

**Politechnika Krakowska**  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Katedra Systemów Transportowych

**Praca doktorska**

**Delimitacja  
Stref Płatnego Parkowania  
w obszarach miejskich**

mgr inż. Karolina Warszewska

promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Szarata

Kraków, maj 2023



## Spis treści

1. Wprowadzenie .....	9
1.1. Geneza i cel pracy .....	11
1.2. Zakres pracy .....	12
2. Charakterystyka Stref Płatnego Parkowania .....	14
2.1 Strefy Płatnego Parkowania jako instrument polityki parkingowej.....	14
2.2 Prawne uwarunkowania funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania .....	16
2.3 Organizacyjne uwarunkowania funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania.....	19
2.3.1 Dni i godziny obowiązywania Strefy Płatnego Parkowania .....	19
2.3.2 Opłaty za postój oraz ich zróżnicowanie .....	20
2.3.3 Zakres obszarowy Strefy Płatnego Parkowania .....	21
2.3.4 Dopuszczalny maksymalny czas postoju w Strefie Płatnego Parkowania .....	21
2.3.5 Sposób poboru opłat za postój w Strefie Płatnego Parkowania .....	22
2.3.6 Sposoby kontroli uiszczenia opłat za postój w Strefie Płatnego Parkowania .....	25
2.4 Miary opisujące parkowanie .....	25
2.5 Wnioski z rozdziału 2.....	27
3. Badania Stref Płatnego Parkowania oraz analiza dostępnych danych .....	28
3.1 Metody przeprowadzenia badań Stref Płatnego Parkowania .....	28
3.1.1 Badania patrolowe parkingów .....	28
3.1.2 Szczyty tablic rejestracyjnych przy użyciu pojazdów wyposażonych w specjalne oprogramowanie rozpoznające obraz .....	28
3.1.3 Badania ankietowe preferencji użytkowników systemu transportowego.....	29
3.2 Uzupełniające źródła informacji mogące pomóc w badaniach nad Strefami Płatnego Parkowania.....	31
3.2.1 Bazy danych dotyczące poboru opłat parkingowych w Strefie Płatnego Parkowania.....	31
3.2.2 Kompleksowe badania ruchu realizowane w miastach i aglomeracjach.....	32
3.2.3 Modele transportowe miast i aglomeracji .....	32
3.2.4 Inwentaryzacje dostępnych miejsc postojowych.....	33
3.2.5 Bazy danych Głównego Urzędu Statystycznego.....	34
3.2.6 Bazy danych Miejskich Systemów Informacji Przestrzennej .....	34
3.3 Przegląd badań nad parkowaniem prowadzonych w Polsce i zagranicą .....	34
3.4 Wnioski z rozdziału 3.....	37

4.	Struktura modelu funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania .....	38
4.1	Aspekt przestrzenny w strukturze modelu Stref Płatnego Parkowania.....	39
4.2	Aspekt podaży i popytu parkingowego w strukturze modelu Stref Płatnego Parkowania.....	42
4.3	Podsumowanie i wnioski z rozdziału 4. ....	42
5.	Analiza dostępnych danych .....	43
5.1	Opracowanie zmiennych objaśnianych modelu Strefy Płatnego Parkowania .....	43
5.1.1	Baza danych biletów parkingowych.....	45
5.1.2	Baza danych operatorów płatności mobilnych.....	47
5.1.3	Baza danych zawiadomień wystawionych z powodu braku uiszczenia opłaty postojowej.....	48
5.1.4	Baza danych abonamentów postojowych.....	50
5.1.5	Badania patrolowe wykonane we wszystkich podstrefach Strefy Płatnego Parkowania.....	51
5.2	Opracowanie zmiennych objaśniających modelu Strefy Płatnego Parkowania.....	53
5.3	Analiza badań ankietowych użytkowników Strefy Płatnego Parkowania .....	54
5.4	Wnioski z rozdziału 5.....	62
6.	Model symulacyjny funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania .....	63
6.1	Klasyfikacja popytu parkingowego.....	63
6.2	Podstawowe założenia modelu funkcjonowania SPP .....	65
6.3	Algorytm rozkładu popytu parkingowego .....	66
6.3.1	Procedura służąca do celów kalibracji modelu funkcjonowania SPP .....	67
6.3.2	Algorytm służący ustaleniu zakresu obowiązywania SPP .....	70
6.4	Budowa modelu popytu parkingowego.....	71
6.4.1	Wybór modelowanego roku i godziny szczytu .....	73
6.4.2	Liczba dostępnych miejsc postojowych mogących zostać objętych SPP .....	75
6.4.3	Macierz sąsiedztwa rejonów komunikacyjnych .....	77
6.4.4	Macierz atrakcyjności alternatywnych sąsiednich rejonów komunikacyjnych.....	78
6.4.5	Udział pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym.....	79
6.4.6	Liczba użytkowników nieposiadających wykupionych abonamentów postojowych	83
6.4.7	Elastyczność cenowa popytu parkingowego pochodzącego od użytkowników nieposiadających wykupionych abonamentów postojowych .....	87
6.5	Implementacja modelu funkcjonowania SPP w środowisku programistycznym .....	92

6.6	Wyniki rozkładu modelu funkcjonowania SPP w trakcie godziny szczytu.....	94
6.7	Przeliczenie modelowanych dni do dnia maksymalnego zapotrzebowania na miejsca postojowe .....	101
6.8	Rekomendowany zasięg obowiązywania SPP w Krakowie .....	105
6.9	Wnioski z rozdziału 6.....	112
7.	Zastosowanie opracowanej metodyki do delimitacji Strefy Płatnego Parkowania w obszarze miejskim Warszawy.....	114
7.1.	Budowa modelu funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania w Warszawie .....	114
7.1.1.	Model Transportowy Aglomeracji Warszawskiej jako źródło podziału przestrzennego miasta.....	114
7.1.2.	Dane zaczerpnięte bezpośrednio z bazy danych Modelu Transportowego Aglomeracji Warszawskiej.....	117
7.1.3.	Dane obliczone na podstawie wyników Modelu Transportowego Aglomeracji Warszawskiej.....	117
7.1.4.	Opracowanie danych wejściowych do skryptu modelu funkcjonowania SPP ....	118
7.2.	Wyniki modelu funkcjonowania SPP dla obszaru miejskiego Warszawy.....	119
7.3.	Rekomendowany zasięg obowiązywania SPP dla miasta Warszawy.....	122
7.4.	Wnioski z rozdziału 7.....	126
8.	Podsumowanie.....	128
8.1	Istota badań oraz spełnienie założonych celów.....	128
8.2	Wnioski generalne.....	129
8.3	Kierunki dalszych badań .....	131
	Bibliografia .....	132

## **ZAŁĄCZNIKI**

Załącznik 4.1	– Mapa rejonów komunikacyjnych modelu transportowego aglomeracji krakowskiej wraz z numeracją rejonów.....	140
Załącznik 5.1	– Wyznaczenie dostępności transportowej rejonów komunikacyjnych.....	141
Załącznik 5.2	– Formularz ankietowy badań przeprowadzonych wśród użytkowników Strefy Płatnego Parkowania w Krakowie .....	142
Załącznik 6.1	– Schemat blokowy służący kalibracji modelu Strefy Płatnego Parkowania .	143
Załącznik 6.2	– Schemat blokowy służący delimitacji Strefy Płatnego Parkowania .....	149
Załącznik 6.3	– Kod programu służącego uczeniu maszynowemu modelu regresji wektorów nośnych NuSVR do celu wyznaczenia ceny referencyjnej.....	155
Załącznik 6.4	– Kod programu służącego kalibracji modelu Strefy Płatnego Parkowania...	156
Załącznik 6.5	– Kod programu służącego delimitacji Strefy Płatnego Parkowania.....	160



## Streszczenie

Praca zawiera autorskie podejście do problematyki wyznaczania granic Stref Płatnego Parkowania w obszarach miejskich. Celem niniejszej dysertacji było stworzenie metodyki pozwalającej na prawidłowe kształtowanie zasięgu obowiązywania Stref Płatnego Parkowania przy zastosowaniu narzędzia łączącego metody analiz przestrzennych z metodami statystycznymi.

Rozprawa traktuje o szeroko pojętej charakterystyce Stref Płatnego Parkowania, w której omówiono pełne spektrum uwarunkowań prawnych oraz organizacyjnych, które towarzyszą kształtowaniu stref. W dysertacji uporządkowano pojęcia związane z miarami opisującymi parkowanie, metodami badań parkowania oraz dokonano przeglądu dotychczasowych prac badaczy z kraju i zagranicy. Omówiono jak Strefy Płatnego Parkowania wpisują się w ideę działań dążących do zrównoważonej mobilności, odnosząc się przy tym także do alternatywnych środków wprowadzania polityki parkingowej.

Zaproponowano metodykę delimitacji stref, której fundamentalną część stanowi opracowany model symulacyjny funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania. Bazę stworzonego modelu parkowania oparto zaś na klasycznym czterostadiowym modelu transportowym. Z modelu transportowego wykorzystano podział miasta na rejony komunikacyjne, zmienne objaśniające oraz miary obliczone na podstawie wyników modelu transportowego (tj. potencjały ruchotwórcze oraz dostępność transportową). Ponadto, część przyjętych założeń koniecznych do opracowania modelu funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania stanowiło analogię do założeń czynionych podczas tworzenia standardowych modeli transportowych.

Do budowy modelu funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania koniecznym było zintegrowanie zestawów danych pochodzących z różnych źródeł. Poza modelem transportowym miasta wykorzystano także dane pochodzące z badań patrolowych oraz ankietowych, jak i dane operacyjne pozyskane od zarządcy Strefy Płatnego Parkowania. W ramach pracy dokonano syntezy i ujednoczenia zgromadzonych informacji.

W ramach opracowanej metodyki delimitacji stref dokonano klasyfikacji popytu parkingowego, która pozwoliła na przygotowanie algorytmów dokonujących jego rozkładu przestrzennego na istniejącą infrastrukturę miejską. W proces obliczeń wpleciono element elastyczności cenowej popytu, co pozwoliło na symulację oddziaływań popytu parkingowego między rejonami komunikacyjnymi, w zależności od przyjętej polityki cenowej. Opracowane algorytmy zaimplementowano w środowisku programistycznym. W wyniku przeprowadzonych symulacji możliwym stało się wskazanie rejonów, w których rekomendowane jest wprowadzenie stref wraz z poziomem cenowym pozwalającym na osiągnięcie pożądanego maksymalnego napełnienia miejsc postojowych w każdym z rejonów komunikacyjnych.

W celu weryfikacji uniwersalności stworzonego modelu, dokonano próby jego zastosowania dla innego obszaru miejskiego. Na zakończenie sformułowano wnioski bazujące na przeprowadzonych badaniach oraz wyznaczono kierunki potencjalnego dalszego rozwoju tematyki delimitacji Stref Płatnego Parkowania.

## Abstract

The dissertation contains an original approach to the issue of determining the boundaries of Paid Parking Zones in urban areas. The aim of this thesis was to develop a method that would allow for the correct shaping of the extents of Paid Parking Zones with the use of a tool combining spatial analysis with statistical methods.

The dissertation deals with the broadly understood characteristics of Paid Parking Zones. It discusses the full spectrum of legal and organizational conditions that accompany the formation of Paid Parking Zones. The thesis organises the concepts related to measures describing parking, methods of parking research and reviews the work conducted by scientists from Poland and abroad. It was also discussed how Paid Parking Zones fit in with the idea of actions aiming at sustainable mobility, also referring to alternative means of implementing parking policies.

A methodology for delimiting Paid Parking Zones has been proposed, the fundamental part of which is a developed simulation model of the Paid Parking Zone functioning. The basis of the created parking model came from the classic four-stage transport model. The transport model was used to divide the city into traffic analysis zones, get explanatory variables and to apply measures calculated using the transport model results (i.e. trip generation and transport accessibility). In addition, some of the assumptions necessary to develop the model of the functioning of Paid Parking Zones were analogous to the assumptions made when creating standard transport models.

In order to build a model of the Paid Parking Zone functioning, it was necessary to integrate sets of data from various sources. Except from transport model data inputs, data from patrol and survey research, as well as operational data obtained from the administrator of a Paid Parking Zone were used. As part of the work, a synthesis and unification of the collected information was made.

As part of the developed Paid Parking Zone delimitation methodology, parking demand was classified, which allowed the preparation of algorithms for its spatial distribution onto the existing urban parking infrastructure. The element of price elasticity of parking demand was woven into the calculation process, which made it possible to simulate the impact of parking demand between transport zones, depending on the adopted pricing policy. The developed algorithms were implemented in a programming environment, which allowed for the identification of traffic analysis zones where Paid Parking Zones are recommended.

In order to verify the universality of the created model, an attempt was made to apply it to a different urban area. At the end, conclusions based on the conducted research were formulated and directions of potential development of the subject of delimiting Paid Parking Zones were determined.



## 1. Wprowadzenie

Sposób, w jaki codziennie funkcjonują systemy transportowe obszarów miejskich<sup>1</sup> stanowi odbicie aktywności osób, które w tych obszarach przebywają. Aktywność ta z kolei, związana jest z zaspakajaniem ich potrzeb: od tych najprostszych, zawodowych czy edukacyjnych, po potrzeby wyższego rzędu – kulturalne i rozrywkowe. Różnorodność podejmowanych działań, w kombinacji z rozmieszczeniem miejsc realizacji poszczególnych potrzeb na mapach miast powoduje, że użytkownicy systemu transportowego zmuszeni są do licznych podróży i niemal codziennego podejmowania decyzji dotyczących wyboru środka przemieszczania będącego dla nich najbardziej korzystnym w aktualnie panujących warunkach. Z punktu widzenia jednostek, decyzje te podejmowane są w oparciu o tzw. uogólniony koszt podróży określany indywidualnie m. in. w zależności od preferencji i zamożności użytkownika [1], [2]. Ocena atrakcyjności środków transportu dokonywana jest zaś na podstawie zróżnicowanych kryteriów [3]. Niestety, w skali całego obszaru miejskiego, interesy poszczególnych użytkowników mogą nie być zbieżne z interesem ogółu funkcjonującej tam społeczności. Nim zaczęto poszukiwać narzędzi, które pozwalałyby oddziaływać korzystnie na zmiany w mobilności użytkowników infrastruktury transportowej, postanowiono walczyć z zatłoczeniem drogowym przez podnoszenie parametrów ciągów transportowych, co skutkowało zwiększeniem klasycznie rozumianej przepustowości.

Przepustowość rozumiana klasycznie wyrażana jest w liczbie pojazdów będących w stanie pokonać dany przekrój ciągu komunikacyjnego, w danej jednostce czasu. Nastawienie na maksymalizację tak rozumianej przepustowości, przy użyciu narzędzi inżynierii ruchu, doprowadziło do degradacji obszarów miejskich w wyniku terenochłonnych inwestycji drogowych. Jednak pomimo realizacji wysokobudżetowych przedsięwzięć, problem chronicznych stanów wyczerpania przepustowości, tj. kongestii, nie został zlikwidowany [4]–[6]. Rozbudowa infrastruktury drogowej zachęcała bowiem jedynie użytkowników do wyboru samochodu osobowego jako środka przemieszczania się. Obserwowane zjawisko (zgodne z tzw. prawem Lewisa-Mogridge’a [7], [8]) spowodowało, że zaczęto zmieniać podejście do maksymalizacji przepustowości. Zaczęto ją postrzegać – w swoim nowym sensie – jako liczbę osób będących w stanie pokonać dany przekrój ciągu komunikacyjnego, w danej jednostce czasu. Tak istotna zmiana kluczowego pojęcia, w którym zaprzestano koncentracji na pojazdach na rzecz przemieszczających się osób, zaistniała jednak dopiero w momencie, gdy już zdążyło dojść w mniejszym bądź większym stopniu do przebudowy sieci transportowych miast pod kątem zwiększania przepustowości dawnego podejścia. W konsekwencji, zaistniała potrzeba stworzenia narzędzi pozwalających oddziaływać na zmianę niekorzystnych zachowań komunikacyjnych (przeczących idei zrównoważonej mobilności), a ogół takich działań nazywany jest zarządzaniem mobilnością [9], [10].

Zarządzanie mobilnością ma za zadanie wpływać na podejmowanie decyzji transportowych w celu ograniczenia łącznych ponoszonych kosztów z punktu widzenia całego systemu transportowego. Ma bowiem nakłaniać użytkowników do korzystania z form przemieszczania się, które w ogólnym rachunku ponoszonych kosztów i korzyści wygenerują jak najmniejsze straty w skali całego obszaru miejskiego. Zrównoważona mobilność koncentruje się na minimalizacji kosztów transportu wszystkich użytkowników, nie faworyzując jednostek ani żadnej z grup użytkowników. Kształtowanie tkanki miejskiej w racjonalny sposób wymaga zatem wykorzystania różnych narzędzi zarządzania mobilnością,

---

<sup>1</sup> Zgodnie z podejściem statystyki publicznej Głównego Urzędu Statystycznego w Polsce, przez obszar miejski (miasto) rozumieć należy “tereny położone w granicach administracyjnych miast, czyli obszary gmin miejskich oraz miast w gminach miejsko-wiejskich” (źródło: <https://stat.gov.pl/statystyka-regionalna/jednostki-terytorialne/podzial-administracyjny-polski/rodzaje-gmin-oraz-obszary-miejskie-i-wiejskie/> - odczyt z dnia 10 marca 2023 r.)

które mogą charakteryzować się zróżnicowanym stopniem restrykcji. Właściwe stosowanie środków zarządzania mobilnością wspomaga realizację celów projektowania rozwiązań transportowych, wśród których wymienia się m. in. zapewnienie sprawności funkcjonowania systemu transportowego przy rosnącym poziomie motoryzacji czy też polepszenie warunków parkowania [11].

W literaturze spotkać się można z podziałem uwzględniającym tzw. „miękkie” narzędzia, które w swojej naturze są mało inwazyjne i nie zmuszają użytkowników do istotnych zmian przyzwyczajzeń ani znaczącego podniesienia kosztów transportu wybranej grupy (np. poprzez edukację, tworzenie planów mobilności, koordynację rozkładów jazdy publicznego transportu zbiorowego) oraz ich bardziej radykalny odpowiednik – narzędzia „twarde” o charakterze inwestycyjnym, finansowym, prawnym etc. (np. budowa linii tramwajowej, opłaty kongestyjne, tworzenie stref płatnego parkowania).

Strefy Płatnego Parkowania (SPP) stanowią jeden z finansowych instrumentów zarządzania mobilnością. W wyniku ich funkcjonowania nakładane są, w obszarach nimi objętych, obowiązkowe opłaty za parkowanie, najczęściej w wyznaczonych godzinach i dniach tygodnia. Niedogodność dla kierowców polega więc na podniesieniu kosztu uogólnionego przemieszczania się samochodem osobowym. Bezpośrednim celem wprowadzania SPP jest zniechęcanie zmotoryzowanych użytkowników transportu indywidualnego do podróży samochodem, na rzecz alternatywnych (bardziej ekologicznych i ekonomicznych) środków transportu.

Logika wprowadzania SPP bazuje na następującym warunku: jeżeli aktywność realizowana w danym miejscu docelowym jest w dostatecznym stopniu atrakcyjna dla użytkownika, to będzie on w stanie ponieść podwyższony uogólniony koszt transportu, w celu odbycia podróży umożliwiającej zaspokojenie konkretnej potrzeby tamże. Istotne dopełnienie powyższej zależności stanowi istnienie pewnego indywidualnego progu, po przekroczeniu którego może zapaść decyzja dotycząca rezygnacji z danej formy podróży bądź nawet – co mniej pożądane – ze związanej z podróżą aktywności. Użytkownik potrzebuje danej rzeczy/usługi do pewnego akceptowalnego dla niego indywidualnie poziomu kosztów, a po jego przekroczeniu (np. w wyniku chęci dotarcia samochodem w celu zrealizowania danej aktywności) atrakcyjność czynności spada na tyle, że podejmuje on decyzję związaną ze zmianą zachowań komunikacyjnych albo rezygnuje z wykonywania danej czynności w danej lokalizacji. Istotą prawidłowej implementacji SPP jest zatem znalezienie stanu równowagi pomiędzy sposobem jej organizacji w danej lokalizacji (np. liczbą dostępnych miejsc parkingowych, stawką opłat pobieranych za postój) w stosunku do poziomu jej atrakcyjności.

Fundamentalnym założeniem w przypadku implementacji SPP jest fakt, iż przestrzeń miejska stanowi obszar dostępny dla ogółu mieszkańców i przyjezdnych, nie zaś publiczny teren przeznaczony do zaspokajania potrzeb parkingowych wybranej grupy osób [12]. Notabene, brak jest obiektywnego kryterium, dla którego potrzeby osób zmotoryzowanych by miały być przedkładane nad potrzeby pozostałych użytkowników miejskiej infrastruktury transportowej. Wręcz przeciwnie – z uwagi na wysokie koszty zewnętrzne generowane przez użytkowników korzystających z samochodów osobowych – kierowcy powinni liczyć się z niedogodnościami będącymi skutkiem wyboru nieekonomicznego i nieekologicznego środka przewozowego.

Poza tym, że parkowanie pojazdów na ulicach nie przynosi żadnego rodzaju korzyści dla ogółu mieszkańców miasta, to przynosi ono dodatkowo straty w postaci niewykorzystanej powierzchni miejskiej, która nie podnosi atrakcyjności obszaru ani nie jest w stanie doprowadzić w wyniku swojego funkcjonowania do ożywienia gospodarczego. Postój pojazdów towarzyszy bowiem realizacji potrzeb użytkownika w atrakcyjnym dla niego miejscu, nie jest zaś celem samym w sobie.

Parkowanie stanowi zatem efekt uboczny indywidualnej mobilności zmotoryzowanej, gdyż:

- jest terenochłonne (postój jednego pojazdu zajmuje powierzchnię co najmniej kilkunastu metrów kwadratowych),
- zaburza estetykę miejską,
- może generować dodatkowy ruch związany z poszukiwaniem miejsca parkingowego (tzw. *search traffic*) [13], [14],
- powoduje powstawanie barier fizycznych w przemieszczaniu się rowerzystów i pieszych (zwłaszcza dla osób z ograniczoną zdolnością poruszania się).

Dodatkowo, poza negatywami samego parkowania, należy również pamiętać o niekorzystnych konsekwencjach ruchu samochodowego, które parkowaniu bezpośrednio towarzyszą: m. in. zanieczyszczenie środowiska, generacja hałasu i drgań [15], [16] czy też potencjalny negatywny wpływ na główne czynniki stanowiące o jakości naziemnego miejskiego transportu zbiorowego (tj. na punktualność oraz regularność kursowania).

### 1.1. Geneza i cel pracy

Genezy powstania niniejszej dysertacji należy upatrywać w potrzebie stworzenia metody pozwalającej na opracowywanie projektów funkcjonowania SPP i zarządzanie nimi w oparciu o obiektywne, możliwe do skwantyfikowania kryteria. Zapotrzebowanie na tego rodzaju narzędzie występuje przede wszystkim wśród zarządców miast, na terenie których występuje zjawisko znacznego deficytu miejsc postojowych. Konieczność podejmowania działań pozwalających na zwiększenie dostępności atrakcyjnych obszarów powoduje, że decydują się oni na implementację SPP. Takowe postępowanie może stanowić skuteczne rozwiązanie istotnego problemu współczesnych miast. Musi się ono jednakże najpierw zmierzyć z zagrożeniem jakim jest fakt, iż dotychczas decyzje na temat wprowadzania oraz zarządzania SPP zapadały w większości arbitralnie, bez przeprowadzania obiektywnych naukowych analiz [17]. Ponadto, wybory decydentów nosiły jednocześnie znamiona decyzji *stricte* politycznych, gdyż były podejmowane bezpośrednio przez miejskich radnych. W związku z brakiem odniesienia projektowanych SPP chociażby do istniejących (i nieustannie się zmieniających) uwarunkowań społeczno-ekonomicznych, bardzo skuteczne narzędzie zarządzania mobilnością, jakim są niewątpliwie SPP [18], [19], narażone jest na osłabienie swojej efektywności. Istnieje zatem uzasadniona obawa, że potencjał SPP może nie zostać w pełni wykorzystany, jeśli tryb podejmowania decyzji z nimi związanych nie doczeka się dostatecznego ulepszenia.

Sposób funkcjonowania SPP (zarówno jej zasięg, jak i polityka cenowa) stanowi istotny element życia codziennego użytkowników infrastruktury miejskiej. W związku z tym zachęca on także do licznych dyskusji, które niejednokrotnie w wyniku negatywnego nastawienia kierowców, przeradzają się w społeczne protesty. Nieprzychylnie nastawienie wspomnianej grupy odbiorców (choć nie tylko jej) bierze się niestety zasadniczo z mniemania jakoby najważniejszym celem wprowadzania SPP było ratowanie budżetów jednostek miejskich kosztem zwykłych obywateli. Opłata uiszczana za postój traktowana jest bowiem w dużej mierze jako niesłusznie nakładana danina, która poza renowacją finansów nie wykazuje szerszego zastosowania. Nie da się zaprzeczyć, iż najczęściej przychody związane z działalnością SPP są w stanie pokryć koszty jej funkcjonowania, a nawet wygenerować pewne zyski. Postrzegać można to jednak jedynie jako istotną zaletę SPP. Nie dość więc, że strefy są w swym działaniu skuteczne, a efekt ich oddziaływania widoczny jest natychmiastowo, to nie wymagają one w większości przypadków żadnych subwencji. Warto dodać, iż rentowność jest rzadka wśród pozostałych dostępnych narzędzi zarządzania mobilnością. Stosowanie SPP może stanowić doskonałe narzędzie, pozwalające weryfikować faktyczną konieczność zaparkowania w danej lokalizacji. Zwiększają dostępność obszarów dla użytkowników, dla których dotarcie samochodem jest rzeczywiście istotne (np. osoby

z ograniczoną zdolnością poruszania się). Eliminują użytkowników, dla których dotarcie samochodem stanowi przede wszystkim kwestię przyzwyczajenia i wygody.

Celem niniejszej pracy jest zatem:

- opracowanie modelu integrującego czynniki kwantyfikujące zjawiska związane z parkowaniem, który może posłużyć realizowaniu celowej polityki parkingowej za pośrednictwem implementacji Stref Płatnego Parkowania,
- identyfikacja i parametryzacja czynników uwzględnianych w ramach projektowania Stref Płatnego Parkowania,
- klasyfikacja popytu parkingowego oraz parametryzacja zjawiska rozlewania się popytu parkingowego w zależności od stosowanej polityki funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania,
- stworzenie metodyki, która pozwoli na delimitację<sup>2</sup> Stref Płatnego Parkowania przy wykorzystaniu dedykowanego narzędzia, w którym powiązane ze sobą zostaną metody analiz przestrzennych z narzędziami statystycznymi (takimi jak uczenie maszynowe czy metody regresji liniowej).

Zamierzeniem dysertacji jest dobór adekwatnych zmiennych, które pozwolą opisać i przewidzieć zachowania użytkowników stref. Znalezienie odpowiednich czynników możliwe będzie natomiast dopiero po uprzednim zgromadzeniu i opracowaniu danych mówiących o warunkach panujących w SPP.

Przyczyną realizacji opisanego tematu jest luka badawcza występująca zarówno w tematyce dotyczącej zasadności samego wprowadzania SPP jak i ich kształtu, wysokości i zróżnicowania opłat za postój oraz stosowności i metodyki tworzenia tzw. stref buforowych. Zbadanie każdego z wymienionych aspektów funkcjonowania stref stwarza szansę na przygotowanie narzędzia, które pozwoli na racjonalne organizowanie i zarządzanie SPP przy stosunkowo niewielkich kosztach implementacji oraz późniejszego nadzoru. Naukowe uzasadnienie dotyczące wprowadzania stref może stanowić ponadto kluczowy argument władarzy miast podczas dyskusji przeprowadzanych z przeciwnikami istniejących i planowanych SPP (np. podczas konsultacji społecznych).

## 1.2. Zakres pracy

Realizacja przedstawionego celu pracy wymaga między innymi wykonania zadań badawczych jakimi są:

- analiza danych o istniejącym poziomie napełnienia miejsc postojowych na podstawie informacji pozyskanych od operatora SPP oraz dostępnych badań patrolowych,
- budowa regresyjnych modeli popytu parkingowego pochodzącego od różnych grup użytkowników SPP,
- analiza czynników przestrzennych związanych z wyborem potencjalnego alternatywnego miejsca postoju,
- analiza elastyczności cenowej popytu parkingowego na podstawie własnych badań ankietowych.

Wkomponowanie zadań badawczych w strukturę niniejszej pracy wraz opisem treści wszystkich ośmiu rozdziałów dysertacji opisano poniżej.

Pierwszy z rozdziałów zawarty w pracy obejmuje ogólne wprowadzenie do podjętej tematyki. Zawarto w nim zarówno genezę podjęcia pracy, jak i jej cel i zakres.

Drugi rozdział dysertacji przybliży ogólną charakterystykę Stref Płatnego Parkowania. Określa sposób, w jaki SPP wpisują się w ideę zrównoważonej mobilności, opisując także alternatywne narzędzia dostępne w ramach kształtowania polityki parkingowej. Uwzględnione zostały ponadto również prawne i organizacyjne aspekty, które należy brać pod uwagę

---

<sup>2</sup> Przez delimitację rozumieć należy «wyznaczenie granic czegoś» [115]

projektując strefy. W części tej przybliżono najczęściej stosowane miary parkowania, które pozwalają na kwantyfikację zachowań z nim związanych.

Trzeci rozdział pracy uwzględnia różne sposoby, w jakie można badać zjawiska związane z postojem. Opisano dostępne metody przeprowadzania badań pozwalających na pozyskanie empirycznych miar parkowania oraz różne możliwości pozyskiwania informacji za pośrednictwem gromadzonych sondaży ankietowych. Dokonano ponadto także przeglądu licznych źródeł danych, które mogą stanowić uzupełnienie zebranych informacji. Omawianą część wieńczy przegląd literatury krajowej i zagranicznej, która dotyczy ogółu badań zjawisk związanych z parkowaniem.

Czwarty rozdział stanowi opis struktury zaproponowanego w dysertacji modelu funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania. Zawiera przedstawiony za pomocą schematu sposób realizacji prac, wraz ze wskazaniem wybranych do tego celu źródeł danych.

W piątym rozdziale dokonano szczegółowej analizy oraz syntezy danych, które zostały wykorzystane do późniejszej budowy symulacyjnego modelu funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania. Do tego celu ujednolicone zostały zarówno dane pochodzące z badań patrolowych oraz ankietowych, jak i informacje zaczerpnięte z danych operacyjnych jednego z zarządców SPP.

Szósty rozdział dysertacji opisuje szczegóły związane z budową modelu funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania. Przedstawiono w nim wszystkie przyjęte założenia modelu, wraz z uzasadnieniem wyboru modelowanego horyzontu czasowego. Niezbędnym było również uzupełnienie istniejących luk w wykorzystywanych źródłach danych poprzez opracowanie modeli regresji. W rozdziale dokonano ponadto klasyfikacji popytu parkingowego, w oparciu o którą przygotowano algorytmny rozkład popytu parkingowego na istniejącą miejską infrastrukturę parkingową. Zaprezentowano sposób implementacji opracowanych algorytmów w środowisku programistycznym wraz z ich ilustracją przy pomocy schematów blokowych. W omawianej części dysertacji przedstawiono także sposób adaptacji elementu elastyczności cenowej popytu parkingowego, który został opracowany przy wykorzystaniu własnych badań ankietowych. Skwantyfikowano czynniki przestrzenne związane z wyborem potencjalnego alternatywnego miejsca postoju. Następnym krokiem było porównanie wyników symulacji modelu funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania z wynikami badań patrolowych, do których model został skalibrowany. Ostatecznie otrzymane rezultaty zostały przeskalowane do modelowanego dnia, w którym zidentyfikowano maksymalne zapotrzebowanie na parkowanie. Na podstawie otrzymanych wyników oraz ich analizy zarekomendowano zasięg obszarowy Strefy Płatnego Parkowania wraz z polityką cenową.

Siódmy rozdział pracy stanowił próbę odtworzenia opracowanego modelu funkcjonowania SPP na przykładzie innego obszaru miejskiego. Na podstawie otrzymanych wyników wyciągnięto wnioski oraz sformułowano rekomendacje dotyczące uniwersalności użytkowania stworzonego modelu SPP.

Ostatnia, ósma część dysertacji stanowi podsumowanie rozprawy, w którym omówiono realizację założonego celu pracy. Rozdział ten obejmuje szereg wniosków wyciągniętych z przeprowadzonych analiz i wskazuje potencjalne kierunki rozwoju badań z dziedziny delimitacji Stref Płatnego Parkowania.

## 2. Charakterystyka Stref Płatnego Parkowania

Chcąc lepiej pojąć problematykę dotyczącą organizacji oraz funkcjonowania SPP należy najpierw rozważyć różne czynniki pozwalające na lepsze zrozumienie celowości ich implementacji oraz wszelkich uwarunkowań, które powinno się w tym kontekście uwzględnić. W konsekwencji, najpierw, w podrozdziale 2.1, postanowiono skupić się na tym, w jaki sposób wprowadzanie stref przyczynia się do realizacji lokalnej polityki transportowej (a dokładniej: polityki parkingowej). Następnie zwrócono natomiast uwagę zarówno na prawne, jak i na organizacyjne uwarunkowania funkcjonowania stref (odpowiednio w podrozdziale 2.2 oraz 2.3). Uwzględnienie wymienionych wyżej perspektyw pozwala na uzyskanie pełniejszego obrazu słuszności wprowadzania stref. Daje ono także możliwość dostrzeżenia szerokiego spektrum wyzwań i możliwości towarzyszących ich implementacji.

### 2.1 Strefy Płatnego Parkowania jako instrument polityki parkingowej

Potrzebę stosowania narzędzi zarządzania mobilnością po raz pierwszy dostrzeżono w USA z końcem lat 70. XX wieku [10]. Dynamiczny rozwój motoryzacji oraz rozpowszechnienie dostępu do samochodu osobowego prowadził bowiem do coraz większej kongestii [20]. W odpowiedzi na problemy zatłoczenia komunikacyjnego miast, zaczęto wprowadzać szereg obostrzeń mających na celu zbalansowanie podziału zadań przewozowych. Wśród licznych miękkich i twardych instrumentów zarządzania mobilnością, do polityki parkingowej odnoszą się: organizacja parkingów przesiadkowych typu P+R (Park and Ride, tj. Parkuj i Jedź), B+R (Bike and Ride), K+R (Kiss and Ride), stosowanie normatywów parkingowych oraz implementacja Stref Płatnego Parkowania.

Parkingi przesiadkowe typu Parkuj i Jedź mają stanowić zachętę dla zmotoryzowanych uczestników ruchu do przerwania swojej podróży samochodem na pewnym etapie i kontynuowania jazdy do miejsca docelowego pojazdami transportu zbiorowego. Lokalizacja tego typu obiektów zazwyczaj planowana jest w bezpośrednim sąsiedztwie dobrze skomunikowanych węzłów przesiadkowych, z których linie kursują z wysoką częstotliwością. Stosowany zaś tabor jest w stanie pomieścić znaczną liczbę pasażerów, gdyż najczęściej parkingi typu P+R lokowane są w pobliżu istotnych korytarzy transportu szynowego na obrzeżach miast. Grupą docelowych użytkowników systemu Park and Ride są przede wszystkim mieszkańcy aglomeracji, którzy mają utrudniony dostęp do ich ośrodka centralnego. Dogodny dojazd do parkingu przesiadkowego i późniejsze kontynuowanie podróży pojazdami transportu zbiorowego pozwala ograniczyć zatłoczenie drogowe, nie zmuszając przy tym kierowców do całkowitej rezygnacji z użytkowania samochodu osobowego.

Parkingi przesiadkowe typu Bike and Ride umożliwiają rowerzystom skrócenie łącznego dystansu przebytego na jednośladowym na rzecz komunikacji miejskiej. Infrastruktura B+R lokalizowana jest najczęściej przy obiektach P+R. Parkingi typu Kiss and Ride są natomiast sytuowane głównie w pobliżu miejsc, do których ludzie są podwożeni. Najczęściej są to dworce kolejowe, autobusowe, kompleksy biurowców, lotniska. Ideą funkcjonowania parkingów K+R jest możliwość podróży do miejsca docelowego samochodem bez konieczności zajmowania miejsca postojowego tamże. Dodatkowym atutem jest zwiększenie poziomu napełnień pojazdów oraz rotacji miejsc postojowych zlokalizowanych w najbliższym sąsiedztwie dużych generatorów ruchu. Każdy z przedstawionych trzech rodzajów parkingów przesiadkowego stanowi korzystną formę wsparcia dla zrównoważonej mobilności. Jednakże nie są one w stanie samodzielnie istotnie poprawić warunków ruchu w mieście. Z badań wynika, że nawet w przypadku implementacji kompleksowego systemu parkingów typu P+R, ich wpływ na redukcję pracy przewozowej wykonanej przez samochody osobowe będzie w skali całej miejscowości nieznaczny. Szacuje się bowiem, że liczba ta oscyluje w okolicach 2-3% [21].

Wśród narzędzi pozwalających oddziaływać na zachowania komunikacyjne użytkowników miejskiej infrastruktury transportowej wymienić można dodatkowo stosowanie normatywów parkingowych [12], [13], [22], [23]. Z założenia normatywy parkingowe wyznaczają ograniczenia w liczbie miejsc postojowych, jakie mogą być udostępnione przy danym obiekcie. Mogą dotyczyć zarówno minimalnej liczby stanowisk, jak i liczby maksymalnej. Szeroko komentowane są przede wszystkim następstwa wymagania udostępniania minimalnej liczby miejsc parkingowych. Wynikający z niej problem nadpodaży miejsc parkingowych szczególnie podkreślany jest w badaniach północnoamerykańskich autorów [13], [24]. Polityka transportowa sprzyjająca indywidualnemu transportowi zmotoryzowanemu, rozbudowana infrastruktura drogowa oraz wygórowane wymogi dotyczące minimalnej powierzchni parkingowej spowodowały, iż przeznaczone do celów postoju miejsca nie są w pełni wykorzystywane. Nie będąc przez znaczną część dnia obłożone, marnują cenną przestrzeń miejską. Omawiane zjawisko stało się uciążliwe do takiego stopnia, że zaczęto podejmować próby oszacowania, jak wdrożenie systemu typu smart parking<sup>3</sup> wpłynie na wzrost atrakcyjności i wartości obszarów spowodowany ponownym zagospodarowaniem uwolnionej od parkowania przestrzeni miejskiej [24].

Bardziej efektywnym (i elastycznym) narzędziem polityki parkingowej jest natomiast implementacja Stref Płatnego Parkowania. Ich obecność może prowadzić do znacznego zmniejszenia poziomu napełnienia przestrzeni parkingowej z, w zasadzie, natychmiastowym skutkiem. SPP są narzędziem, którego zaczęto stosować w roku 1935 w Stanach Zjednoczonych. Pierwszą SPP była strefa w centrum miasta Oklahoma City [20]. W Polsce pierwsza SPP powstała w Krakowie na mocy uchwały ustanowionej przez ówczesną Radę Narodową Miasta Krakowa w 1988 roku [25]. Jej implementacja stanowiła część zintegrowanych działań związanych z uspokojeniem ruchu w Krakowie. Z biegiem lat do Krakowa dołączać zaczęły pozostałe duże miasta w Polsce. Działo się tak dlatego, że wskaźnik motoryzacji w całym kraju rósł, a wraz z nim pogłębiał się problem ze znalezieniem miejsca postojowego. Coraz powszechniejszy samochód poprawił dostępność dużych ośrodków miejskich, zwłaszcza dla osób zamieszkujących tereny o niskim poziomie obsługi transportem zbiorowym (rzadko kursujące pojazdy o bardzo długich czasach przejazdu). Powszechny akces do samochodów osobowych przyczynił się także w znacznej mierze do rozlewania się miast na obszary podmiejskie (suburbanizacja). Dziś płatne parkowanie wprowadzane jest już nie tylko w dużych ośrodkach miejskich, lecz także w mniejszych miejscowościach liczących niekiedy zaledwie kilkadziesiąt tysięcy mieszkańców [26], [27].

