchwała Rady Miast Krakowa nr LXXXIX/2177/17 z dnia 22 listopada 2017 r. w sprawie ustalenia strefy płatnego parkowania, ustalenia opłat za postój pojazdów samochodowych na drogach publicznych w strefie płatnego parkowania, wprowadzenia opłaty abonamentowej dla niektórych użytkowników dróg oraz sposobu pobierania tych opłat.*
- [177] *Uchwała Rady Miasta Krakowa nr NR XXII/456/19 z dnia 17 lipca 2019 r. w sprawie zmiany uchwały Nr LXXXIX/2177/17 Rady Miasta Krakowa z dnia 22 listopada 2017 r. w sprawie ustalenia strefy płatnego parkowania, ustalenia opłat za postój pojazdów samochodowych na drogach publicznych w strefie płatnego parkowania, wprowadzenia opłaty abonamentowej dla niektórych użytkowników dróg oraz sposobu pobierania tych opłat.*
- [178] *Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych*, Dz.U. 1985 nr 14 poz. 60
- [179] *Ustawa z dnia 23 października 2013 r. o zmianie ustawy – Prawo o ruchu drogowym oraz niektórych innych ustaw*, Dz.U. 2013 poz. 1446
- [180] *Ustawa z dnia 5 lipca 2018 r. o zmianie ustawy o partnerstwie publiczno-prywatnym oraz niektórych innych ustaw*, Dz.U. 2018 poz. 1693
- [181] *Ustawa z dnia z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o Ruchu Drogowym*, Dz.U. 1997 nr 98 poz. 602
- [182] van der Waerden P., Timmermans H., van Hove L., *GPS data and car drivers' parking behavior in the City of Turnhout, Belgium*, Geoinformatics for intelligent transportation, Kluwer Academic Publishers, 2015
- [183] van Ommeren J., N., Wentink D., Rietveld P., *Empirical evidence on cruising for parking*, Transportation Research Part A 46, 2012
- [184] Vo T.T.A., van der Waerden, Wets G., *Micro-simulation of car drivers' movements at parking lots*, Procedia Engineering 142, 2016
- [185] Wagner H. M., *Badania operacyjne. Zastosowania w zarządzaniu*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1980
- [186] Waraich R.A., Axhausen K.W., *Agent-based parking choice model*, Transportation Research Record journal of the Transportation Research Board, December 2012
- [187] *Warszawskie Badanie Ruchu 2015 wraz z opracowaniem modelu ruchu. Raport z etapu III – Opracowanie wyników badań*, Urząd M. St. Warszawy, Sopot/Kraków/Warszawa. 2015
- [188] Weinberger R., Millard-Ball A., Hampshire R.C., *Parking Search Caused Congestion: Where's all the fuss?*, Transportation Research Board, 2017

- [189] Woch J., *Teoria potoków ruchu*, Zakład Inżynierii Ruchu, Instytut Transportu w Katowicach, Politechnika Śląska, Katowice, 2001
- [190] Woźniak A., Wota A., *Elementy teorii masowej obsługi w organizacji stacji przeładunkowych odpadów komunalnych*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, Nr 3/2/2006
- [191] *Wykonanie Kompleksowych Badań Ruchu we Wrocławiu i otoczeniu – KBR 2018*. Raport z realizacji etapu V. Wyniki badania ankietowego podróży i zachowań komunikacyjnych mieszkańców Wrocławia i otoczenia, Wrocław, 2018
- [192] Wyniki Kompleksowych Badań Ruchu w Krakowie
- [193] *Wyrok z dnia 10 grudnia 2002 r.* Sygn. Akt P 6/02, Dz.U. 2002 Nr 214 poz. 1816
- [194] Xiao J., Lou Y., Frisby J., *How likely am I to find parking? – A practical model – based framework for predicting parking availability*, Transportation Research Part B, 112, 2018
- [195] Xie K., Hlynka M., *Forward and reverse parking in a parking lot*, Applied Mathematical Sciences, Vol. 13, no 22, 2019
- [196] Xu B., Wolfson O., Yang J., Stenneth L., Yu P. S., Nelson P.C., *Realtime Street Parking Availability Estimation*, Conference: Proceedings of the 2013 IEEE 14th International Conference on Mobile Data Management - Volume 01, 2013
- [197] Young W., *Modeling parking in:* Hensher D.A., Kenneth J.B., Handbook of transport modeling, Emerald Publishing Limited, United Kingdom, 2007
- [198] Zhu Y., Ye X., Chen J., Yan X., Wang T., *Impact of Cruising for Parking on Travel Time of Traffic Flow*, Sustainability, MDPI, Open Access Journal, vol. 12(8), 2020
- [199] Żochowska R., Karoń G., *Przegląd literatury na temat zjawiska kongestii i zakłóceń ruchu w systemie transportowym miasta w aspekcie modelowania podróży*, Zeszyty Naukowe – Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Seria: Materiały Konferencyjne, Nr 2(98), 2012
- [200] Żochowska R., Karoń G., *Wybrane problemy identyfikacji potoków ruchu w aspekcie modeli transportowych*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z. 117, 2017
- [201] Żochowska R., Karoń G., *Wybrane problemy prowadzenia badań podróży w aspekcie modeli transportowych*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, z. 117, 2017