Niezależnie od wielkości miast obejmowanych płatnym parkowaniem, zazwyczaj decyzjom związanym z implementacją bądź rozszerzaniem istniejących stref towarzyszy wiele kontrowersji oraz angażująca debata publiczna [23]. Z tego też względu należy zwrócić szczególną uwagę na istotność prowadzenia konsultacji społecznych. Uwzględnienie potrzeb różnych grup użytkowników potencjalnej SPP wiąże się bowiem z koniecznością godzenia interesów, które się bardzo często wzajemnie wykluczają. Konsultacje społeczne pozwalają natomiast na lepsze zrozumienie występujących problemów, ich skali oraz na identyfikację możliwych kompromisów.

---

<sup>3</sup> Rozwiązanie polegające na wskazaniu kierującemu konkretnego dostępnego miejsca postojowego, na którym ma zaparkować. Dzięki oddziaływaniu na poziomy napełnień miejsc postojowych możliwe byłoby zwolnienie części z nich oraz zmiana przeznaczenia terenu, na którym są zlokalizowane, pod inny rodzaj zabudowy.

W trakcie konsultacji społecznych należy zasadniczo uwzględnić interesy następujących grup użytkowników SPP [28]:

- Mieszkańcy obszarów planowanej SPP: grupa ta zazwyczaj uprawniona jest do niedrogich abonamentów postojowych dających nielimitowany dostęp do parkowania – bardzo często osoby te same postulują o wprowadzenie strefy w pobliżu miejsca ich zamieszkania by pozbyć się pojazdów użytkowników niebędących mieszkańcami danego obszaru;
- Mieszkańcy obszarów niewchodzących w skład planowanej SPP (w tym obszarów podmiejskich) planujący długoterminowy (powyżej 3 godzin) postój w SPP: osoby te najmocniej odczuwają skutki wprowadzenia potencjalnej SPP – przypuszczalna większa łatwość znalezienia miejsca parkingowego nie bilansuje się w ich przypadku z wysokim kosztem opłacenia długoterminowego postoju;
- Mieszkańcy obszarów niewchodzących w skład planowanej SPP (w tym obszarów podmiejskich) planujący krótkoterminowy postój w SPP: ci użytkownicy zazwyczaj zyskują dzięki wprowadzonej opłacie możliwość szybszego znalezienia miejsca postojowego, co może stać się ekonomicznie opłacalne w stosunku do relatywnie niewielkiej kwoty uiszczanej za postój;
- Turyści: grupa ta jest stosunkowo mało wrażliwa na koszt parkowania, gdyż najistotniejsze jest zatrzymanie się w jak najmniejszej odległości od celu.

Pogodzenie interesów przedstawionych gron użytkowników jest niewątpliwie dużym wyzwaniem stojącym przed decydentami. Oczekuje się bowiem, że określenie zasięgu strefy oraz polityki cenowej obowiązującej w SPP uwzględnić będzie potrzeby reprezentowane przez każdą z grup.

## 2.2 Prawne uwarunkowania funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania

Funkcjonowanie SPP uzależnione jest od przepisów prawnych regulujących kwestię zarządzania drogami publicznymi danego kraju. Aktem prawnym, który reguluje w Polsce implementację oraz sposób operowania SPP jest Ustawa o drogach publicznych [29]. Zgodnie z nią „*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.*”. Wjazd do takiej strefy wyznaczany jest zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem [30], przez umieszczenie odpowiedniego znaku pionowego „strefa parkowania” (D-44), znakiem „koniec strefy parkowania” nakazuje zaś informować o miejscu wyjazdu ze SPP (oznaczenie znaku – D-45).

Nowelizacja wspomnianej ustawy, wprowadzona w życie we wrześniu 2019 roku rozróżnia ponadto także specjalny rodzaj SPP, jakim jest Śródmiejska Strefa Płatnego Parkowania (ŚSPP). Funkcjonujące w danej miejscowości SPP oraz ŚSPP mogą łącznie stanowić tzw. Obszar Płatnego Parkowania (OPP). Zarówno SPP jak i ŚSPP można wprowadzać w wyznaczonym miejscu, w określonych godzinach lub całodobowo. SPP może funkcjonować jednakże wyłącznie w dni robocze, a ustawa limituje wysokość stawki opłaty za pierwszą godzinę postoju pojazdu samochodowego do 0,15% minimalnego wynagrodzenia ustanowionego odrębnymi przepisami. Z kolei ŚSPP może operować we wszystkie dni tygodnia bez wyjątku. Ograniczenie maksymalnej wysokości opłaty parkingowej za pierwszą godzinę postoju wynosi 0,45% minimalnego wynagrodzenia. Warunkiem klasyfikacji SPP jako ŚSPP jest jej ustanowienie „*na obszarach zgrupowania intensywnej zabudowy funkcjonalnego śródmieścia, które stanowi faktyczne centrum miasta lub dzielnicy w mieście o liczbie ludności powyżej 100 000 mieszkańców*”. Dodatkowo, ustawodawca zastrzega, iż wprowadzenie ŚSPP dopuszczalne jest wyłącznie w przypadku, gdy „*ustanowienie strefy*



*płatnego parkowania może nie być wystarczające do realizacji lokalnej polityki transportowej lub polityki ochrony środowiska*". Ustawodawca zobowiązał ponadto gminę do przeznaczania co najmniej 65% środków uzyskanych z opłat w ŚSP oraz całości opłat dodatkowych (wpływających od użytkowników, którzy nie opłacili postoju w ŚSP) „*wyłącznie na sfinansowanie poprawy publicznego transportu zbiorowego, budowę lub przebudowę infrastruktury pieszej lub rowerowej lub zieleń i zadrzewienia w gminie*". Prawna regulacja kwestii transferu środków pobranych od użytkowników samochodów osobowych na cele rozwoju bardziej ekonomicznych i ekologicznych środków transportu pełni rolę swego rodzaju zadośćuczynienia kierowców względem pozostałych użytkowników ruchu ulicznego. Być może także poprawa jakości podróżowania środkami transportu alternatywnymi do samochodu osobowego pozwoli na pożądane zmiany w podziale zadań przewozowych (tj. redukcja udziału podróży zmotoryzowanym transportem indywidualnym na rzecz np. transportu zbiorowego). Obowiązujące ustawodawstwo daje ponadto decydującym cenny argument za implementacją stref, gdyż pozwala na oddalenie zarzutów części opinii publicznej, jakoby wprowadzanie OPP służyło wyłącznie ratowaniu szeroko pojętego budżetu gminy.

Istotną kwestią podnoszoną przez organy decydujące o zakresie i sposobie organizacji ŚSP jest próba uściślenia definicji pojęcia tzw. funkcjonalnego śródmieścia. Nieprecyzyjna jest już bowiem nawet definicja samego śródmieścia. O ile zgodnie z rozporządzeniem [31] przez zabudowę śródmiejską należy rozumieć „*zgrupowanie intensywnej zabudowy na obszarze śródmieścia, określonej w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego, a w przypadku braku planu miejscowego w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy*”, to brak jest opisu tego, co należy rozumieć przez obszar śródmiejski. Sięgając natomiast do wyroku Wojewódzkiego Sądu Administracyjnego w Gdańsku [32] można spotkać się z linią orzecznictwa mówiącą o traktowaniu obszaru jako obszaru funkcjonalnego śródmieścia ze względu na zwartą (intensywną) zabudowę oraz ze względu na pełnienie określonych funkcji charakterystycznych dla centrum jednostki administracyjnej (związanych np. z handlem, usługami czy też urzędami). Spotkać można się również z opiniami skoncentrowanymi na zrozumieniu czym jest obszar funkcjonalnego śródmieścia w kontekście rozpatrywanej polityki parkingowej [33]. Główny nacisk kładziony jest tu na identyfikację obszarów, które charakteryzuje:

- centralna lokalizacja,
- koncentracja miejsc węzłowych skupiających szczególnie istotne funkcje życiowe,
- ponadprzeciętna w skali miasta dostępność komunikacyjna i gęstość sieci transportowych,
- wysokie walory atrakcyjności przestrzeni urbanistycznej oraz wysoki potencjał kulturowy w stosunku do pozostałych części obszaru miejskiego,
- wyjątkowa różnorodność funkcjonalna,
- natężenie konfliktów urbanistycznych i sprzeczności strukturalnych.

Zarówno SPP jak i ŚSP może zostać ustalona na mocy decyzji Rady Gminy (bądź odpowiednio Rady Miasta) po uprzednim wniosku Wójta (bądź odpowiednio – Burmistrza czy Prezydenta Miasta). Jednakże, w przypadku rekomendacji wprowadzenia ŚSP, wymagane jest dodatkowo uprzednie wykonanie specjalistycznej analizy dedykowanej technicznej ocenie potencjalnych skutków wprowadzenia ŚSP. Opracowanie ma na celu określenie obecnego stopnia rotacji wraz z prognozą wartości tego wskaźnika, z uwzględnieniem różnych poziomów wysokości opłat za postój. Ustawa wskazuje, że analiza powinna dotyczyć wyłącznie obszaru, dla którego planowane jest wprowadzenie ŚSP. Zapis zaostrzający wymagania wobec prawomocnej implementacji ŚSP ma zapewne na celu racjonalizację decyzji podejmowanych w sprawie ustalenia sposobu funkcjonowania potencjalnej strefy. Chodzi bowiem o to, by stosować ŚSP w uzasadnionych przypadkach, w celu realnej poprawy warunków parkowania, a nie po to by dzięki ich wprowadzeniu móc stosować

maksymalne dopuszczalne stawki za godzinę postoj (które mogą być trzykrotnie wyższe, niż stawki w SPP). Należy jednak zwrócić uwagę na brak zapisu nakazującego uwzględnienie warunków parkowania w obszarach sąsiadujących z ewentualną przyszłą ŚSPP. Wprowadzenie strefy może bowiem wpłynąć w negatywny sposób na sytuację parkingową w rejonach przyległych do ŚSPP, a nieobjętych strefą, co udało się wielokrotnie zaobserwować na przykładzie licznych miast.

Ustalanie polityki cenowej w OPP należy do Rady Gminy (tudzież Rady Miasta). Poza uwzględnieniem ograniczeń co do wielkości opłaty postojowej względem minimalnego wynagrodzenia, należy także by właściwa Rada wzięła pod uwagę limitacje odnoszące się do ewentualnej progresji naliczania opłaty postojowej. W ustawie podtrzymano możliwość progresywnego narastania opłaty przez pierwsze trzy godziny postoj. Dopuszcza się podniesienie kolejnych stawek godzinowych o maksymalnie 20% płatności za postój w godzinie poprzedzającej. Od czwartej godziny postoj stawka godzinowa nie może przekraczać wysokości opłaty parkingowej za pierwszą godzinę postoj. Ponadto, stawki opłat mogą być zróżnicowane w zależności od miejsca postoj pojazdu. Do pobierania opłat uprawniony jest właściwy dla lokalizacji zarząd dróg, a w przypadku braku takiego organu – zarządca drogi. Wyznaczenie miejsc na postój pojazdów należy zaś do kompetencji organu właściwego do zarządzania ruchem na drogach (w porozumieniu z zarządcą drogi). Ustawa o drogach publicznych wprowadza zatem ogólne zasady funkcjonowania OPP, nie narzucając natomiast ograniczeń co do zakresu obszarowego takiej strefy.

Kompetencje związane ze stanowieniem między innymi polityki parkingowej przekazano gminom na mocy Ustawy o samorządzie gminnym [34]. Aktami ukierunkowanymi na działania lokalne, z uwzględnieniem zadań z zakresu stanowionych regulacji parkingowych, są akty prawa miejscowego skupione wokół polityki transportowej. Dla przykładu, obecnie obowiązująca Polityka Transportowa dla Miasta Krakowa z roku 2016 [35] spośród siedmiu głównych kategorii, na których skupia się dokument, wymienia jako jedną z nich właśnie parkowanie. Rozszerzanie OPP (ujęte wśród środków realizacji polityki transportowej) spełnia zaś aż trzy z pięciu głównych celów ww. polityki. Pierwszym z nich jest rozwój i promowanie ekologicznych form podróżowania, drugim – poprawa stanu środowiska naturalnego, zmniejszenie uciążliwości transportu dla mieszkańców oraz wzrost bezpieczeństwa. Trzeci cel główny wyznacza poprawa wizerunku miasta i budowa jego prestiżu. Dokumentem stanowiącym uchwałę kierunkową, utworzoną między innymi na podstawie wspomnianej wyżej polityki transportowej, jest Program Obsługi Parkingowej (POP) dla Miasta Krakowa [36]. Program ten prezentuje koncepcję organizacji parkowania w obrębie całego miasta Krakowa (i nie uwzględnia w żaden sposób gmin ościennych). Rzeczony dokument koncentruje się na analizie stanu istniejącego głównie w zakresie określenia podstawowych parametrów parkowania, określenia potrzeb i możliwości parkowania oraz bilansu popytu i podaży miejsc postojowych. POP rozpatruje także przyszłe scenariusze polityki parkingowej dla okresów perspektywicznych, tj. dla roku 2020 oraz roku 2030. W wyniku analiz sformułowane zostały rekomendacje dotyczące funkcjonowania OPP, harmonogram realizacji budowy nowych parkingów miejskich oraz propozycja lokalizacji parkingów w systemie Park and Ride. Omawiany program formułuje ponadto także wytyczne w zakresie określania liczby miejsc postojowych wymaganych na potrzeby zagospodarowania działek budowlanych na terenie miasta. Określone w ten sposób tzw. normatywy parkingowe ustalono oddzielnie dla obszarów objętych restrykcjami w zakresie polityki parkingowej oraz dla obszarów pozostałych.

Dokumenty przygotowywane przez Unię Europejską również omawiają kwestie związane z polityką parkingową w miastach. Jednakże, dokumenty te nie mają charakteru wiążącego i nie są bezpośrednio stosowane. Stanowią przede wszystkim zalecenia odnośnie kierunków podejmowania działań przez poszczególne kraje członkowskie. Przykładowo,

Zielona Księga [37] przedstawiona przez Komisję Wspólnot Europejskich w wyraźny sposób podkreśla kwestię optymalizacji korzystania z prywatnych samochodów. W dokumencie wspomniano konieczność stosowania polityki pozwalającej na ograniczenie ruchu pojazdów w centrach miast, w tym przy użyciu stosownych opłat za parkowanie. Jako kolejny przykład dokumentu unijnego zwracającego uwagę na istotność instrumentów polityki parkingowej przedstawić można także Opinię Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie integracji polityki transportowej i gospodarki przestrzennej na rzecz bardziej zrównoważonego transportu miejskiego [38]. Jednym z podjętych w dokumencie sześciu głównych tematów było wspieranie zintegrowanej polityki transportowej. W kontekście ograniczeń wynikających z ukształtowania przestrzeni miejskiej podkreślono rolę promowania wzajemnego powiązania wszystkich środków transportu (tj. przykładowe wykorzystanie samochodu osobowego jako środka służącego do realizacji pierwszego zmotoryzowanego etapu podróży i późniejszą przesiadkę na inny środek transportu). W omawianej opinii zwrócono ponadto także uwagę na stosowanie środków zachęcających do korzystania z transportu zbiorowego m. in. w postaci opłat dla użytkowników zmotoryzowanego transportu indywidualnego.

Zarówno na poziomie legislacji krajowej oraz aktów międzynarodowych można dostrzec, iż rozwiązania nakierowane na wprowadzanie zrównoważonej polityki transportowej skupiają się w dużej mierze na działaniach dotyczących polityki parkingowej. Pozostawienie dużej swobody w kwestii realizacji rozwiązań w ramach lokalnych polityk transportowych daje możliwość zindywidualizowanego doboru środków wprowadzania owych polityk w życie. Z drugiej strony jednak, duża dowolność powoduje częsty kłopot z identyfikacją właściwych działań. Kluczowym wydaje się więc odnalezienie balansu pomiędzy stopniem wprowadzanych opłat i ograniczeń w stosunku do realnych potrzeb i możliwości użytkowników.

### **2.3 Organizacyjne uwarunkowania funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania**

Rozważając wprowadzenie bądź reorganizację SPP należy uwzględnić następujące aspekty jej funkcjonowania:

- dni i godziny obowiązywania,
- opłaty za postój oraz ich zróżnicowanie,
- dostępność abonamentów postojowych,
- zakres obszarowy,
- dopuszczalny maksymalny czas postoju,
- sposób poboru i egzekucji opłat.

Każdy z powyższych czynników może mieć znaczny wpływ na poziom napełnień i rotację pojazdów w strefie.

#### **2.3.1 Dni i godziny obowiązywania Strefy Płatnego Parkowania**

Zgodnie z polskim prawodawstwem, SPP mogą obowiązywać wyłącznie w dni robocze. Pojęcia dnia roboczego nie zdefiniowano jednak wprost w krajowych aktach prawnych, przez co utrudniona była właściwa wykładnia tego terminu. Powszechnie zgadzano się z założeniem, iż dni robocze to wszystkie dni w roku od poniedziałku do piątku z pominięciem tzw. dni wolnych od pracy, które wyszczególnione zostały w ustawie [39]. Problematyczna była zaś interpretacja dla soboty. Jednakże, zgodnie z wyrokiem wielkopolskiego Wojewódzkiego Sądu Administracyjnego z dnia 2 marca 2017 roku, dzień ten nie stanowi dnia roboczego. W związku z powyższym, strefy obowiązują w Polsce najczęściej od poniedziałku do piątku. ŚSPP mogą natomiast funkcjonować w każdy dzień tygodnia, choć zazwyczaj obowiązują od poniedziałku do soboty.

Brak jest prawnych wytycznych co do godzin obowiązywania OPP. Opłaty mogą być pobierane zarówno przez część dnia, jak i całodobowo. Ogólnie stosowaną praktyką jest

rozpoczynanie poboru dopiero w godzinach rannych (między godziną 8:00 a 10:00). Zazwyczaj SPP przestają obowiązywać w późnych godzinach popołudniowych bądź wczesnych godzinach wieczornych (tj. między 17:00 a 20:00). Postój w godzinach nocnych zwolniony jest z opłat.

W innych krajach natomiast można spotkać się z poborem opłat parkingowych zarówno w soboty, jak i w niedziele. Dzieje się tak między innymi w Holandii<sup>4</sup>, Szwecji<sup>5</sup> czy Australii<sup>6</sup>. Godziny funkcjonowania SPP są bardzo często zróżnicowane w zależności od specyfiki danego obszaru miasta. W miastach takich jak Amsterdam czy Kopenhaga można spotkać się z rejonami, w których opłata za postój pobierana jest nawet całodobowo.

### 2.3.2 Opłaty za postój oraz ich zróżnicowanie

Zazwyczaj bilet parkingowy opłacany jest za z góry założony okres postoju, jednak znane są także rozwiązania umożliwiające użytkownikom zdalną prolongatę ważności kwitu postojowego za pośrednictwem np. aplikacji mobilnej. Kolejną funkcjonalnością ułatwiającą korzystanie ze SPP jest opcja zwrotu niewykorzystanej części biletu parkingowego, spotykana między innymi w Singapurze<sup>7</sup>. Użytkownik ma możliwość zgłoszenia w dowolnym momencie chęci przerwania postoju za pośrednictwem telefonu komórkowego. Za niewykorzystany czas przysługuje zwrot środków proporcjonalny do liczby pozostałych minut legalnego parkowania. Poza korzyścią użytkownika wynikającą z braku konieczności opłacania zbędnego czasu postoju w strefie, rozwiązanie to ma także swoją istotną zaletę dla systemu transportowego miasta. Zachęca bowiem kierowców do szybkiego załatwiania swoich spraw i zwalniania przestrzeni parkingowej w obszarach jej deficytu. W efekcie możliwe jest zwiększenie stopnia rotacji oraz lepszego wykorzystania dostępnych miejsc postojowych.

Pomimo że w Polsce maksymalne wielkości opłat za postój w OPP regulowane są ustawą, to lokalne władze mają możliwość indywidualnego kształtowania i ewentualnego różnicowania polityki cenowej [29]. Istnieje możliwość wprowadzenia np. jednej stałej stawki w całym okresie funkcjonowania strefy bądź też zróżnicowanie kosztu za godzinę postoju w zależności od:

- lokalizacji: im bardziej atrakcyjny obszar, tym wyższa stawka;
- długości planowanego postoju (tj. stawka progresywna): im dłuższy planowany postój, tym droższa kolejna godzina postoju;
- pory dnia: im bardziej atrakcyjna pora dnia (tj. cechująca się wyższym zapotrzebowaniem na postój), tym wyższa stawka za godzinę postoju;
- aktualnego zapotrzebowania na postój: stawki dostosowane do pomiarów parametrów parkowania w OPP w czasie rzeczywistym, zmieniane na bieżąco<sup>8</sup>.

Ponadto istnieje także możliwość zastosowania podejścia mieszanego, w którym łączy się niektóre ze wspomnianych wyżej elementów.

Odnosząc się do kwestii różnicowania wielkości opłat postojowych należy wspomnieć niewątpliwe zalety stosowania tzw. strefowania. Ma ono bezpośredni związek z aspektem różnicowania cen postoju w zależności od poziomu atrakcyjności danego obszaru. Zgodnie z ideą strefowania należy całość OPP podzielić na mniejsze strefy, tudzież podstrefy, różniące się od siebie polityką cenową pobieranych opłat parkingowych. Podstrefy powinny charakteryzować się wewnętrzną spójnością atrakcyjności swojej lokalizacji, co ma uzasadniać

<sup>4</sup> <https://www.amsterdam.nl/parkeren-verkeer/parkeertarieven/> (odczyt z dn. 10 stycznia 2020 r.)

<sup>5</sup> [https://www.stockholmparkering.se/Pages/Besoksparkeringar\\_in\\_English.aspx](https://www.stockholmparkering.se/Pages/Besoksparkeringar_in_English.aspx) (odczyt z dn. 10 stycznia 2020 r.)

<sup>6</sup> <https://www.cityofsydney.nsw.gov.au/explore/getting-around/parking/parking-meters> (odczyt z dn. 10 stycznia 2020 r.)

<sup>7</sup> <https://www.parking.sg/> (odczyt z dn. 10 stycznia 2020 r.)

<sup>8</sup> tzw. demand-responsive parking pricing stosowane jest np. w mieście San Francisco w USA [24]

stosowanie jednakowych opłat postojowych. I tak podstrefy przyciągające najwięcej użytkowników powinny być wycenione najwyżej, a dla podstref oddalonych od najatrakcyjniejszych miejsc należy stosować zredukowane stawki postojowe. Dzięki adekwatnemu strefowaniu można bowiem uniknąć sytuacji, w których w obszarach istotnie różniących się poziomem atrakcyjności zastosowanie ma ta sama polityka cenowa. Taka sytuacja może prowadzić do przeciążenia najatrakcyjniejszych obszarów, gdyż użytkownicy OPP nie będą mieli motywacji do: poszukiwania mniej kosztownych miejsc postojowych w nieco większej odległości od najbardziej atrakcyjnych lokalizacji; oraz do pokonania ostatniego etapu podróży np. pieszo bądź przy wykorzystaniu środków transportu zbiorowego [28].

Podejmując temat opłat za postój należy także wspomnieć kwestię dostępności abonamentów postojowych. Najczęściej w przypadku planowania SPP w sposób szczególnie uwzględnia się potrzeby osób zamieszkujących jej obszary bądź prowadzących na ich terenie działalność gospodarczą. W tym celu wprowadza się abonamenty postojowe, które wydawane są na żądanie zainteresowanych. Petent musi np. jedynie udowodnić fakt bycia mieszkańcem danego obszaru, przedstawiając odpowiedni dokument (np. potwierdzenie zameldowania). Po uiszczeniu stosownej – z reguły bardzo niskiej – opłaty, wydawany jest karnet o maksymalnie rocznej ważności. W zależności od gminy dostępne mogą być także różne dodatkowe formy abonamentów (np. abonament osoby niepełnosprawnej, abonament instytucji itp.).

### **2.3.3 Zakres obszarowy Strefy Płatnego Parkowania**

Ustalenie obszaru miasta, na którym funkcjonować będzie SPP stanowi istotny czynnik wpływający na zachowania komunikacyjne kierowców. Strefy wprowadzane wyłącznie w obszarach cechujących się znaczącym deficytem miejsc postojowych mogą zniechęcić do pozostawienia pojazdu np. jedynie w bezpośrednim sąsiedztwie celu podróży. Ostatecznie zaś, w konsekwencji wprowadzenia opłat za postój w jednym obszarze, niedogodności związane z parkowaniem przenoszą się najczęściej do obszarów pozostających w jego bezpośrednim sąsiedztwie [40], [41]. Deficyt wyrugowany z pierwotnie przepełnionymi parkującymi pojazdami obszaru może przenieść się zatem do rejonów otaczających, w których do tej pory takiego problemu nie obserwowano. Wówczas obszar przylegający do SPP musi zakumulować zarówno pojazdy parkujące w nim dotychczas jak i te, które pozostawiono ze względu na wprowadzoną nieopodal strefę. Gdy liczba dostępnych miejsc postojowych i w tym obszarze okaże się niewystarczająca, ponownie może dojść do przeniesienia się części parkujących pojazdów do kolejnych obszarów przyległych. Zjawisko to może się powtarzać aż do wyczerpania popytu parkingowego. Ostatecznie, w wyniku wprowadzenia SPP w jednym obszarze dotkniętym deficytem miejsc postojowych, poprawione zostały warunki parkowania wyłącznie w owej, jednej lokalizacji – kosztem pogorszenia sytuacji w kilku rejonach przyległych. Konieczność maksymalizacji poprawy warunków parkingowych, przy możliwie najmniejszych stratach poniesionych przez obszary przyległe nieobjęte strefą, czyni ustalenie właściwego zakresu obszarowego SPP wyjątkowo istotnym i wymagającym aspektem ich organizacji.

### **2.3.4 Dopuszczalny maksymalny czas postoju w Strefie Płatnego Parkowania**

W przypadku wyznaczenia SPP na obszarach wyjątkowo atrakcyjnych, w których jest bardzo wysoki popyt parkingowy, którego zaspokojenie jest istotnie utrudnione, wprowadza się dodatkowe ograniczenie w postaci maksymalnego dopuszczalnego czasu postoju. Ograniczenie to ma na celu jeszcze większe podniesienie stopnia rotacji, niż to wywołane istnieniem samej SPP. Ponadto, istotnym aspektem ograniczenia dopuszczalnego czasu postoju jest wyrugowanie ze SPP wszystkich użytkowników planujących postój długoterminowy. SPP o nielimitowanym czasie postoju w znacznej mierze zwalcza problem pojazdów zajmujących miejsca parkingowe zbyt długo, jednak nie eliminuje go w całości. Jednakże istotną rolę

odgrywa w takim przypadku także sumaryczny koszt długiego postoj. Jeśli bowiem ceny są wyznaczane na zbyt niskim poziomie, to SPP może poprawiać dostępność miejsc postojowych ze zmniejszoną skutecznością. Może zdarzyć się również, że część kierowców, dla których koszt odgrywa mało znaczącą rolę, będzie parkować tak, jak gdyby SPP w ogóle nie istniała. Zastosowanie obostrzenia w postaci ograniczonego maksymalnego dopuszczalnego czasu postoj stanowi zatem uniwersalne narzędzie mobilizujące użytkowników do zmiany zachowań komunikacyjnych, gdyż działa niezależnie od posiadanego statusu majątkowego. Może się jednak zdarzyć, że dany użytkownik będzie w sytuacji wyjątkowej lub nagłej, w której jest zmuszony wydłużyć planowany postój ponad obowiązujący limit. W takiej sytuacji narażony jest on na nałożenie kary umownej przewidzianej za niedostosowanie się do obowiązujących przepisów. Przykładowo, w stolicy Austrii opłata taka wynosi 36 €. Niestety, mimo wprowadzenia prawa umożliwiającego egzekucję kar za przekroczenie dopuszczalnego czasu postoj, egzekucja możliwych do nałożenia opłat dodatkowych jest w praktyce utrudniona<sup>9</sup>. Dzieje się tak ze względu na kłopotliwy charakter ustalenia czy dany pojazd przekroczył dopuszczalny czas postoj w danym miejscu czy też nie. Mogłoby się bowiem zdarzyć, że kierowca zdążył odjechać i zaparkować ponownie na tym samym miejscu postojowym. Kontrolujący dane miejsce pracownik obsługujący SPP, chcąc bezsprzecznie udowodnić złamanie zakazu postoj krótkoterminowego musiałby teoretycznie obserwować pojazd przez cały czas, w którym zajmuje miejsce parkingowe. Ze względu na ograniczoną liczbę pracowników patrolujących SPP oraz koszt ich utrzymania, jest to rozwiązanie nieopłacalne ekonomicznie.

### 2.3.5 Sposób poboru opłat za postój w Strefie Płatnego Parkowania

W miejskich SPP można spotkać się z różnymi formami poboru opłat postojowych realizowanymi za pośrednictwem:

- tradycyjnych papierowych kart parkingowych,
- parkometrów,
- automatów parkingowych (tzw. parkomatów),
- wiadomości SMS,
- aplikacji mobilnych.

Wymienione metody zapłaty dotyczą wyłącznie użytkowników SPP, którzy nie posiadają abonamentów postojowych w danej podstrefie.

Tradycyjne karty parkingowe są najstarszą ze stosowanych w Polsce form uiszczenia opłaty postojowej. Użytkownik może zakupić takową w punktach sprzedaży rozmieszczonych w obrębie SPP, najczęściej w kioskach bądź bezpośrednio u kontrolerów SPP. Dostępne karty są zazwyczaj ważne przez określony czas, a kierowca powinien zaznaczyć na niej datę oraz godzinę rozpoczęcia postoj. Tak wypełnioną kartę umieścić należy wewnątrz pojazdu, za przednią szybą. Niejednokrotnie koniecznym jest także podanie numerów rejestracyjnych pojazdu, dla którego karta postojowa została użyta. Omawiana forma opłacania parkowania wymaga od użytkownika wiedzy na temat tego, gdzie zakupić kartę, ponadto może się zdarzyć, że w danym punkcie sprzedaży karty mogą być wykupione bądź niedostępne we wszystkich nominałach. Karty papierowe wymagają także użycia przyrządu do pisania, którego kierowcy nie zawsze posiadają przy sobie. Zaletą kart jest natomiast prostota ich użycia oraz brak konieczności tworzenia systemu informatycznego obsługującego płatności i rejestrującego wykupiony postój. Rysunek 2.1 przedstawia przykład skasowanej karty postojowej obowiązującej w krakowskiej SPP. Z kart postojowych korzystano tam przez ponad dwie dekady – używano ich bowiem od momentu implementacji SPP aż do 2009 roku.

<sup>9</sup> <https://www.derstandard.at/story/2000032625116/kurzparkzonen-wien-kontrolliert-parkdauer-nicht> (odczyt dn. 10 stycznia 2020 r.)



Rysunek 2.1 Karta postojowa używana w latach 1988 – 2009 w Strefie Płatnego Parkowania w Krakowie<sup>10</sup>.

Jedną z alternatywnych do kart parkingowych form opłacania postoju są parkometry. Są to urządzenia, które umieszcza się przy każdym dostępnym w SPP miejscu parkingowym. Ich zadaniem jest odmierzenie czasu postoju, na jaki wykupione zostało dane miejsce postojowe. Parkometry pojawiły się po raz pierwszy w USA w latach 30. XX wieku [20] i funkcjonują w wielu miastach tego kraju do dziś (w nieznacznie zmodyfikowanej formie). Zaletą parkometrów jest brak konieczności poszukiwania urządzenia służącego do zapłaty oraz brak potrzeby posiadania przy sobie jakiegokolwiek przyrządu do pisania. Kłopotliwe zaś dla zarządcy może być zakupienie oraz bieżące utrzymanie tak dużej liczby urządzeń, zwłaszcza w przypadku parkometrów rozmieszczonych na dużym obszarze. Dodatkowo, problemem może być także jednoznaczne określenie liczby dostępnych miejsc postojowych, gdyż w zależności od dostępnej przestrzeni oraz rozmieszczenia zaparkowanych na niej pojazdów, liczba ta może być różna.

Automaty wydające bilety parkingowe zwane także automatami parkingowymi bądź parkomatami stanowią najpowszechniejsze narzędzie do pobierania opłat parkingowych w Europie. Są to niewielkie urządzenia elektroniczne, które wydają bilet opłaty parkingowej po uiszczeniu stosownej opłaty. Zazwyczaj płatności można dokonywać zarówno przy pomocy bilonu jak i przy użyciu karty płatniczej. Otrzymany bilet należy umieścić, podobnie jak w przypadku karty parkingowej, za przednią szybą samochodu. Walorem parkomatów jest ich powszechność oraz związane z nią zaznajomienie kierowców ze sposobem ich użytkowania. Wśród dostępnych na rynku modeli wprowadzone zostały także parkomaty z licznymi opcjami dodatkowymi, takimi jak np. aktualne wskazania warunków pogodowych. Problematiczne zaś może okazać się ich utrzymanie oraz bieżące opróżnianie z monet. Podobnie jak parkometry, parkomaty podatne są na akty wandalizmu. Potencjalnym kłopotem może być także przepełnienie parkomatów monetami i związana z tym konieczność poszukiwania kolejnego w innej lokalizacji (w przypadku, gdy np. brak jest możliwości użycia karty płatniczej). Rysunek 2.2 przedstawia przykładowy parkometr. Dla porównania zaś zestawiono go z umieszczonym na rysunku 2.3 parkometrem zainstalowanym na jednej z ulic San Francisco w USA.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> <http://mi.krakow.pl/strefa-płatnego-parkowania/informacje-ogolne> (odczyt z dn. 08 stycznia 2020 r.)

<sup>11</sup> Przyjęte w niniejszej rozprawie definicje parkometru oraz parkomatu mogą różnić się pod względem swojego znaczenia od określeń spotykanych w innych pozycjach literaturowych. Bardzo często mianem parkometru opisywane są urządzenia, które według autorki powinny zostać określone jako parkomat. Dzieje się tak



Rysunek 2.2 Parkomat używany w jednej z podstref Strefy Płatnego Parkowania w Krakowie<sup>12</sup>.



Rysunek 2.3 Parkometr używany w Strefie Płatnego Parkowania w San Francisco w USA<sup>13</sup>.

Kolejną metodą umożliwiającą pobór opłat w SPP jest uiszczanie opłaty postojowej za pośrednictwem wiadomości SMS. Użytkownik chcąc zapłacić za parkowanie wysyła wiadomość pod wskazany numer telefonu. W treści wiadomości przekazuje przykładowo numery rejestracyjne pojazdu oraz dane miejsca parkowania. Operator SPP zawsze odpowiada wiadomością zwrotną, w której potwierdza otrzymane zgłoszenie. Ponadto, informuje najczęściej na kilka minut przed planowanym upływem czasu postoju, że należy miejsce zwolnić bądź wykupić dodatkowy bilet. Jest to bardzo wygodna forma wnoszenia opłat parkingowych, wymagająca posiadania przy sobie jedynie telefonu komórkowego. Dodatkową zaletą jest brak konieczności powrotu do pojazdu w celu ewentualnego przedłużenia czasu postoju. Niedogodnością wynikającą z zastosowania takiego sposobu poboru opłat za parkowanie jest konieczność utrzymania dedykowanego systemu teleinformatycznego obsługującego SPP.

Najbardziej nowoczesną formą opłacania postoju jest korzystanie z aplikacji mobilnych instalowanych w telefonach komórkowych z dostępem do sieci Internet. Użytkownik po zainstalowaniu dedykowanego parkowaniu oprogramowania, rejestruje w nim swoją kartę płatniczą, dzięki czemu wszystkie późniejsze opłaty będą pobierane automatycznie. Następnie, może wybrać podstrefę SPP, w której planuje postój oraz czas obowiązywania biletu parkingowego (do wyboru są opcje identyczne jak dla użytkowników korzystających z pozostałych dostępnych w danej SPP form płatności). W momencie aktywacji wybranego biletu parkingowego użytkownik otrzymuje potwierdzenie na swój Smartfon, a kontrolerzy SPP mają informację odnośnie wydanego wirtualnego kwitu parkingowego. Istotną zaletą takiej metody płatności jest wygoda dokonywania płatności (brak konieczności posiadania

najprawdopodobniej ze względu na wymienne stosowanie obu pojęć w aktach prawa miejscowego, np. w uchwałach stanowiących o sposobie funkcjonowania SPP w poszczególnych miastach [98],[116].

<sup>12</sup> <http://mi.krakow.pl/strefa-platnego-parkowania/lokalizacja-parkometrow> (odczyt z dn. 08 stycznia 2020 r.)

<sup>13</sup> [https://www.sfmta.com/sites/default/files/styles/teaser-col-4/public/feature-image/2017/sfpark.jpg?itok=HMZy\\_6V\\_](https://www.sfmta.com/sites/default/files/styles/teaser-col-4/public/feature-image/2017/sfpark.jpg?itok=HMZy_6V_) (odczyt z dn. 08 stycznia 2020 r.)



odliczonej gotówki, brak potrzeby poszukiwania parkomatu). Jako że często spotykaną praktyką jest konieczność umieszczenia na bilecie numerów rejestracyjnych pojazdu, dla którego wykupywany jest postój, aplikacja pozwala zminimalizować wynikającą z tego obowiązku niedogodność. Użytkownik aplikacji może bowiem zapamiętać numery rejestracyjne pojazdu w telefonie, unikając jednocześnie potrzeby ich każdorazowego powtórnego wprowadzania. Kolejnym walorem płatności za pośrednictwem aplikacji jest opcja zdalnego przedłużenia wykupionego postoju, w przypadku gdy z nieprzewidzianych przyczyn okaże się, że potrzebny jest dodatkowy bilet parkingowy. Wadą omawianego sposobu uiszczania opłat postojowych może być konieczność posiadania telefonu komórkowego z dostępem do Internetu oraz karty płatniczej. Należy także umieścić za szybą czołową pojazdu informację o korzystaniu z systemu płatności mobilnych – czy to na kartce czy też w postaci naklejki z symbolem operatora. Ponadto, konieczna jest bieżąca aktualizacja oprogramowania ze względu na możliwe zmiany w organizacji SPP (np. modyfikacja zakresu obszarowego SPP, zmiana stawek opłat postojowych etc.).

### 2.3.6 Sposoby kontroli uiszczenia opłat za postój w Strefie Płatnego Parkowania

Niezależnie od formy opłacenia postoju, konieczna jest weryfikacja czy użytkownicy SPP uiszczają swoje należności. Do celów weryfikacji najczęściej zatrudniane są osoby kontrolujące strefę. Kontrolerzy w trakcie obchodów przeprowadzanych po wyznaczonym obszarze sprawdzają kolejne pojazdy i ich status uregulowania płatności. W przypadku odnotowania braku uiszczenia opłaty bądź przeterminowania wykupionego biletu parkingowego, zbierają oni materiał dowodowy, najczęściej w postaci fotografii, po czym wystawiają na numer rejestracyjny pojazdu zawiadomienie o obowiązku zapłaty opłaty dodatkowej. Alternatywnie, na potrzeby egzekwowania opłat postojowych wykorzystywane są specjalne pojazdy z zamontowanym mobilnym systemem kontroli SPP [42]. Pojazdy te wyposażone są w kamery, z których obraz przetwarzany jest w celu identyfikacji numerów tablic rejestracyjnych zaparkowanych pojazdów. Przejeżdżając przez ulice należące do strefy, pojazdy z mobilnym systemem kontroli weryfikują w czasie rzeczywistym, czy na dane numery rejestracyjne został opłacony postój (w formie biletu parkingowego bądź abonamentu). Do tego celu konieczne jest utrzymywanie systemu informatycznego gromadzącego na bieżąco dane na temat opłat wniesionych we wszystkich możliwych formach. Stosowanie tego rodzaju rozwiązania nie jest możliwe w przypadku funkcjonowania w danej podstrefie formy płatności za postój, w której nie podaje się numerów tablic rejestracyjnych pojazdów (np. w przypadku tradycyjnych kart postojowych bądź parkomatów starszego typu).