Spis rysunków

Rys. 1.1. Rezultaty wdrożenia strefy ograniczonego postoju w Tarnowskich Górach.....	14
Rys. 1.2. Zakres terytorialny Strefy Płatnego Parkowania w Krakowie obowiązujący do dnia 22 września 2019 roku	18
Rys. 1.3. Zakres terytorialny Obszaru Płatnego Parkowania w Krakowie (kolorami oznaczono zakres poszczególnych podstref, w których obowiązujące stawki są zróżnicowane)	18
Rys. 2.1. Schemat podziału modeli parkowania wg [197].....	42
Rys. 2.2. Schemat podziału modeli parkowania wg [104].....	43
Rys. 2.3. Rozszerzony schemat podziału modeli parkowania	45
Rys. 2.4. Okno aplikacji PARKAGENT w ArcGIS	48
Rys. 3.1. Poligon badania <i>search traffic</i> w Krakowie (po lewej widok szczegółowy, po prawej na tle obszaru SPP)	54
Rys. 3.2. Poligon badania <i>search traffic</i> we Wrocławiu (po lewej widok szczegółowy, po prawej na tle obszaru SPP)	55
Rys. 3.3. Otoczenie poligonu badawczego w Krakowie.....	55
Rys. 3.4. Otoczenie poligonu badawczego we Wrocławiu	55
Rys. 3.5. Zachowania komunikacyjne dotyczące parkowania badanie pilotażowe, Kraków	57
Rys. 3.6. Zachowania komunikacyjne dotyczące parkowania badanie pilotażowe, Wrocław	57
Rys. 3.7. Deklaracja poszukiwania miejsca postojowego badanie pilotażowe, Kraków	57
Rys. 3.8. Deklaracja poszukiwania miejsca postojowego badanie pilotażowe, Wrocław	57
Rys. 3.9. Czas poszukiwania miejsca postojowego badanie pilotażowe, Kraków	58
Rys. 3.10. Czas poszukiwania miejsca postojowego badanie pilotażowe, Wrocław	58
Rys. 3.11. Maksymalny akceptowany czas dojścia z samochodu do ostatecznego celu podróży badanie pilotażowe, Kraków	58
Rys. 3.12. Maksymalny akceptowany czas dojścia z samochodu do ostatecznego celu podróży badanie pilotażowe, Wrocław.....	58
Rys. 3.13. Zestawy kamerowe wykorzystane do pomiaru ruchu w Krakowie (z lewej) i we Wrocławiu (z prawej).....	61
Rys. 3.14. Widok z kamer wykorzystanych do zapisu danych o pojazdach przemieszczających się w obszarze badania oraz parkujących w Krakowie	61
Rys. 3.15. Zawężony poligon badania <i>search traffic</i> w Krakowie	62
Rys. 3.16. Zawężony poligon badania <i>search traffic</i> we Wrocławiu	62
Rys. 3.17. Podział poligonu badania <i>search traffic</i> na sektory.....	63
Rys. 3.18. Wskaźnik napelnienia powierzchni parkingowej obszaru w okresie pomiaru (8:00 – 15:00) badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I	64
Rys. 3.19. Wskaźnik napelnienia powierzchni parkingowej obszaru w okresie pomiaru (8:00 – 15:00) badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I	65
Rys. 3.20. Przykłady pojazdów zaparkowanych nieprawidłowo badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I.....	66
Rys. 3.21. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych w sposób nieprawidłowy badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I.....	66
Rys. 3.22. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych w sposób prawidłowy badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I.....	67
Rys. 3.23. Empiryczna dystrybucja rozkładu czasów postoju pojazdów badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I.....	67
Rys. 3.24. Średni udział wolnych miejsc parkingowych w okresie pomiaru badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I.....	67
Rys. 3.25. Liczba pojazdów na miejscach parkingowych dla 7-godzinnego okresu pomiarowego badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I.....	68
Rys. 3.26. Wskaźnik napelnienia powierzchni parkingowej obszaru badanie <i>search traffic</i> , Kraków – porównanie wyników I i II serii badań.....	69

Rys. 3.27. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych nieprawidłowo badanie <i>search traffic</i> , Kraków – porównanie wyników I i II serii badań.....	69
Rys. 3.28. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych prawidłowo badanie <i>search traffic</i> , Kraków – porównanie wyników I i II serii badań	70
Rys. 3.29. Empiryczna dystrybucja rozkładu czasów postoju pojazdów badanie <i>search traffic</i> , Kraków – porównanie wyników I i II serii badań	70
Rys. 3.30. Średni udział wolnych miejsc parkingowych w okresie pomiaru badanie <i>search traffic</i> , Kraków – porównanie wyników I i II serii badań	71
Rys. 3.31. Liczba pojazdów na poszczególnych miejscach postojowych dla 7-godzinnego okresu pomiarowego badanie <i>search traffic</i> , Kraków – porównanie wyników I i II serii badań	71
Rys. 3.32. Wskaźnik napełnienia powierzchni parkingowej obszaru w okresie pomiaru (8:00 – 14:00) badanie <i>search traffic</i> , Wrocław	72
Rys. 3.33. Histogram czasów postoju pojazdów zaparkowanych prawidłowo badanie <i>search traffic</i> , Wrocław.....	72
Rys. 3.34. Liczba pojazdów na miejscach parkingowych dla 6-godzinnego okresu pomiarowego badanie <i>search traffic</i> , Wrocław	73
Rys. 3.35. Punkty pomiarowe – badanie <i>search traffic</i> Kraków	74
Rys. 3.36. Punkty pomiarowe – badanie <i>search traffic</i> Wrocław	75
Rys. 3.37. Histogram czasów poszukiwania wolnego stanowiska parkingowego badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I.....	76
Rys. 3.38. Dystrybucja empiryczna średniego czasu traconego na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I	76
Rys. 3.39. Łączny czas tracony przez pojazdy <i>krążące</i> ogółem w godzinie badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria I.....	77
Rys. 3.40. Łączny czas tracony przez pojazdy <i>krążące</i> ogółem w godzinie badanie <i>search traffic</i> , Kraków seria II.....	78
Rys. 3.41. Łączny czas tracony przez pojazdy <i>krążące</i> ogółem w godzinie badanie <i>search traffic</i> , Wrocław.....	78
Rys. 3.42. Zakres terytorialny badań ankietowych w całym obszarze SPP – Kraków.....	80
Rys. 3.43. Zakres terytorialny badań ankietowych w całym obszarze SPP – Wrocław.....	81
Rys. 3.44. Motywacje podróży ankietowanych kierowców – ogółem w podziale na poszczególne podstrefy SPP w Krakowie	82
Rys. 3.45. Motywacje podróży ankietowanych kierowców – ogółem w podziale na poszczególne podstrefy SPP we Wrocławiu	82
Rys. 3.46. Regularność podróży ankietowanych kierowców ogółem w podziale na poszczególne podstrefy SPP w Krakowie Źródło: opracowanie własne.....	82
Rys. 3.47. Regularność podróży ankietowanych kierowców – ogółem w podziale na poszczególne podstrefy SPP we Wrocławiu	82
Rys. 3.48. Łatwość znalezienia miejsca parkingowego w SPP w opinii kierowców w Krakowie	83
Rys. 3.49. Łatwość znalezienia miejsca parkingowego w SPP w opinii kierowców we Wrocławiu	83
Rys. 3.50. Średni czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego w zestawieniu z subiektywną oceną trudności w znalezieniu wolnego miejsca w SPP w Krakowie	84
Rys. 3.51. Średni czas poszukiwania wolnego miejsca parkingowego w zestawieniu z subiektywną oceną trudności w znalezieniu wolnego miejsca w SPP we Wrocławiu	84
Rys. 3.52. Zakres terytorialny badania ankietowego dotyczącego czynników, które mogą mieć wpływ na podejmowanie przez kierowców decyzji o poszukiwaniu wolnego miejsca do parkowania – Kraków.....	87
Rys. 3.53. Czynniki decydujące o wyborze parkingu wydzielonego Kraków	88
Rys. 3.54. Czynniki decydujące o wyborze miejsca parkingowego przy ulicy Kraków	88
Rys. 4.1. Schemat punktów pomiarowych wyznaczonych dla celów kontrolnych pomiarów kordonowych w ramach KBR 2018 we Wrocławiu.....	96
Rys. 4.2. Przykład okna wynikowego analizy systemu kolejkowego w programie winQSB	108