## 2.4 Miary opisujące parkowanie

Stosowanie miar opisujących parkowanie pozwala na kwantyfikację zjawisk z nim związanych [28], [40], [43]. Wśród najbardziej popularnych miar wymieniane są:

- akumulacja parkingowa (ang. *parking accumulation*): rozkład łącznej liczby zaparkowanych pojazdów w ciągu przyjętego horyzontu czasowego, z podziałem na pomniejsze interwały;
- chłonność parkingowa (ang. *peak parking demand*): maksymalna zaobserwowana liczba zaparkowanych pojazdów w danym obszarze, w ciągu całego rozpatrywanego okresu pomiarowego;
- liczba dostępnych miejsc postojowych (ang. *parking capacity*): łączna liczba dostępnych miejsc postojowych (bez uwzględnienia miejsc postojowych zlokalizowanych na posesjach prywatnych);

- wskaźnik napełnienia<sup>14</sup> (ang. *parking occupancy*): stosunek liczby zaparkowanych pojazdów do liczby dostępnych miejsc postojowych w określonym obszarze i czasie; wyrażane najczęściej w postaci procentowej;
- wskaźnik napełnienia parkingu w szczycie (ang. *peak parking occupancy*): maksymalny zaobserwowany poziom napełnienia w ciągu całego rozpatrywanego okresu pomiarowego;
- wskaźnik rotacji (ang. *turnover*<sup>15</sup>): stosunek liczby wszystkich pojazdów parkujących w ciągu rozpatrywanego okresu pomiarowego do liczby dostępnych miejsc postojowych, w odniesieniu do określonego obszaru; mówi o tym ile pojazdów wykorzystuje jedno miejsce postojowe w ciągu przyjętego horyzontu czasowego (zazwyczaj w odniesieniu do całego dnia);
- udział pojazdów parkujących niezgodnie z przepisami (ang. *illegally parked vehicles ratio*): stosunek pojazdów zaparkowanych niezgodnie z przepisami do wszystkich pojazdów zaparkowanych w danym miejscu i czasie;
- szacowane rezerwy miejsc postojowych (ang. *parking reserves*): liczba wolnych miejsc postojowych w trakcie obciążenia popytem parkingowym danego obszaru w danym czasie (bez uwzględnienia miejsc postojowych zlokalizowanych na posesjach prywatnych).

Ponadto, w literaturze [40] spotkać się można także z pojęciami takimi jak:

- stopień nasycenia parkowania (ang. *peak parking saturation*): rozumiane jako liczba pojazdów zaparkowanych w momencie maksymalnego zapotrzebowania na postój odniesiona do łącznej liczby dostępnych miejsc;
- wskaźnik szczytu parkowania (ang. *peak parking ratio*): to stosunek szczytowego napełnienia w jednym z obserwowanych interwałów czasowych w odniesieniu do przeciętnego napełnienia obserwowanego we wszystkich interwałach;
- obciążenie parkingowe (ang. *parking load*): wyrażany w postaci pojazdogodzin wskaźnik reprezentujący powierzchnię pod krzywą akumulacji; otrzymywany poprzez pomnożenie liczby parkujących pojazdów w każdym z rozpatrywanych interwałów czasowych przez długości rozpatrywanych interwałów (wyrażone w godzinach) oraz końcowe zsumowanie wszystkich otrzymanych iloczynów;
- przeciętny czas parkowania (ang. *average parking duration*): otrzymywany poprzez podzielenie obciążenia parkingowego przez łączną liczbę wszystkich pojazdów zaparkowanych w ciągu całego analizowanego okresu albo poprzez zsumowanie wszystkich zaobserwowanych długości czasu postoju i podzielenie tej sumy przez liczbę wszystkich parkujących pojazdów.

Dostępny jest zatem szeroki wachlarz miar pozwalających opisywać zjawiska związane z parkowaniem. Dobór używanych w analizach parametrów zależy jednak od charakterystyki lokalnie zidentyfikowanych problemów. W kontekście organizacji oraz funkcjonowania SPP jako najistotniejsze przyjmowane są poziomy napełnienia i rotacji. Nie wyklucza się jednak użycia miar pomocniczych, które mogą pozwolić na lepsze zrozumienie istoty podejmowanych zagadnień.

<sup>14</sup> Zamiennie używa się także pojęcia poziomu napełnienia oraz poziomu zajętości.

<sup>15</sup> W literaturze spotkać się można również z angielskim pojęciem *throughput* (np. w [41]).

## 2.5 Wnioski z rozdziału 2.

Na sposób funkcjonowania SPP wpływ mają liczne uwarunkowania o charakterze prawnym oraz organizacyjnym. Mnogość dostępnych możliwych kombinacji użycia narzędzi do zarządzania strefami czyni ustalanie warunków operowania SPP zadaniem złożonym i wielowątkowym. Przyjmowana polityka musi zmierzyć się ponadto także z wyzwaniem w postaci indywidualnych uwarunkowań przestrzennych obszarów miejskich, w których wprowadzane są SPP. Szereg scenariuszy oraz możliwość dochodzenia do podobnych rezultatów różnymi środkami powoduje, że na decydentach ciąży szczególna odpowiedzialność. W przypadku błędnego zidentyfikowania zakresu obszarowego bądź polityki organizacji strefy, istnieje ryzyko przyczynienia się do znacznego pogorszenia jakości życia mieszkańców tych rejonów. W przypadku niedostatecznego zredukowania popytu parkingowego, negatywne zmiany mogą wynikać między innymi z pojawienia się tzw. *search traffic* (jest to dodatkowy ruch kołowy generowany przez kierowców niemogących znaleźć miejsca parkingowego). Dodatkowy ruch samochodowy przyczynia się z kolei do zwiększenia poziomu emisji spalin oraz generowanego hałasu. Ponadto, w miejscach, w których popyt parkingowy jest zbyt duży, przyczynia się on do przepełnienia istniejących przestrzeni dedykowanych postojowi oraz, w konsekwencji, do pozostawiania pojazdów w miejscach niedozwolonych. Zazwyczaj związane jest to z zastawianiem przestrzeni przeznaczonych do ruchu pieszego i rowerowego. Istnieje także możliwość wystąpienia zjawiska odwrotnego, tj. zbyt dużego stłumienia popytu na miejsca postojowe, w wyniku czego dany obszar jest mniej chętnie odwiedzany przez np. potencjalnych klientów miejscowych lokali handlowych i usługowych. Może prowadzić do pustoszenia pewnych obszarów i przenoszenia centrów usług i handlu w miejsca o ułatwionym dostępie transportem indywidualnym bądź zbiorowym. Jak widać, zarówno przesadne stłumienie, jak i wzbudzenie popytu na miejsca parkingowe w danym rejonie może przynieść niepożądane skutki. Właściwe użycie dostępnych środków służących do wpływania na zachowania użytkowników SPP pozwala balansować występujący popyt na miejsca parkingowe. Postawienie prawidłowej diagnozy co do obserwowanych zjawisk oraz trafna ocena zastosowanych rozwiązań możliwe są dzięki analizie i interpretacji dostępnych miar opisujących parkowanie.

### 3. Badania Stref Płatnego Parkowania oraz analiza dostępnych danych

Chcąc lepiej zrozumieć sposób funkcjonowania SPP oraz zachowania ich użytkowników, przeprowadzane są dedykowane strefom badania. Najpopularniejsze metody badania SPP będące bezpośrednim źródłem informacji na ich temat opisano w podrozdziale 3.1. Źródła, które mogą pośrednio pomóc w lepszym zrozumieniu i opisie sposobu funkcjonowania stref, przedstawiono w rozdziale 3.2. Przegląd tematyki badanych zjawisk związanych ze SPP oraz narzędzia wykorzystywane do przeprowadzanych analiz zostały omówione w podrozdziale 3.3, na podstawie literatury krajowej i zagranicznej.

#### 3.1 Metody przeprowadzenia badań Stref Płatnego Parkowania

Gromadzenie danych pozwalających na wyznaczenie metryk charakteryzujących specyfikę parkowania w określonym obszarze odbywa się za pomocą różnych metod badawczych. Typowymi sposobami badania SPP są pomiary terenowe służące zazwyczaj głównie wyznaczeniu podstawowych statystyk parkingowych. Przeprowadzane są one zarówno tradycyjnie metodą patrolową, jak i przy wykorzystaniu nowoczesnego sprzętu pomiarowego. Innym źródłem informacji mogą być badania ankietowe służące identyfikacji zachowań i preferencji użytkowników stref. Wymienione metody opisano w podrozdziałach 3.1.1 – 3.1.3.

##### 3.1.1 Badania patrolowe parkingów

Najbardziej klasyczną metodą wykonywania badań parkingowych są badania patrolowe. Angażują one udział osób zatrudnianych do spisania danych związanych z parkowaniem na wcześniej przygotowanych formularzach. W zależności od tego, jaki jest cel przeprowadzanych badań, karta pomiarowa może zawierać rubryki dedykowane gromadzeniu informacji na temat np. numerów rejestracyjnych pojazdów, daty i godziny rozpoczęcia i zakończenia postoju, sposobu uiszczenia opłaty za postój (o ile pomiary dotyczą obszarów objętych płatnym parkowaniem). Zazwyczaj badany obszar jest podzielony na kilka mniejszych, po jednym dla każdego pomiarowego. Osoba dokonująca pomiaru ma za zadanie uzupełnić otrzymany formularz ze wcześniej wskazaną częstością. Najczęściej tzw. obchody odbywają się w interwałach godzinnych (gdy obszar jest duży lub gdy rodzaj spisywanych danych wymaga podania szczegółów) bądź piętnastominutowych (gdy obserwowany obszar jest stosunkowo nieduży lub gdy gromadzone informacje są ogólne i szybkie do pozyskania). Tradycyjne badania patrolowe parkingów są metodą angażującą duże nakłady siły roboczej przy stosunkowo niewielkiej ilości otrzymanych danych. Są one ponadto narażone na dużą niedokładność związaną z koniecznością obserwacji przez jednego pomiarowego obszaru wykraczającego poza jego pole widzenia i dokonywania w związku z tym obchodów.

##### 3.1.2 Szczyty tablic rejestracyjnych przy użyciu pojazdów wyposażonych w specjalne oprogramowanie rozpoznające obraz

Formą alternatywną do tradycyjnych badań patrolowych jest szczytywanie tablic rejestracyjnych przy użyciu urządzeń wyposażonych w specjalne oprogramowanie rozpoznające obraz (ang. *image recognition*) [44]. Jedno z możliwych zastosowań tego rodzaju technologii stanowi użycie pojazdu samochodowego wyposażonego w kamerę zintegrowaną ze specjalistycznym oprogramowaniem. Oprogramowanie to pozwala na zlokalizowanie w rejestrowanym obrazie umiejscowienia tablicy rejestracyjnej oraz odczytanie jej treści. Dodatkowo, aplikacja jest połączona z pozycjonerem GPS oraz zegarem, dzięki czemu wiadomo w jakim czasie dany pojazd został uchwycony w SPP oraz gdzie dokładnie się w tym momencie znajdował. Stosowanie tego rodzaju sprzętu pozwala na precyzyjne dokonywanie pomiarów nieobciążonych ludzkim błędem. Ich dokładność zależna jest jednak od stopnia zaawansowania algorytmów użytych do przetwarzania obrazów. Wykorzystywanie opisywanej technologii jest na chwilę obecną jednak jeszcze mało popularne i stosunkowo

drogie, gdyż potrzebne oprogramowanie stanowi produkt niszowy. Jednakże, najprawdopodobniej wraz z postępowaniem technologicznym będzie ono stawało się coraz bardziej powszechne i jednocześnie tańsze. Jeden pojazd wyposażony w komplet sprzętu do skanowania tablic rejestracyjnych pozwoli na wielokrotne przyspieszenie wykonywanych obchodów w porównaniu z tradycyjnymi badaniami patrolowymi. Chcąc oszacować przyspieszenie tempa prowadzenia badań parametrów parkingowych przy wykorzystaniu metod automatycznego rozpoznawania obrazu, posłużono się raportem opisującym tego typu badania przeprowadzone w 2021 r. w Częstochowie [45]. W dokumencie nadmieniono, iż jeden pojazd pomiarowy był w stanie w ciągu godzinowego interwału zbadać odcinki ulic o łącznej przybliżonej długości 14,5 km. W odniesieniu do zasięgu pomiarowych prowadzących analogiczne (pod względem zakresu) badania patrolowe [46] daje to około siedmiokrotną redukcję czasu prowadzenia badań. Dodatkową przewagą zautomatyzowanych pomiarów jest zaoszczędzony czas pracy na późniejsze przeniesienie treści uzupełnianych w trakcie badania formularzy do postaci umożliwiającej dalsze opracowanie i analizę (np. do formy arkusza kalkulacyjnego).

Zastosowanie omawianej technologii jest testowane obecnie również przez operatorów SPP, którzy planują zastąpienie części kontrolerów patrolujących strefy przez pojazdy do skanowania tablic [42]. W takim wypadku konieczne jest zintegrowanie dokonywanych odczytów z bazą danych uiszczonych opłat postojowych oraz bazą danych wykupionych abonamentów postojowych.

### 3.1.3 Badania ankietowe preferencji użytkowników systemu transportowego

Badania ankietowe mogą być dokonywane telefonicznie, korespondencyjnie, poprzez formularze internetowe bądź w terenie [47]. Ze względu na relatywnie wysoki wskaźnik zwrotności ankiet, dominującym sposobem wykonywania ankiet są badania ankietowe bezpośrednie (ang. *Paper-and-Pencil Interviewing*, PAPI). Dużą zaletą metody PAPI jest obecność ankietera, który staje się dla respondenta rodzajem przewodnika po formularzu ankietowym. W przypadku ewentualnych niejasności pozwoli doprecyzować pytania czy też rozwiązać wątpliwości związane z celowością zadawanych pytań. Ponadto, ankieter czuwa także nad tym, by wypełniane kwestionariusze zostały uzupełnione w całości, a odpowiedzi na pytania otwarte były między poszczególnymi ankietami spójne. Z kolei dzięki koherentnym odpowiedziom wyciąganie wniosków z badań może być ułatwione a także mniej czasochłonne. Dodatkową zaletą badań PAPI jest gwarancja dotarcia do osób parkujących w danym obszarze i czasie w rzeczywistości, a nie według deklaracji respondenta. Największym ryzykiem wyboru omawianej metody jest czynnik błędów ludzkich. Może się bowiem zdarzyć, że formularze zostaną niepełnie (lub nieściśle) objaśnione bądź źle zrozumiane przez ankietowanego (np. poprzez mylne pojęcie dotyczące chociażby celowości wykonywanej ankiety). Alternatywnym zagrożeniem jest także niekompletne wypełnienie bądź zagubienie ankiet, w związku z czym wskazane jest by poprawność procesu gromadzenia ankiet była na bieżąco monitorowana przez zlecającego badania.

Wysoki potencjał, ze względu na swój możliwy zasięg, mają badania online. *Computer Assisted Web Interviews* (CAWI) wykorzystują formularze umieszczone w sieci Internet. Dostęp do nich może być nieograniczony (tj. dla każdego użytkownika posiadającego adres internetowy, pod którym udostępnione zostało badanie) bądź też zarezerwowany dla zastrzeżonej grupy odbiorców. Jednakże, ze względu na specyfikę badań z obszaru zachowań transportowych, metoda CAWI nie jest zalecana. Dzieje się tak między innymi ze względu na dokładnie sprecyzowaną grupę docelową badań, do której skierowana jest ankietka. Istotny jest także czynnik psychologiczny związany z udzielaniem odpowiedzi np. na temat ostatniej podróży w momencie jej realizowania bądź tuż po jej zakończeniu. Gdy dotarcie do respondenta następuje w niebezpośrednim sąsiedztwie czasowym wystąpienia badanego

zjawiska, możliwe jest zatarcie wspomnień o nim bądź istotnych jego szczegółów. Wskazane dla celów badawczych jest bowiem uchwycenie faktycznych zachowań (wraz z ich motywacją) w danych okolicznościach i otoczeniu. Dodatkowo, brak nadzoru nad wypełnianiem ankiety może także osłabić jakość uzyskanych materiałów zwrotnych (np. poprzez niespójne odpowiedzi, niekompletnie wypełnione formularze, odpowiedzi wzajemnie się wykluczające). Obecność ankietera pozwala na redukcję poziomu formularzy o ograniczonej użyteczności. CATI (ang. *Computer Assisted Telephone Interviews*) czyli telefoniczny odpowiednik metody CAWI nie znalazł szerokiego zastosowania w badaniach transportowych w Polsce. Model, w którym ankieter dzwoni do respondentów i wypełnia w ich imieniu formularz badawczy wymaga bowiem najpierw zebrania bazy danych numerów telefonów przyszłych respondentów. Ujawnianie danych tego rodzaju spotyka się zazwyczaj z niechęcią osób proszonych o ich podanie. W związku z tym bezpośrednio zadawanie pytań ankietowych do przedstawicieli badanej grupy (czyt. użycie metody PAPI) charakteryzuje się znacznie większym wskaźnikiem zwrotności. Ostatnią rozważaną opcją realizacji badań ankietowych mających na celu ujawnienie zachowań transportowych użytkowników infrastruktury miejskiej było korespondencyjne docieranie do respondentów z formularzem ankietowym. Ta relatywnie niskokosztowa metoda charakteryzuje się jednak bardzo niskim wskaźnikiem zwrotności, łącząc w sobie także negatywy związane z samodzielnym wypełnianiem ankiety przez badanych (podobnie jak w przypadku metody CAWI). Ostatecznie, w ramach badań ankietowych służących ujawnieniu preferencji oraz zachowań transportowych najczęściej wybierane są badania typu PAPI.

Poza różnymi sposobami przeprowadzania badań ankietowych w zależności od formy dotarcia do respondentów, istnieje także możliwość podziału ankiet w zależności od rodzaju badanych preferencji. W tym przypadku mowa jest o przeprowadzaniu badań preferencji deklarowanych (ang. *stated preference*) bądź ujawnionych (ang. *revealed preference*). Ankiety mające na celu uchwycenie preferencji deklarowanych skupiają się przykładowo na przedstawieniu respondentom wachlarza potencjalnych możliwych scenariuszy wydarzeń (w kontekście badanego zjawiska) pytając o reakcję badanych na każdy z nich. Celem przeprowadzania badań typu *stated preference* jest zatem uzyskanie odpowiedzi czysto hipotetycznych. W opozycji do badań preferencji deklarowanych, ankiety preferencji ujawnionych odnoszą się do tego, jak dany użytkownik się rzeczywiście, w kontekście określonych okoliczności, zachował. W literaturze szeroko dyskutowane są przede wszystkim wady badań uwzględniających preferencje deklarowane. Dzieje się tak ze względu na przypuszczenie jakoby respondenci dostosowywali swoje odpowiedzi między innymi do osiągnięcia własnych interesów. Taka sytuacja może mieć przykładowo miejsce w chwili, gdy rozważane jest podniesienie opłat postojowych, a ankietowani deklarują wysoką wrażliwość na nawet najmniejsze wzrosty cen, by uniknąć sytuacji, w których władarze miasta podniosą ceny zbyt drastycznie. Jednakże bardzo często, ze względu na brak alternatywnej możliwości, badania te są ostatecznie i tak przeprowadzane [44]. Istnieje natomiast możliwość ewentualnego późniejszego przeskalowania uzyskanych wyników, w momencie, gdy któryś z hipotetycznych scenariuszy się urzeczywistni, a zachowania użytkowników ulegną adekwatnym, rzeczywistym zmianom. Jedną z metod zabezpieczania się przed uzyskaniem nierealistycznych wyników, w przypadku przeprowadzania badań naukowych, jest dobitne podkreślanie respondentom celu realizacji ankiet. Przykładowo, w jednym z badań uwzględniających ankietowanie preferencji deklarowanych kładziono znaczący nacisk na wytłumaczenie ankietowanemu celu badania oraz wyraźne podkreślenie wyłącznie naukowego charakteru sondażu [48]. Ostatecznie, zarówno przeprowadzanie badań preferencji deklarowanych, jak i rzeczywistych jest szeroko stosowane. Mogą być one istotnym narzędziem uzupełniania wiedzy w tematach badanego zjawiska. Jeśli jest jednak taka

możliwość, warto weryfikować uzyskane wyniki przy wykorzystaniu miar pochodzących z innych źródeł badań (np. z pomiarów patrolowych).

### **3.2 Uzupelniające źródła informacji mogące pomóc w badaniach nad Strefami Płatnego Parkowania**

Poza badaniami nakierowanymi bezpośrednio na zrozumienie sposobu funkcjonowania SPP istnieją także inne źródła danych, które mogą okazać się przydatne przy opisywaniu i analizowaniu zjawisk mających miejsce w strefach. W podrozdziałach 3.2.1 do 3.2.6 skupiono się na każdym ze zidentyfikowanych dodatkowych źródeł informacji.

#### **3.2.1 Bazy danych dotyczące poboru opłat parkingowych w Strefie Płatnego Parkowania**

W ramach swojej działalności operacyjnej podmioty zarządzające SPP gromadzą informacje dotyczące transakcji związanych z opłaceniem postoju. Każdego dnia operowania stref zbierane są liczne rekordy danych mówiące o opłatach wnoszonych zarówno przez abonentów stref, jak i przez osoby, które abonamentu nie posiadają. Ponadto, gromadzi się także informacje mówiące o użytkownikach nieuiszczających opłat parkingowych.

Bazą danych posiadającą najmniejszą liczbę rekordów, w operującej SPP, jest zazwyczaj rejestr zakupionych abonamentów. Zakupu tego rodzaju dokonuje się przeważnie na miesiąc bądź rok z góry. W przypadku tak rzadko dokonywanych transakcji brak jest możliwości bezpośredniego wnioskowania co do obecności pojazdu posiadacza abonamentu w SPP w danej chwili. Wiadomo jedynie, że pojazd przez określony czas może przebywać w obrębie wyznaczonej strefy (bądź podstrefy czy sektora) o każdej porze. Dzięki bazie danych wydanych abonamentów postojowych istnieje jednak możliwość pozyskania informacji na temat tego, ilu jest uprawnionych do nieograniczonego postoju w danym dniu.

Zarządcy SPP dysponują znacznie bardziej szczegółowymi informacjami dotyczącymi opłat uiszczanych za postój przez osoby niebędące abonentami. Najliczniejsze bazy danych w tym przypadku pochodzą z rozlokowanych w całej strefie urządzeń wydających bilety parkingowe. Parkomaty mogą, poza spełnianiem swojej podstawowej funkcji, stanowić także doskonałe źródło wiedzy na temat planowanej długości czasu postoju oraz chwili zaparkowania pojazdu w sąsiedztwie konkretnego urządzenia. Ustalenie przybliżonej lokalizacji jest możliwe dzięki gromadzeniu rekordów danych z przypisanym numerem parkomatu, którego dokładne umiejscowienie jest stałe i znane. Do największych zalet wykorzystania danych pozyskanych z parkomatów do celów analiz zapotrzebowania na miejsca parkingowe należą:

- aktualność i ciągłość danych, umożliwiające bieżącą analizę i dostosowywanie organizacji SPP do zmieniającego się otoczenia,
- praktyczny brak dodatkowych kosztów pozyskania informacji – są one rejestrowane przy okazji wydawania biletów parkingowych,
- jednolitość danych i związana z tym łatwość ich porównywania i analizowania (nie tylko w obrębie jednej SPP, lecz także pomiędzy SPP obowiązującymi w różnych miastach),
- eliminacja błędów pomiarowych występującego w przypadku angażowania czynnika ludzkiego.

Niestety, poza wieloma atutami takiego rozwiązania, dostrzec można także pewne niedogodności:

- dostęp do pełnych danych dotyczących parkowania tylko dla godzin obowiązywania strefy,
- konieczność analizy złożonej ilości danych – tzw. „*big data*”,

- obligatoryjność zastrzegania danych osobowych w przypadku posiadania informacji na temat numerów tablic rejestracyjnych poszczególnych pojazdów,
- potencjalna niechęć zarządców stref do udostępniania informacji w obawie o bezpieczeństwo danych,
- brak informacji na temat osób parkujących bardzo krótko bądź nie uiszczających opłat,
- informacje dostępne wyłącznie na temat obecności pojazdów nieposiadających abonamentów postojowych,
- brak pewności co do faktycznego stopnia wykorzystania pobranego biletu parkingowego (użytkownik może nie wykorzystać w pełni wykupionego czasu postoju bądź też nieznacznie go przekroczyć).

Bardzo często użytkownicy SPP nieposiadający abonamentu mogą alternatywnie wносить opłaty za postój przy wykorzystaniu dostępnych aplikacji mobilnych. Ta baza danych również może dawać dokładne informacje dotyczące godziny rozpoczęcia i zakończenia planowanego postoju. Niestety, ze względu na mobilny charakter zakupu biletu postojowego, nie da się bezpośrednio oszacować lokalizacji, w której zakupu dokonano.

Wśród użytkowników SPP niebędących abonentami znaleźć można również osoby, które celowo nie uiszczają wymaganych opłat bądź których bilety postojowe tracą ważność zanim pojazd zwolni zajmowaną powierzchnię parkingową. W przypadku tej grupy zarządcy stref dysponują wiedzą na temat tego, w którym miejscu oraz o jakim czasie zostało wydane wezwanie do uiszczenia opłaty dodatkowej. Zatem w przypadku bazy danych wystawionych zawiadomień lokalizacja znana jest szczegółowo (kontrolerzy stref mogą dokumentować nieopłacony postój np. poprzez prowadzenie dokumentacji fotograficznej), ale brak jest informacji na temat momentu rozpoczęcia i zakończenia parkowania.

### 3.2.2 Kompleksowe badania ruchu realizowane w miastach i aglomeracjach

Kompleksowe Badania Ruchu (KBR) przeprowadzane dla dużych miast i aglomeracji mogą stanowić bardzo cenne źródło informacji ze względu na ich dużą szczegółowość oraz staranny dobór próby badawczej. Wypełniane przez ankietowanych tzw. dzienniczki podróży różnią się jednak w zależności od gminy, dla której są zbierane. Dzieje się tak ze względu na brak uniwersalnego wzorca formularzy ankietowych do przeprowadzania KBR. Zazwyczaj formularze te uwzględniają aspekt parkowania w sposób pobieżny, koncentrując się przede wszystkim na parkingach typu Park and Ride, nie na SPP. W środowiskach akademickich toczą się dyskusje w sprawie efektywnego uwzględnienia kwestii SPP i zachowań parkingowych kierowców w KBR. Niestety KBR są badaniami angażującymi znaczną ilość czasu respondentów, przez co niechętnie myśli się o dodatkowym poszerzaniu zakresu tematycznego formularza. Niezależnie od tego, czy w KBR stosowane są pytania ukierunkowane na zachowania kierowców związane z korzystaniem ze SPP, badania te mogą dostarczyć innych cennych informacji, jak przykładowo poziom ruchliwości mieszkańców oraz dostęp do samochodu osobowego. KBR mogą ponadto dostarczyć także rzetelnych informacji na temat wskaźnika motoryzacji, gdyż dane udostępniane w tym zakresie przez GUS mogą nie być w pełni miarodajne.<sup>16</sup>

### 3.2.3 Modele transportowe miast i aglomeracji

Modele transportowe miast i aglomeracji tworzone są po to, by móc stanowić kluczowe źródło informacji dla ekspertów chcących testować różne możliwe scenariusze rozwoju dla funkcjonowania systemów transportowych [49]. Zazwyczaj każdy ze zbudowanych modeli

<sup>16</sup> W swojej metodyce obliczania wskaźnika motoryzacji GUS korzysta głównie z bazy danych Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (CEPiK). Uwzględnia ona wszystkie pojazdy zarejestrowane w Polsce, wliczając w to pojazdy, które wycofano z użytku bez poinformowania właściwego urzędu. Tym samym wskaźnik motoryzacji GUS zdaje się być przeszacowany w stosunku do wartości faktycznych.



zawiera w sobie sparametryzowaną sieć dróg i ulic oraz informacje związane ze sposobem organizacji i infrastrukturą transportu zbiorowego. Informacji na temat zmiennych objaśniających modelu dostarcza baza danych, w której wiedza gromadzona jest na poziomie tzw. rejonów komunikacyjnych.<sup>17</sup> Opracowanie modeli transportowych związane jest zazwyczaj z budową klasycznego czterostadiowego modelu transportowego (co z reguły poprzedzone jest realizacją badań typu KBR pozwalających na lepszą parametryzację modelowanych stadiów).

Pierwszym stadium tworzenia klasycznych modeli transportowych jest wyznaczenie generacji podróży. Polega ono na określeniu wielkości potencjałów ruchotwórczych dla wszystkich uwzględnianych w modelu transportowym rejonów komunikacyjnych. W przypadku gdy dany potencjał określa liczbę wytwarzanych (generowanych) podróży, mówi się o produkcji. Atrakcją nazywa się natomiast sumę wszystkich podróży przyciąganych (absorbowanych) przez dany rejon. Kolejny etap modelowania obejmuje dystrybucję podróży. W ramach tego stadium dokonuje się podziału obliczonej produkcji i atrakcji na podróże między konkretnymi parami źródło-cel. Efektem podjętych działań staje się otrzymanie tzw. więźby ruchu, tj. kwadratowej macierzy mówiącej o tym z jakiego rejonu do jakiego rejonu oraz w jakiej liczbie realizowane są podróże. Następnie miejsce ma trzecie stadium tworzenia modeli transportowych, tj. podział zadań przewozowych. Na tym etapie modelowany jest wybór środka transportu dla wyznaczonych w poprzednich stadiach podróży. Ostatecznie, po zastosowaniu odpowiednich procedur pozwalających ustalić i rozdzielić popyt na podróże przestrzennie, z uwzględnieniem podziału między poszczególne gałęzie transportu, możliwe jest zastosowanie procedur rozkładu ruchu na sieć transportową. Etap ten stanowi ostatnie, czwarte stadium tworzenia klasycznych modeli transportowych. W wyniku rozkładu ruchu na sieć otrzymuje się z modelu podstawowe dane wyjściowe, jakimi są wielkości potoków ruchu oraz prędkości przejazdu pojazdów poruszających się po symulowanej sieci. Zarówno dla układu drogowego, jak i dla układu transportu zbiorowego otrzymywane są informacje dotyczące pracy przewozowej wykonanej przez użytkowników systemu transportowego.

Przy wykorzystaniu modeli transportowych istnieje ponadto także możliwość obliczania dodatkowych miar (na poziomie poszczególnych rejonów komunikacyjnych bądź dla całego modelowanego obszaru). Jako przykład jednego z takich wskaźników posłużyć może miara dostępności transportowej<sup>18</sup>.

### 3.2.4 Inwentaryzacje dostępnych miejsc postojowych

Inwentaryzacje dostępnych miejsc postojowych są doskonałym źródłem danych na temat podaży parkingowej. Realizowane, najczęściej na zlecenie jednostek miejskich, przeglądy informują o liczbie dostępnych miejsc postojowych z wyszczególnieniem:

- strony ulicy (np. lewa-prawa, północna-południowa),
- dostępności miejsc parkingowych (np. ogólnodostępne, zastrzeżone dla osób niepełnosprawnych),
- lokalizacji miejsca postojowego (np. przykrawężnikowe, w zatoce postojowej, parking wydzielony),
- sposobu parkowania (prostopadłe, skośne, równoległe).

<sup>17</sup> Przez pojęcie rejonu komunikacyjnego (bądź też transportowego) rozumieć należy jednostkę obszarową, która cechuje się jednorodnymi zachowaniami transportowymi. Rejony komunikacyjne (ang. *Traffic Analysis Zones*) stanowią trzon każdego modelu transportowego, gdyż do jego poziomu agregowane są wszystkie dane używane do modelowania popytu na podróże.

<sup>18</sup> Dostępność transportową rozumieć należy jako parametr określający stopień skomunikowania jednostki obszarowej z pozostałymi jednostkami obszarowymi.

Agregacji danych dokonuje się do poziomu ulic miasta, zazwyczaj z uwzględnieniem ich podziału na mniejsze odcinki wyznaczone przez przecznice innych ulic. Inwentaryzacje obejmują swoim zakresem wyłącznie drogi publiczne, nie uwzględniając przy tym miejsc postojowych zlokalizowanych na gruntach prywatnych. O ile ewentualna estymacja potencjalnej liczby miejsc parkingowych na ogólnodostępnych naziemnych parkingach prywatnych jest stosunkowo łatwa do wyznaczenia, tak parkingi zlokalizowane w obiektach podziemnych stanowią trudniejszy przedmiot analiz. Jednakże, ze względu na zakres niniejszej rozprawy, dane odnośnie podaży prywatnych płatnych miejsc postojowych nie będą rozpatrywane.

### **3.2.5 Bazy danych Głównego Urzędu Statystycznego**

Główny Urząd Statystyczny (GUS) zajmuje się w Polsce gromadzeniem szeregu danych związanych z większością dziedzin życia publicznego oraz niektórych spraw dotyczących prywatnego życia obywateli. Informacje zbierane przez GUS są ogólnodostępne, a poziom ich agregacji jest zróżnicowany i udostępniony dla różnego rozmiaru przyjętych jednostek terytorialnych – od poziomu poszczególnych miast aż do poziomu ogólnokrajowego, z uwzględnieniem jednostek pośrednich, takich jak podregiony, województwa czy makroregiony. Zaletą baz danych GUS jest możliwość pozyskania informacji gromadzonych dla całego kraju w sposób spójny, jednolitą metodyką i w regularnych odstępach czasu. Zakres tematyczny gromadzonych informacji jest bardzo szeroki, gdyż GUS dostarcza danych związanych z gospodarką, społeczeństwem oraz środowiskiem. Do celów modelowania zachowań transportowych szczególnie przydatne mogą być materiały mówiące o liczbie ludności czy poziomie zarobków wraz z prognozowanymi wartościami tych wskaźników. Zdobywanie informacji nie wiąże się z żadnymi dodatkowymi kosztami. Brak też konieczności prowadzenia listownej korespondencji z urzędem w celu uzyskania zgód na użycie pobranych zestawów informacji. Mimo licznych powodów, dla których warto skorzystać z zasobów GUS, istnieją także ograniczenia związane z ich użytkowaniem. Jednym z nich może być brak niektórych statystyk na wszystkich udostępnianych poziomach agregacji.

### **3.2.6 Bazy danych Miejskich Systemów Informacji Przestrzennej**

Wraz z rozwojem systemów informacji geograficznej (ang. *geographic information system, GIS*) zaczęły powstawać tzw. geoportale. Geoportale, czyli internetowe portale umożliwiające korzystanie z usług danych przestrzennych, mogą stanowić platformy udostępniania informacji publicznych przez jednostki rządowe oraz samorządowe. Zazwyczaj dane te są przedstawiane przy pomocy interaktywnego i przystępnego dla użytkownika interfejsu. Dzięki geoportalom każdy obywatel, z dostępem do urządzenia podłączonego do sieci Internet, może przeglądać mapy zawierające informacje na temat zagospodarowania przestrzennego czy komunikacji i transportu. Geoportale mogą przechowywać ponadto także informacje na temat cen nieruchomości na rynku wtórnym i pierwotnym.

## **3.3 Przegląd badań nad parkowaniem prowadzonych w Polsce i zagranicą**

W wyniku przeglądu literatury przedmiotu udało się dotrzeć do wielu publikacji, które poruszały kwestie związane z funkcjonowaniem i organizacją parkowania. W pracach badawczych podejmowanych przez polskich autorów znaleźć można głównie analizy związane ze sposobem funkcjonowania SPP w konkretnych miastach. Dominujący udział ma literatura skupiona wokół stref zlokalizowanych na terenie największych krajowych ośrodków [17], [50]–[52]. Spotkać się można jednak także z badaniami zajmującymi się dużymi miastami mającymi przede wszystkim regionalny zasięg oddziaływań [53], [54] oraz miastami średniej wielkości [26], [27]. Podejmowana tematyka dotyczy głównie oceny efektywności środków wprowadzanej polityki parkingowej. Dostrzegany jest także problem związany z efektywnym

wdrażaniem SPP, kongestią powodowaną poszukiwaniem miejsca postojowego [14], [55] oraz wpływem stref na obszary do nich przylegające, w których SPP nie funkcjonuje [46]. Opisywane są liczne analizy miar parkowania, niekiedy przy zastosowaniu nowych rozwiązań technologicznych (np. pomiary pozyskane dzięki sensorom umieszczonym w nawierzchni jezdni [14], [53] bądź też przy wykorzystaniu kamer umieszczonych na dachach pojazdów [42], [44]). W opracowaniach analizujących celowość i skuteczność polityki parkingowej można znaleźć przede wszystkim liczne przykłady pozycji podkreślających wysoką efektywność jej stosowania [56]–[58]. Traktowana jest jako spoiwo polityki transportowej z charakterystyką zagospodarowania przestrzennego. Podkreśla się także potrzebę różnicowania polityki parkingowej w zależności od lokalizacji, co najmniej w kwestii opłaty za postój [22], [28].

Jednakże, pomimo swojej skuteczności, wdrażanie obostrzeń w zakresie prowadzonej przez miasto strategii parkingowej spotyka się często z oporem społecznym. W konsekwencji, decyzje związane m. in. z implementacją SPP stają się decyzjami politycznymi [59]. Literatura wskazuje także na aspekt prawny wyznaczania SPP, w związku z którym zarządzanie przestrzenią parkingową miast, na miarę istniejących potrzeb, może być problematyczne [29]. W konsekwencji obowiązywania niekorzystnego ustawodawstwa, ograniczana może być np. możliwość kształtowania stawek opłat za postój adekwatnie do obserwowanego popytu [17], [52].

Materiał najbliższy tematyce niniejszej pracy dotyczył analizy granic SPP w kontekście lokalizacji przystanków kolei aglomeracyjnej [60]. Poza uwzględnieniem kolejowej obsługi transportowej miasta opierano się dodatkowo na wyznaczonych granicach śródmieścia. Badania koncentrowały się na delimitacji SPP w kontekście nachodzących na siebie zasięgów dojścia pieszego do przystanków infrastruktury szynowej (zarówno kolei, jak i metra) oraz zakresu obszarowego funkcjonalnego śródmieścia.

W dokonanym przeglądzie polskiej literatury przedmiotu skorzystano także z pozycji związanych w pośredni sposób z planowaniem i organizacją Stref Płatnego Parkowania. Wśród takich źródeł znalazły się między innymi opracowania dotyczące funkcjonowania parkingów przesiadkowych typu Park and Ride [21], [61], zastosowania technologii ITS w organizacji parkowania [62], [63], roli pozyskiwania danych w kontekście funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania [64] oraz partnerstwa publiczno-prywatnego w zakresie budowy parkingów [65], [66].

Jeszcze szerszy zakres różnych aspektów funkcjonowania SPP znaleźć można w piśmiennictwie zagranicznym. Tę część przeglądu literatury zdominowały jednak publikacje prezentujące metody badań nad popytem na parkowanie. Najczęściej do celów matematyzacji zachowań związanych z parkowaniem korzystano z modeli logitowych (mają one zastosowanie w przypadku analiz wyboru dyskretnego). W większości pozycji korzystano wyłącznie z wielomianowych modeli logitowych [67]–[71], choć zastosowanie znalazły także modele zagnieżdżone [72]. Porównania wspomnianych metod z trzecią, tj. mieszanym modelem logitowym, podjęto się w opracowaniu [73]. Wykonane zostały także analizy przy wykorzystaniu wyłącznie tej metody [74], [75]. Niezależnie od zastosowanego podejścia, zmiennymi w modelach były zazwyczaj koszt godziny parkowania, czas parkowania, czas szukania miejsca postojowego oraz czas dojścia od miejsca parkingowego do celu. Modele tworzone były głównie na podstawie sondaży preferencji deklarowanych. Poza badaniami przeprowadzonymi przy użyciu modeli logitowych, obecne w literaturze są również publikacje mówiące o wykorzystaniu innych metod matematycznych. Jedną z nich jest analiza regresji, której użyto np. w celu ustalenia poziomu optymalnej pojemności parkingu na podstawie wyników modelu symulacyjnego zaimplementowanego w środowisku programistycznym [76]. Analizy regresji użyto także m. in. do sprawdzenia możliwości predykcji poziomów napełnień publicznie dostępnych miejsc parkingowych na podstawie danych przekazanych

przez jednego z operatorów telefonii komórkowej w czasie rzeczywistym [77]. Analizie poddano dwa obszary o odrębnej charakterystyce urbanistycznej – pierwszy stanowił część ścisłego, historycznego centrum miasta, drugi zaś położony był w śródmieściu. Wykazano, iż istnieją silne przesłanki do wykorzystywania dużych baz danych w celu predykcji poziomów napełnień w Strefie Płatnego Parkowania, zaznaczając przy tym jednak konieczność uwzględnienia specyfiki danego obszaru. Potrzeba ta uwzględniona została w pozycji opisującej wykorzystanie metod regresji ważonej geograficznie [78]. Dostępne dane społeczno-ekonomiczne zagregowano do poziomu miejskich podjednostek, stosowanych przez urzędy statystyczne (ang. *census zones*). W toku analizy wykazano, iż regresja ważona geograficznie lepiej wyjaśnia popyt na miejsca parkingowe niż regresja wieloraka, nieuwzględniająca czynnika położenia poszczególnych rejonów. Dane gromadzone dla *census zones* zostały także wykorzystane w badaniach opierających się wyłącznie na analizie regresji [79]. We wspomnianej publikacji zagregowano jednak informacje właściwe dla jednostek urzędu statystycznego do poziomu już funkcjonujących podstref Strefy Płatnego Parkowania. W literaturze podejmowano się ponadto prób aplikacji teorii gier w celu modelowania popytu parkingowego, odnosiły się one jednak częściowo bądź całkowicie do parkingów zlokalizowanych poza Strefami Płatnego Parkowania, tj. na posesjach nienależących do terenów miasta [80], [81]. Do badania popytu parkingowego stosowano także teorię kolejek. Znalezione przykłady odnosiły się między innymi do sposobów wyceny postoju na terenie prywatnie udostępnianej infrastruktury parkingowej [82] czy też do ustalenia prawdopodobieństwa znalezienia wolnego miejsca w ogólnodostępnym garażu [83].

Wśród publikacji omawiających kwestie opłat za parkowanie udało się dotrzeć do pozycji objaśniających specyfikę kosztów parkowania oraz ich postrzegania [84]–[87]. Natomiast analizy związane bezpośrednio ze zmianą zachowań kierowców pod wpływem zastosowania różnych stawek opłat oraz elastycznością cenową popytu na miejsca parkingowe zostały omówione w innych pozycjach literaturowych [88]–[91].

Poza zagranicznymi źródłami opisującymi sposoby modelowania popytu parkingowego, poszukiwano także opracowań podejmujących tematykę oddziaływania parkowania na funkcjonowanie systemu transportowego jako całości. Z tego względu postanowiono dotrzeć do źródeł używających do analiz parkowania modeli transportowych miast. Idea posiłkowania się modelami transportowymi pojawiała się jednak w literaturze jedynie sporadycznie. Wśród przeprowadzonych prac najszerze zastosowanie modeli transportowych miało miejsce w przypadku badań nad ustaleniem potoków ruchu związanych z dotarciem do miejsca postoju [92]. Opracowana metoda poprzez bardzo szczegółowe uwzględnienie lokalizacji miejsc postojowych oraz indywidualnych generatorów podróży na terenie wybranego rejonu komunikacyjnego dawała wiedzę na temat tego, jak przyciągany ruch rozlewa się po ulicach dojazdowych analizowanego obszaru. Wymagane było jednak wprowadzenie do modelu dodatkowych informacji w postaci lokalizacji tzw. stref portalowych (ang. *portal zones*) oraz stref parkingowych (ang. *parking zones*) wraz z przypisaniem każdej z nich odpowiednich parametrów dotyczących np. liczby dostępnych miejsc postojowych. W badaniu korzystano ze stałego popytu na parkowanie, który równy był liczbie przyciąganych podróży samochodowych w modelowanej godzinie. Badanie nie odnosiło się do kwestii wyznaczania SPP i nie pozwalało na wnioskowanie w sprawie ich delimitacji, podobnie jak badania prowadzone nad modelem MARS (ang. *Metropolitan Activity Relocation Simulator*) [93], który integruje kwestie zagospodarowania terenu z planowaniem transportu. Model ten został opracowany po dostrzeżeniu niedostatków klasycznych modeli czterostadiowych w kontekście opracowywania zintegrowanych polityk transportowych. Autorzy modelu podkreślili jednak, iż ze względu na swoją niską rozdzielczość przestrzenną, MARS nie nadaje się do analiz mających bardziej lokalny charakter. Ponadto, w ramach przeglądu zagranicznych badań wykorzystujących modele czterostadiowe do celów analiz parkowania, znaleziono

jedynie analogię związaną z dostrzeżeniem istnienia rejonów produkcji i atrakcji popytu parkingowego [2].

W wyniku przeglądu obecnego stanu wiedzy na temat zachowań parkingowych użytkowników infrastruktury miejskiej, udało się zidentyfikować pewną istotną lukę badawczą. Nie dotyczy ona ściśle kwestii analizy popytu na miejsca parkingowe i jego elastyczności cenowej, gdyż te podejmowane były na wiele różnych sposobów, przy użyciu zróżnicowanych metod badawczych. Jednakże, pomimo licznych prób modelowania popytu na parkowanie w Strefach Płatnego Parkowania zlokalizowanych w centrach miast, nie znaleziono pozycji mówiących o samej kwestii obiektywnego wyznaczenia takich obszarów. Większość analiz bazowało bowiem na granicach już funkcjonujących stref. Kolejnym niezbadanym zjawiskiem jest zagadnienie rozlewania się problemu parkingowego na obszary sąsiadujące z istniejącymi Strefami Płatnego Parkowania. W pozycjach literaturowych pojawiły się na ten temat niewielkie wzmianki [40], [41], [92], jednak brak kompleksowej analizy pozwalającej na szerszą interpretację zjawiska rozlewania popytu parkingowego (ang. *spill-over*). *Spill-over* nie został przez badaczy skwantyfikowany, a co za tym idzie, żadne z przestudiowanych źródeł nie uwzględniło tego zjawiska w swoich obliczeniach.

Podsumowując, należy stwierdzić, że pomimo różnych reprezentowanych podejść odnoszących się do sposobów wyznaczania popytu parkingowego, to brak jest propozycji pokazujących interakcje między popytem na parkowanie w różnych obszarach, w zależności od tego, gdzie w danym momencie SPP obowiązuje. Opisywana tematyka badawcza jest relatywnie wąska i brak jest badań krajowych podejmujących się estymacji popytu parkingowego oraz wzajemnych oddziaływań obszarów objętych i nieobjętych strefą. Podkreślić należy, że omówienia ostatniej kwestii nie udało się znaleźć także w żadnym z zagranicznych badań.

### 3.4 Wnioski z rozdziału 3.

Istnieje wiele metod pozyskiwania informacji na temat zjawisk związanych z parkowaniem. Zarówno bezpośrednia obserwacja dążąca do poznania obiektywnych wielkości miar parkowania, jak i przeprowadzanie ankiet wśród użytkowników miejskiej infrastruktury może stanowić cenne źródło wiedzy. Lepsze zrozumienie sytuacji panującej w SPP pozwala z kolei na trafne diagnozowanie stanu istniejącego wraz z identyfikacją występujących problemów i potencjalnych rozwiązań.

Aby móc osadzić poczynione obserwacje w szerszym kontekście (np. w kontekście całego systemu transportowego) wskazane jest także wykorzystanie innych możliwych do pozyskania źródeł informacji. W wyniku przeglądu już dostępnych baz danych udało się zidentyfikować wiele źródeł mogących pomóc opisać zachowania transportowe kierowców, które związane są z parkowaniem. Jednakże, żadna z poszczególnych baz nie jest w stanie dać kompletnego obrazu badanego zjawiska. Dopiero synteza zebranych danych oraz selekcja istotnych czynników stwarzają szansę na wyczerpujące objaśnienie zachowań parkingowych w SPP. Większość z omówionych w rozdziale rodzajów dostępnych baz danych zostanie użyta w dysertacji do zgromadzenia zestawu zmiennych objaśniających i objaśnianych opracowanego narzędzia służącego delimitacji stref. Należy podkreślić, że zarówno dane gromadzone przez zarządców SPP, jak i bardziej ogólne źródła informacji mogą dostarczyć wiedzy niezbędnej do wyznaczania granic i polityki cenowej projektowanych stref.

Chcąc zrozumieć jak do tej pory – w odniesieniu do problematyki parkowania – wykorzystywane były różne formy badań oraz dostępne źródła informacji, dokonano przeglądu literatury przedmiotu. Analiza prac udostępnianych przez badaczy z kraju i zagranicy pozwoliła na identyfikację istotnej luki badawczej. Brak jest bowiem obiektywnej metody delimitacji SPP, która by w swoim zakresie uwzględniała zjawisko rozlewania się popytu parkingowego na obszary przyległe do zaimplementowanych stref.

#### 4. Struktura modelu funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania

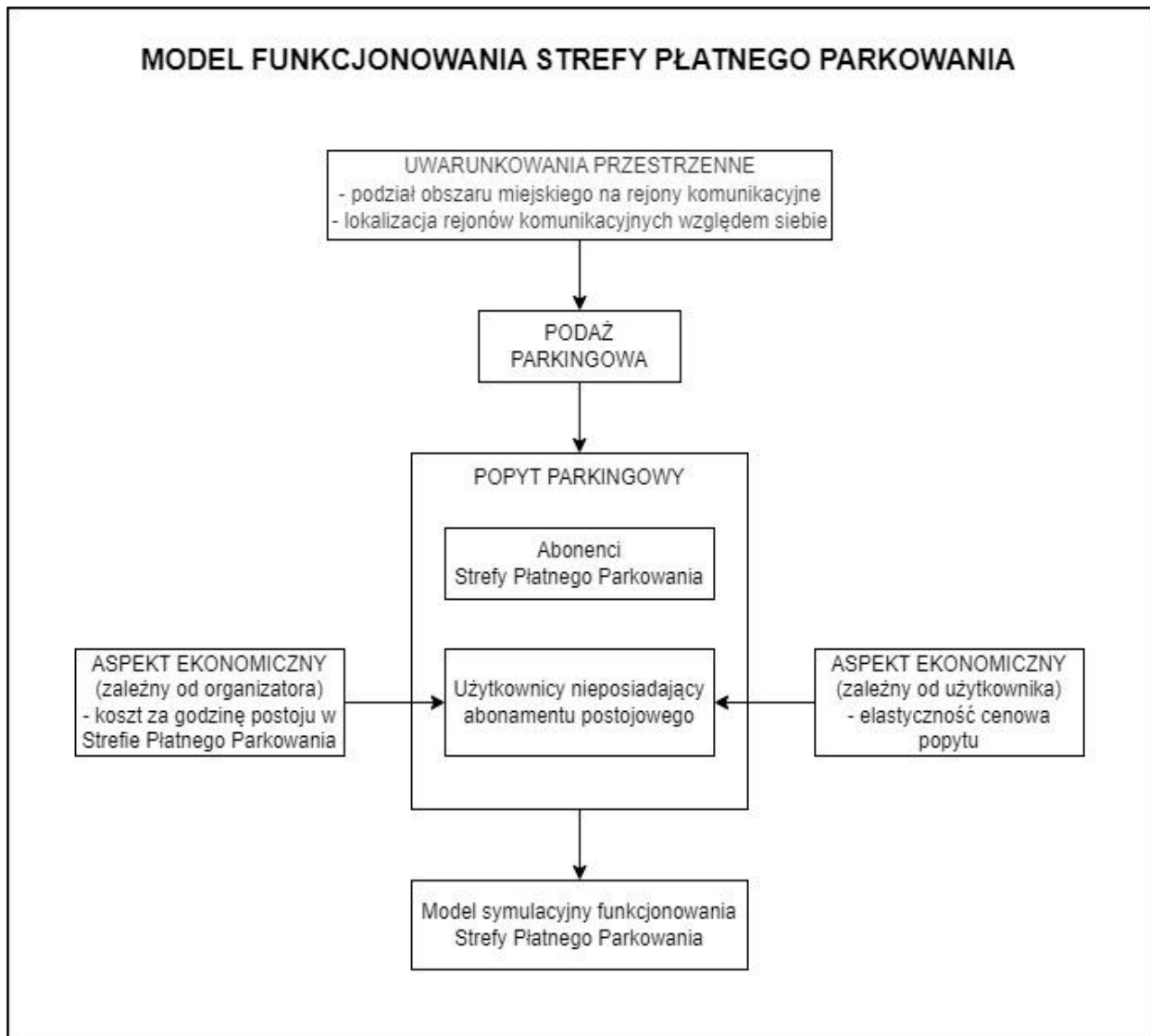
Analiza charakterystyki SPP oraz sposobów ich badania pozwoliła na dostrzeżenie kluczowych aspektów związanych z projektowaniem i funkcjonowaniem stref. W najbardziej ogólnym ujęciu, stan obserwowanej SPP jest odzwierciedleniem relacji występującego popytu parkingowego do dostępnej podaży, która to zależność dodatkowo osadzona jest w kontekście przestrzennym. Wyznaczanie obszarów, dla których zasadne jest pobieranie opłat za postój wykorzystujący miejską infrastrukturę parkingową, okazuje się być zadaniem wymagającym zatem uwzględnienia różnych aspektów funkcjonowania stref.

W ramach niniejszej dysertacji, jako najbardziej istotne czynniki warunkujące sposób działania SPP zidentyfikowano:

- 1) aspekty przestrzenne:
  - a. podział obszaru miejskiego na mniejsze jednostki, dla których należy decydować, czy i w jakiej wielkości powinna być pobierana opłata za postój,
  - b. oddziaływanie obszarów z deficytem miejsc postojowych na obszary sąsiednie;
- 2) aspekt związany z podażą parkingową (liczba miejsc postojowych dostępnych w SPP);
- 3) aspekty związane z popytem parkingowym:
  - a. zapotrzebowanie na postój w SPP pochodzące od różnych grup użytkowników,
  - b. aspekt ekonomiczny – z perspektywy organizatora SPP (wyznaczony koszt za godzinę postoju) oraz z perspektywy użytkownika SPP (gotowość do poniesienia opłaty postojowej).

Biorąc pod uwagę złożoność wzajemnych zależności między poszczególnymi kluczowymi aspektami funkcjonowania SPP, postanowiono zbudować model matematyczny integrujący wszystkie wymienione czynniki. Zadaniem modelu było jak najlepsze zasymulowanie warunków panujących w SPP. Za miarę kwantyfikującą stan strefy przyjęto poziom napełnienia miejsc parkingowych. Wybór tej miary motywowano dostępną literaturą, w której mowa jest o granicznych poziomach napełnień, przy których należy wprowadzać SPP. Napełnienie miejsc postojowych stanowi ponadto miarę najbardziej rozpowszechnioną w ogóle badań nad parkowaniem.

Prace badawcze związane z przygotowaniem modelu funkcjonowania SPP przeprowadzono według schematu przedstawionego na rysunku 4.1.



Rysunek 4.1 Schemat opracowania modelu symulacyjnego funkcjonowania SPP

#### 4.1 Aspekt przestrzenny w strukturze modelu Stref Płatnego Parkowania

Chcąc dokonać podziału obszaru całego miasta na istotne pod względem funkcjonowania systemu transportowego jednostki, zdecydowano się skorzystać z dostępnego podziału na rejony komunikacyjne modelu transportowego miasta tudzież aglomeracji.

Zdecydowano się posłużyć już istniejącym podziałem terytorialnym ze względu na następujące korzyści:

- użycie uzasadnionego podziału, który został już wykorzystany do budowy modelu transportowego, który udało się skalibrować (co świadczy o jakości zgromadzonych danych);
- uzyskanie dostępu do bazy danych zawierającej najistotniejsze potencjalne zmienne objaśniające dla modelu funkcjonowania SPP z dokładnością agregacji przestrzennej na poziomie rejonu komunikacyjnego;
- możliwość wykorzystania miar uzyskanych w toku opracowywania modelu (np. atrakcja podróży) bądź po obliczeniu jego wyników (np. dostępność transportowa).

Wśród potencjalnych wad takiego rozwiązania znalazły się natomiast:

- możliwy brak opracowanego modelu transportowego dla wszystkich obszarów miejskich, na terenie których istnieją bądź planowane są SPP;
- ewentualny problem z uzyskaniem pełnego dostępu do modelu transportowego;
- potrzeba użycia kosztownego specjalistycznego oprogramowania służącego modelowaniu transportu;
- ryzyko związane z występowaniem zbyt dużych rejonów komunikacyjnych, których wielkość nie pozwoli na uchwycenie subtelności różnego rozmieszczenia zagospodarowania przestrzennego.

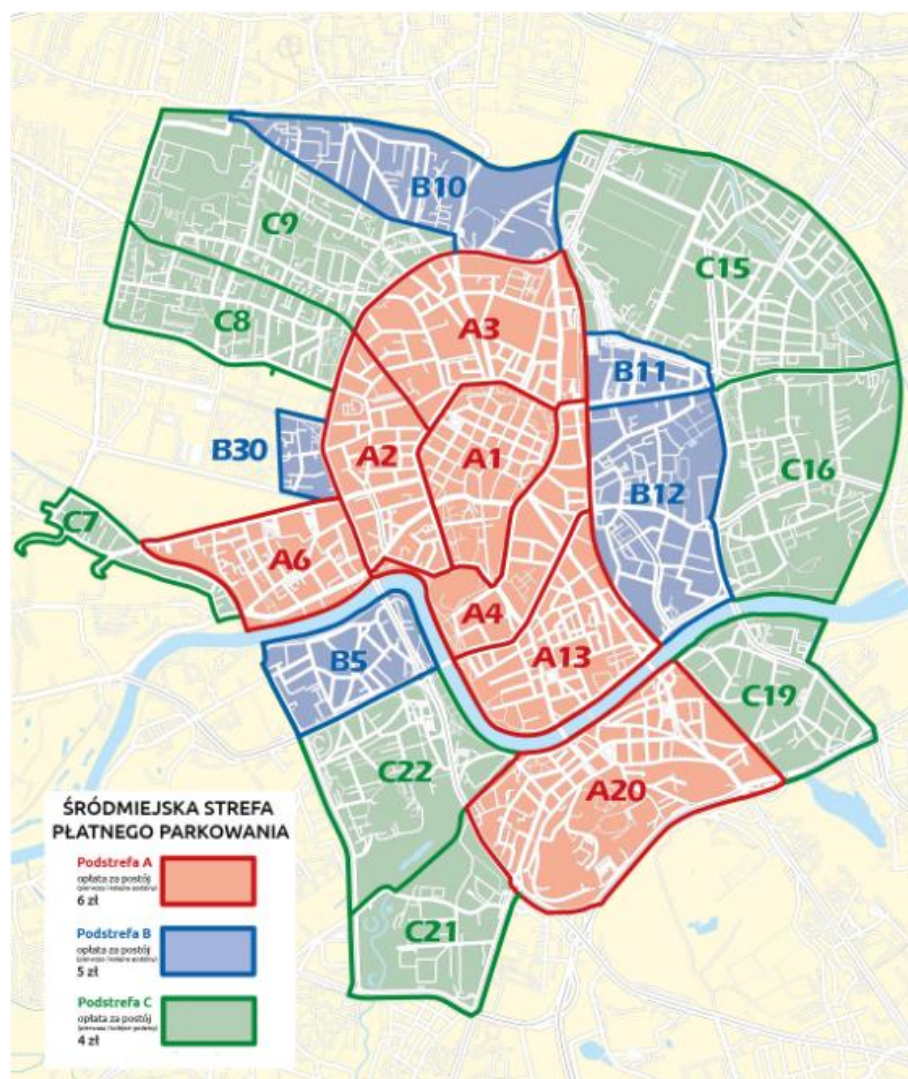
Pomimo dostrzeganych mankamentów zastosowanego podejścia, oceniono iż zidentyfikowane zalety w znacznym stopniu przewyższają zauważone niedogodności. Bowiem nawet gdyby się okazało, że dla danego obszaru miejskiego brak jest modelu transportowego, to i tak istniałaby konieczność opracowania podziału terytorialnego uwzględniającego lokalną specyfikę zachowań transportowych. Chcąc zaś uniknąć potrzeby użycia kosztownego oprogramowania symulacyjnego, istnieje możliwość uprzedniego eksportu niezbędnych informacji z modelu transportowego miasta bądź aglomeracji. Wyniki modelu symulacyjnego można przekazać przy użyciu formatów możliwych do przetwarzania w innych, bardziej powszechnych i mniej kosztownych programach (np. przy wykorzystaniu formatów typu .shp dla plików geoinformacyjnych czy też .xlsx dla arkuszy kalkulacyjnych).

Największe wątpliwości budzi niepewność związana z wielkością obszarów wskazywanych w modelach jako rejon transportowe. Uznano jednak, że korzyść z posiadania przestrzennie podzielonych danych – społeczno-ekonomicznych, potencjałów ruchotwórczych czy dostępności transportowej przewyższa możliwe niedogodności związane z wielkością tych rejonów. Zazwyczaj w modelach transportowych miast i aglomeracji obserwuje się, że tam, gdzie można się spodziewać, że deficyt parkingowy będzie szczególnie uciążliwy, rejon komunikacyjny są stosunkowo niewielkich rozmiarów (m. in. w ścisłych centrach miast czy w śródmieściu). Przypuszcza się zatem, że obszary, w których istniałoby ryzyko nieuwzględnienia subtelności zróżnicowania rozmieszczenia zagospodarowania przestrzennego ze względu na zbyt dużą powierzchnię rejonu komunikacyjnego, mogłyby występować w rejonach, w których implementacja SPP ostatecznie i tak byłaby zbędna. Ponadto, należy podkreślić, że każdy model transportowy musiał zostać już uprzednio właściwie skalibrowany. Dzięki temu wiadomo, że potrafi poprawnie odwzorowywać zachowania komunikacyjne użytkowników systemu transportowego. Parkowanie jest częścią tego systemu, w związku z czym uznano, że warto spróbować je osadzić w kontekście sposobu działania systemu opisanego w modelu transportowym. Dodatkowym argumentem przemawiającym za bezpośrednią adaptacją rejonów komunikacyjnych jest aspekt praktyczny związany z implementacją SPP. W rzeczywistości bowiem nie wprowadza się stref czy podstref mniejszych niż rejon komunikacyjny, w którym się znajdują.

Inny istotny aspekt uwarunkowań przestrzennych uwzględnianych w modelu funkcjonowania SPP dotyczył lokalizacji rejonów komunikacyjnych względem siebie. Związany był on z potencjalnym rozlewaniem się popytu parkingowego na sąsiednie rejon transportowe, w celu ograniczenia wysokości kosztów parkowania. Na potrzeby ustalenia dopuszczalnego zasięgu dojścia pieszego (tj. ustalenia do jakiego momentu dany rejon klasyfikowany może być jako sąsiedni) posłużono się wynikami badań ankietowych opisanych w podrozdziale 5.3.

Na potrzeby dysertacji za poligon badawczy posłużył obszar miasta Krakowa. Mapa prezentująca podział Krakowa na rejon komunikacyjny według modelu aglomeracji krakowskiej [94] został umieszczony w załączniku 4.1. Obecnie w Krakowie obowiązuje Obszar Płatnego Parkowania (OPP) o zasięgu zaprezentowanym na rysunku 4.2.





Rysunek 4.2 Zasięg Obszaru Płatnego Parkowania w Krakowie (stan na 15 maja 2023 r.)<sup>19</sup>

Na OPP składają się 3 podstrefy, w których obowiązują różne stawki opłat za rozpoczętą godzinę postoju. Dla każdej z podstref, tj. podstrefy A, B i C jest to odpowiednio 6,00 PLN, 5,00 PLN oraz 4,00 PLN. W ramach podstref funkcjonują jeszcze mniejsze jednostki terytorialne – sektory (np. A1, A2 itp.). Sektory są wykorzystywane do wyznaczania zasięgu obowiązywania wydawanych abonamentów postojowych. Stworzono je po to, by mieszkańcy oraz przedsiębiorcy mogli parkować na preferencyjnych warunkach jedynie w najbliższym sąsiedztwie swoich miejsc zamieszkania bądź prowadzenia działalności gospodarczej.

Wyznaczony na rysunku 4.2 obszar oraz jego podział na podstrefy i sektory, a także asocjowana z podziałem przestrzennym polityka cenowa, stanowią wynik decyzji politycznych podejmowanych na podstawie obserwacji i doświadczeń decydentów. Podkreślić należy, iż obowiązujący kształt krakowskiego OPP stanowi kompromis godzący konflikty interesów różnych grup użytkowników. Nie został on opracowany w oparciu o precyzyjne przepisy, gdyż takie nie obowiązują. Nie użyto też dedykowanego narzędzia, które by ten proces decyzyjny mogło wspomagać, gdyż takowego również brak. W konsekwencji, implementowany zasięg OPP był w dużej mierze uznaniowy.

<sup>19</sup> <https://zdmk.krakow.pl/parkowanie/strefa-platnego-parkowania/mapy/mapa-strefy/> (odczyt z dn. 15.05.2023 r.)

## 4.2 Aspekt podaży i popytu parkingowego w strukturze modelu Stref Płatnego Parkowania

Dysponując podziałem obszaru miejskiego na rejony komunikacyjne możliwe stało się przypisanie każdej z jednostek przestrzennych właściwej podaży parkingowej, tj. liczby dostępnych miejsc postojowych. Podkreślić należy, iż mowa wyłącznie o miejscach możliwych do włączenia w zasięg OPP. Nie są więc brane pod uwagę miejsca zlokalizowane na prywatnych posesjach (w tym także na prywatnych parkingach). W przypadku miasta Krakowa stanowią one jednak relatywnie niewielki udział w całkowitej liczbie dostępnych miejsc postojowych.

Bardziej złożony aspekt funkcjonowania SPP stanowiło właściwe opisanie i wkomponowanie popytu parkingowego w model symulacyjny strefy. Wartości empiryczne miary napełnienia przestrzeni parkingowej możliwe były do pozyskania z przeprowadzonych w mieście badań patrolowych. Wyznaczenie obserwowanego udziału poszczególnych grup użytkowników w łącznym napełnieniu postanowiono zaczerpnąć z baz danych zarządcy OPP. Na potrzeby niniejszej rozprawy wykorzystano bazy danych pochodzące z automatów parkingowych, od operatorów płatności mobilnych oraz bazę danych wystawionych zawiadomień w związku z nałożeniem opłat dodatkowych. Dzięki temu możliwe było rozróżnienie pojazdów użytkowników OPP, którzy mają wykupiony abonament postojowy od pojazdów pozostałych osób.

Kolejnym czynnikiem wymagającym uwzględnienia w strukturze modelu symulacyjnego SPP był aspekt ekonomiczny związany z użytkownikami nieposiadającymi wykupionego abonamentu postojowego. Zewnętrzne oddziaływanie na popyt parkingowy pochodzący od tych osób zależne jest od przyjmowanej polityki cenowej opłat postojowych obowiązujących w strefie. Pozyskanie informacji na temat kosztu postoju w danym rejonie komunikacyjnym było możliwe dzięki przypisaniu poszczególnym rejonom transportowym kwot umieszczonych w uchwale Rady Miasta Krakowa.

Ujęcie aspektu ekonomicznego, z perspektywy użytkownika nieposiadającego abonamentu postojowego, postanowiono wprowadzić do modelu funkcjonowania SPP poprzez uwzględnienie elastyczności cenowej popytu parkingowego. Potrzeba ta wynikała z konieczności kwantyfikacji potencjalnej gotowości osób opłacających postój do ponoszenia podwyższonych opłat. Dzięki przeprowadzonym badaniom ankietowym (opisanym w podrozdziale 5.3) udało się uzyskać informacje pomagające liczbowo oszacować skłonność do rezygnacji z parkowania w danym obszarze w przypadku zwiększenia opłaty za postój.

## 4.3 Podsumowanie i wnioski z rozdziału 4.

Ze względu na złożoność zjawisk związanych z parkowaniem oraz różnorodność dostrzeżonych czynników warunkujących sposób funkcjonowania stref, zdecydowano się na stworzenie modelu symulacyjnego SPP. Identyfikacja kluczowych aspektów funkcjonowania stref pozwoliła natomiast na stworzenie opisu struktury zaproponowanego w dysertacji modelu wraz z przygotowaniem schematu jego opracowania.

W ramach przygotowywanego modelu symulacyjnego postanowiono osadzić czynniki związane z popytem oraz podażą parkingową w uwarunkowaniach przestrzennych. Uwzględnione zostały ponadto także czynniki ekonomiczne oddziałujące na użytkowników SPP, którzy nie mają dostępu do abonamentów postojowych.

Powiązanie wszystkich wymienionych aspektów wiąże się jednak z koniecznością zgromadzenia licznych zestawów danych opisujących wykorzystywane czynniki. W rozdziale wskazano także źródła danych, które pozwolą na realizację prac nad modelem symulacyjnym SPP według przyjętego schematu. Zanim jednak możliwe stanie się użycie informacji dostępnych w zidentyfikowanych źródłach danych, konieczne jest ich uprzednie ujednoczenie i analiza.

## 5. Analiza dostępnych danych

Wstępnym etapem poprzedzającym budowę każdego modelu transportowego jest zebranie niezbędnych danych dotyczących uwarunkowań społeczno-ekonomicznych badanego obszaru oraz wybranych aspektów stanu systemu transportowego. Potrzebne wówczas są dane, które służą za zmienne objaśniające modelu (takie jak liczba mieszkańców czy wielkość powierzchni różnego przeznaczenia) oraz zmienne objaśniane (np. natężenie ruchu na odcinkach dróg, prędkości przejazdu itp.).

Przygotowanie modelu funkcjonowania SPP również wymagało zgromadzenia zestawów danych pozwalających scharakteryzować badany obszar oraz określić specyfikę zachowań związanych z parkowaniem. Każdy z otrzymanych zbiorów informacji wymagał odpowiedniego opracowania oraz oceny jakości i zasadności dalszego użycia. Ponadto, ze względu na mnogość posiadanych źródeł informacji, a w związku z tym i formatów otrzymanych danych, niezbędnym było ich ujednoczenie. Niniejszy rozdział omawia zarówno sposób opracowania zmiennych objaśnianych, jak i zmiennych objaśniających modelu (odpowiednio w podrozdziale 5.1 i 5.2).

Na potrzeby poznania zachowań komunikacyjnych i preferencji użytkowników SPP przeprowadzone zostały w 2019 roku dodatkowo własne badania ankietowe. Stanowiły one uzupełniające źródło informacji, które pozwoliło na kwantyfikację części aspektów funkcjonowania operującej w Krakowie strefy. Omówienie sposobu przeprowadzania badań ankietowych wraz z ich wynikami umieszczono w podrozdziale 5.3.

### 5.1 Opracowanie zmiennych objaśnianych modelu Strefy Płatnego Parkowania

Chcąc stworzyć model obrazujący rozkład popytu na miejsca postojowe, koniecznym było wyznaczenie poziomów napełnienia, do których ów model należało skalibrować. Opracowanie zmiennych objaśnianych modelu SPP polegało zatem na wyznaczeniu empirycznego napełnienia w poszczególnych rejonach komunikacyjnych.

Biorąc pod uwagę, że na sumaryczne napełnienie składa się obecność różnych grup użytkowników, postanowiono skompletować i opracować bazę danych składającą się z następujących podzbiorów:

- baza danych operatorów płatności mobilnych,
- baza danych biletów parkingowych,
- baza danych abonamentów,
- baza danych zawiadomień wystawionych w związku z brakiem uiszczenia opłaty parkingowej,
- wyniki badań patrolowych wykonanych we wszystkich podstrefach SPP w październiku 2018 roku.

Informacje pozyskano w różnym zakresie dla lat 2018-2020. Pochodziły one od zarządcy krakowskiej SPP – Zarządu Dróg Miasta Krakowa (ZDMK), z wyjątkiem badań patrolowych, które zostały zlecone w 2018 roku przez Zarząd Transportu Publicznego (ZTP) [95]. Ze względu na chęć zestawienia badań patrolowych wykonanych w ciągu trzech kolejnych tygodni października, z pozostałymi zestawami danych, postanowiono użyć danych zarządcy SPP udostępnionych dla każdego z wymienionych lat, zawsze dla trzech pełnych tygodni października. Wykorzystanie odpowiadających sobie okresów różnych lat powinno dać możliwie najlepszy punkt odniesienia dla porównań między poszczególnymi rocznikami. Szczegółowe zestawienie udostępnionych danych wraz z ujęciem okresów, dla których zostały przekazane znajduje się w tabeli 5.1.

Tabela 5.1 Zestawienie dostępnych danych pozyskanych do wyznaczenia empirycznych wartości napełnienia<sup>20</sup>

Dostawca danych	Rodzaj płatności	Źródło danych	Zakres czasowy		
			08-28.10. 2018 r.	07-27.10. 2019 r.	05-25.10. 2020 r.
ZDMK	płatność mobilna	aplikacja ePark	✘	✓	✓
		aplikacja moBilet	✓	✓	✓
		aplikacja mPay	✘	✓	✓
		aplikacja Pango	✓	✓	✓
		aplikacja SkyCash	✓	✓	✓
	bilet parkingowy	parkomaty typu Solari	✘	✓	✓
		parkomaty typu Parkeon	✘	✓	✓
	brak płatności	baza danych wystawionych zawiadomień	✓	✓	✓
abonament	baza danych wydanych abonamentów	✓	✓	✓	
ZTP	wszystkie	badania patrolowe	✓	✘	✘

Dane, jakie udało się pozyskać, pochodziły z lat 2018 – 2020. Dla roku 2020 otrzymano informacje pochodzące od wszystkich pięciu operatorów płatności mobilnych oraz z obu dostępnych rodzajów parkomatów, co dało kompletne dane dotyczące osób nieposiadających abonamentów postojowych, a wnoszących opłaty za postój. Kompletne informacje uzyskano także dla grupy użytkowników SPP, którzy mimo braku abonamentu postojowego nie dokonali stosownej opłaty. W tym przypadku wykorzystano bazę danych wystawionych zawiadomień o konieczności wniesienia opłaty dodatkowej. Wiedzę na temat liczby wydanych aktualnych abonamentów czerpano z bazy danych abonamentów postojowych operatora SPP. Jednakże, pomimo zgromadzenia licznych informacji, ostatecznie nie zdecydowano się na użycie źródeł z 2020 r. Czynnikiem motywującym porzucenie analizy opartej o dane pochodzące z owego roku były możliwe zmiany zachowań komunikacyjnych użytkowników wynikające z obowiązującego od 20 marca 2020 roku stanu epidemii w związku z zakażeniami wirusem SARS-CoV-2 [96]. Wprowadzone ograniczenia w przemieszczaniu, zamknięcie hoteli, restauracji czy miejsc rozrywki, a także uchylenie opłat za postój w SPP (w okresie od 16 marca do 3 maja 2020 r.) spowodowały, że rok 2020 mógłby nie okazać się miarodajnym okresem do późniejszego wnioskowania na temat specyfiki zachowań użytkowników krakowskiej SPP.

Posiadany zestaw danych dla roku 2019 miał identyczny zakres, jak dane dla roku 2020. Dla roku 2018 wyjątkowo dysponowano badaniami patrolowymi, jednak ZDMK nie posiadał dla tego okresu bazy danych pochodzącej z automatów parkingowych. Zabrakło również informacji z aplikacji mobilnej ePark oraz mPay. Wynikało to jednak jedynie z braku możliwości zapłaty za postój przy użyciu wymienionych aplikacji w owym czasie.

Ostatecznie, ze względu na konieczność wykorzystania w dysertacji wyników badań patrolowych wykonanych w październiku 2018 roku oraz badań ankietowych

<sup>20</sup> objaśnienie użytych w tabeli symboli: ✓ - dane dostępne, ✘ - dane niedostępne

przeprowadzonych w roku 2019, w dalszych analizach postanowiono skorzystać jedynie z danych dla tych roczników. Dokładny opis dostępnych baz danych (oraz sposób ich przetworzenia w celu dalszego wykorzystania) zamieszczono w podrozdziałach 5.1.1 do 5.1.5.

### 5.1.1 Baza danych biletów parkingowych

Udostępniona baza danych biletów parkingowych składała się z odrębnych skoroszytów dla obu rodzajów użytkowanych parkomatów – Solari oraz Parkeon. Otrzymane wiersze zawierały informacje na temat daty i godziny wystawienia biletu oraz zakończenia jego ważności. Ponadto, możliwe było szczegółowe określenie miejsca pobrania biletu, gdyż w każdym z wierszy znajdowała się informacja na temat numeru parkomatu, numeru sektora SPP, w którym ów parkomat się znajdował oraz dodatkowy opis lokalizacji z uwzględnieniem nazwy ulicy. Korzystając z udostępnionych przez operatora SPP informacji dotyczących wszystkich użytkowanych parkomatów oraz mapy parkomatów udostępnionej na stronie internetowej Zarządu Dróg Miasta Krakowa<sup>21</sup> przypisano każdy parkomat do jednego z rejonów komunikacyjnych modelu transportowego miasta.

Dla każdego z biletów pozyskanych za pośrednictwem automatów parkingowych znana była godzina rozpoczęcia parkowania oraz zakończenia obowiązywania biletu, z dokładnością co do sekundy. Ze względu na tak duży poziom szczegółowości i związaną z nim trudność przedstawienia danych dla całego okresu obowiązywania SPP na przestrzeni dnia, postanowiono sklasyfikować każdą godzinę rozpoczęcia i zakończenia czasu obowiązywania do jednego z dziewięćdziesięciu sześciu kwadransów dnia. Wszystkie wiersze bazy danych sprowadzono do liczby kwadransów przez jaką dany pojazd miał wykupiony postój w poszczególnych godzinach obowiązywania SPP. Następnie, dla każdej z godzin obowiązywania SPP i każdego rejonu komunikacyjnego z osobna, kwadransy te zostały zsumowane i podzielone przez cztery by otrzymać liczbę parkujących pojazdów w godzinie. Szczegółowe wyniki obserwowanych poziomów zajętości pochodzących od użytkowników wykupujących bilet postojowy za pośrednictwem parkomatu przedstawiono w tabeli 5.2. Dane zamieszczone w tabeli 5.2 stanowią jedną ze składowych napełnienia pochodzącego od użytkowników nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego.

Tabela 5.2 Napełnienie powierzchni parkingowej pochodzące od użytkowników SPP korzystających z parkomatów w poszczególnych rejonach komunikacyjnych

Rejon <sup>22</sup>	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
1	4.5%	4.4%	4.3%	4.4%	4.2%	3.7%	3.2%	3.3%	3.5%	3.4%
2	2.8%	2.8%	2.6%	2.6%	2.6%	2.2%	2.2%	2.2%	1.6%	1.6%
3	10.3%	9.9%	9.1%	9.1%	8.8%	8.3%	8.6%	9.7%	9.5%	7.8%
4	18.5%	20.1%	19.0%	17.7%	15.9%	14.8%	15.1%	15.7%	17.3%	15.0%
5	24.6%	24.5%	23.4%	21.8%	21.0%	20.8%	20.4%	21.3%	23.7%	22.3%
6	34.3%	34.1%	31.1%	28.3%	23.9%	19.9%	19.6%	20.6%	22.1%	20.1%
7	22.7%	21.9%	20.6%	19.1%	17.5%	16.8%	17.5%	19.4%	21.3%	20.2%
8	10.1%	10.0%	9.3%	9.2%	8.5%	7.5%	7.5%	7.2%	7.3%	5.6%
9	23.1%	21.8%	19.2%	18.2%	17.3%	16.9%	16.8%	16.6%	16.9%	15.3%
10	15.9%	15.9%	14.4%	14.1%	13.5%	13.3%	13.4%	13.9%	14.0%	12.7%

<sup>21</sup> <https://zdmk.krakow.pl/parkowanie/strefa-platnego-parkowania/mapy/mapa-parkometrow/> (dostęp: 16 sierpnia 2021)

<sup>22</sup> Za każdym razem, gdy w niniejszej dysertacji w nagłówku tabeli pojawia się hasło „Rejon” rozumieć przez nie należy numer rejonu komunikacyjnego użyty w modelu transportowym danego miasta bądź aglomeracji.