Rys. 4.3. Zależność wartości wskaźnika wykorzystania systemu parkingowego od intensywności obsługi pojazdów w systemie – w zakresie od 6 do 0,1 pojazdu w godzinie, tj. od 10 do 480 min postojów WinQSB	110
Rys. 4.4. Zależność wielkości prawdopodobieństwa, że wszystkie miejsca parkingowe będą zajęte od intensywności obsługi pojazdów w systemie – w zakresie od 6 do 0,1 pojazdu w godzinie, tj. od 10 do 480 min postojów WinQSB	110
Rys. 4.5. Zależność średniego czasu oczekiwania w kolejce przy 100% zajętości parkingu od intensywności obsługi pojazdów w systemie – w zakresie od 6 do 0,1 pojazdu w godzinie, tj. od 10 do 480 min postojów WinQSB	111
Rys. 4.6. Zależność wskaźnika wykorzystania systemu od liczby miejsc parkingowych WinQSB ...	111
Rys. 4.7. Zależność średniego czasu oczekiwania na zwolnienie miejsca od liczby miejsc parkingowych WinQSB.....	112
Rys. 4.8. Zależność prawdopodobieństwa, że parking będzie napęczniony w 100% od liczby miejsc parkingowych WinQSB.....	112
Rys. 4.9. Prawdopodobieństwo liczby zajętych miejsc parkingowych WinQSB	113
Rys. 4.10. Schemat: popyt – podaż parkingowa w ramach rejonu komunikacyjnego	119
Rys. 4.11. Podział Krakowa na rejon komunikacyjny.....	122
Rys. 4.12. Wskaźnik obciążenia powierzchni parkingowej w szczycie popołudniowym, w poszczególnych podstrefach SPP w Krakowie – wersja graficzna	127
Rys. 5.1. Przykład funkcji przynależności zbioru rozmytego.....	130
Rys. 5.2. Działanie operacji przecięcia zbiorów rozmytych (AND).....	131
Rys. 5.3. Graficzna interpretacja procesu wnioskowania rozmytego wg podejścia Mamdaniego	131
Rys. 5.4. Kształty funkcji przynależności dla poszczególnych terminów opisujących zmienną <i>obciążenie</i>	134
Rys. 5.5. Wykres gęstości dla zbioru danych dot. czasu poszukiwania miejsca deklarowanego przez osoby oceniające proces poszukiwania jako <i>łatwy</i> – Kraków. Źródło: opracowanie własne	135
Rys. 5.6. Wykres gęstości dla zbioru danych dot. czasu poszukiwania miejsca deklarowanego przez osoby oceniające proces poszukiwania jako <i>trudny</i> – Kraków. Źródło: opracowanie własne	135
Rys. 5.7. Wykres gęstości dla zbioru danych dot. czasu poszukiwania miejsca deklarowanego przez osoby oceniające proces poszukiwania jako <i>łatwy</i> – Wrocław. Źródło: opracowanie własne	136
Rys. 5.8. Wykres gęstości dla zbioru danych dot. czasu poszukiwania miejsca deklarowanego przez osoby oceniające proces poszukiwania jako <i>trudny</i> – Wrocław. Źródło: opracowanie własne ...	136
Rys. 5.9. Kształty funkcji przynależności dla poszczególnych terminów opisujących zmienną lingwistyczną <i>czas szukania</i>	136
Rys. 5.10. Kształty funkcji przynależności dla poszczególnych terminów opisujących zmienną lingwistyczną <i>udział search traffic</i>	138
Rys. 5.11. Schemat blokowy modelu wnioskowania rozmytego przygotowanego dla określenia wielkości udziału ruchu <i>search traffic</i> w ruchu ogólnym	140
Rys. 5.12. Powierzchnia wynikowa procesu wnioskowania rozmytego przedstawiająca zależność udziału ruchu <i>search traffic</i> w ruchu ogólnym od stopnia obciążenia powierzchni parkingowej danego obszaru i długości czasu trwania na poszukiwanie wolnego miejsca parkingowego.	140
Rys. 5.13. Wykres powierzchni równania (54), będącego aproksymacją wyników modelowania rozmytego.....	141