Rejon <sup>22</sup>	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
11	13.2%	13.5%	12.1%	11.8%	11.4%	11.1%	10.7%	11.1%	10.7%	9.1%
12	48.6%	47.3%	43.3%	36.0%	31.1%	26.6%	26.8%	26.4%	23.9%	19.3%
13	16.4%	15.4%	14.3%	13.1%	12.3%	11.6%	12.0%	13.0%	13.4%	12.8%
14	21.2%	20.6%	19.1%	18.6%	17.2%	16.0%	15.7%	16.8%	18.9%	18.1%
15	17.5%	17.9%	16.9%	15.9%	14.7%	13.2%	12.5%	12.4%	13.2%	12.5%
16	25.8%	27.1%	28.1%	28.7%	25.6%	22.5%	21.4%	22.0%	24.1%	22.7%
17	21.5%	20.5%	19.5%	18.8%	17.6%	16.3%	15.4%	15.2%	16.4%	16.4%
18	21.5%	22.0%	19.8%	16.9%	14.7%	12.9%	13.3%	14.5%	14.8%	12.4%
19	17.3%	18.2%	17.7%	19.7%	22.3%	21.9%	25.3%	25.9%	25.0%	21.8%
20	16.3%	15.5%	13.7%	12.9%	12.7%	12.8%	12.5%	11.9%	10.4%	8.5%
21	13.5%	12.9%	11.7%	11.2%	11.7%	12.0%	12.1%	12.5%	12.0%	9.5%
22	16.0%	15.8%	14.9%	13.8%	12.9%	12.1%	12.2%	12.7%	12.8%	11.5%
23	15.6%	15.7%	14.6%	13.2%	11.7%	10.5%	10.0%	10.1%	9.7%	8.2%
27	34.9%	35.6%	32.8%	29.8%	28.1%	26.6%	28.6%	29.4%	26.9%	23.2%
30	13.6%	13.8%	12.7%	11.4%	10.6%	10.3%	10.2%	10.1%	9.4%	8.4%
33	15.8%	15.5%	14.5%	13.4%	12.5%	12.2%	12.1%	11.9%	11.2%	10.0%
34	23.8%	22.5%	19.7%	18.0%	16.4%	15.1%	14.0%	14.4%	13.3%	11.4%
36	28.3%	27.3%	25.7%	23.1%	20.4%	18.7%	17.4%	17.4%	17.5%	16.4%
37	18.9%	18.1%	15.3%	13.1%	11.8%	11.3%	11.4%	11.3%	11.5%	11.1%
39	59.1%	50.3%	36.8%	29.5%	27.5%	26.2%	25.0%	22.8%	19.7%	15.6%
41	15.3%	15.1%	13.4%	12.1%	10.6%	10.3%	10.9%	11.1%	12.2%	10.7%
42	27.5%	22.7%	17.7%	17.2%	13.8%	7.8%	6.7%	7.8%	9.7%	10.3%
43	5.0%	5.8%	5.3%	4.5%	4.5%	4.2%	5.2%	5.8%	6.5%	5.9%
44	19.9%	27.9%	25.3%	20.5%	16.5%	11.6%	8.7%	6.9%	2.3%	1.1%
45	16.9%	18.0%	16.6%	15.2%	13.9%	12.9%	13.0%	11.6%	10.6%	8.8%
46	1.2%	1.4%	1.4%	1.0%	0.8%	0.6%	0.4%	0.3%	0.6%	0.5%
47	2.4%	2.6%	2.6%	2.4%	2.9%	3.3%	3.5%	3.6%	3.0%	1.8%
48	13.1%	12.6%	12.6%	11.9%	10.6%	9.0%	8.3%	8.0%	6.9%	5.3%
50	37.4%	36.0%	33.0%	30.0%	24.7%	15.1%	11.3%	10.3%	8.8%	6.9%
51	42.2%	42.6%	36.4%	32.7%	30.6%	27.2%	22.6%	20.2%	18.8%	16.5%
52	41.0%	39.4%	34.3%	29.7%	26.0%	22.0%	20.2%	19.4%	19.0%	15.3%
53	12.7%	12.5%	11.4%	11.2%	10.3%	9.7%	9.4%	8.9%	8.9%	8.0%
54	31.7%	28.2%	22.9%	23.6%	21.5%	21.8%	21.2%	19.2%	18.4%	17.6%
55	8.9%	8.6%	8.4%	7.7%	7.9%	7.9%	7.8%	8.6%	9.0%	8.0%
56	2.7%	2.3%	2.0%	1.2%	2.8%	1.8%	1.5%	1.1%	0.5%	0.9%
57	19.8%	19.4%	19.8%	18.3%	17.1%	14.8%	13.1%	13.8%	12.5%	10.4%
58	17.3%	18.0%	16.9%	16.5%	15.5%	14.5%	14.0%	14.6%	14.9%	13.3%
59	16.5%	16.9%	16.1%	15.3%	14.3%	13.1%	12.1%	12.1%	12.1%	10.9%
60	7.1%	6.9%	7.2%	6.5%	6.6%	6.0%	5.7%	6.2%	6.6%	5.6%
61	4.4%	4.0%	3.9%	3.7%	3.2%	3.2%	3.4%	3.5%	3.7%	3.4%
62	13.9%	13.9%	12.1%	11.5%	11.5%	9.4%	6.3%	4.2%	3.1%	2.0%
<b>średnia</b>	<b>19.3%</b>	<b>18.9%</b>	<b>17.2%</b>	<b>15.8%</b>	<b>14.5%</b>	<b>13.1%</b>	<b>12.7%</b>	<b>12.7%</b>	<b>12.6%</b>	<b>11.1%</b>

### 5.1.2 Baza danych operatorów płatności mobilnych

Informacje z bazy danych operatorów mobilnych otrzymano w postaci oddzielnych skoroszytów dla każdego z operatorów. Zawarte w skoroszytach wiersze przedstawiały dla każdego z zakupionych biletów parkingowych datę i godzinę wystawienia (tożsame z czasem rozpoczęcia parkowania) oraz zakończenia ich obowiązywania. Ponadto, w każdym z wierszy udostępniono także dane strefy, na terenie której bilet obowiązywał (w latach 2019 - 2020 z dokładnością do strefy A, B, C; w roku 2018 żaden podział użytkowników płatności mobilnych na strefy nie obowiązywał). Ze względu na brak precyzyjnie określonego miejsca, dla którego wykupywane były bilety postojowe, postanowiono rozdzielić je pomiędzy poszczególne rejony komunikacyjne proporcjonalnie do liczby biletów wykupionych za pośrednictwem automatów parkingowych. Uznano, iż brak jest istotnych różnic w podejmowaniu decyzji związanych z parkowaniem między użytkownikami niebędącymi abonentami danego sektora SPP w zależności od tego, czy opłatę postojową uiszczają przy pomocy parkomatu czy też za pośrednictwem aplikacji mobilnej. Bilety między rejony komunikacyjne rozdzielano według proporcji liczonych oddzielnie w obrębie każdej z podstref A, B i C.

Dla każdego z biletów pozyskanych za pośrednictwem płatności mobilnych znana była godzina rozpoczęcia parkowania oraz zakończenia obowiązywania biletu, z dokładnością co do sekundy. Ze względu na taki sam poziom szczegółowości danych związany z czasem postoju, jak w przypadku bazy danych biletów parkingowych, opracowano je w tym zakresie jednakowo. Otrzymane wyniki przedstawia tabela 5.3. Dane zamieszczone w tabeli 5.3 stanowią jedną ze składowych napełnienia pochodzącego od użytkowników nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego.

Tabela 5.3 Napełnienie powierzchni parkingowej pochodzące od użytkowników SPP korzystających z płatności mobilnych w poszczególnych rejonach komunikacyjnych

Rejon	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
1	2.3%	2.4%	2.5%	2.7%	2.7%	2.5%	2.2%	2.3%	2.4%	2.5%
2	1.4%	1.5%	1.5%	1.6%	1.6%	1.5%	1.5%	1.5%	1.1%	1.2%
3	5.1%	5.4%	5.3%	5.6%	5.6%	5.5%	5.8%	6.6%	6.5%	5.6%
4	9.2%	10.9%	11.2%	10.8%	10.2%	9.9%	10.3%	10.7%	11.8%	10.8%
5	12.2%	13.2%	13.7%	13.4%	13.5%	13.9%	13.8%	14.6%	16.1%	16.1%
6	17.1%	18.4%	18.2%	17.3%	15.4%	13.3%	13.3%	14.1%	15.0%	14.5%
7	11.3%	11.8%	12.1%	11.7%	11.3%	11.2%	11.9%	13.2%	14.5%	14.6%
8	5.0%	5.4%	5.5%	5.6%	5.5%	5.0%	5.1%	4.9%	4.9%	4.0%
9	11.5%	11.8%	11.3%	11.1%	11.1%	11.3%	11.4%	11.3%	11.5%	11.1%
10	7.9%	8.6%	8.4%	8.6%	8.7%	8.9%	9.1%	9.5%	9.5%	9.2%
11	6.6%	7.3%	7.1%	7.3%	7.3%	7.4%	7.2%	7.6%	7.3%	6.6%
12	24.2%	25.6%	25.4%	22.1%	19.9%	17.8%	18.2%	18.0%	16.2%	14.0%
13	8.1%	8.3%	8.4%	8.1%	7.9%	7.7%	8.2%	8.9%	9.1%	9.2%
14	10.5%	11.1%	11.2%	11.4%	11.1%	10.7%	10.6%	11.5%	12.8%	13.1%
15	8.7%	9.6%	9.9%	9.8%	9.4%	8.8%	8.5%	8.5%	9.0%	9.0%
16	12.8%	14.6%	16.5%	17.6%	16.5%	15.1%	14.5%	15.0%	16.4%	16.4%
17	10.7%	11.1%	11.4%	11.5%	11.3%	10.9%	10.4%	10.4%	11.1%	11.9%
18	10.7%	11.9%	11.6%	10.4%	9.4%	8.6%	9.0%	9.9%	10.0%	9.0%

Rejon	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
19	4.9%	5.4%	5.8%	6.8%	7.9%	8.0%	9.8%	10.5%	10.7%	10.2%
20	4.4%	4.5%	4.4%	4.4%	4.4%	4.6%	4.7%	4.7%	4.4%	3.9%
21	3.7%	3.8%	3.7%	3.8%	4.0%	4.3%	4.6%	4.9%	5.1%	4.4%
22	4.8%	4.9%	5.0%	4.9%	4.8%	4.7%	4.9%	5.4%	5.6%	5.5%
23	4.6%	4.9%	4.9%	4.7%	4.4%	4.1%	4.0%	4.3%	4.2%	4.0%
27	10.4%	11.1%	11.1%	10.7%	10.5%	10.3%	11.5%	12.5%	11.8%	11.2%
30	3.7%	4.0%	4.1%	3.9%	3.7%	3.7%	3.9%	4.0%	4.0%	3.9%
33	4.3%	4.5%	4.7%	4.6%	4.3%	4.3%	4.6%	4.7%	4.8%	4.6%
34	6.5%	6.6%	6.3%	6.1%	5.6%	5.4%	5.3%	5.7%	5.6%	5.3%
36	7.7%	8.0%	8.3%	7.9%	7.0%	6.7%	6.6%	6.9%	7.4%	7.6%
37	5.2%	5.3%	4.9%	4.5%	4.1%	4.0%	4.3%	4.4%	4.9%	5.1%
39	16.1%	14.8%	11.8%	10.1%	9.5%	9.4%	9.5%	9.0%	8.3%	7.2%
41	4.5%	4.7%	4.5%	4.3%	3.9%	4.0%	4.4%	4.7%	5.3%	5.1%
42	7.5%	6.6%	5.7%	5.9%	4.8%	2.8%	2.5%	3.1%	4.1%	4.8%
43	1.4%	1.7%	1.7%	1.5%	1.5%	1.5%	2.0%	2.3%	2.7%	2.8%
44	5.4%	8.2%	8.1%	7.0%	5.7%	4.1%	3.3%	2.7%	1.0%	0.5%
45	4.6%	5.3%	5.3%	5.2%	4.8%	4.6%	4.9%	4.6%	4.5%	4.1%
46	0.3%	0.4%	0.4%	0.3%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.3%	0.2%
47	0.7%	0.8%	0.8%	0.8%	1.0%	1.2%	1.3%	1.4%	1.3%	0.8%
48	3.6%	3.7%	4.0%	4.1%	3.7%	3.2%	3.1%	3.2%	2.9%	2.4%
50	10.2%	10.6%	10.6%	10.2%	8.5%	5.4%	4.3%	4.1%	3.7%	3.2%
51	12.6%	13.3%	12.3%	11.7%	11.4%	10.5%	9.1%	8.5%	8.2%	7.9%
52	12.2%	12.3%	11.6%	10.6%	9.7%	8.5%	8.1%	8.2%	8.3%	7.3%
53	3.8%	3.9%	3.8%	4.0%	3.8%	3.8%	3.8%	3.8%	3.9%	3.8%
54	9.5%	8.8%	7.7%	8.4%	8.0%	8.5%	8.5%	8.1%	8.0%	8.5%
55	2.4%	2.5%	2.7%	2.6%	2.7%	2.8%	2.9%	3.4%	3.8%	3.7%
56	0.7%	0.7%	0.7%	0.4%	1.0%	0.6%	0.6%	0.4%	0.2%	0.4%
57	5.4%	5.7%	6.4%	6.2%	5.9%	5.3%	5.0%	5.4%	5.3%	4.8%
58	5.2%	5.6%	5.7%	5.9%	5.8%	5.6%	5.6%	6.2%	6.5%	6.4%
59	4.9%	5.3%	5.4%	5.5%	5.3%	5.1%	4.9%	5.1%	5.3%	5.3%
60	2.1%	2.2%	2.4%	2.3%	2.4%	2.3%	2.3%	2.6%	2.9%	2.7%
61	1.3%	1.3%	1.3%	1.3%	1.2%	1.2%	1.4%	1.5%	1.6%	1.6%
62	3.8%	4.1%	3.9%	3.9%	4.0%	3.4%	2.4%	1.6%	1.3%	0.9%
średnia	6.9%	7.3%	7.3%	7.1%	6.7%	6.4%	6.4%	6.6%	6.7%	6.5%

### 5.1.3 Baza danych zawiadomień wystawionych z powodu braku uiszczenia opłaty postojowej

Dane dotyczące zawiadomień o nieopłaconym postoju zawierały wszystkie wystawione zawiadomienia wraz z datą i godziną wystawienia oraz nazwą ulicy i nazwą podstrefy, w której zostały wydane. Z uwagi na usytuowanie części ulic na terenie kilku rejonów komunikacyjnych postanowiono rozdzielać w takim przypadku jedno zawiadomienie



między wszystkie te rejony proporcjonalnie do liczby dostępnych w nich miejsc postojowych. Założono bowiem, że w obrębie każdej z ulic rozkład liczby wystawionych zawiadomień jest równomierny na całej długości danej ulicy. Posiadając wszystkie opisane wyżej informacje, przetworzono je do tej samej postaci, do jakiej sprowadzone zostały dane pochodzące z bazy danych biletów parkingowych oraz operatorów płatności mobilnych. W rezultacie otrzymano wielkości przeciętnego napełnienia pochodzącego od użytkowników, którzy nie uiszcili stosownej opłaty w poszczególnych godzinach obowiązywania SPP, z rozróżnieniem na rejony komunikacyjne. Opracowane dane przedstawia tabela 5.4. Dane zamieszczone w tabeli 5.4 stanowią jedną ze składowych napełnienia pochodzącego od użytkowników nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego.

Tabela 5.4 Napełnienia powierzchni parkingowej pochodzące od użytkowników SPP nieuiszczających opłaty za postój w poszczególnych rejonach komunikacyjnych SPP

Rejon	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
1	0.04%	0.05%	0.04%	0.03%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%	0.03%	0.01%
2	0.06%	0.13%	0.25%	0.19%	0.06%	0.09%	0.17%	0.18%	0.11%	0.05%
3	0.04%	0.09%	0.11%	0.13%	0.13%	0.10%	0.10%	0.10%	0.08%	0.03%
4	0.03%	0.04%	0.04%	0.03%	0.02%	0.03%	0.04%	0.05%	0.03%	0.02%
5	0.06%	0.05%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.01%
6	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.04%	0.04%	0.02%	0.01%
7	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.03%	0.02%	0.01%
8	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%
9	0.03%	0.02%	0.02%	0.03%	0.05%	0.04%	0.03%	0.04%	0.04%	0.01%
10	0.01%	0.02%	0.02%	0.02%	0.03%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.01%
11	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%	0.00%
12	0.08%	0.11%	0.06%	0.05%	0.03%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.01%
13	0.01%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%
14	0.05%	0.06%	0.05%	0.03%	0.03%	0.03%	0.04%	0.04%	0.03%	0.02%
15	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.04%	0.04%	0.03%	0.02%	0.01%
16	0.04%	0.08%	0.07%	0.05%	0.04%	0.05%	0.07%	0.09%	0.10%	0.06%
17	0.01%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%
18	0.02%	0.03%	0.05%	0.05%	0.05%	0.04%	0.03%	0.04%	0.04%	0.02%
19	0.43%	0.16%	0.23%	0.18%	0.10%	0.06%	0.13%	0.16%	0.16%	0.15%
20	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.03%	0.02%	0.01%
21	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%
22	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%
23	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%
27	0.18%	0.21%	0.17%	0.12%	0.07%	0.04%	0.06%	0.07%	0.06%	0.03%
30	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
33	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%
34	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
36	0.22%	0.41%	0.26%	0.22%	0.22%	0.40%	0.39%	0.21%	0.09%	0.05%
37	0.04%	0.04%	0.03%	0.04%	0.04%	0.02%	0.02%	0.02%	0.03%	0.01%
39	0.11%	0.14%	0.18%	0.09%	0.06%	0.09%	0.09%	0.08%	0.09%	0.05%
41	0.03%	0.04%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%
42	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Rejon	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
43	0.26%	0.44%	0.60%	0.68%	0.52%	0.30%	0.22%	0.28%	0.28%	0.13%
44	0.14%	0.17%	0.22%	0.19%	0.17%	0.14%	0.16%	0.10%	0.02%	0.00%
45	0.02%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.01%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%
46	0.03%	0.06%	0.07%	0.05%	0.05%	0.04%	0.03%	0.05%	0.06%	0.02%
47	0.03%	0.05%	0.04%	0.03%	0.03%	0.06%	0.06%	0.06%	0.06%	0.07%
48	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.00%
50	0.03%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%
51	0.11%	0.11%	0.10%	0.08%	0.07%	0.08%	0.06%	0.04%	0.04%	0.04%
52	0.04%	0.04%	0.04%	0.05%	0.04%	0.03%	0.04%	0.03%	0.04%	0.02%
53	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%
54	0.09%	0.30%	0.40%	0.30%	0.15%	0.06%	0.06%	0.12%	0.22%	0.12%
55	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%
56	0.25%	0.28%	0.30%	0.19%	0.14%	0.14%	0.11%	0.18%	0.17%	0.11%
57	0.11%	0.15%	0.13%	0.10%	0.09%	0.09%	0.07%	0.08%	0.09%	0.07%
58	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
59	0.03%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%
60	0.03%	0.05%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%
61	0.05%	0.06%	0.03%	0.03%	0.02%	0.03%	0.03%	0.05%	0.04%	0.03%
62	0.07%	0.17%	0.18%	0.14%	0.13%	0.10%	0.11%	0.05%	0.03%	0.04%
<b>średnia</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.08%</b>	<b>0.08%</b>	<b>0.07%</b>	<b>0.06%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.05%</b>	<b>0.03%</b>

Pomimo bardzo niewielkich wartości, uwzględnienie w dysertacji danych dotyczących poziomu napełnienia pochodzącego od użytkowników nieuiszczających opłat postojowych było konieczne ze względu na potrzebę upewnienia się co do skali tego zjawiska. W niektórych miastach udział ten sięga bowiem nawet do 40% wszystkich zaparkowanych pojazdów (jak np. w Pradze [97]). W przypadku Krakowa napełnienie pochodzące od użytkowników bez wykupionych biletów postojowych było marginalne.

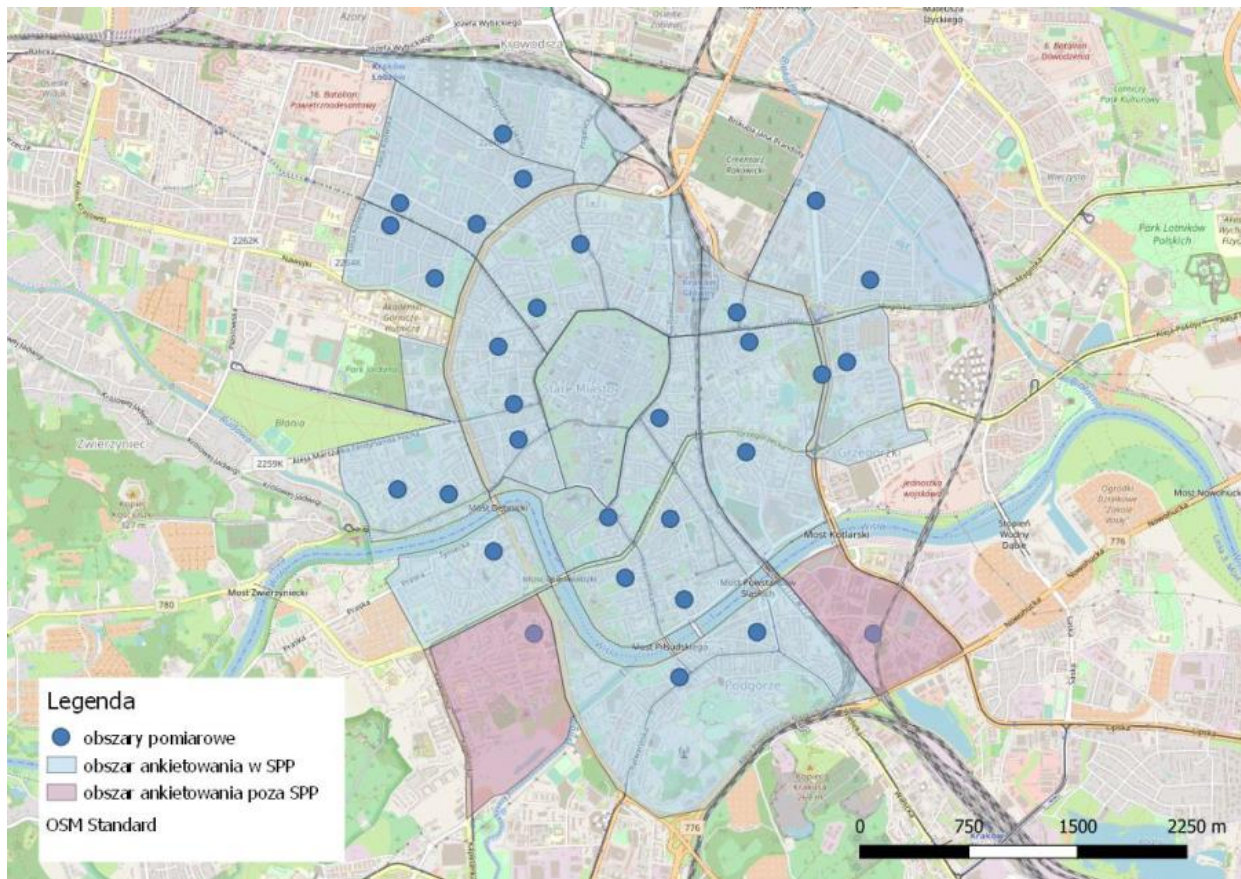
#### 5.1.4 Baza danych abonamentów postojowych

Informacje na temat liczby obowiązujących abonamentów otrzymano z dokładnością agregacji przestrzennej do poziomu poszczególnych podstref. Ponadto, w bazie danych znalazły się także abonamenty wydawane na całą SPP. Łącznie na terenie SPP w październiku 2018 r. ważnych było około 28200 abonamentów. Rok później liczba ta wynosiła 26300, a w październiku 2020 roku odnotowano 28500 subskrypcji. Wyjątkowo, udało się także pozyskać informacje dotyczące liczby abonamentów obowiązujących w latach wcześniejszych, tj. dla 2015 r. (35000), 2016 r. (36500) oraz dla roku 2017 (36600). Zauważalny, skokowy spadek o niemal 23% liczby wydanych abonamentów między 2017 a 2018 rokiem był wynikiem wprowadzonego w styczniu 2018 r. zaostżenia zasad dotyczących wydawania abonamentów mieszkańca.

Niestety, zbyt niski poziom szczegółowości przestrzennej pozyskanych informacji stanowił powód zaniechania użycia tego źródła danych. Zresztą, ze względu na brak ograniczeń czasu parkowania oraz nierejestrowanie postoju opłaconego za pośrednictwem abonamentu, nie byłoby możliwości bezpośredniego wyznaczenia udziału zaparkowanych pojazdów posiadających wykupiony abonament w ogóle dostępnych miejsc postojowych. Ograniczenie to dotyczyło zarówno wyznaczenia średniodobowego udziału pojazdów w łącznym poziomie napełnień, jak i udziału na przestrzeni różnych godzin obowiązywania SPP.

### 5.1.5 Badania patrolowe wykonane we wszystkich podstrefach Strefy Płatnego Parkowania

Użyte w niniejszej dysertacji badania patrolowe obejmowały analizę wykorzystania powierzchni parkingowej oraz ocenę warunków parkowania w wybranych obszarach każdej z podstref SPP w Krakowie. Szczegółowe lokalizacje obszarów pomiarowych zamieszczono na rysunku 5.1.



Rysunek 5.1 Lokalizacja obszarów pomiarowych badanych w ramach analizy funkcjonowania SPP w Krakowie [95]

Pomiary zostały wykonane na zlecenie Gminy Miejskiej Kraków [95]. Przeprowadzono je w każdej z wybranych lokalizacji przez jeden dzień roboczy (między wtorkiem a czwartkiem), jedną sobotą i jedną niedzielą niehandlową między 9. a 24. październikiem 2018 roku, w godzinach od 8:00 do 12:00 oraz od 15:00 do 21:00. Dane zbierano w interwałach półgodzinnych, jednakże, aby ujednolicić ich poziom szczegółowości z dotychczas przetworzonymi informacjami, postanowiono uśrednić wyniki dla poszczególnych godzin obowiązywania SPP. Ze względu na szczegółowe informacje dotyczące ulic, w ciągu których dokonywano pomiarów, istniała możliwość przypisania każdej z nich do odpowiedniego rejonu komunikacyjnego. Przetworzone wyniki pomiarów umieszczono w tabeli 5.5.

Tabela 5.5 Wyniki napełnienia powierzchni parkingowej pochodzące z pomiarów patrolowych dla wybranych rejonów komunikacyjnych krakowskiej SPP (opracowanie własne na podstawie [95])

Rejon	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
3	83.3%	83.3%	-	-	-	88.9%	88.9%	88.9%	88.9%	83.3%
5	88.3%	86.7%	-	-	-	82.9%	78.7%	73.8%	71.4%	69.0%
6	88.2%	85.3%	-	-	-	76.5%	70.6%	70.6%	64.7%	55.9%
7	82.8%	81.5%	-	-	-	77.6%	69.1%	71.2%	71.2%	67.1%
9	87.3%	83.5%	-	-	-	89.6%	89.9%	90.1%	85.6%	85.1%
10	81.8%	88.6%	-	-	-	81.8%	65.9%	59.1%	75.0%	72.7%
11	85.8%	89.6%	-	-	-	84.5%	85.4%	82.5%	79.2%	86.8%
13	76.4%	80.9%	-	-	-	76.4%	80.0%	69.1%	58.2%	65.5%
14	73.8%	79.5%	-	-	-	68.9%	63.6%	66.2%	71.2%	78.1%
15	89.7%	87.9%	-	-	-	89.7%	75.9%	84.5%	81.0%	84.5%
16	81.6%	80.2%	-	-	-	63.7%	57.5%	59.0%	65.6%	67.9%
17	84.3%	85.8%	-	-	-	82.1%	78.6%	76.9%	80.5%	82.7%
18	79.3%	84.9%	-	-	-	85.2%	83.9%	83.7%	85.8%	86.9%
21	65.8%	67.5%	-	-	-	79.1%	79.9%	79.5%	73.9%	68.8%
22	81.4%	83.4%	-	-	-	80.0%	80.3%	82.7%	75.3%	77.4%
23	84.5%	84.1%	-	-	-	71.1%	71.6%	72.8%	69.0%	67.7%
30	79.4%	79.2%	-	-	-	76.3%	75.8%	79.0%	76.9%	75.5%
33	77.0%	78.8%	-	-	-	78.4%	77.1%	77.2%	78.3%	75.8%
34	81.7%	81.2%	-	-	-	75.1%	74.1%	75.1%	74.3%	70.9%
36	78.3%	76.7%	-	-	-	56.7%	63.3%	80.0%	88.3%	80.0%
37	70.3%	63.3%	-	-	-	73.4%	70.3%	76.6%	79.7%	84.4%
41	90.2%	87.9%	-	-	-	69.2%	66.6%	65.5%	64.4%	65.5%
45	84.6%	83.9%	-	-	-	70.0%	63.5%	65.9%	64.5%	59.4%
48	66.1%	65.5%	-	-	-	68.5%	72.0%	68.5%	64.3%	54.8%
50	87.7%	89.1%	-	-	-	52.6%	31.5%	32.1%	28.6%	29.0%
51	88.6%	89.0%	-	-	-	62.3%	67.2%	61.2%	61.7%	57.2%
53	79.8%	78.4%	-	-	-	75.9%	71.5%	76.3%	69.6%	73.0%
58	78.3%	76.8%	-	-	-	71.2%	72.6%	76.3%	78.9%	81.7%
59	74.7%	72.0%	-	-	-	73.8%	67.6%	68.5%	71.6%	74.7%
<b>średnia</b>	<b>81.1%</b>	<b>81.2%</b>	-	-	-	<b>75.2%</b>	<b>72.2%</b>	<b>72.9%</b>	<b>72.3%</b>	<b>71.8%</b>

## 5.2 Opracowanie zmiennych objaśniających modelu Strefy Płatnego Parkowania

Chcąc wyznaczyć zmienne objaśniające modelu napełnień parkingowych opartego o dezagregację przestrzenną na poziomie rejonów komunikacyjnych, postanowiono skorzystać z danych zawartych bezpośrednio w modelu transportowym miasta, tj.:

- LM – liczba mieszkańców,
- PC – powierzchnia całkowita,
- PM – powierzchnia mieszkalna,
- PB – powierzchnia biurowa,
- PH – powierzchnia handlowa,
- PO – powierzchnia oświatowa,
- PProd – powierzchnia produkcyjna,
- PPrzem – powierzchnia przemysłowa,
- MP – liczba miejsc postojowych<sup>23</sup>.

Poza danymi, które można pozyskać korzystając bezpośrednio z bazy danych modelu transportowego, istnieją również takie czynniki, które można na jego podstawie obliczyć.

Postanowiono zatem wyznaczyć następujące miary:

- ODL – odległość centroidy rejonu komunikacyjnego od centroidy rejonu komunikacyjnego ścisłego centrum miasta, tj. rejonu pierwszego,
- MdP – stosunek powierzchni mieszkalnej do sumy pozostałych rodzajów powierzchni,
- ATR – suma atrakcji podróży rejonu w godzinie szczytu porannego i popołudniowego.

Ponadto, istotną miarą pozwalającą ocenić poziom skomunikowania danego obszaru z resztą modelowanych rejonów jest dostępność transportowa. Ze względu na bardziej złożony sposób wyznaczania tej miary opisano ją w dedykowanym załączniku (załącznik 5.1). Poza dostępnością globalną wśród zmiennych objaśniających modelu funkcjonowania SPP rozważano dodatkowo:

- AKZR – dostępność transportową środkami transportu zbiorowego w szczycie porannym,
- AKZP – dostępność transportową środkami transportu zbiorowego w szczycie popołudniowym,
- AKZ – średnią dostępność transportową środkami transportu zbiorowego,
- AKIR – dostępność transportową środkami transportu indywidualnego w szczycie porannym,
- AKIP – dostępność transportową środkami transportu indywidualnego w szczycie popołudniowym,
- AKI – średnią dostępność transportową środkami transportu indywidualnego,
- AS – średnią dostępność transportową dla środków transportu zbiorowego i indywidualnego.

---

<sup>23</sup> Liczba miejsc postojowych została wyznaczona wyłącznie dla wybranych rejonów komunikacyjnych.

### 5.3 Analiza badań ankietowych użytkowników Strefy Płatnego Parkowania

W ramach prac nad niniejszą dysertacją przeprowadzono własne badania ankietowe nakierowane w głównej mierze na poznanie specyfiki elastyczności cenowej popytu. Do tego celu wykorzystano metodę ankietowania bezpośredniego – tj. metodę PAPI. Grupą docelową, do której zwracano się z pytaniami byli kierowcy, którzy wykupywali bilet postojowy w parkomatach. Przeprowadzony sondaż miał charakter badania preferencji deklarowanych (ang. *stated preference*).

Badania przeprowadzone zostały na terenie całej ówczesnie funkcjonującej SPP. Badania przeprowadzono w godzinach obowiązywania SPP, w dniach od 9. do 20. września 2019 r., tj. tuż przed wdrożeniem zmian funkcjonowania SPP. Zmiany te polegały między innymi na poszerzeniu granic już obowiązującej strefy. Uchwała modyfikująca kształt dotychczas obowiązującej SPP [98] miała na celu także podwyższenie opłat za godzinę postojową, jednak poprawki związane z wyceną stawek opłat obowiązywać zaczęły dopiero od 15 grudnia 2019 r. W dniach przeprowadzania ankiet stawki opłat za postój były we wszystkich rejonach komunikacyjnych takie same.

W celu wyznaczenia liczebności próby skorzystano ze wzoru na dobór wielkości próby przy nieznanym odchyleniu standardowym populacji [99]. Równanie przedstawiono we wzorze 5.1:

$$N_{min} = \frac{N_p(u_\alpha^2 * f(1 - f))}{N_p * b^2 + u_\alpha^2 * f(1 - f)} \quad (5.1)$$

gdzie:

$N_{min}$  – minimalna liczebność próby,

$N_p$  – wielkość populacji, z której brana jest próba,

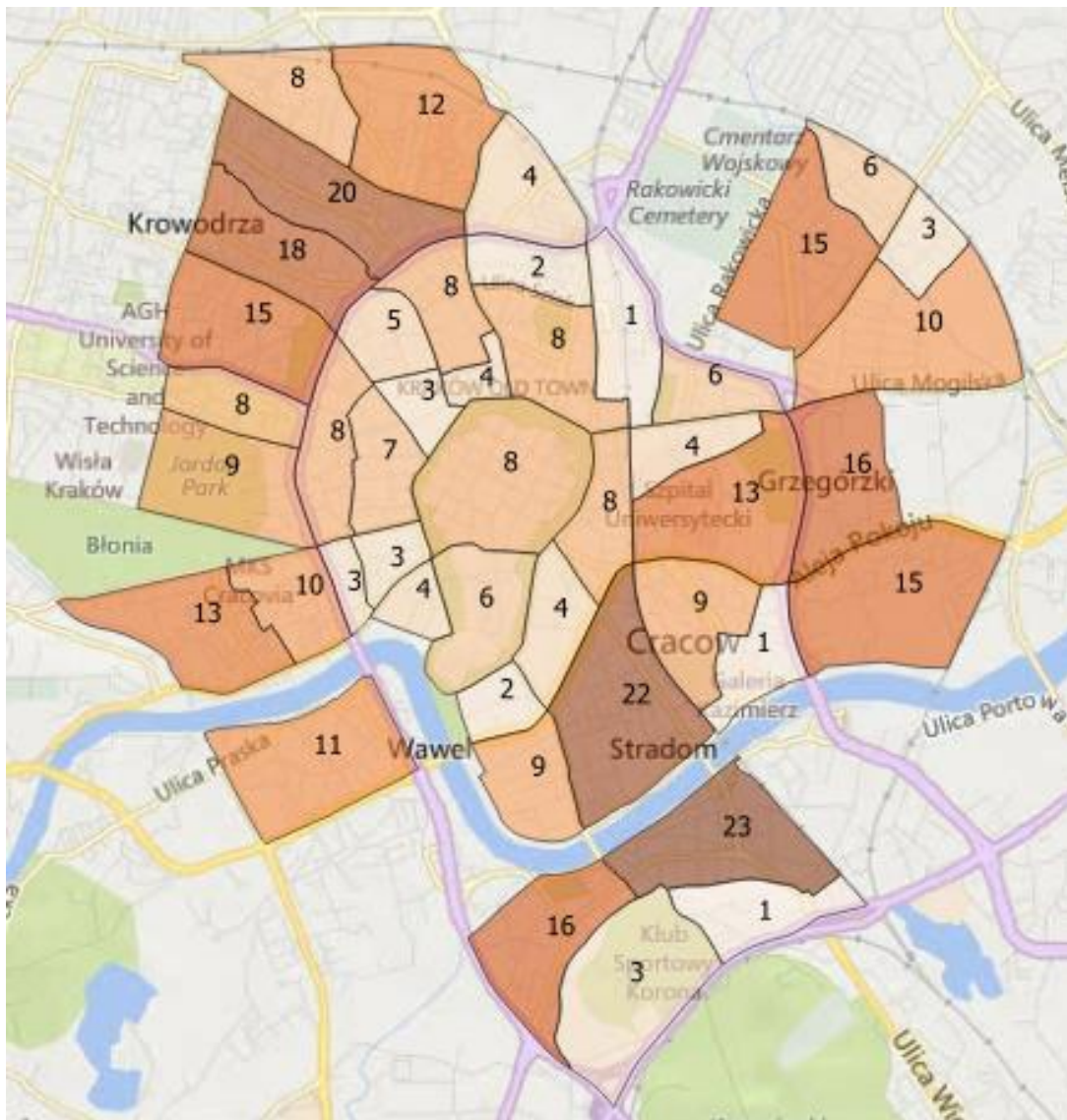
$u_\alpha$  – wartość krytyczna w rozkładzie normalnym dla wybranego poziomu istotności  $\alpha$ ,

$f$  – wielkość frakcji populacji (gdy nieznana, przyjmuje się wartość 0,5),

$b$  – założony błąd maksymalny.

Za wielkość populacji przyjęto sumę dobowej macierzy podróży samochodów osobowych (458858 podróży) pochodzącą z modelu transportowego aglomeracji krakowskiej. Dla poziomu istotności  $\alpha$  na poziomie 5% oraz maksymalnego błędu rzędu 5% wymaganych było zatem co najmniej 384 ankiet. W toku przeprowadzonych badań udało się zebrać łącznie 400 wypełnionych formularzy.

Ustalenia liczby ankiet do przeprowadzenia w poszczególnych rejonach komunikacyjnych dokonano proporcjonalnie do liczby dostępnych miejsc postojowych spisanych w przeprowadzanej na zlecenie miasta inwentaryzacji [100]. Na rysunku 5.2 przedstawiona została szczegółowa mapa pokazująca liczbę ankiet przeprowadzonych w każdym z rejonów komunikacyjnych wchodzących w skład SPP w 2019 roku.

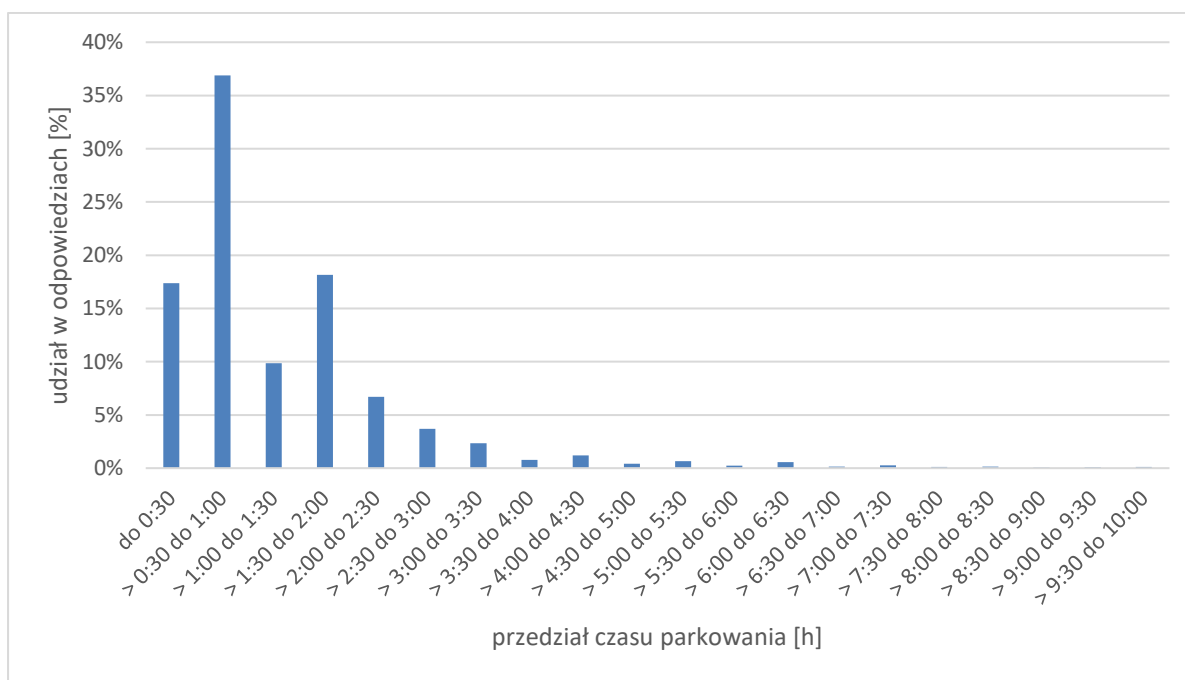


Rysunek 5.2 Liczba ankiet wykonanych w poszczególnych rejonach komunikacyjnych

Formularz, który uzupełniali ankierzy był podzielony tematycznie na dwie części. Pierwsza z nich dotyczyła aktualnego postoju, na który bilet wykupił właśnie kierowca. Część ta obejmowała kwestie związane z planowanym czasem postoju, motywacją podróży oraz długością dojścia pieszego do miejsca docelowego podróży (łącznie cztery pytania). W drugiej części wywiadu pojawiły się natomiast pytania, w których respondent deklaruwał swoje zachowania w przypadku potencjalnej zmiany sposobu organizacji strefy. Pytano o spadek prawdopodobieństwa zaparkowania w przypadku podniesienia kosztów postoju oraz ewentualne rozważane skrócenie długości czasu postoju. Dodatkowo formularz uwzględniał także pytanie dotyczące zmiany środka lokomocji wywołanej podniesieniem kosztu parkowania. W formularzu poproszono również o deklarację maksymalnego czasu dojścia pieszego celem uniknięcia opłaty postojowej. Część druga ankiety składała się w sumie z czterech pytań, podobnie jak część pierwsza. Poza zasadniczą częścią formularza, ankier uzupełniał także krótką metryczkę na temat badanego użytkownika SPP. Ze względu na deklarowany przez większość respondentów pośpiech, metryczka była jednak uzupełniana wyłącznie przez ankiera, bez udziału ankietowanego. Takie podejście pozwalało na zadanie ankietowanemu większej liczby pytań z zasadniczej części formularza. Estymowany czas wypełnienia ankiety wynosił od trzech do około pięciu minut. Pełną treść formularza zawiera załącznik 5.2.

Wśród respondentów większość stanowili mężczyźni, tj. 70%, kobiety zaś reprezentowały jedynie 30% osób poddanych sondażowi. Badanie przeprowadzono głównie wśród osób w wieku produkcyjnym powyżej 26 lat (68%), ankietowani w wieku emerytalnym oraz studenckim stanowili zdecydowaną mniejszość respondentów – odpowiednio 6% i 26%. W celu oszacowania poziomu zamożności badanych, postanowiono spisywać markę, model oraz przybliżony wiek pojazdu, dla którego wykupywany był bilet postojowy (z podobnymi próbami estymacji poziomu zamożności respondentów spotkano się w innych pracach [48]). Przedstawiona metoda była obciążona błędem, który wynika z braku możliwości wskazania jakoby wartość użytkowanego samochodu wprost świadczyła o zasobności portfela kierowcy. Możliwe jest przykładowo też, że ankietowany podróżował pojazdem pożyczonym bądź służbowym, niebędącym jego własnością. W takim wypadku pojazd również może nie dowodzić poziomu zamożności respondenta. Jednakże, ze względu na powszechną powściągliwość badanych przed deklarowaniem statusu majątkowego, postanowiono podjąć omówioną wyżej próbę pośredniego zebrania informacji na temat wysokości osiągniętych dochodów. Wszak niezależnie od tego, czy dane związane z zamożnością osób poddanych badaniu będą pozyskiwane wprost od badanych lub nie, wyniki mogą nie odzwierciedlać w pełni stanu faktycznego. Niestety, przez trudność ankietujących w ocenie wartości pojazdów i związane z tym liczne braki w uzupełnianych formularzach, nie udało się ustalić szacunkowych poziomów zamożności respondentów.

Po zebraniu wszystkich ankiet oraz ich przeanalizowaniu udało się ustalić, iż przeciętny planowany czas postojowy wynosił 74 minuty. Dokładny rozkład długości czasu parkowania zagregowany do półgodzinnych interwałów czasowych przedstawiono na rysunku 5.3.

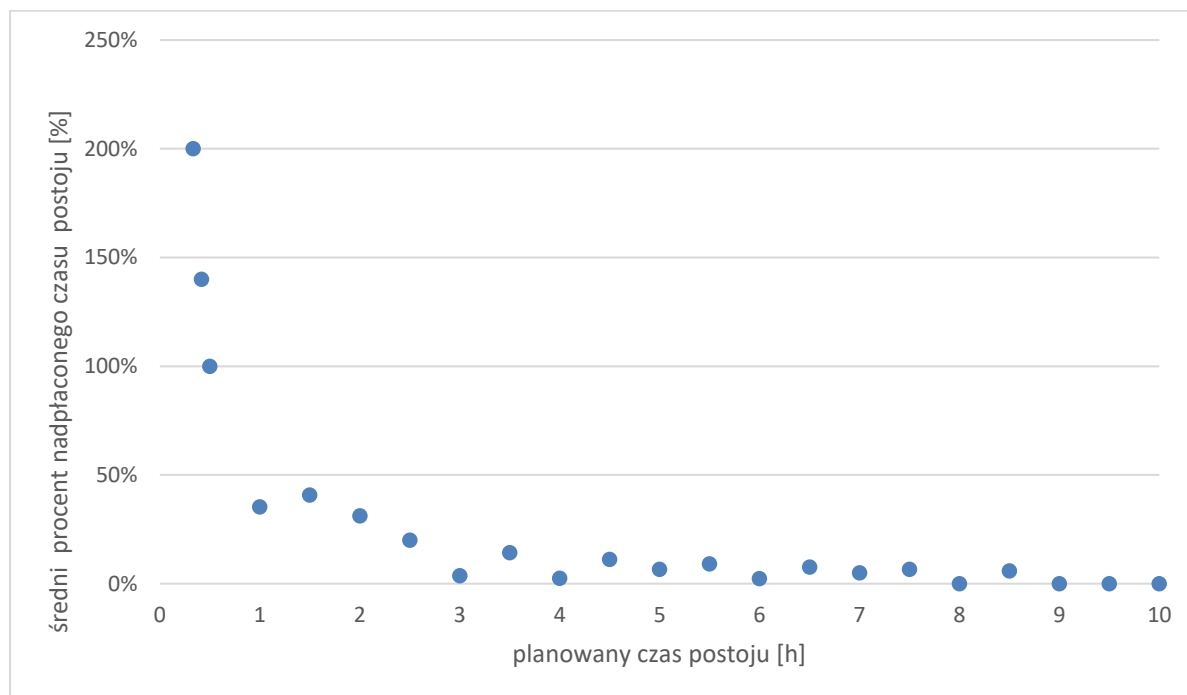


Rysunek 5.3 Procentowy rozkład długości czasu postojowy w Strefie Płatnego Parkowania

Postanowiono również zadać pytanie o czas, na jaki wykupiony został przez użytkowników bilet parkingowy. Owe pytanie miało na celu uchwycenie ewentualnej różnicy pomiędzy tym, ile kierowcy zakładają, że będą parkować a tym, na jaki czas faktycznie wykupują bilet postojowy. Udało się ustalić, że bilety parkingowe były opłacone średnio na postój przez 85 minut (najczęściej bilet wykupywano na 60 minut). Porównując zatem przeciętny czas zakładanego i opłacanego postojowy stwierdzić można, iż najczęściej kierowcy celowo przeszacowują długość czasu parkowania, nadpłacając w uśrednieniu około 15%



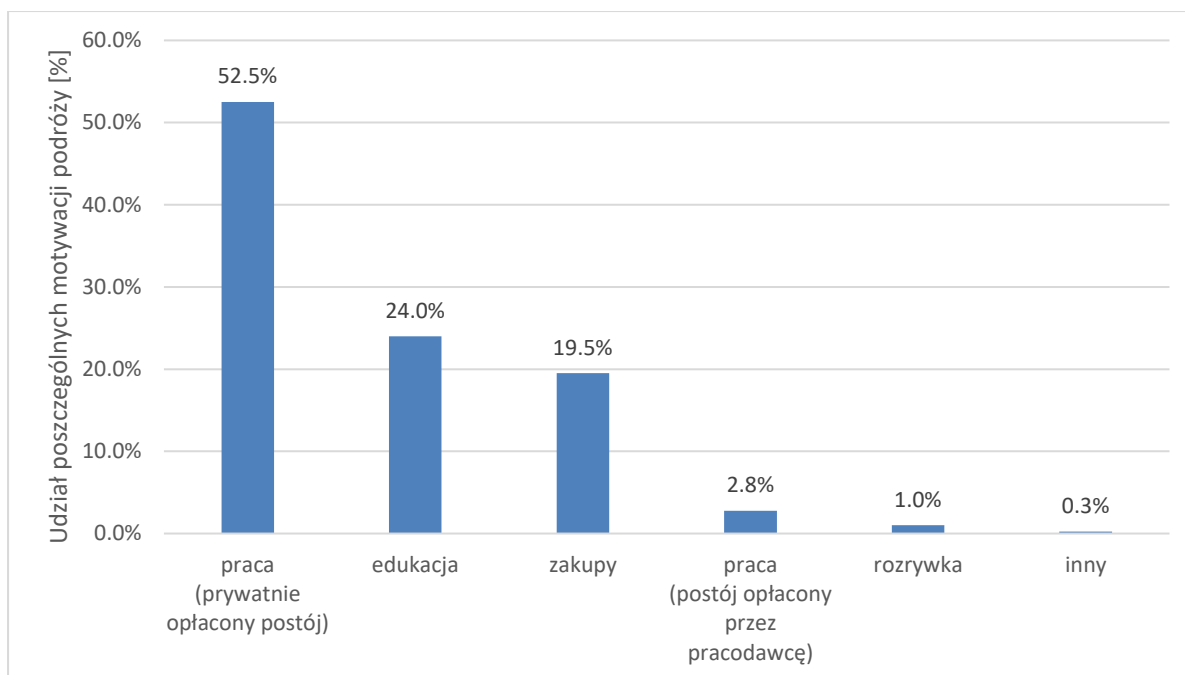
wartości potrzebnego biletu. Odsetek ten jest jednak zróżnicowany w zależności od długości planowanego czasu parkowania, co obrazuje rysunek 5.4.



Rysunek 5.4 Nadpłacony czas postojowy w stosunku do kosztu postojowego zgodnego z obowiązującą taryfą opłat za parkowanie w zależności od długości planowanego czasu parkowania

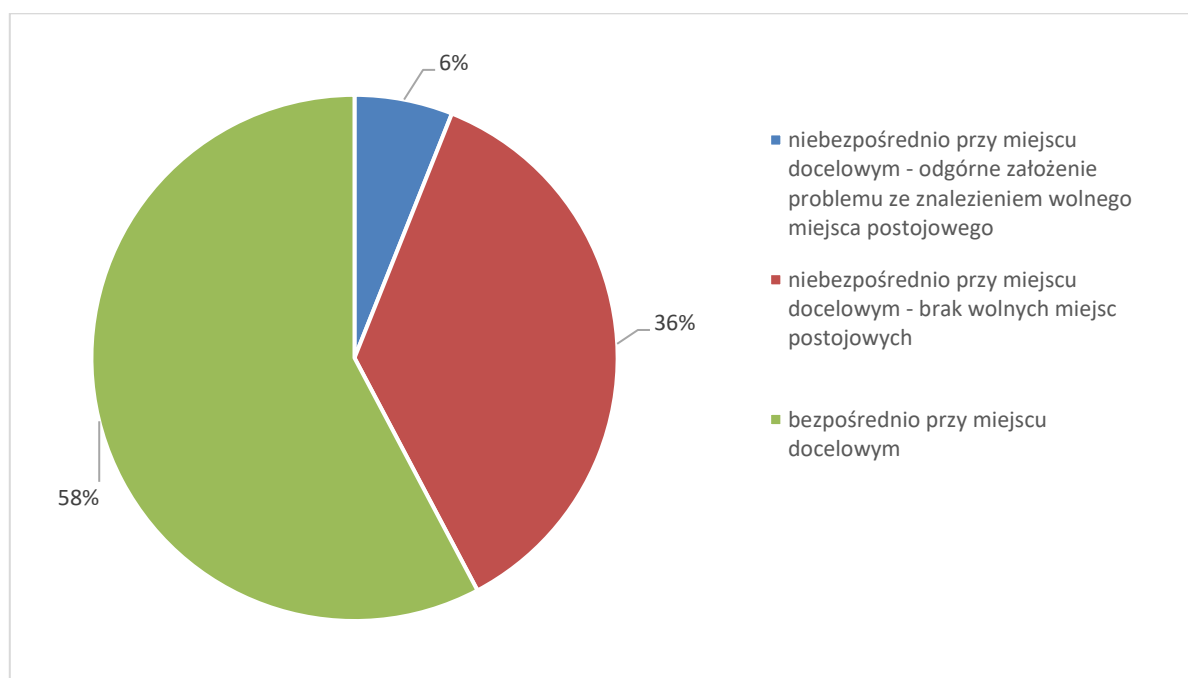
Zauważono, że im krótszy planowany czas postojowy, tym większa skłonność kierowców do opłacenia biletu postojowego na okres dłuższy niż planowany postój. Przykładowo, użytkownicy planujący postój na 20 minut opłacali go na średnio 60 minut, co powodowało, że trzykrotnie przepłacali oni za swój bilet postojowy. Mogło to jednak wynikać także po części z braku świadomości użytkowników na temat możliwości opłacenia czasu postojowego krótszego niż godzina.

W kwestii ustalenia motywacji podróży, w związku z którymi dokonywano opłaty w SPP, udało się stwierdzić, iż najczęstszą przyczyną parkowania była praca (55,3%) i edukacja (24,0%). W przypadku podróży motywowanych pracą, większość kierowców płaciła za postój samodzielnie (95%). Najrzadziej płacono za postój w związku z podróżami odbywającymi się w celach zakupowych i rozrywkowych – odpowiednio 19,5% i 1,0%. Z badań ankietowych wynika, iż 79,3% podróży do SPP miało charakter obligatoryjny (praca oraz edukacja). Podróży nieobligatoryjnych (tj. związanych z zakupami i rozrywką) odnotowano 20,5%, zaś udział podróży których motywacja nie wpadała w żadne z wyżej wymienionych kategorii był pomijalny. Zestawienie odpowiedzi udzielonych na omawiane pytanie zawiera rysunek 5.5.



Rysunek 5.5 Motywacje podróży ankietowanych użytkowników Strefy Płatnego Parkowania

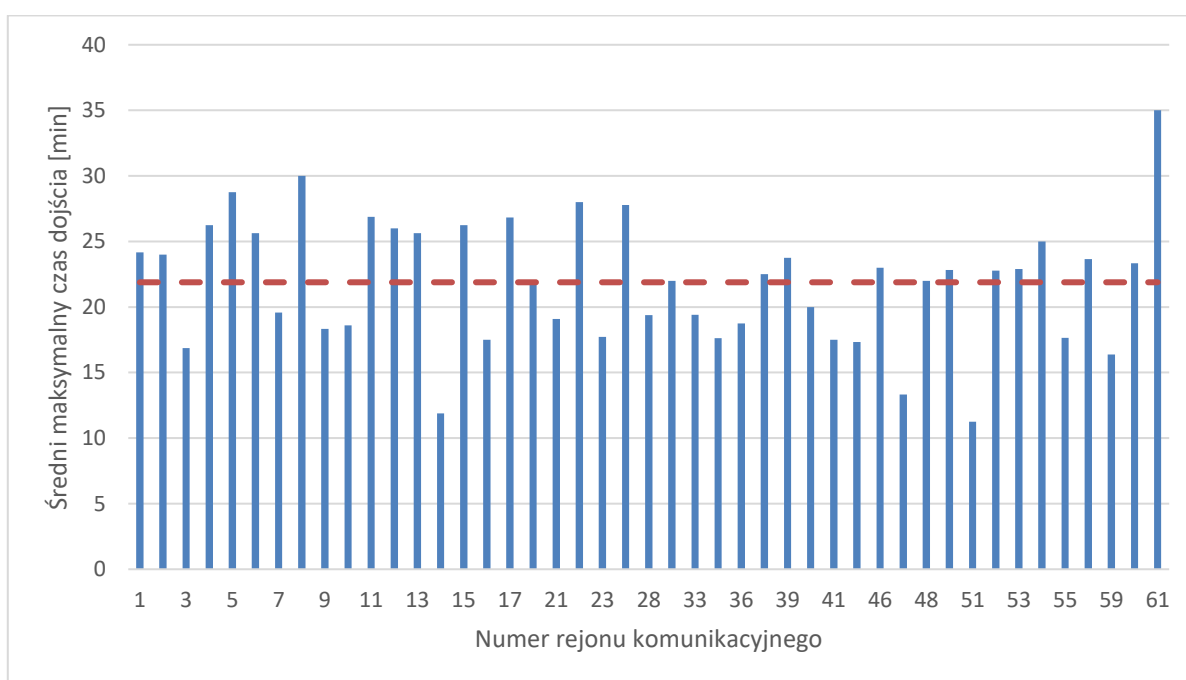
Kolejne pytanie uwzględnione w badaniach ankietowych miało na celu identyfikację potencjalnych różnic między miejscem docelowym podróży a miejscem zaparkowania pojazdu. Najczęściej kierowcom udawało się zaparkować w pobliżu miejsca docelowego podróży – w ten sposób odpowiedziało 58% respondentów. Osoby, które były zmuszone zaparkować z dala od miejsca docelowego ze względu na brak dostępnych miejsc postojowych w pobliżu miejsca docelowego podróży stanowiły 36% wszystkich ankietowanych. Najmniej liczną grupę stanowili ci, którzy zakładali, że nie znajdą miejsca tuż przy celu podróży bądź iż będą tego miejsca nieakceptowalnie długo szukać. W ten sposób odpowiedziało jedynie 6% respondentów. Wykres kołowy obrazujący proporcje udzielenia poszczególnych odpowiedzi przedstawiono na rysunku 5.6.



Rysunek 5.6 Lokalizacja miejsca postojowego względem miejsca docelowego podróży

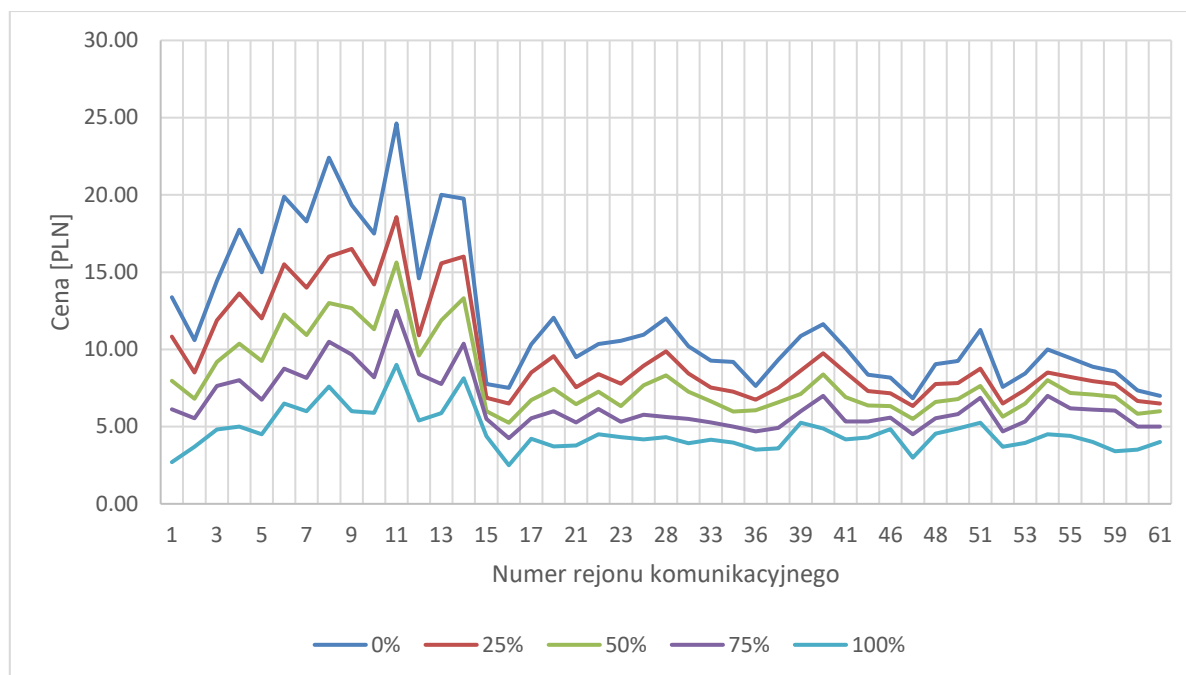
Niemal wszyscy użytkownicy próbują znaleźć miejsce postojowe obok celu podróży (94%). Większości tych osób (61%) udaje się znaleźć takie miejsce, jednak pozostali muszą szukać miejsca postojowego gdzie indziej. Omówione pytanie zamykało pierwszą część sondażu, której celem była identyfikacja faktycznych zachowań kierowców parkujących w krakowskiej SPP.

Zamiarem drugiej części badania ankietowego było określenie możliwych zmian zachowań użytkowników strefy w przypadku potencjalnej reorganizacji sposobu jej funkcjonowania. Deklarowana maksymalna długość dojścia pieszego, jaką rozważają użytkownicy strefy celem uniknięcia opłaty za postój wynosiła 21 minut. Uzyskane odchylenie standardowe 7 minut świadczy o stosunkowo dużym zróżnicowaniu udzielanych odpowiedzi. Najczęściej padającą odpowiedzią było 30 minut, zaś najkrótszy deklarowany czas dojścia to 5 minut, a najdłuższy wyniósł nawet 40 minut. Przeciętny dopuszczalny czas dojścia w celu uniknięcia opłaty postojowej zaprezentowano na rysunku 5.7 (poziomą przerywaną linią zaznaczono średnią dla wszystkich rejonów komunikacyjnych objętych badaniem).



Rysunek 5.7 Przeciętny maksymalny dopuszczalny czas dojścia pieszego w celu uniknięcia opłaty postojowej w zależności od rejonu komunikacyjnego należącego do Strefy Płatnego Parkowania

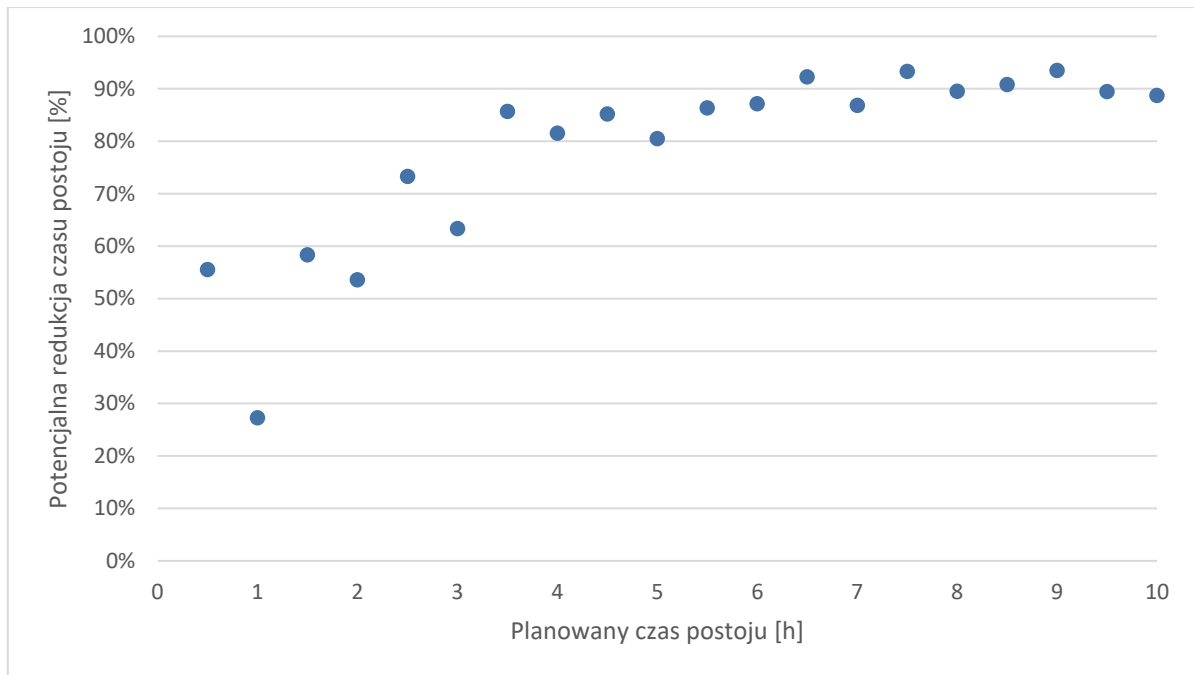
Kolejna kwestia poruszana w formularzu ankietowym dotyczyła prawdopodobieństwa wykonania tej samej podróży (tj. w tym samym celu oraz na ten sam czas) w przypadku zmiany wysokości stawki opłaty za godzinę postojowej. Zadaniem respondenta było wskazanie kwot, przy jakich zaparkowałby na 0% (tj. kwota, od której zrezygnowałby z parkowania w SPP), 25%, 50%, 75% i 100% (tj. kwota, do której kierowca nie rozważałby żadnej zmiany zachowań komunikacyjnych). Wyniki uzyskane w ramach odpowiedzi na omawiane pytanie zobrazowano przy pomocy rysunku 5.8.



Rysunek 5.8 Prawdopodobieństwo postój w zależności od ceny za godzinę postój w poszczególnych rejonach komunikacyjnych Strefy Płatnego Parkowania

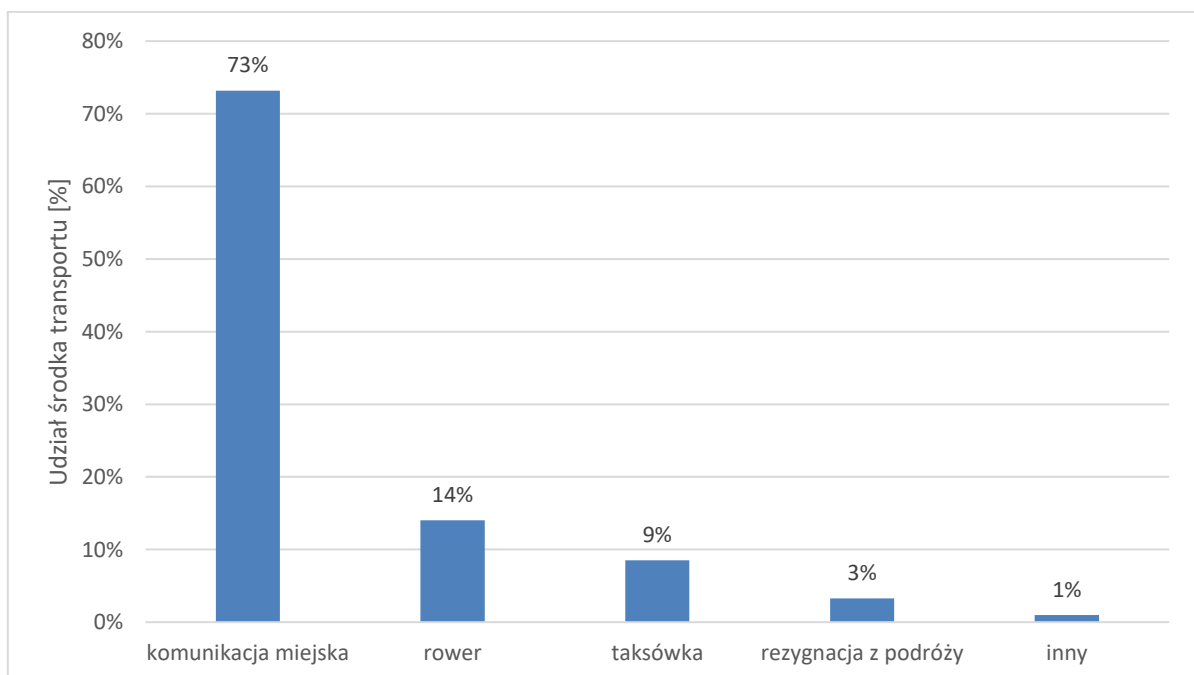
Zarówno wysokość ceny dla poszczególnych poziomów prawdopodobieństwa, jak i jej rozrzut jest wysoce zróżnicowany w zależności od rejonu komunikacyjnego, w którym wykupiono postój. Generalnie, wykres uwidacznia akceptację użytkowników dla uiszczania wyższych opłat bliżej ścisłego centrum miasta (tj. w niższych numerach rejonów komunikacyjnych). Tam też rozrzut wysokości poszczególnych kwot dla rozważanych poziomów prawdopodobieństwa jest największy.

Przedostatnim zagadnieniem uwzględnionym w omawianym badaniu ankietowym było ewentualne skrócenie długości czasu postój, możliwe do rozważenia w przypadku podniesienia stawek opłat za parkowanie. Pytanie to nawiązywało bezpośrednio do kwestii, która je w formularzu poprzedzała. Średni możliwy skrócony czas parkowania wynosił 26 minut, przy odchyleniu standardowym rzędu 29 minut. Tak wysoki stosunek odchylenia standardowego do średniej świadczy o bardzo dużym zróżnicowaniu odpowiedzi i ich dużym oddaleniu od wartości średniej. Zjawisko to ma miejsce ze względu na znacznie większy potencjał redukcji czasu postój w przypadku dłuższych postojów, niż w przypadku postojów krótszych. Zmiana wysokości opłat może spowodować ograniczenie długości postój w znacznie mniejszym stopniu w przypadku postojów krótszych. Im dłuższy planowany czas postój tym większa średnia potencjalna redukcja jego czasu. Poziomy potencjalnej procentowej redukcji czasu postój w zależności od planowanego czasu postój zaprezentowano na rysunku 5.9.



Rysunek 5.9 Rozważana redukcja czasu postoju w przypadku wprowadzenia zmian w sposobie funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania

Ostatnie z zadanych pytań pozwoliło ustalić, iż w przypadku podjęcia decyzji o rezygnacji z podróży samochodem, kierowcy najczęściej zdecydowałoby się na zmianę środka transportu na rzecz środków miejskiego transportu zbiorowego. Z transportu publicznego skorzystałoby 73% użytkowników SPP, na rower przesiadłoby się 14% respondentów, a 9% ankietowanych deklaroowało zmianę środka transportu na taksówkę. Inny środek transportu rozważał jedynie 1% badanych. Za ledwie 3% osób zrezygnowałoby z podróży, gdyby nie zdecydowało się na podróż samochodem. Zestawienie uzyskanych odpowiedzi zamieszczono na rysunku 5.10.



Rysunek 5.10 Alternatywne środki transportu rozważane w przypadku rezygnacji z podróży prywatnym samochodem osobowym

#### 5.4 Wnioski z rozdziału 5.

Istnieje wiele źródeł danych, które mogą być uwzględniane w badaniach prowadzonych nad zjawiskiem parkowania w obszarach miejskich. Dotyczy to zarówno informacji gromadzonych w celu identyfikacji zmiennych objaśniających oraz zmiennych objaśnianych modelu opracowanego w ramach niniejszej dysertacji.

Liczne zasoby danych gromadzone są na bieżąco przez zarządców SPP, którzy posiadają do swojej dyspozycji bazy gromadzące codziennie i nieprzerwanie informacje związane z pobieranymi biletami parkingowymi, wydawanymi abonamentami oraz wezwaniami do poniesienia opłaty dodatkowej. Uzupełnieniem danych gromadzonych na bieżąco były dane, których częstość zbierania jest znacznie rzadsza. Do tej grupy zaliczają się zarówno badania patrolowe zlecane przez gminy miejskie oraz modele transportowe miast i aglomeracji (budowane zazwyczaj przy okazji realizacji Kompleksowych Badań Ruchu). Ze względu na różny poziom szczegółowości otrzymanych zestawów danych oraz związany z tym odmienny format gromadzonych informacji, wymagane było ujednoczanie pozyskanych wiadomości do jednakowej postaci. Wiązało się to zarówno z agregowaniem danych w wymiarze przestrzennym, jak i czasowym.

Brak źródła wiedzy, które pozwoliłoby na identyfikację charakterystyki elastyczności cenowej popytu parkingowego w obrębie SPP spowodował, że zdecydowano się na przeprowadzenie własnych badań ankietowych metodą preferencji deklarowanych. Przeprowadzone badania ankietowe pozwoliły uzyskać lepszy obraz sposobu postrzegania SPP przez użytkowników, którzy każdorazowo muszą płacić za postój. Pozwoliły także na potwierdzenie panujących opinii na temat pewnych zachowań kierowców związanych z parkowaniem, które do tej pory antycypowane były intuicyjnie, a nie były badane.

Podsumowując, należy podkreślić, iż pomimo dużego zróżnicowania postaci, w jakiej udało się zebrać dostępne dane, do dalszych prac zdołano przygotować zdecydowaną większość z nich. Na etapie analizy dostępnych danych przygotowano zintegrowaną relacyjną bazę danych. Obejmowała ona informacje mogące posłużyć jako zmienne objaśniane i objaśniające modelu funkcjonowania SPP, zagregowane przestrzennie na poziomie rejonów komunikacyjnych. Gdzie było to uzasadnione i możliwe, operowano na godzinnych interwałach czasowych.

## 6. Model symulacyjny funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania

Narzędzie, które posłuży do oceny zasadności poboru opłat za postój oraz ich wysokości, stanowić będzie matematyczny model symulacyjny SPP. Celem powstania modelu jest odwzorowanie zachowań kierowców, które są związane z parkowaniem.

Niezbędny element potrzebny do stworzenia modelu stanowi identyfikacja popytu na miejsca postojowe. Koncepcję postrzegania popytu parkingowego przez pryzmat jego pochodzenia oraz jego klasyfikację przeprowadzono w rozdziale 6.1. Rozdział 6.2 przedstawia niezbędne założenia potrzebne do stworzenia modelu. Zgodne ze stanem faktycznym rozłożenie zaobserwowanych potencjałów parkingowych pomiędzy analizowane jednostki obszarowe umożliwią opracowane algorytmy, które opisano w sekcji 6.3. Szczegóły dotyczące budowy modelu omówiono w rozdziale 6.4, zaś implementację modelu w środowisku programistycznym przedstawia rozdział 6.5. Prezentacja wyników skalibrowanego modelu następuje w sekcji 6.6. Dostosowanie modelu do potrzeb delimitacji SPP omówiono w rozdziale 6.7, po którym następuje przedstawienie ostatecznych wyników przeprowadzonej symulacji służącej wyznaczeniu strefy w rozdziale 6.8. Wnioski wyciągnięte po zakończeniu prac nad modelem symulacyjnym SPP sformułowano w rozdziale 6.9.

### 6.1 Klasyfikacja popytu parkingowego

Analogicznie, jak w przypadku klasycznych modeli czterostadiowych służących odwzorowaniu zachowań transportowych użytkowników, za początkowy etap tworzenia modelu SPP przyjęto estymację występujących potencjałów – określonych w niniejszej rozprawie mianem potencjałów parkingowych<sup>24</sup>. Potencjały parkingowe stanowią o wielkości popytu parkingowego.

Potencjał parkingowy ( $p_p$ ) proponuje się zdefiniować jako zapotrzebowanie na miejsce postojowe w danym obszarze i jednostce czasu. Obszarem zainteresowania może być natomiast zarówno rejon komunikacyjny modelu transportowego miasta, jak i terminal logistyczny czy centrum handlowe. Ponadto, w dysertacji wprowadza się także pojęcia pozwalające na różnicowanie napełnienia miejsc parkingowych, głównie ze względu na jego pochodzenie.

Napełnienie ( $Q$ ) rozumie się jako udział liczby zaparkowanych pojazdów w całkowitej liczbie dostępnych miejsc parkingowych na danym obszarze w jednostce czasu [43]. Może być wyrażane procentowo bądź jako liczba niemianowana. Zazwyczaj mieści się w zakresie od 0 do 100% (tj. odpowiednio od 0 do 1), jednakże w stanach wyjątkowego przeciążenia parkingów, np. w konsekwencji parkowania w miejscach do tego nie wyznaczonych, może przekraczać 100%.

Ze względu na pochodzenie popytu na miejsca parkingowe postanowiono zaproponować w niniejszej dysertacji dwie koncepcje dla postrzegania części składowych napełnienia. Pierwsza z nich jest uniwersalną koncepcją składowych napełnienia miejsc parkingowych. Dotyczy ona wszystkich obszarów, niezależnie od tego, czy funkcjonują w nich już instrumenty polityki parkingowej w postaci SPP, czy też nie.

---

<sup>24</sup> W literaturze spotkać można się z bardzo rzadkim użyciem pojęcia potencjał parkingowy w kontekście liczby dostępnych miejsc postojowych w danym obszarze. Częściej do zdefiniowania zasobów dostępnych miejsc parkingowych używa się natomiast określenia chłonności parkingowej. Ze względu na dominację pojęcia chłonność parkingowa oraz chęć zachowania spójności z terminologią stosowaną w dziedzinie modelowania transportu (patrz: potencjały ruchotwórcze) – pojęcie potencjału parkingowego postanowiono użyć w kontekście zapotrzebowania na miejsca postojowe.

Zgodnie ze sformułowaną koncepcją na napełnienie składa się napełnienie inherentne oraz dziedziczone danego obszaru, tj. według wzoru 6.1:

$$Q = q_i + q_d \quad (6.1)$$

gdzie:

Q – napełnienie w danym obszarze [-],

$q_i$  – napełnienie inherentne w danym obszarze [-],

$q_d$  – napełnienie dziedziczone w danym obszarze [-].

Poprzez napełnienie inherentne ( $q_i$ ) należy rozumieć napełnienie wynikające z obecności pojazdów, których użytkownicy zakończyli podróż w jednostce obszarowej, w której zaparkowano pojazd. Innym rodzajem napełnienia jest tzw. napełnienie dziedziczone ( $q_d$ ), które wynika z obecności pojazdów, których użytkownicy zakończyli podróż w innej jednostce obszarowej niż ta, w której zaparkowano pojazd. Wyraża udział pojazdów parkujących w danym obszarze i czasie ze względu na sytuację parkingową obszarów znajdujących się w bliskim sąsiedztwie. Stanowi ono konsekwencję rezygnacji kierowców z parkowania w obszarze docelowo związanym z wykonywaną aktywnością (np. poprzez brak opłaty parkingowej bądź jej niższą wysokość, przepełnienie miejsc parkingowych itp.).