Spis tabel

Tab. 1.1. Stawki opłat za parkowanie w Obszarze Płatnego Parkowania w Krakowie.....	18
Tab. 2.1. Oznaczenia wprowadzone dla oszacowania kosztu poszukiwania wolnego miejsca przykrawężnikowego.....	29
Tab. 2.2. Wartości wskaźników do oszacowania kosztu poszukiwania wolnego miejsca przykrawężnikowego – 1.....	30
Tab. 2.3. Wartości wskaźników do oszacowania kosztu poszukiwania wolnego miejsca przykrawężnikowego – 2.....	30
Tab. 2.4. Wartości wag dla poszczególnych składowych czasu podróży w modelu kosztu uogólnionego podróży.....	32
Tab. 2.5. Wartości poszczególnych zmiennych przyjętych dla oszacowania kosztu uogólnionego podróży.....	33
Tab. 2.6. Czynniki mające wpływ na decyzje kierowców związane z podjęciem i kontynuowaniem procesu poszukiwania wolnego miejsca do zaparkowania pojazdu.....	35
Tab. 2.7. Wyniki badań nad <i>search traffic</i> przeprowadzone w latach 1927 – 2001, zestawione w [138].....	37
Tab. 2.8. Wyniki badań nad <i>search traffic</i> przeprowadzone w latach 2000 – 2019.....	38
Tab. 2.9. Klasyfikacja modeli parkowania wg [27].....	45
Tab. 2.10. Zestawienie modeli symulacyjnych procesów parkowania.....	47
Tab. 3.1. Szczegółowa charakterystyka poligonów badawczych.....	54
Tab. 3.2. Zestawienie najważniejszych wyników badań pilotażowych.....	59
Tab. 3.3. Wyniki testu Shapiro – Wilka dla zmiennych <i>czas poszukiwania miejsca parkingowego</i> – pilotażowe badanie ankietowe.....	60
Tab. 3.4. Wyniki testu U Manna-Whitney’a dla zmiennych <i>czas poszukiwania miejsca parkingowego</i>	60
Tab. 3.5. Zestawienie najważniejszych wyników badania parkowania badanie <i>search traffic</i> ,.....	73
Tab. 3.6. Zestawienie wyników badań <i>search traffic</i>	79
Tab. 3.7. Wyniki testu Shapiro – Wilka dla zmiennych <i>czas poszukiwania miejsca parkingowego</i> – badanie ankietowe w całym obszarze SPP.....	85
Tab. 3.8. Wyniki testu U Manna-Whitney’a dla zmiennych <i>czas poszukiwania miejsca parkingowego</i> – badanie ankietowe w całym obszarze SPP.....	86
Tab. 3.9. Podstawowe charakterystyki wyznaczone dla zmiennych <i>czas poszukiwania miejsca parkingowego</i> – badanie ankietowe w całym obszarze SPP.....	86
Tab. 4.1. Charakterystyki przyjęte w przykładowym systemie kolejkowym funkcjonującym jako parking - warianty.....	107
Tab. 4.2. Zestawienie wyników symulacji dla poszczególnych wariantów modelu kolejkowego – warianty.....	108
Tab. 4.3. Prawdopodobieństwo liczby zajętych miejsc parkingowych WinQSB.....	113
Tab. 4.4. Przykład wyznaczania wskaźnika dostępności parkingowej dla konkretnej liczby miejsc postojowych.....	116
Tab. 4.5. Liczba pojazdów wjeżdżających do wybranych rejonów – dane z Modelu Ruchu dla Miasta Krakowa.....	124
Tab. 4.6. Godzinowy popyt na parkowanie w popołudniowym szczycie komunikacyjnym.....	124
Tab. 4.7. Godzinowa zdolność parkingowa obszaru w popołudniowym szczycie komunikacyjnym ..	125
Tab. 4.8. Wskaźnik obciążenia przestrzeni parkingowej dla popołudniowego szczytu komunikacyjnego.....	126
Tab. 5.1. Parametry funkcji przynależności dla terminów opisujących zmienną lingwistyczną <i>obciążenie</i>	134
Tab. 5.2. Zestawienie wyników pomocniczej analizy danych z badań ankietowych w SPP.....	135
Tab. 5.3. Parametry funkcji przynależności dla terminów opisujących zmienną lingwistyczną <i>czas szukania</i>	137

Tab. 5.4. Parametry funkcji przynależności dla terminów opisujących zmienną lingwistyczną <i>udział search traffic</i>	138
Tab. 5.5. Parametry jakości dopasowania modelu (54) do danych wynikowych procesu wnioskowania rozmytego.....	141
Tab. 5.6. Udział ruchu <i>search traffic</i> w ruchu ogólnym w godzinie szczytu popołudniowego wyznaczony dla podstref SPP w Krakowie	143
Tab. 5.7. Ograniczenia w poszczególnych wariantach symulacji zmian w SPP	145
Tab. 5.8. Zmiana poziomu wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej na skutek wdrożenia poszczególnych wariantów zmian w organizacji SPP	146
Tab. 5.9. Zmiana poziomu wskaźnika obciążenia powierzchni parkingowej na skutek wdrożenia poszczególnych wariantów zmian w organizacji SPP – skuteczność ograniczeń	146
Tab. 5.10. Zmiana spodziewanego udziału <i>search traffic</i> na skutek wdrożenia poszczególnych wariantów zmian w organizacji SPP	148
Tab. 5.11. Zmiana spodziewanego udziału <i>search traffic</i> na skutek wdrożenia poszczególnych wariantów zmian w organizacji SPP – udział procentowy	148
Tab. 5.12. Oszczędności kosztów środowiskowych uzyskanych w ciągu godziny w efekcie zmniejszenia udziału <i>search traffic</i> na skutek wdrożenia zmian w funkcjonowaniu podstrefy P6_5	149
Tab. 6.1. Liczba miejsc parkingowych wyznaczona na podstawie [132] oraz na podstawie maksymalnej liczby parkujących pojazdów	157
Tab. 6.2. Napelnienie miejsc postojowych wyznaczona na podstawie [132] oraz na podstawie maksymalnej liczby parkujących pojazdów	158

Załączniki

Załącznik nr 1 – wzór formularza ankietowego do badania pilotażowego występowania *search traffic*

ANKIETA DOTYCZĄCA PARKOWANIA POJAZDÓW

Ankieter..... Ulica..... Data.....

Ta ankieta jest anonimowa. Jej celem jest określenie warunków parkowania.

Wiek:

(określa ankieter)

18 – 24 lata 25 – 34 lata 35 – 49 lat 50 – 64 lata powyżej 65 lat

1) Jaki jest cel Pan(i) podróży?

rozrywka zakupy załatwianie spraw nauka praca dojazd do miejsc zamieszkania

2) Gdzie znajduje się cel Pani/Pana podróży?