Druga z zaproponowanych w pracy koncepcji postrzegania części składowych napełnienia odnosi się wyłącznie do obszarów, w których stosowane jest już narzędzie polityki parkingowej w postaci SPP. Według tej koncepcji na napełnienie składają się napełnienie abonenckie (rozumiane jako napełnienie wynikające z obecności zaparkowanych pojazdów posiadających wykupiony abonament postojowy), napełnienie nieabonenckie (rozumiane jako napełnienie wynikające z obecności zaparkowanych pojazdów nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego) oraz napełnienie wynikające z obecności pojazdów osób nieuiszczających opłat za postój, tj. według wzoru 6.2:

$$Q = q_a + q_n + q_m \quad (6.2)$$

gdzie:

Q – napełnienie w danym obszarze [-],

$q_a$  – napełnienie abonenckie w danym obszarze [-],

$q_n$  – napełnienie nieabonenckie w danym obszarze [-],

$q_m$  – napełnienie związane z obecnością pojazdów osób nieuiszczających opłaty postojowej w danym obszarze [-].

Zestawiając ze sobą koncepcje składowych popytu na miejsca parkingowe zdefiniowane w formule 6.1 oraz 6.2 postanowiono poszukać powiązań pomiędzy składnikami obu równań.

Na podstawie analizy sposobu organizacji SPP dla jej abonentów, stwierdzono, iż co do zasady, zapotrzebowanie na miejsca postojowe pochodzące od pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym ma charakter inherentny. Wynika to przede wszystkim z ograniczonego zasięgu terytorialnego, na jakim abonament obowiązuje. Ponadto, abonenci mogą być mniej skory do poszukiwania miejsca parkingowego w większej odległości od miejsca docelowego podróży, chociażby ze względu na potrzebę przenoszenia większych bagaży do domów, siedzib firm itp. Dostępny wybór miejsc postojowych jest bardziej ograniczony, przez co popyt pochodzący od osób posiadających abonament staje się mniej elastyczny. Zakłada się zatem, iż pojazdy z wykupionym abonamentem postojowym będą parkować w docelowym rejonie komunikacyjnym.

W przypadku osób, które nie są abonentami danego rejonu komunikacyjnego, generowany przez nie popyt może mieć zarówno charakter inherentny, jak i dziedziczny. Nie ma znaczenia, czy dany użytkownik opłacił swój postój w SPP, czy też nie. Użytkownik niebędący abonentem w rejonie komunikacyjnym stanowiącym docelowe miejsce podróży ma



większą swobodę w wyborze miejsca postojowego. Popyt pochodzący od takich użytkowników jest bardziej elastyczny niż popyt pochodzący od osób posiadających abonament postojowy.

Ze względu na istotną różnicę w specyfice popytu parkingowego, w zależności od czynnika posiadania abonamentu postojowego, postanowiono w toku dalszych prac rozpatrywać te grupy użytkowników – i związany z nimi popyt – osobno.

## **6.2 Podstawowe założenia modelu funkcjonowania SPP**

Zadaniem modelu symulacyjnego SPP jest synteza posiadanych informacji na temat funkcjonowania strefy w taki sposób, by możliwie jak najwierniej odzwierciedlić obłożenie miejsc parkingowych. Właściwie modelowanie stopnia wykorzystania przestrzeni postojowej poczytywane jest bowiem za wynik poprawnego odwzorowania zachowań kierowców związanych z popytem na miejsca parkingowe.

Przyjęto, że podstawowe źródło informacji na temat sytuacji społeczno-ekonomicznej i transportowej stanowić będzie model transportowy miasta bądź obszaru aglomeracyjnego, do którego badane miasto należy. Zastosowanie modelu transportowego pozwala zwiększyć efektywność analiz związanych z delimitacją Stref Płatnego Parkowania. Wykorzystywany jest bowiem zestaw informacji, w którym zgromadzone zostały dane zagregowane już na poziomie rejonów komunikacyjnych. Rejony te charakteryzują się podobnymi zachowaniami transportowymi, przez co możliwe jest osadzenie uwarunkowań społeczno-ekonomicznych w kontekście transportowym. W przypadku niniejszej dysertacji za poligon badawczy posłużył obszar miasta Krakowa oraz zbudowany dla aglomeracji krakowskiej model transportowy [94]. Model SPP bazuje wyłącznie na podziale terytorialnym obszaru miejskiego (tj. obszaru wyznaczonego przez granice administracyjne miasta) na podobszary tożsame z rejonami komunikacyjnymi modelu transportowego. Obszary podmiejskie wchodzące w skład aglomeracji krakowskiej nie zostały uwzględnione w modelu funkcjonowania SPP. Uzasadnienie dla agregacji informacji opisujących zachowania komunikacyjne użytkowników SPP do poziomu rejonów komunikacyjnych opisuje rozdział 4.1.

Kolejnym zapożyczeniem z metodyki tworzenia modeli transportowych, które wymagało jednak adaptacji do realiów modelowania popytu parkingowego, jest przyjęcie założenia, iż użytkownicy znają zasięg terytorialny SPP i wiedzą, gdzie opłaty obowiązują i jaka jest ich wysokość. Dodatkowo przyjęto, że osoby korzystające ze strefy mają świadomość poziomu dostępności wolnych miejsc postojowych w poszczególnych obszarach miasta. Oba te założenia są konieczne by móc rozpatrywać wybór miejsca parkingowego w kategoriach decyzji maksymalizującej korzyści w stosunku do poniesionych kosztów.

W toku prowadzonych badań ustalono, że stosowaną jednostką czasu, tak jak w większości opracowań miejskich modeli transportowych, będzie tzw. godzina szczytu, która w tym konkretnym przypadku stanowi godzinę szczytu zapotrzebowania na miejsca postojowe w SPP.

W swoim ostatecznym kształcie, model SPP opierać się będzie na danych wejściowych zaczerpniętych z modelu transportowego miasta (zarówno w kontekście przestrzennym, jak i pod kątem informacji na temat poszczególnych rejonów komunikacyjnych). Dodatkowych informacji związanych z zapotrzebowaniem na miejsca postojowe oraz jego podział między użytkowników z wykupionym abonamentem oraz pozostałych, zapewnią dane pochodzące z badań patrolowych, bazy danych pochodzącej z automatów parkingowych, od operatorów płatności mobilnych oraz z bazy wystawionych opłat dodatkowych.

### 6.3 Algorytm rozkładu popytu parkingowego

W dysertacji opracowano dedykowany algorytm umożliwiający symulację poziomu napełnień w rejonach komunikacyjnych. Bazuje on na założeniu, iż napełnienie zależy od potencjału parkingowego, podaży miejsc parkingowych, wielkości opłaty parkingowej oraz lokalizacji względem obszarów objętych restrykcjami parkingowymi lub zmagającymi się z przepełnieniem przestrzeni parkingowej, tak, jak zostało przedstawione we wzorze 6.3:

$$Q = f(\rho_P, L_{MP}, C_P, L) \quad (6.3)$$

gdzie:

Q – napełnienie [%],

$\rho_P$  – potencjał parkingowy [pojazdy],

$L_{MP}$  – podaż miejsc postojowych [miejsca postojowe],

$C_P$  – koszt parkowania przez okres jednej godziny [PLN],

L – lokalizacja względem innych rejonów komunikacyjnych [-].

Funkcjonowanie algorytmu polega na rozpatrywaniu sytuacji parkingowej w kolejnych rejonach komunikacyjnych. Na podstawie danych wejściowych obliczany jest popyt na miejsca parkingowe w danym rejonie. Następnie dany popyt jest rozkładany pomiędzy dostępne miejsca postojowe – najpierw w rozpatrywanym rejonie, później na rejony znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie.

Zanim możliwe będzie użycie algorytmu rozkładu potencjałów parkingowych pomiędzy wszystkie rejony komunikacyjne wymagane jest przygotowanie następujących informacji wejściowych:

- a) związanych z podażą parkingową i uwarunkowaniami przestrzennymi:
  - podział miasta na rejony komunikacyjne,
  - liczba dostępnych miejsc postojowych w każdym rejonie komunikacyjnym, które mogą zostać objęte SPP,
  - macierz sąsiedztwa poszczególnych rejonów komunikacyjnych,
  - macierz atrakcyjności alternatywnych rejonów komunikacyjnych;
- b) związanych z popytem parkingowym:
  - podanie dopuszczalnego maksymalnego poziomu napełnień (zwanego w rozprawie także napełnieniem granicznym bądź krytycznym) oraz kroku zwiększania proponowanych kosztów za godzinę postojową w rejonie komunikacyjnym,
  - udział pojazdów posiadających abonament postojowy w ogólnej liczbie dostępnych miejsc parkingowych,
  - popyt na miejsca parkingowe wśród użytkowników, którzy nie posiadają abonamentu postojowego,
  - elastyczność cenowa popytu parkingowego użytkowników nieposiadających abonamentu postojowego,
  - koszt parkowania w rejonie komunikacyjnym.

### 6.3.1 Procedura służąca do celów kalibracji modelu funkcjonowania SPP

Chcąc najpierw móc zweryfikować, czy przygotowane dane wejściowe dadzą właściwe odwzorowanie istniejącej sytuacji w SPP, koniecznym było stworzenie algorytmu postępowania uwzględniającego niezmienny koszt za godzinę postoju, który był zgodny z kosztem obowiązującym w modelowanym okresie funkcjonowania SPP. Opracowana procedura służyła wyłącznie do kalibracji modelu i składała się z następujących kroków:

- 1) Wprowadzenie wszystkich danych wejściowych;
- 2) Jednoczesne obciążenie wszystkich rejonów komunikacyjnych całym popytem parkingowym pochodzącym od użytkowników posiadających abonament postojowy, zgodnie z numeracją rejonów komunikacyjnych;
- 3) Iteracyjne obciążenie poszczególnych rejonów komunikacyjnych popytem parkingowym pochodzącym od użytkowników nieposiadających abonamentu postojowego:
  - a. Ustalenie jaki udział wszystkich osób zainteresowanych parkowaniem w danym rejonie komunikacyjnym będzie chętny do zaparkowania w nim przy obowiązującej cenie (udział ten szacowany jest na bazie danych dotyczących elastyczności cenowej popytu parkingowego),
  - b. Określenie, czy w danym rejonie dostępne jest wystarczająco dużo wolnej przestrzeni parkingowej by móc pomieścić wszystkich chętnych do zaparkowania:
    - i. Jeśli popyt nie przewyższa liczby dostępnych miejsc postojowych, to dany rejon komunikacyjny obciążany jest całym tym popytem;
    - ii. W sytuacji, gdy popyt przewyższa podaż dostępnych miejsc, ewentualne wolne miejsca zostają zapełnione w całości, a reszta niezaspokojonego popytu rozkładana jest pomiędzy rejonów komunikacyjnych, które można uznać za sąsiednie (według wyników badań ankietowych):
      1. W pierwszej kolejności podejmowana jest próba przypisania nierozłożonego popytu do wszystkich sąsiednich rejonów, w których koszt parkowania jest najniższy; podział popytu między rejonów sąsiednie odbywa się w oparciu o odwrotność stosunku odległości danego sąsiada do sumy odległości od wszystkich sąsiadów; takie podejście ma na celu próbę rozłożenia popytu odwrotnie proporcjonalnie do odległości od rejonów sąsiednich, przy jednoczesnym uwzględnieniu wszystkich sąsiadów rozpatrywanego rejonu komunikacyjnego;
      2. Gdy pomimo zastosowania działań z powyższego podpunktu wciąż pozostanie niezaspokojony popyt na miejsca postojowe w danym rejonie, rozpatrywane są sąsiednie rejonów, w których koszt postoju nie jest najniższy – stopniowo podejmowane są próby rozłożenia popytu poczynając od tańszych rejonów i kończąc na najdroższym;
      3. W ostateczności nierozłożony popyt parkingowy poddawany jest procedurze ponownego rozdysponowania między wszystkie sąsiednie rejonów, zgodnie z numeracją rejonów komunikacyjnych.
  - c. Rozłożenie popytu parkingowego następnego rejonu, aż do wyczerpania wszystkich rejonów komunikacyjnych.

Dokładne opisy, wymiary i jednostki wszystkich danych wejściowych użytych w algorytmie postępowania służącego kalibracji modelu SPP, które nie ulegają zmianie w trakcie przeprowadzania kolejnych iteracji, przedstawiono w tabeli 6.1.

Tabela 6.1 Lista danych wejściowych użytych w algorytmie, które nie ulegają zmianie podczas poszczególnych iteracji służących kalibracji modelu

Nazwa	Wymiar	Jednostka	Opis
no_zones	1 x 1	-	Liczba rejonów komunikacyjnych modelu transportowego miasta/aglomeracji
price_factor	1 x 1	-	Współczynnik skalujący ceny z roku 2019 (rok przeprowadzenia badań ankietowych) do tych z roku 2018 (rok modelu)
zones	no_zones x 1	-	Lista numerów rejonów komunikacyjnych
park_spots	no_zones x 1	-	Liczba dostępnych miejsc postojowych będących częścią SPP albo mogących stanowić jej część w świetle obowiązującego prawa, w każdym z rejonów komunikacyjnych
sub_share	no_zones x 1	-	Udział pojazdów posiadających wykupiony abonament postojowy w łącznej liczbie dostępnych miejsc postojowych w danym rejonie komunikacyjnym; przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 1
n_sub_demand	no_zones x 1	pojazdy	Liczba użytkowników chętnych do zaparkowania w danym rejonie komunikacyjnym, którzy nie posiadają wykupionych abonamentów postojowych – bez uwzględnienia czynnika elastyczności cenowej popytu
park_cost	no_zones x 1	PLN	Koszt parkowania w SPP za pierwszą godzinę postoju w danym rejonie komunikacyjnym
price_elast	no_zones x 2	-	Elastyczność cenowa popytu - parametry regresji liniowej (współczynnik kierunkowy oraz wyraz wolny) służące do oszacowania udziału użytkowników skłonnych do zaparkowania w danym rejonie komunikacyjnym przy danym poziomie cenowym ('park_cost') spośród wszystkich użytkowników pierwotnie do tego chętnych
is_neighbour	no_zones x no_zones	-	Macierz sąsiedztwa danego rejonu komunikacyjnego z innymi rejonami; przyjmuje wyłącznie wartości 0 (rejon nie jest uznawany za rejon sąsiedni) bądź 1 (rejon jest uznawany za sąsiedni)
prob_matrix	no_zones x no_zones	-	Macierz atrakcyjności zaparkowania w alternatywnym sąsiednim rejonie komunikacyjnym, w przypadku braku miejsc postojowych w rejonie docelowym; wynika

Nazwa	Wymiar	Jednostka	Opis
			wyłącznie z odległości od rejonów uznanych za sąsiednie ('is_neighbour'); przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 1

Dane wejściowe użyte w algorytmie, które ulegają zmianie w trakcie przeprowadzania kolejnych iteracji, przedstawiono w tabeli 6.2.

Tabela 6.2 Lista danych wejściowych użytych w algorytmie, które ulegają zmianie podczas poszczególnych iteracji służących kalibracji modelu

Nazwa	Wymiar	Jednostka	Opis
occupancy	no_zones x 1	-	Wskaźnik wykorzystania powierzchni parkingowej; przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 1
park_spots_left	no_zones x 1	pojazdy	Liczba miejsc postojowych dostępnych do zaparkowania w danym rejonie komunikacyjnym
willing_to_park	no_zones x 1	pojazdy	Liczba użytkowników chętnych do zaparkowania w danym rejonie komunikacyjnym, które nie posiadają wykupionych abonamentów postojowych – z uwzględnieniem czynnika elastyczności cenowej popytu
vehicles_left	no_zones x 1	pojazdy	Liczba użytkowników chętnych do zaparkowania w danym rejonie komunikacyjnym, dla których wciąż nie znaleziono miejsca postojowego
inherited	no_zones x 1	pojazdy	Liczba użytkowników, których popyt parkingowy został zaspokojony przez poszczególne sąsiednie rejony komunikacyjne, w danej iteracji modelu
inherited_total	no_zones x 1	pojazdy	Liczba użytkowników, których popyt parkingowy został zaspokojony przez poszczególne sąsiednie rejony komunikacyjne, łącznie dla całego modelu
to_inherit	no_zones x 1	pojazdy	Liczba użytkowników, których popyt parkingowy nie został zaspokojony przez docelowy rejon komunikacyjny
unassigned	no_zones x 1	pojazdy	Liczba użytkowników uwzględnionych pierwotnie jako 'willing_to_park', wtórnie jako 'to_inherit', dla których zabrakło miejsc postojowych
n_sub_demand_met	no_zones x 1	pojazdy	Liczba użytkowników uwzględnionych jako 'willing_to_park', dla których znaleziono miejsce postojowe
elast_prob	1 x 1	-	Udział użytkowników skłonnych do zaparkowania w danym rejonie komunikacyjnym, w danej iteracji modelu, po uwzględnieniu czynnika

Nazwa	Wymiar	Jednostka	Opis
			elastyczności cenowej popytu oraz czynnika 'price_factor'; przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 1
share	1 x 1	-	Stosunek udziału użytkowników skłonnych do zaparkowania w danym alternatywnym rejonie komunikacyjnym do sumy udziałów wszystkich rejonów alternatywnych rozpatrywanych w danej iteracji modelu; przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 1
cost_list	zmienny	PLN	Lista kosztów za pierwszą godzinę postojową w sąsiednich rejonach komunikacyjnych, z wyłączeniem najtańszego spośród sąsiadów
min_cost	1 x 1	PLN	Najniższy koszt za pierwszą godzinę postojową w rejonach sąsiednich
to_add	1 x 1	pojazdy	Liczba użytkowników uwzględnionych pierwotnie jako 'willing_to_park', wtórnie jako 'to_inherit', dla których zabrakło miejsc postojowych w najtańszym rejonie komunikacyjnym, jednak podjęta zostaje próba zaspokojenia ich popytu parkingowego u pozostałych sąsiednich rejonów komunikacyjnych

Szczegółowy schemat blokowy algorytmu, który realizuje założenia opisanej procedury umieszczony został w załączniku 6.1.

### 6.3.2 Algorytm służący ustaleniu zakresu obowiązywania SPP

Algorytm służący ustaleniu zalecanego kosztu za godzinę postojową w każdym z rejonów musiał różnić się od algorytmu do celów oceny poziomu kalibracji modelu ze względu na konieczność wprowadzenia elementu zmienności wysokości opłaty parkingowej. Zasadniczo, pierwsze dwa elementy polegające na zadaniu danych wejściowych oraz obciążeniu rejonów popytem pochodzącym od użytkowników z wykupionym abonamentem postojowym pokrywały się z algorytmem opisanym w podrozdziale 6.3.1, z jedyną różnicą w postaci innego wektora kosztów postojowych w poszczególnych rejonach. Wektor ten stał się zmienną częścią algorytmu, a wszystkie jego wartości początkowe były równe zero. W kolejnym kroku algorytm dokonywał rozkładu popytu parkingowego pochodzącego od użytkowników nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego.

Jeśli po dokonaniu rozkładu popytu parkingowego w analizowanym rejonie komunikacyjnym napełnienie przekraczało poziom napełnienia granicznego, zwiększano koszt godziny parkowania w rejonie o zadany w warunkach początkowych krok. Po aktualizacji wektora kosztów stosowanych w celu wyznaczenia napełnienia, każdorazowo rozpoczynano obliczenia napełnienia ponownie od pierwszego rejonu komunikacyjnego. W przypadku osiągnięcia pożądanego poziomu napełnień – po zadaniu kosztu odpowiedniej wysokości – przechodzono do analizy kolejnego rejonu, aż do wyczerpania liczby rejonów. Algorytm kończył zatem swoje działanie w momencie uzyskania takiego wektora kosztów, dla którego napełnienia w każdym z analizowanych rejonów komunikacyjnych były mniejsze niż przyjęte

napełnienie krytyczne.<sup>25</sup> Szczegółowy schemat blokowy modelu, który realizuje założenia opisanego algorytmu umieszczony został w załączniku 6.2.

Ostatecznie, na podstawie obliczeń otrzymanych w wyniku użycia powyższej procedury, implementacja SPP powinna mieć miejsce teoretycznie w każdym z rejonów komunikacyjnych, dla którego obliczony koszt godziny parkowania potrzebny do uzyskania dopuszczalnego poziomu napełnienia, jest większy od zera. Jednakże, rekomenduje się by ograniczyć obszar jej funkcjonowania do strefy, w której pobór opłat będzie ekonomicznie uzasadniony. Oznacza to, iż podczas wprowadzania SPP należy rozważyć uwzględnienie bilansu kosztów funkcjonowania strefy oraz potencjalnych przychodów z jej funkcjonowania. Tak, jak każdy instrument zarządzania mobilnością, SPP należy stosować z uwzględnieniem możliwości operacyjnych jej organizatora. Opracowany model ma bowiem służyć przede wszystkim jako narzędzie wspomagające decydentów w wyborze najkorzystniejszej z możliwych opcji implementacji SPP. Ostateczne ustalenia co do jej dokładnego kształtu i sposobu funkcjonowania wymagają konsultacji zarówno z użytkownikami SPP oraz praktykami zajmującymi się organizacją stref, jak i z ekspertami specjalizującymi się w planowaniu rozwoju systemów transportowych.

Zgodnie z przedstawioną logiką modelowania popytu parkingowego dla obu algorytmów, do sukcesywnych iteracji wykorzystywana jest numeracja rejonów komunikacyjnych. Należy zatem podkreślić, iż kolejność nadana rejonom komunikacyjnym może wpływać na wyniki obliczeń. W związku z powyższym zwraca się szczególną uwagę na istotność powszechnie stosowanej praktyki, według której nadawanie numerów rejonom komunikacyjnym rozpoczyna się od centralnych obszarów miast. Stanowią one najczęściej centrum kulturalne i administracyjne dla lokalnej społeczności oraz osób odwiedzających, przez co zazwyczaj problemy z zaspokojeniem podaży parkingowej są w nich największe. Zasadniczo bowiem to wysoki niezaspokojony popyt na miejsca postojowe zlokalizowane w ścisłych centrach miast rozlewa się na dalsze obszary.

#### **6.4 Budowa modelu popytu parkingowego**

Zanim możliwe stało się zastosowanie opracowanych algorytmów, koniecznym było ustalenie modelowanego roku i godziny szczytu. Szczegóły dotyczące procedury wyznaczenia horyzontu czasowego modelu zawarto w podrozdziale 6.4.1.

Kolejny etap stanowiło przygotowanie – dla wyznaczonych ram czasowych – kompletnych danych wejściowych, tj. takich, które obejmowały każdy z modelowanych rejonów komunikacyjnych. Koszt za godzinę postoju, podział na rejony komunikacyjne oraz możliwe do wyznaczenia na jego podstawie macierze możliwe były do pozyskania na bazie posiadanych informacji od razu, dla całego obszaru miasta. W przypadku pozostałych danych wejściowych wymagane było uzupełnienie luk ze względu na ograniczony obszarowo zakres posiadanych informacji. Do tego celu posłużono się różnymi metodami regresji.

Wszystkie dane specyficzne dla modelowanego obszaru miejskiego wraz z właściwymi źródłami i ewentualną metodą uzupełnienia brakujących informacji zestawiono w tabeli 6.3.

---

<sup>25</sup> Na potrzeby niniejszej dysertacji skorzystano z wartości krytycznej na poziomie 85% napełnienia miejsc postojowych. Wartość ta uważana jest za pożądaną maksymalną zajętość miejsc postojowych ze względu na dobre wykorzystanie wygospodarowanej przestrzeni parkingowej przy jednoczesnym zapewnieniu możliwości relatywnie szybkiego znalezienia wolnego miejsca postojowego [86].

Tabela 6.3 Dane wejściowe do modelu funkcjonowania SPP charakterystyczne dla obszaru miejskiego Krakowa

Rodzaj danej wejściowej	Źródło danych	Metoda uzupełnienia danych <sup>26</sup>
Koszt za godzinę postoju w SPP	uchwała Rady Miasta Krakowa [101]	-
Podział na rejony komunikacyjne	model transportowy aglomeracji krakowskiej	-
Macierz sąsiedztwa rejonów komunikacyjnych	dane z modelu transportowego aglomeracji krakowskiej przetworzone w oprogramowaniu geoinformacyjnym	-
Macierz atrakcyjności zaparkowania w alternatywnym sąsiednim rejonie komunikacyjnym	dane z modelu transportowego aglomeracji krakowskiej przetworzone w oprogramowaniu geoinformacyjnym	-
Liczba dostępnych miejsc postojowych	inwentaryzacja na zlecenie Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu [102]	regresja liniowa wieloraka
	inwentaryzacja własna	
	model transportowy aglomeracji krakowskiej	
Popyt parkingowy pochodzący od osób nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego	baza danych opłat pobranych za pośrednictwem automatów parkingowych obsługujących SPP	regresja liniowa wieloraka
	bazy danych opłat pobranych za pośrednictwem operatorów płatności mobilnych	
	baza danych nałożonych opłat dodatkowych za brak ważnego biletu parkingowego w momencie kontroli	
Udział pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym	pomiary zajętości miejsc postojowych w SPP oraz w jej bezpośrednim sąsiedztwie	regresja liniowa wieloraka
Elastyczność cenowa popytu	badania ankietowe przeprowadzone wśród użytkowników krakowskiej SPP	regresja liniowa, regresja wektorów nośnych

Proces uzupełniania niewiadomych różnił się w zależności od rodzaju danych i został opisany dla każdego z nich oddzielnie w podrozdziałach od 6.4.2 do 6.4.7.

<sup>26</sup> Dobór metod uzupełniania danych nastąpił po przetestowaniu alternatywnych narzędzi obliczeniowych. Rozważano metody regresji liniowej i nieliniowej, wybrane metody nadzorowanego uczenia maszynowego oraz regresję ważoną geograficznie. Ostatecznie wybrano metody wykazujące najlepsze dopasowanie, których użycie dawało możliwie jak najbardziej prawdopodobne wyniki także w obszarach, dla których brakowało pomiarów stanu istniejącego. Dzięki analizie skupionej również na wartościach wyznaczonych dla obszarów nieobjętych pomiarami, udało się uniknąć zjawiska przetrenowania wykorzystywanych narzędzi matematycznych.



#### 6.4.1 Wybór modelowanego roku i godziny szczytu

Chcąc wyznaczyć modelowany rok oraz godzinę szczytu zapotrzebowania na miejsca postojowe postanowiono skorzystać z dostępnego zestawu danych, który dawał informacje na temat napełnienia obserwowanego w SPP. W związku z tym użyto badań patrolowych przeprowadzonych kompleksowo w SPP w październiku 2018 roku. Rokiem modelowanym ustanowiono w konsekwencji rok 2018. Szczegóły dotyczące metodyki przeprowadzonych badań oraz ich późniejszego opracowania w celu użycia w niniejszej dysertacji przedstawiono w podrozdziale 5.1.5.

Wyznaczenie godziny szczytu wymagało uwzględnienia poziomów napełnień w poszczególnych godzinach obowiązywania SPP, osobno dla każdego z rejonów komunikacyjnych. Informacje te umieszczone w podrozdziale 5.1.5., w tabeli 5.5 pokazują, iż największy przeciętny popyt na miejsca postojowe przypadł według badań między godziną 11:00 a 12:00. Mimo że w tej godzinie, w uśrednieniu, popyt na miejsca postojowe był największy, to należy zauważyć, iż nie zawsze między godziną 11:00 a 12:00 przypadał szczyt zajętości miejsc postojowych dla poszczególnych rejonów komunikacyjnych.

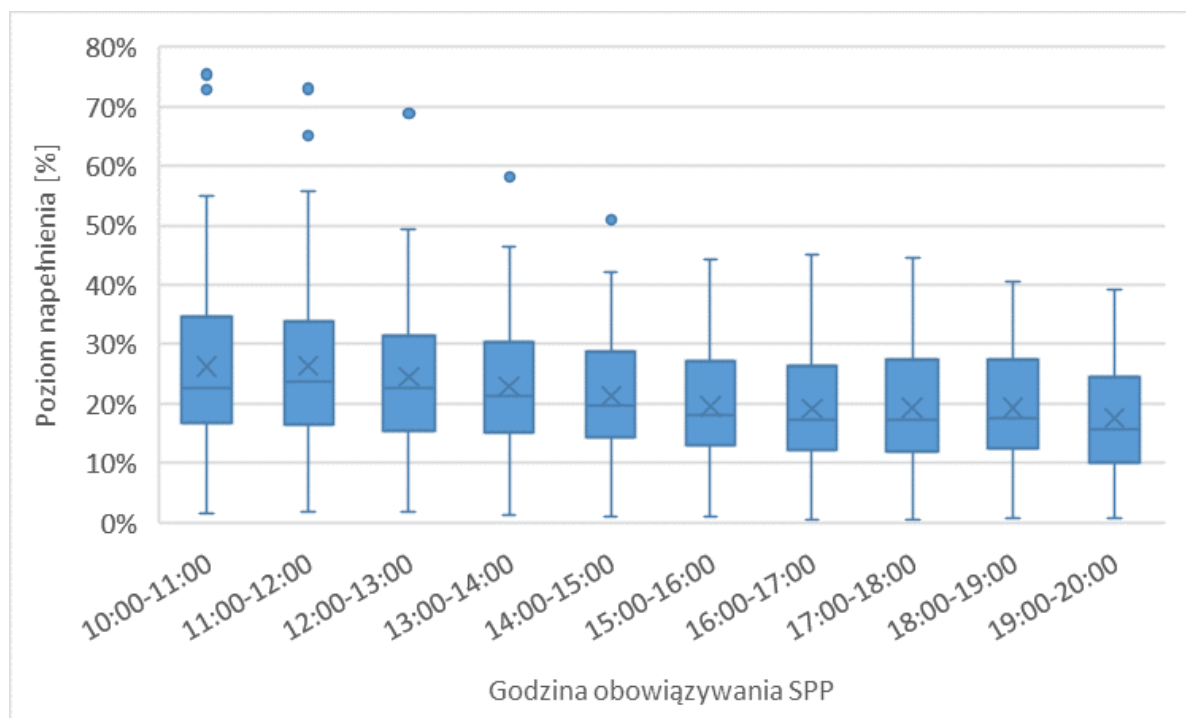
Użyte dane pomiarowe cechowały się brakiem ciągłości z powodu przerwy w pomiarze napełnienia między godziną 12:00 a 15:00. Z tego względu postanowiono uzupełnić analizę o sprawdzenie, czy w powyższych godzinach nie przypada maksymalne zapotrzebowanie na miejsca postojowe w SPP na podstawie wskazań z innych źródeł. Skorzystano więc z zestawów danych, które były dostępne dla całego godzinowego zakresu obowiązywania SPP, tj. dla danych dotyczących wszystkich użytkowników SPP, którzy nie posiadają abonamentu postojowego. Sumaryczne napełnienie pochodzące od tych grup kierowców (tj. osób korzystających z parkomatów, osób nieuiszczających opłat oraz płacących za pośrednictwem serwisów płatności mobilnych) przedstawia tabela 6.4. Wyłuszczonej czcionką oznaczono wartości maksymalne obserwowane w danym rejonie komunikacyjnym w ciągu doby, w okresie obowiązywania SPP.

Tabela 6.4 Napełnienie powierzchni parkingowej pochodzące od użytkowników SPP nieposiadających abonamentu w poszczególnych rejonach komunikacyjnych SPP

Rejon	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
1	6.8%	6.8%	6.9%	<b>7.1%</b>	6.9%	6.2%	5.4%	5.6%	5.9%	5.9%
2	4.3%	<b>4.4%</b>	4.3%	<b>4.4%</b>	4.3%	3.7%	3.8%	3.8%	2.8%	2.9%
3	15.4%	15.4%	14.5%	14.8%	14.5%	13.9%	14.6%	<b>16.3%</b>	16.1%	13.4%
4	27.8%	<b>31.0%</b>	30.2%	28.5%	26.1%	24.7%	25.4%	26.5%	29.1%	25.8%
5	36.9%	37.7%	37.2%	35.3%	34.5%	34.7%	34.2%	35.9%	<b>39.8%</b>	38.4%
6	51.4%	<b>52.6%</b>	49.4%	45.6%	39.3%	33.3%	32.9%	34.7%	37.2%	34.6%
7	34.0%	33.7%	32.7%	30.8%	28.8%	28.1%	29.4%	32.6%	<b>35.8%</b>	34.8%
8	15.1%	<b>15.5%</b>	14.8%	14.8%	14.0%	12.6%	12.7%	12.2%	12.2%	9.6%
9	<b>34.6%</b>	33.6%	30.5%	29.4%	28.4%	28.3%	28.2%	27.9%	28.5%	26.3%
10	23.8%	<b>24.4%</b>	22.8%	22.8%	22.3%	22.2%	22.5%	23.4%	23.5%	21.9%
11	19.8%	<b>20.8%</b>	19.2%	19.1%	18.8%	18.6%	17.9%	18.7%	18.0%	15.7%
12	72.9%	<b>73.0%</b>	68.8%	58.2%	51.0%	44.4%	45.0%	44.5%	40.2%	33.2%
13	<b>24.5%</b>	23.7%	22.7%	21.2%	20.1%	19.3%	20.2%	21.9%	22.5%	22.0%
14	<b>31.8%</b>	<b>31.8%</b>	30.4%	30.1%	28.3%	26.8%	26.3%	28.3%	<b>31.8%</b>	31.2%
15	26.2%	<b>27.6%</b>	26.8%	25.7%	24.2%	22.0%	21.1%	20.9%	22.2%	21.5%
16	38.7%	41.8%	44.7%	<b>46.3%</b>	42.1%	37.6%	36.0%	37.0%	40.6%	39.2%

Rejon	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00
17	<b>32.2%</b>	31.6%	30.9%	30.3%	28.9%	27.3%	25.8%	25.7%	27.6%	28.4%
18	32.2%	<b>33.9%</b>	31.5%	27.3%	24.2%	21.5%	22.4%	24.5%	24.8%	21.5%
19	22.6%	23.8%	23.7%	26.7%	30.3%	30.0%	35.2%	<b>36.5%</b>	35.9%	32.1%
20	<b>20.7%</b>	20.1%	18.1%	17.3%	17.1%	17.4%	17.2%	16.6%	14.8%	12.4%
21	17.2%	16.7%	15.4%	15.0%	15.8%	16.2%	16.7%	<b>17.4%</b>	17.0%	13.9%
22	<b>20.8%</b>	<b>20.8%</b>	19.9%	18.7%	17.7%	16.7%	17.1%	18.0%	18.4%	17.0%
23	20.2%	<b>20.6%</b>	19.5%	18.0%	16.1%	14.6%	14.0%	14.3%	14.0%	12.2%
27	45.5%	<b>46.9%</b>	44.0%	40.6%	38.7%	36.9%	40.1%	42.0%	38.8%	34.4%
30	17.4%	<b>17.9%</b>	16.7%	15.3%	14.3%	14.0%	14.1%	14.0%	13.4%	12.3%
33	<b>20.1%</b>	20.0%	19.2%	18.0%	16.8%	16.5%	16.7%	16.6%	16.0%	14.7%
34	<b>30.4%</b>	29.1%	26.1%	24.2%	22.0%	20.5%	19.4%	20.1%	19.0%	16.6%
36	<b>36.2%</b>	35.7%	34.2%	31.1%	27.6%	25.8%	24.3%	24.5%	25.0%	24.0%
37	<b>24.1%</b>	23.5%	20.2%	17.6%	15.9%	15.4%	15.7%	15.7%	16.4%	16.2%
39	<b>75.4%</b>	65.2%	48.8%	39.7%	37.0%	35.7%	34.5%	31.9%	28.1%	22.9%
41	19.8%	<b>19.9%</b>	18.0%	16.4%	14.6%	14.4%	15.3%	15.8%	17.6%	15.8%
42	<b>35.0%</b>	29.3%	23.3%	23.0%	18.6%	10.6%	9.2%	10.9%	13.8%	15.1%
43	6.6%	7.9%	7.5%	6.7%	6.5%	5.9%	7.3%	8.4%	<b>9.5%</b>	8.8%
44	25.5%	<b>36.3%</b>	33.6%	27.7%	22.3%	15.9%	12.2%	9.7%	3.4%	1.6%
45	21.5%	<b>23.3%</b>	22.0%	20.3%	18.8%	17.5%	17.9%	16.2%	15.1%	12.9%
46	1.6%	<b>1.9%</b>	<b>1.9%</b>	1.4%	1.1%	0.9%	0.5%	0.5%	0.9%	0.7%
47	3.1%	3.4%	3.5%	3.3%	4.0%	4.5%	4.9%	<b>5.1%</b>	4.3%	2.7%
48	<b>16.7%</b>	16.4%	16.6%	16.0%	14.3%	12.3%	11.5%	11.2%	9.9%	7.7%
50	<b>47.7%</b>	46.7%	43.6%	40.2%	33.2%	20.5%	15.5%	14.4%	12.5%	10.0%
51	54.9%	<b>55.9%</b>	48.8%	44.5%	42.1%	37.8%	31.8%	28.7%	27.1%	24.5%
52	<b>53.2%</b>	51.7%	45.9%	40.4%	35.7%	30.5%	28.4%	27.7%	27.4%	22.6%
53	<b>16.5%</b>	<b>16.5%</b>	15.2%	15.2%	14.1%	13.5%	13.2%	12.7%	12.9%	11.8%
54	<b>41.3%</b>	37.3%	31.0%	32.3%	29.6%	30.3%	29.7%	27.4%	26.6%	26.2%
55	11.4%	11.1%	11.1%	10.3%	10.6%	10.7%	10.7%	12.0%	<b>12.8%</b>	11.7%
56	3.7%	3.2%	3.0%	1.9%	<b>3.9%</b>	2.6%	2.1%	1.8%	0.8%	1.4%
57	25.3%	25.2%	<b>26.3%</b>	24.6%	23.1%	20.2%	18.1%	19.3%	17.9%	15.3%
58	22.5%	<b>23.6%</b>	22.7%	22.4%	21.2%	20.2%	19.6%	20.7%	21.5%	19.7%
59	21.4%	<b>22.1%</b>	21.6%	20.8%	19.7%	18.1%	17.0%	17.2%	17.4%	16.2%
60	9.2%	9.1%	<b>9.7%</b>	8.9%	9.0%	8.4%	8.1%	8.8%	9.5%	8.3%
61	<b>5.8%</b>	5.3%	5.2%	5.0%	4.4%	4.4%	4.9%	5.1%	5.3%	5.1%
62	17.8%	<b>18.2%</b>	16.2%	15.6%	15.6%	12.9%	8.7%	5.9%	4.4%	3.0%
średnia	26.3%	<b>26.4%</b>	24.5%	23.0%	21.3%	19.5%	19.1%	19.4%	19.3%	17.6%

Wykres pudełkowy agregujący informacje dotyczące rejonów komunikacyjnych dla poszczególnych godzin obowiązywania SPP zaprezentowano na rysunku 6.1.



Rysunek 6.1 Napełnienie powierzchni parkingowej pochodzące od użytkowników SPP nieposiadających abonamentu w poszczególnych godzinach obowiązywania SPP

Informacje zgromadzone dla użytkowników SPP niebędących abonentami (dla obszaru 51 rejonów komunikacyjnych) także potwierdziły, iż największy popyt na miejsca parkingowe obserwowano między godziną 11:00 a 12:00. Żadna z godzin pominiętych w badaniach patrolowych z 2018 roku nie zanotowała wyższego popytu na miejsca parkingowe – ze strony osób nieposiadających abonamentów postojowych – niż godzina między 11:00 a 12:00. W związku z powyższym do dalszych analiz przyjęto, że to właśnie ten zakres godzinowy stanowić będzie godzinę szczytu zapotrzebowania na miejsca parkingowe.

#### 6.4.2 Liczba dostępnych miejsc postojowych mogących zostać objętych SPP

Pierwszą ze zmiennych niezbędnych do implementacji w modelu, która nie została w pełni opisana w dostępnych danych, była podaż miejsc postojowych mogących być częścią SPP. Ilekroć odtąd w niniejszej dysertacji mowa będzie o liczbie dostępnych miejsc postojowych, przez liczbę tę rozumieć należy liczbę dostępnych miejsc postojowych, które dałoby się, zgodnie z obowiązującym prawem, potencjalnie do strefy włączyć. Do tak rozumianej liczby dostępnych miejsc postojowych nie należą zatem miejsca na posesjach prywatnych wykorzystywanych zarówno na użytek własny, jak i w celach prowadzenia działalności gospodarczej (w tym także płatne parkingi prywatne).