Ulica/Skrzyżowanie

3) Ile czasu zajęło Pan(i) znalezienie wolnego miejsca parkingowego?

4) Proszę podać nazwy ulic, którymi jeździł(a) Pan(i) w poszukiwaniu miejsca parkingowego

Ankietowany powinien opisać trasę pokonaną przed znalezieniem wolnego miejsca. Jeśli osoba poruszała się kilka razy tą samą ulicą – jest to ważna informacja.

Jeśli nie jest w stanie wskazać nazw ulic – powinien wskazać ulice na dołączonej mapie

.....
.....
.....

5) Jak często ma miejsce sytuacja, w której zmuszony/a jest Pan(i) do poszukiwania wolnego miejsca parkingowego w tym obszarze z powodu braku wolnych miejsc?

sporadycznie rzadko często bardzo często

6) W sytuacji, gdy u celu nie ma wolnego miejsca do zaparkowania samochodu:

- "krążyć" w pobliżu czekając, aż zwolni się miejsce
- parkuję na najbliższym wolnym miejscu parkingowym przy którejś z sąsiednich ulic
- parkuję na najbliższym wydzielonym parkingu (poza ulicą, kubaturowym)

7) Jak daleko jest Pan(i) w stanie zaparkować samochód w sytuacji, gdy u celu nie ma wolnego miejsca parkingowego?

Proszę podać maksymalny akceptowalny czas dojazdu w minutach

.....

8) Czy wcześniejsza informacja o braku dostępnych miejsc postojowych u celu podróży, przekazana np. przy pomocy smartfona, skłoniłaby Pana/ią do:

- rezygnacji z poszukiwania miejsca postojowego u celu i wybór najbliższego wolnego miejsca np. na wydzielonym parkingu (poza ulicą, kubaturowym)
- informacja taka nie miałaby wpływu na moje zachowania komunikacyjne. Nadal szukał(a)bym miejsc postojowego u celu podróży

9) Skąd Pan(i) przyjechał(a)?

Miejscowość

Ulica.....

DZIĘKUJEMY ZA WYPEŁNIENIE ANKIETY!

Załącznik nr 2 – wzór formularza do patrolowego pomiaru parkowania

Imię i nazwisko obserwatora:.....
Data pomiaru:.....
Obszar:.....

Lp.	Odcinek ulicy	Miejsce parkingowe	Zgodność z przepisami	gg:mm		gg:mm		gg:mm		gg:mm		gg:mm		gg:mm	
				gg	mm	gg	mm	gg	mm	gg	mm	gg	mm	gg	mm

Miejsce parkingowe: Z – zastrzeżone (koperta),
N – miejsce dla niepełnosprawnych – jeśli zaparkowany na nim samochód ma za szybą niebieski identyfikator osoby niepełnosprawnej – w polu przy numerze rej. również dopisać znak „N”;
Zgodność z przepisami: Należy jednym słowem opisać przypadek: zbyt blisko służbowania (służbowanie), zbyt blisko przejścia dla pieszych (przejście dla pieszych), na wjeździe na posesję (wjazd), na trawniku (trawnik), itp.

Załącznik nr 3 – wzór formularza ankietowego do badania zachowań komunikacyjnych związanych z parkowaniem oraz oceny warunków parkowania kierowców parkujących w SPP

Ankieter..... Data.....

Obszar..... Ulica.....

Ta ankieta jest anonimowa. Jej celem jest określenie warunków parkowania.

Określa ankieter

Wiek respondenta:	1. [] 18 – 24 lata
	2. [] 25 – 34 lata
	3. [] 35 – 49 lat
	4. [] 50 – 64 lata
	5. [] powyżej 65 lat
1. Jaki jest cel Pani/Pana podróży?	1. [] rozrywka
	2. [] zakupy
	3. [] załatwianie spraw
	4. [] nauka
	5. [] praca
	6. [] miejsce zamieszkania
2. Gdzie znajduje się cel Pani/Pana podróży?

3. Jak często przyjeżdża Pani/Pan w to miejsce?	1. [] codziennie
	2. [] 2-3 razy w tygodniu
	3. [] raz w tygodniu
	4. [] 2-3 razy w miesiącu
	5. [] raz w miesiącu
	6. [] to jednorazowa podróż
4. Jak długi postój Pani/Pan planuje?
Jak długi postój Pani/Pan odbył(a)?

5. Liczba osób w samochodzie?

6. Czy łatwo było Pani/Panu znaleźć tutaj miejsce do prawidłowego zaparkowania?

7. Ile czasu zajęło Pani/Panu szukanie wolnego miejsca parkingowego?min
8. Czy gdyby znalezienie miejsca parkingowego było łatwiejsze to byłaby/byłby Pani/Pan w stanie zapłacić za godzinę parkowania cenę w kwocie...?	1. [] 9 zł
	2. [] 8 zł
	3. [] 7 zł
	4. [] 6 zł
	5. [] 5 zł
	6. [] 4 zł

9. Skąd Pan/Pani przyjechał/a?

Dziękuję za poświęcony czas!

Załącznik nr 4 – wzór formularza ankietowego do badania czynników mogących mieć wpływ na podejmowanie krążenia w poszukiwaniu wolnego miejsca do zaparkowania - ulica

ANKIETA DOTYCZĄCA PARKOWANIA POJAZDÓW (ULICA)

Ankieter..... Ulica..... Data.....

Ta ankieta jest anonimowa. Jej celem jest określenie warunków parkowania.

Wiek: (określa ankieter)

18 – 24 lata 25 – 34 lata 35 – 49 lat 50 – 64 lata powyżej 65 lat

1) Jaki jest cel Pan(i) podróży?

rozrywka zakupy załatwianie spraw nauka praca

2) Gdzie znajduje się cel Pani/Pana podróży?

Ulica/skrzyżowanie

3) Ile czasu zajęło Pan(i) znalezienie wolnego miejsca parkingowego?min

4) Co zdecydowało o tym, że zaparkował(a) Pan(i) tutaj przy ulicy a nie na Parkingu... (wskazać parking)?

.....
.....
.....

5) Czy zawsze szuka Pan(i) miejsca przy ulicy?

.....
.....

6) Jak daleko jest Pan(i) w stanie zaparkować samochód w sytuacji, gdy u celu nie ma wolnego miejsca parkingowego?

Proszę podać maksymalny akceptowalny czas dojazdu w minutach

.....

7) Skąd Pan(i) przyjechał(a)?

Miejscowość

Ulica/skrzyżowanie

DZIĘKUJĘ ZA POŚWIĘCONY CZAS!

Załącznik nr 5 – wzór formularza ankietowego do badania czynników mogących mieć wpływ na podejmowanie krążenia w poszukiwaniu wolnego miejsca do zaparkowania - parking

ANKIETA DOTYCZĄCA PARKOWANIA POJAZDÓW (PARKING)

Ankieter..... Parking..... Data.....

Ta ankieta jest anonimowa. Jej celem jest określenie warunków parkowania.

Wiek: (określa ankieter)

18 – 24 lata 25 – 34 lata 35 – 49 lat 50 – 64 lata powyżej 65 lat

1) Jaki jest cel Pan(i) podróży?

rozrywka zakupy załatwianie spraw nauka praca

2) Gdzie znajduje się cel Pani/Pana podróży?

Ulica/Skrzyżowanie

3) Czy przed decyzją o zaparkowaniu samochodu na tym parkingu próbował(a) Pan(i) znaleźć miejsce przy ulicy (bliżej celu)?

tak nie

4) Jeśli tak, ile czasu zajęło Pan(i) szukanie wolnego miejsca parkingowego?mir

5) Co zdecydowało o tym, że zaparkował(a) Pan(i) na tym parkingu, a nie przy ulicy -bezpośredn przy celu podróży?

.....
.....
.....

Jeśli ankietowany odpowie, że przed zaparkowaniem na parkingu nie szukał miejsca przy ulicy (pytanie

6) Czy zawsze wybiera Pan(i) parking wydzielony?

.....
.....

7) Skąd Pan(i) przyjechał(a)?

Miejscowość

Ulica/skrzyżowanie

DZIĘKUJĘ ZA POŚWIĘCONY CZAS!