Wiedzę na temat dostępnych miejsc postojowych w poszczególnych rejonach komunikacyjnych czerpano z kilku różnych źródeł według następującego priorytetu:

- 1) Plany reorganizacji miejsc postojowych po kompleksowej inwentaryzacji przeprowadzonej w roku 2017 na zlecenie Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie [102]. Plany te obejmowały większość obszaru obecnie funkcjonującej SPP, natomiast liczbę dostępnych miejsc postojowych ustalono po dokonanych osobiście przeglądzie wszystkich udostępnionych planów sytuacyjnych (43 rejonów).

- 2) Inwentaryzacja własna, podczas wizji lokalnej (15 rejonów) oraz na podstawie zdjęć satelitarnych (18 rejonów). Inwentaryzacją w trakcie wizji lokalnej objęte zostały wszystkie obszary obecnie obowiązującej SPP, dla której nie sporządzono planów reorganizacji miejsc postojowych z punktu pierwszego. Dodatkowo, przy wykorzystaniu dostępnych zdjęć satelitarnych, zweryfikowano obszary, w których brakuje miejsc postojowych bądź ich liczba jest znikoma.
- 3) Liczba miejsc postojowych pozyskana z modelu transportowego miasta. Model transportowy w zbiorze zmiennych objaśniających posiadał informacje dotyczące liczby miejsc parkingowych części rejonów komunikacyjnych. W ten sposób pozyskano informacje na temat miejsc dostępnych w dodatkowych sześciu rejonach komunikacyjnych.
- 4) Model regresji liniowej wielorakiej. W przypadku pozostałych 281 rejonów komunikacyjnych miasta skorzystano ze stworzonej regresji liniowej wielorakiej, której wzór przedstawiono w równaniu 6.4. Regresję policzono na podstawie 72 obserwacji zaczerpniętych z modelu transportowego miasta oraz inwentaryzacji przeprowadzonej w rejonach komunikacyjnych, dla których nie przeprowadzono reorganizacji miejsc postojowych w 2017 roku [102]. Wskaźnik determinacji wyniósł  $R^2=0,82$ , zbliżoną wartość przyjął skorygowany wskaźnik determinacji  $R^2=0,81$ .

$$L_{MP} = 67,49461 - 153,67 * P_H + 34,51 * P_M + 54,18 * P_{NM} \quad (6.4)$$

gdzie:

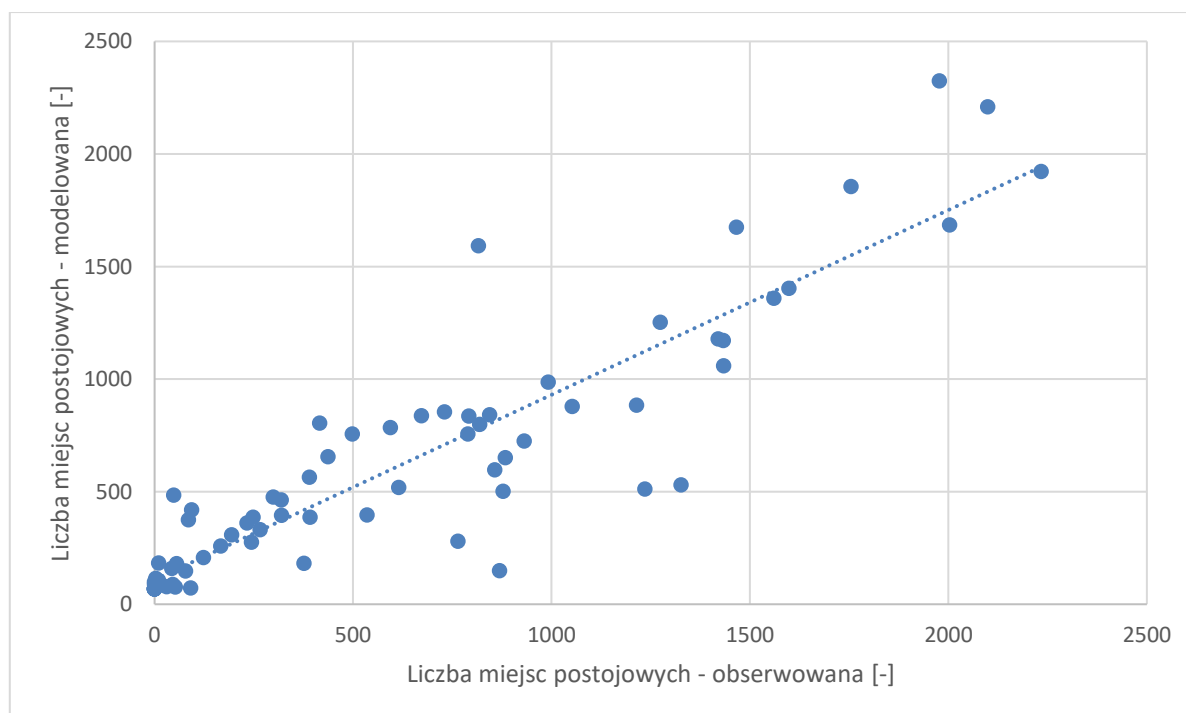
$L_{MP}$  – liczba miejsc postojowych możliwych do włączenia do SPP w danym rejonie komunikacyjnym [miejsca],

$P_H$  – powierzchnia handlowa w danym rejonie komunikacyjnym [ha],

$P_M$  – powierzchnia mieszkalna w danym rejonie komunikacyjnym [ha],

$P_{NM}$  – powierzchnia niemieszkalna w danym rejonie komunikacyjnym [ha].

Graficzne porównanie modelowanej i obserwowanej liczby miejsc postojowych dla każdego z rejonów komunikacyjnych przedstawiono na rysunku 6.2.



Rysunek 6.2 Liczba dostępnych miejsc postojowych mogących zostać objętych SPP – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Uzależnienie liczby generowanych miejsc parkingowych z rozróżnieniem na powierzchnię mieszkalną oraz inną niż mieszkalną wskazuje na istotną różnicę w stopniu pojawiania się podaży parkingowej w zależności od przeznaczenia powierzchni. Ujemny wskaźnik dla powierzchni handlowej może natomiast wynikać z posiadanej przez obiekty handlowe własnej powierzchni parkingowej, która nie staje się częścią SPP. Z opisanych zależności między różnymi rodzajami zagospodarowania powierzchni rejonów komunikacyjnych może zatem wynikać, że podaż miejsc parkingowych związana jest zarówno z obecnością powierzchni mieszkalnej, jak i niemieszkalnej, natomiast obecność powierzchni handlowej koryguje tę wielkość w dół. Dodać należy także, że wyraz wolny równania jest stosunkowo niewielki i dodatni, co nie powinno mieć negatywnego wpływu na wyniki uzyskane w ramach wykorzystania omawianej regresji liniowej. W przypadku ośmiu rejonów komunikacyjnych, ze względu na znaczną dominację powierzchni handlowej nad pozostałymi typami powierzchni, doszło do wskazania przez model regresji ujemnej liczby miejsc postojowych. Dla owych obszarów przyjęto brak miejsc parkingowych, które można by było włączyć do SPP.

Wśród słabości zastosowanego podejścia wymienić należy:

- uchwytowanie jedynie prostych, liniowych zależności,
- ryzyko doboru współczynników modelu, które mogą nie mieć zastosowania dla miasta o innym charakterze zagospodarowania przestrzennego,
- możliwość otrzymania ujemnej liczby miejsc (w przypadku Krakowa nie było ich jednak wiele),
- brak możliwości bezpośredniego uchwycenia w opracowanym równaniu dodatkowych ograniczeń związanych z podażą parkingową (w innych miastach mogą one występować np. przez zastosowanie lokalnych środków prawnych w postaci normatywów parkingowych).

#### 6.4.3 Macierz sąsiedztwa rejonów komunikacyjnych

Poprzez macierz sąsiedztwa  $M_S$  rozumieć należy zero-jedynkową, symetryczną macierz przedstawiającą pary rejonów komunikacyjnych traktowanych jako sąsiednie. Ma ona wymiary  $n \times n$ , gdzie  $n$  jest liczbą wszystkich rejonów komunikacyjnych uwzględnianych w modelu funkcjonowania SPP. Wykorzystywana będzie ona w przypadku, gdy w docelowym rejonie komunikacyjnym koszt godziny postoju będzie dla użytkownika zbyt wysoki bądź gdy zabraknie w nim wolnych miejsc postojowych. Macierz sąsiedztwa wyznaczona została na podstawie odległości pomiędzy centroidami poszczególnych rejonów komunikacyjnych. Odległość ta pozyskana została natomiast przy użyciu oprogramowania geoinformacyjnego QGIS [103]. Zapisując centroidę każdego rejonu komunikacyjnego  $\Gamma$  przy użyciu jej współrzędnych  $\Gamma(x, y)$ , macierz odległości między rejonami komunikacyjnymi  $M_0$  przyjęła postać zapisaną we wzorze 6.5:

$$M_{ij}^0 = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (6.5)$$

gdzie:

$M_{ij}^0$  – element macierzy odległości między centroidami rejonów komunikacyjnych  $i$  oraz  $j$ ,

$x_i, y_i$  – współrzędne centroidy  $i$ -tego rejonu komunikacyjnego,

$x_j, y_j$  – współrzędne centroidy  $j$ -tego rejonu komunikacyjnego.

W kolejnym kroku należało natomiast ustalić rejon komunikacyjny, które użytkownik mógłby rozważać jako sąsiednie. W tym celu skorzystano z wyników ankiet przeprowadzonych wśród użytkowników SPP, którzy nie posiadali wykupionych abonamentów postojowych. Użyto odpowiedzi na jedno z pytań, które dotyczyło maksymalnej długości dojazdu pieszo, jakie parkujący byłby w stanie pokonać, żeby uniknąć opłaty za postój.

Przeciętnie, użytkownicy byliby, według swoich deklaracji, skłonni maksymalnie do przejścia dystansu, którego pokonanie zajmuje ok. 21,6 minut, co przy założonej średniej prędkości chodu pieszego 4 km/h daje 1,4 km zasięgu dojścia. Nałożenie warunku maksymalnego dystansu dojścia w wysokości 1,4 km pozwoliło na wyznaczenie wszystkich rejonów mogących potencjalnie stanowić alternatywny rejon wyboru miejsca postojowego. Założono, że wszyscy użytkownicy poruszają się z taką samą prędkością chodu i dopuszczają taki sam zasięg dojścia. Macierz sąsiedztwa rejonów komunikacyjnych  $M_S$  przyjęła postać opisaną wzorem 6.6:

$$M_{ij}^S = \begin{cases} 0, & M_{ij}^O > 1,4 \text{ km} \\ 1, & M_{ij}^O \leq 1,4 \text{ km} \end{cases} \quad (6.6)$$

gdzie:

$M_{ij}^S$  – element macierzy sąsiedztwa między rejonem komunikacyjnym  $i$  oraz  $j$ ,

$M_{ij}^O$  – element macierzy odległości między centroidami rejonów komunikacyjnych  $i$  oraz  $j$ .

Przy wykorzystaniu opisywanej metodyki nie udało się ustalić rejonów sąsiednich dla 15 rejonów transportowych. Wynikało to z uwarunkowań przestrzennych – tj. w przypadku centroid 15 rejonów transportowych nie udało się znaleźć chociaż jednej innej centroidy, która by się znajdowała w odległości do 1,4 km włącznie. Możliwość nieznaledzenia dla danego rejonu transportowego żadnego rejonu traktowanego jako sąsiedni jest niewątpliwą słabością takiego podejścia. Ostatecznie jednak sytuacja taka miała miejsce jedynie w niewielkim odsetku przypadków rejonów komunikacyjnych miasta Krakowa, w obszarach znajdujących się przede wszystkim na peryferiach miasta. Inne zagrożenie wynikające z zastosowanego podejścia związane jest z ukształtowaniem infrastruktury transportowej. Nie zawsze bowiem odległość między centroidami poszczególnych rejonów komunikacyjnych możliwa jest do pokonania w ramach przyjętego zasięgu dojścia pieszego. Szczególnie w przypadku rejonów o dużych powierzchniach zastosowanie przyjętych założeń może nie oddawać w pełni zjawisk związanych z parkowaniem, które mają miejsce w rzeczywistości. Aby zminimalizować potencjalny negatywny wpływ obranego podejścia, sugeruje się zmniejszyć rozmiar stosowanych rejonów komunikacyjnych.

#### 6.4.4 Macierz atrakcyjności alternatywnych sąsiednich rejonów komunikacyjnych

Poprzez macierz atrakcyjności alternatywnych sąsiednich rejonów komunikacyjnych rozumieć należy macierz przedstawiającą zakładany procentowy udział wyboru danego alternatywnego rejonu komunikacyjnego na tle pozostałych rejonów postrzeganych jako rejon sąsiednie. Zawsze, gdy rejon komunikacyjny posiadał co najmniej jeden rejon uznawany za sąsiedni, suma wartości atrakcyjności alternatywnych sąsiednich rejonów danego rejonu transportowego równała się 100%.

Stosowanie miary atrakcyjności alternatywnych sąsiednich rejonów transportowych proponuje się w przypadku modelowania decyzji związanych z wyborem miejsca parkowania w innym rejonie transportowym, niż rejon związany z pierwotnym miejscem docelowym podróży. Sytuacja taka może mieć miejsce, gdy w docelowym rejonie koszt godziny postoju jest dla użytkownika zbyt wysoki bądź gdy w pierwotnym rejonie zabraknie wolnych miejsc postojowych.

Macierz atrakcyjności alternatywnych sąsiednich rejonów komunikacyjnych  $M_A$  stworzona została na bazie wyznaczonej wcześniej macierzy sąsiedztwa  $M_S$ . Jako potencjalne rejonu alternatywnego miejsca postoju rozważano bowiem tylko rejonu uznane za sąsiednie. W celu obliczenia macierzy  $M_A$  najpierw opracowano macierz pomocniczą  $M'$ , która przechowywała odległości między centroidami rejonów komunikacyjnych wyłącznie w przypadku, gdy dane rejonu uważane były za sąsiednie. Równanie wyznaczające elementy macierzy  $M'$  opisano we wzorze 6.7.

$$M'_{ij} = M_{ij}^O * M_{ij}^S \quad (6.7)$$

Aby uwzględnić większą skłonność użytkowników do postoju bliżej pierwotnego docelowego rejonu komunikacyjnego, postanowiono rozdzielić atrakcyjność alternatywnych sąsiednich rejonów transportowych odwrotnie proporcjonalnie do odległości między centroidami poszczególnych rejonów. Uwzględnienie tego czynnika możliwe było dzięki stworzeniu kolejnej macierzy pomocniczej  $M''$ , której elementy obliczono na podstawie wzoru 6.8.

$$M''_{ij} = \frac{1}{\frac{M'_{ij}}{\sum_{j=1}^n M'_{ij}}} \quad (6.8)$$

Ostatecznie, atrakcyjność alternatywnych sąsiednich rejonów dla danego rejonu transportowego rozdzielono proporcjonalnie do wielkości elementu  $M''$  na tle sumy elementów wszystkich wielkości  $M''$  danego wiersza. Równanie wyznaczające elementy macierzy  $M_A$  opisano we wzorze 6.9.

$$M_{ij}^A = \frac{M''_{ij}}{\sum_{j=1}^n M''_{ij}} \quad (6.9)$$

Przygotowana macierz  $M_A$  pozwoliła zatem oddać prawidłowość, że im dany rejon alternatywny bliżej pierwotnego rejonu docelowego, tym większy potencjał na bycie wybranym jako miejsce opcjonalnego postoju.

#### 6.4.5 Udział pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym

Spśród wszystkich zebranych danych dotyczących warunków panujących w SPP, bezpośrednią informację dotyczącą udziału pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym znaleziono jedynie w badaniach funkcjonowania SPP z roku 2018. Jednakże, ze względu na udostępnienie jedynie ogólnego, uśrednionego udziału pojazdów z wykupionym abonamentem dla całego horyzontu godzinowego przeprowadzonych pomiarów (08:00 – 12:00 oraz 15:00 – 21:00), postanowiono zrezygnować z użycia owych danych. Horyzont czasowy przeprowadzonych badań mógłby bowiem nie być miarodajny dla modelowanej godziny szczytu.

Ze względu na niedostateczny poziom informacji zawarty w posiadanych badaniach patrolowych, postanowiono pozyskać informacje na temat udziału samochodów z wykupionym abonamentem postojowym pośrednio. Do tego celu wykorzystano szczegółowe informacje dotyczące łącznej zajętości w poszczególnych rejonach w interwałach godzinowych. Dane te pozyskano z wyżej wspomnianych badań patrolowych. Od łącznej wartości poziomów napełnień odjęto wszystkie zaparkowane pojazdy nieposiadające abonamentów. Stanowiły one sumę wszystkich pojazdów, dla których pobrano bilet, jak i tych, dla których wystawiono wezwanie do uiszczenia opłaty dodatkowej. W przypadku biletów parkingowych uwzględniono bilety pobrane w stacjonarnych automatach oraz te, które wykupiono za pośrednictwem aplikacji mobilnych.

Uwzględniając informację dotyczącą atrakcji rejonów komunikacyjnych (zarówno ze szczytu porannego, jak i popołudniowego) z liczbą dostępnych w nich miejsc postojowych otrzymano liczbę zaparkowanych pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym. Na podstawie 29 takich obserwacji otrzymano model regresji liniowej charakteryzujący się współczynnikiem determinacji  $R^2=0,95$  oraz skorygowanym  $R^2=0,94$ . Równanie regresji przedstawia wzór 6.10.

$$L_{ABO} = -3,87814 + 0,634566 * L_{MP} - 0,02851 * ATR \quad (6.10)$$

gdzie:

$L_{ABO}$  – liczba pojazdów zaparkowanych przez abonentów danego rejonu komunikacyjnego w godzinie szczytu [pojazdy],

$L_{MP}$  – liczba miejsc postojowych możliwych do włączenia do SPP w danym rejonie komunikacyjnym [miejsca],

$ATR$  – suma atrakcji rejonu w godzinie szczytu porannego i popołudniowego [podróże].

W celu ułatwienia oceny dopasowania wartości dla poszczególnych rejonów, postanowiono dodatkowo skorzystać z kilku miar wykorzystywanych typowo przy ocenie stopnia kalibracji modeli transportowych. Pierwsze dwie miary – różnica bezwzględna i względna zostały obliczone w stosunku do wartości obserwowanej. To oznacza, że gdy różnica była ujemna model zaniżał wyniki w stosunku do pomiaru i odwrotnie. Dodatkowo wprowadzono także miarę SQV (ang. *Scalable Quality Value*) [104], którą można bezpośrednio przetłumaczyć jako skalowalny wskaźnik jakości. SQV pozwala na ocenę dopasowania wartości modelowanych i obserwowanych, która jest mniej wrażliwa na wysokie różnice procentowe obserwowane na niewielkich odchyleniach modelu od stosunkowo niewielkiej wartości pomierzonej.

Jest on używany jako mniej popularna, alternatywna miara do używanego w modelowaniu transportu wskaźnika GEH, który ze względu na swoje przeznaczenie do oceny poprawności modelowanych wielkości potoków ruchu, nie został użyty w niniejszej dysertacji. SQV uwzględnia oczekiwany rząd modelowanej wielkości, dzięki czemu możliwe jest jego skalowanie, a otrzymywane wyniki znajdują się zawsze w przedziale od 0 do 1. Im większa wartość wskaźnika, tym lepsze dopasowanie modelu do wartości obserwowanych w rzeczywistości. Dokładny sposób obliczania SQV przedstawiono we wzorze 6.11:

$$SQV = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{(M - C)^2}{f * C}}} \quad (6.11)$$

gdzie:

SQV – skalowalny wskaźnik jakości [-],

$M$  – wartość modelowana [pojazdy],

$C$  – wartość obserwowana [pojazdy],

$f$  – czynnik skalujący [-].

Ze względu na swoją bezwymiarowość oraz przyjmowanie wartości z zakresu od 0 do 1, skalowalny wskaźnik jakości staje się łatwy w interpretacji. Zgodnie z rekomendacją twórców SQV, przyjmuje się interpretacje wskaźników przedstawione w tabeli 6.5.

Tabela 6.5 Interpretacja skalowalnego wskaźnika jakości w ocenie dopasowania modelu [104]

Wartość statystyki SQV	Ocena stopnia dopasowania
0.90 – 1.00	bardzo dobra
0.85 – 0.90	dobra
0.80 – 0.85	akceptowalna

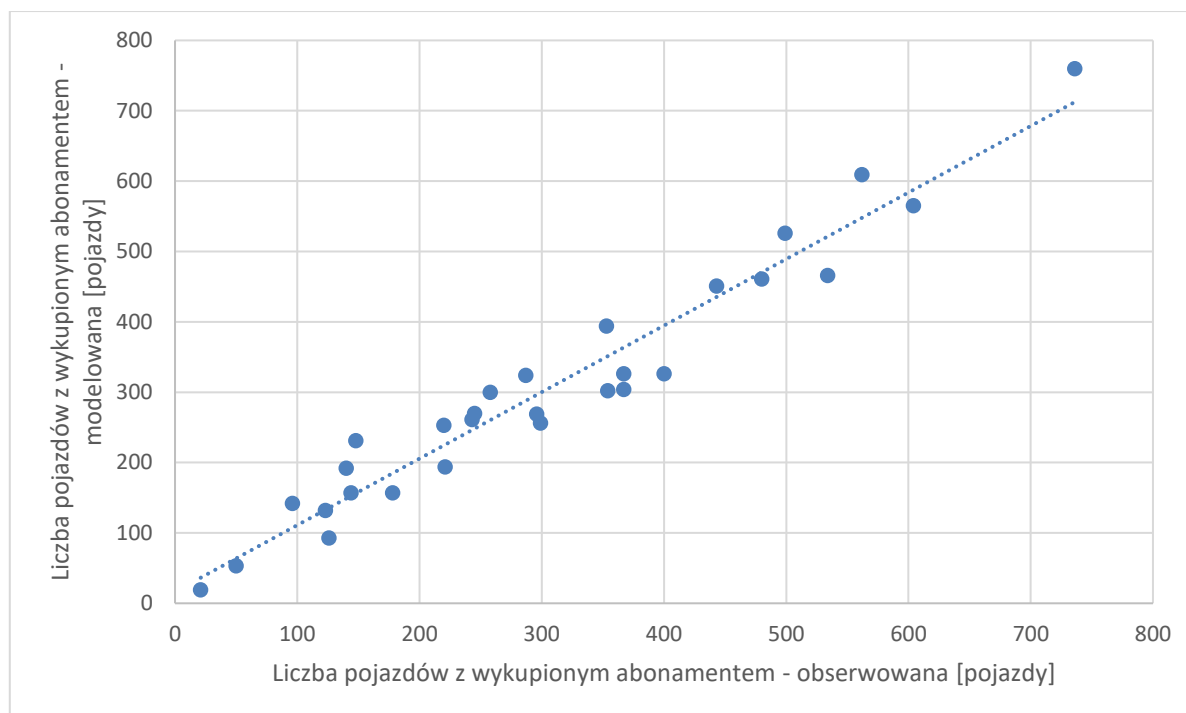
Podkreślono jednak, że w zależności od charakteru analizowanego czynnika, różne przedziały wartości statystyki mogą być oceniane odmiennie. Na potrzeby obliczeń przeprowadzonych w ramach niniejszej dysertacji przyjęto rząd wielkości w setkach pojazdów, tj.  $f = 100$ .

Porównanie wartości obserwowanych i modelowanych dla liczby pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym przedstawione zostało w tabeli 6.6 oraz na rysunku 6.3.



Tabela 6.6 Liczba pojazdów z wykupionym abonamentem – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Rejon	Wartość obserwowana [pojazdy]	Wartość modelowana [pojazdy]	Bezwzględna różnica [pojazdy]	Względna różnica [%]	SQV [-]
3	126	93	-33	-26.2%	0.77
5	144	157	13	9.0%	0.90
6	148	231	83	56.1%	0.59
7	245	270	25	10.2%	0.86
9	123	132	9	7.3%	0.92
10	178	157	-21	-11.8%	0.86
11	400	326	-74	-18.5%	0.73
13	354	302	-52	-14.7%	0.78
14	220	253	33	15.0%	0.82
15	221	194	-27	-12.2%	0.85
16	96	142	46	47.9%	0.68
17	736	760	24	3.3%	0.92
18	243	261	18	7.4%	0.90
21	353	394	41	11.6%	0.82
22	299	256	-43	-14.4%	0.80
23	534	466	-68	-12.7%	0.77
30	604	565	-39	-6.5%	0.86
33	480	461	-19	-4.0%	0.92
34	443	451	8	1.8%	0.96
36	21	19	-2	-9.5%	0.96
37	140	192	52	37.1%	0.69
41	367	304	-63	-17.2%	0.75
45	367	326	-41	-11.2%	0.82
48	287	324	37	12.9%	0.82
50	258	300	42	16.3%	0.79
51	50	53	3	6.0%	0.96
53	296	269	-27	-9.1%	0.86
58	562	609	47	8.4%	0.83
59	499	526	27	5.4%	0.89
<b>suma</b>	<b>8794</b>	<b>8793</b>	<b>-1</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.99</b>
	<b>średnia</b>		<b>35</b>	<b>14.6%</b>	<b>0.83</b>



Rysunek 6.3 Liczba pojazdów z wykupionym abonamentem – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Popyt na miejsca postojowe w SPP pochodzący od pojazdów, które posiadają wykupiony abonament postojowy postanowiono zaimplementować w modelu jako procentowy udział tego typu pojazdów w łącznej liczbie dostępnych miejsc parkingowych. Użycie udziału zamiast wartości bezwzględnej wyrażającej liczbę pojazdów abonentów miało na celu uniknięcie sytuacji, w której popyt wynikający z modelu regresji liniowej przekraczałby łączną liczbę dostępnych miejsc postojowych.

Dla potrzeb wykonania modelu założono zatem udział pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym na podstawie wzoru 6.12:

$$U_{ABO} = \frac{L_{ABO}}{L_{MP}} \quad (6.12)$$

gdzie:

$U_{ABO}$  – udział pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym w danym rejonie komunikacyjnym w godzinie szczytu [%],

$L_{ABO}$  – liczba pojazdów zaparkowanych przez abonentów danego rejonu komunikacyjnego w godzinie szczytu [pojazdy],

$L_{MP}$  – liczba miejsc postojowych możliwych do włączenia do SPP w danym rejonie komunikacyjnym [miejsca].

Nie odnotowano przypadku, w którym modelowana liczba parkujących pojazdów z abonamentem przekraczała liczbę wszystkich dostępnych miejsc postojowych (tj.  $U_{ABO} > 100\%$ ). Dla rejonów, w których brak miejsc postojowych, które mogłyby wejść w zakres SPP, założono zerowy udział pojazdów z wykupionymi abonamentami (17 takich przypadków). W sytuacji, w której dla danego rejonu komunikacyjnego modelowany udział pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym wynosiłby mniej niż zero, założono popyt zerowy (4 takie przypadki). Modelowane wartości wahały się zatem od 0,0% do 60,6%. Przeciętny udział pojazdów z wykupionym abonamentem wynosił 52,2% (przy odchyleniu standardowym wynoszącym 14,7%).

#### 6.4.6 Liczba użytkowników nieposiadających wykupionych abonamentów postojowych

Liczba użytkowników nieposiadających abonamentu postojowego została modelowana pośrednio, przy użyciu wskaźnika udziału pojazdów bez wykupionego abonamentu w liczbie miejsc dostępnych po pierwotnym obciążeniu przestrzeni parkingowej popytem pochodzącym od użytkowników z abonamentami. Inaczej ujmując, współczynnik ten określa jaki procent miejsc niezajętych przez pojazdy z wykupionym abonamentem został wykorzystany przez pojazdy bez abonamentu.

Zmienna ta była modelowana przy pomocy regresji liniowej wielorakiej, która poza dodatnim wyrazem wolnym, uwzględniała także powierzchnię całkowitą, biurową, handlową i produkcyjną oraz sumę atrakcji danego rejonu komunikacyjnego ze szczytu porannego i popołudniowego. Równanie regresji, które powstało na podstawie 29 obserwacji, umieszczono we wzorze 6.13:

$$X_{N-ABO} = 0,7035 - 0,006639 * P_C + 0,027282 * P_B + -0,079928 * P_H - 0,197104 * P_{PROD} + 0,000074 * ATR \quad (6.13)$$

gdzie:

$X_{N-ABO}$  – udział pojazdów bez abonamentu w liczbie miejsc dostępnych po pierwotnym obciążeniu przestrzeni parkingowej popytem pochodzącym od użytkowników posiadających abonament [%],

$P_C$  – powierzchnia całkowita w danym rejonie komunikacyjnym [ha],

$P_B$  – powierzchnia biurowa w danym rejonie komunikacyjnym [ha],

$P_H$  – powierzchnia handlowa w danym rejonie komunikacyjnym [ha],

$P_{PROD}$  – powierzchnia produkcyjna w danym rejonie komunikacyjnym [ha],

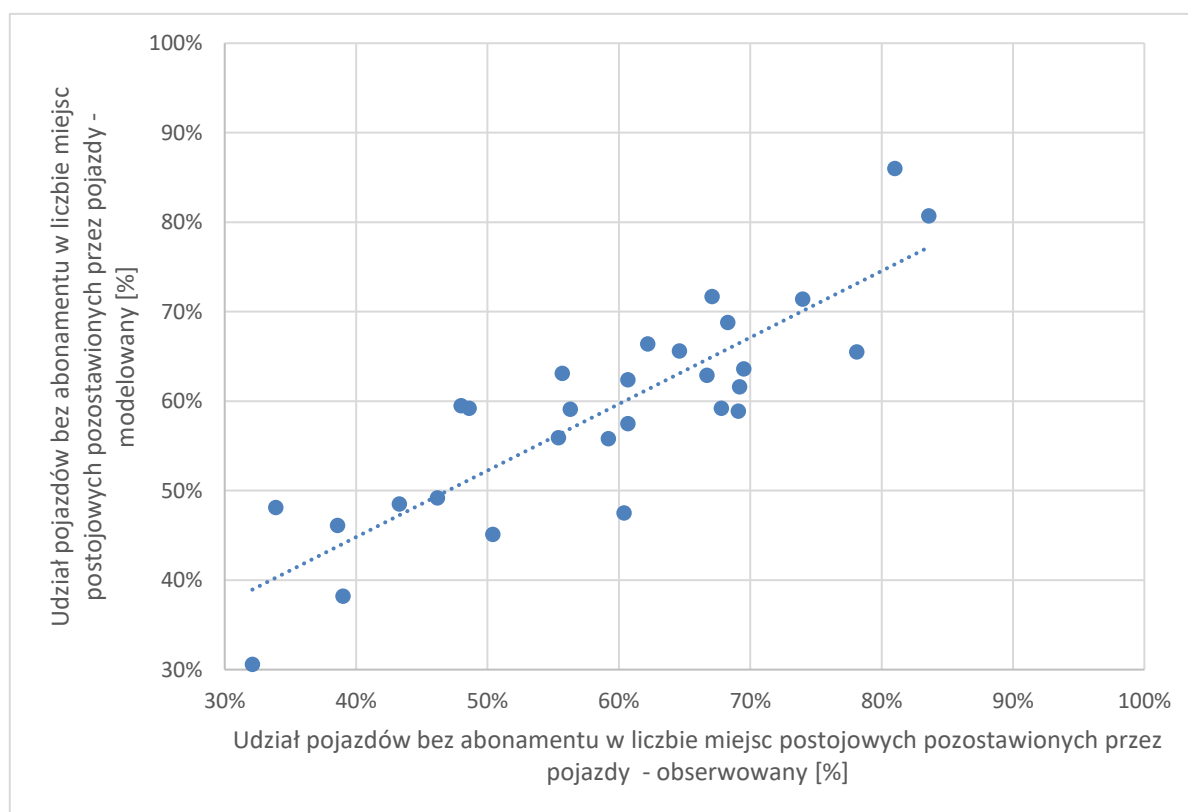
$ATR$  – suma atrakcji rejonu w godzinie szczytu porannego i popołudniowego [podróże].

Porównanie wartości obserwowanych i modelowanych omawianej zmiennej przedstawione zostało natomiast w tabeli 6.7 oraz na rysunku 6.4.

Tabela 6.7 Udział pojazdów bez wykupionego abonamentu w liczbie miejsc postojowych pozostawionych przez pojazdy abonentów – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Rejon	Wartość obserwowana [%]	Wartość modelowana [%]	Bezwzględna różnica [p.p.]	Względna różnica [%]
3	48.0%	59.5%	11.5	23.9%
5	74.0%	71.4%	-2.5	-3.4%
6	78.1%	65.5%	-12.6	-16.1%
7	64.6%	65.6%	1.0	1.6%
9	67.1%	71.7%	4.5	6.8%
10	68.3%	68.8%	0.5	0.8%
11	66.7%	62.9%	-3.8	-5.7%
13	55.4%	55.9%	0.4	0.8%
14	60.7%	62.4%	1.7	2.8%
15	69.5%	63.6%	-5.9	-8.5%
16	67.8%	59.2%	-8.6	-12.7%
17	69.1%	58.9%	-10.1	-14.7%
18	69.2%	61.6%	-7.6	-11.0%
21	33.9%	48.1%	14.2	41.8%
22	55.7%	63.1%	7.4	13.4%

Rejon	Wartość obserwowana [%]	Wartość modelowana [%]	Bezwzględna różnica [p.p.]	Względna różnica [%]
23	56.3%	59.1%	2.8	4.9%
30	46.2%	49.2%	3.0	6.5%
33	48.6%	59.2%	10.6	21.8%
34	60.7%	57.5%	-3.2	-5.3%
36	60.4%	47.5%	-12.9	-21.4%
37	39.0%	38.2%	-0.9	-2.2%
41	62.2%	66.4%	4.2	6.7%
45	59.2%	55.8%	-3.4	-5.7%
48	32.1%	30.6%	-1.6	-4.9%
50	81.0%	86.0%	4.9	6.1%
51	83.6%	80.7%	-2.9	-3.5%
53	43.3%	48.5%	5.2	12.1%
58	50.4%	45.1%	-5.3	-10.5%
59	38.6%	46.1%	7.5	19.5%
<b>średnia</b>	<b>59.0%</b>	<b>58.9%</b>	<b>-0.1</b>	<b>-0.2%</b>



Rysunek 6.4 Udział pojazdów bez wykupionego abonamentu w liczbie miejsc postojowych pozostawionych przez pojazdy abonentów – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Współczynnik determinacji  $R^2$  wyniósł 0,74, a skorygowany współczynnik determinacji  $R^2$  równy był 0,69. Modelowane wartości wahały się od 0,0% do 86,0%. Przeciętnie, analizowany udział wynosił 28,5% (przy odchyleniu standardowym wynoszącym 24,2%).

Chcąc wyznaczyć na podstawie modelowanych wartości  $X_{N-ABO}$  liczbę pojazdów zaparkowanych przez pojazdy nienależące do abonentów SPP skorzystano ze wzoru 6.14.

$$L_{N-ABO} = (1 - U_{ABO}) * X_{N-ABO} * L_{MP} \quad (6.14)$$

gdzie:

$L_{N-ABO}$  – liczba pojazdów zaparkowanych przez pojazdy nienależące do abonentów danego rejonu komunikacyjnego w godzinie szczytu [pojazdy],

$U_{ABO}$  – udział pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym w danym rejonie komunikacyjnym w godzinie szczytu [%],

$X_{N-ABO}$  – udział pojazdów bez abonamentu w liczbie miejsc dostępnych po pierwotnym obciążeniu przestrzeni parkingowej popytem pochodzącym od abonentów [%],

$L_{MP}$  – liczba miejsc postojowych możliwych do włączenia do SPP w danym rejonie komunikacyjnym [miejsca].

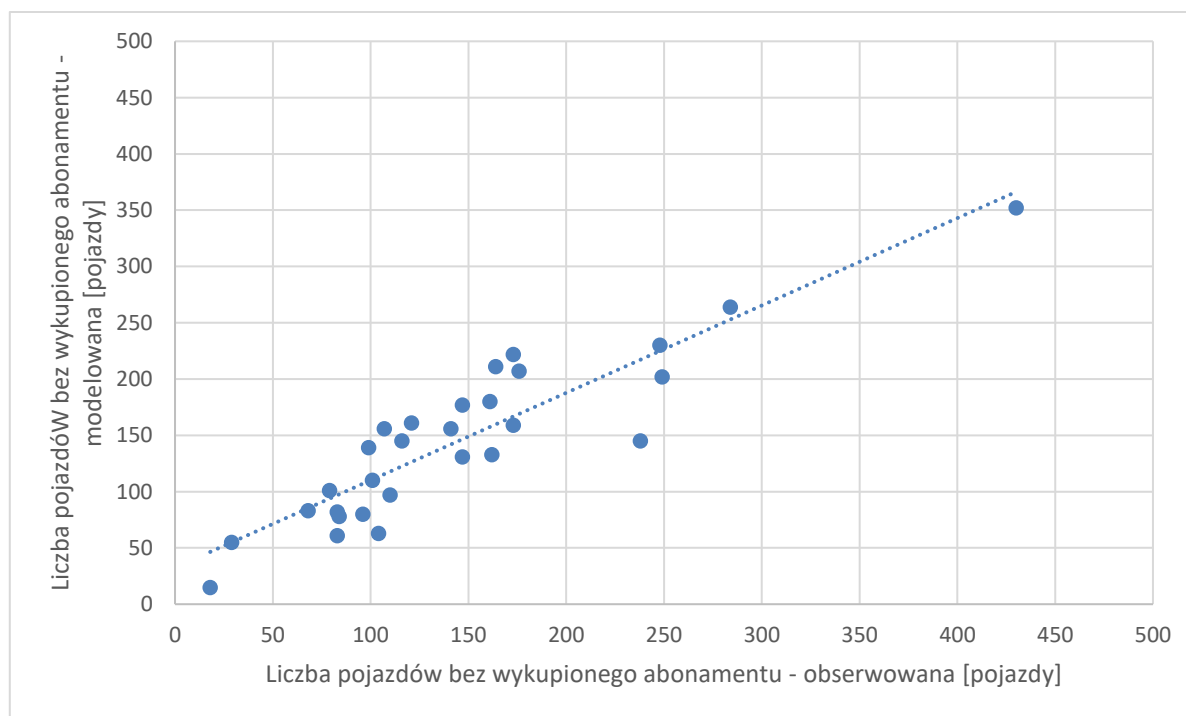
Ostatecznie, modelowane wartości udziału pojazdów bez abonamentów wahały się od 0,0% do 70,2% wszystkich miejsc parkingowych dostępnych w rejonie. Przeciętnie udział wynosił 13,8% (przy odchyleniu standardowym wynoszącym 12,6%). Po przeliczeniu modelowanych udziałów na liczbę pojazdów współczynnik determinacji  $R^2$  wzrósł do 0,82.

Porównanie wartości obserwowanych i modelowanych liczby pojazdów nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego przedstawione zostało w tabeli 6.8 oraz na rysunku 6.5.

Tabela 6.8 Liczba pojazdów bez wykupionego abonamentu – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Rejon	Wartość obserwowana [pojazdy]	Wartość modelowana [pojazdy]	Bezwzględna różnica [pojazdy]	Względna różnica [%]	SQV [-]
3	29	55	26	90.2%	0.67
5	110	97	-13	-11.8%	0.89
6	238	145	-93	-39.0%	0.62
7	173	159	-14	-7.8%	0.91
9	83	82	-1	-1.5%	0.99
10	68	83	15	22.7%	0.84
11	121	161	40	32.8%	0.73
13	147	177	30	20.5%	0.80
14	147	131	-16	-11.1%	0.88
15	101	110	9	8.7%	0.92
16	104	63	-41	-39.1%	0.71
17	430	352	-78	-18.1%	0.73
18	162	133	-29	-17.9%	0.81
21	116	145	29	24.8%	0.79
22	99	139	40	40.7%	0.71
23	173	222	49	28.1%	0.73
30	176	207	31	17.6%	0.81
33	164	211	47	28.5%	0.73
34	248	230	-18	-7.3%	0.90

Rejon	Wartość obserwowana [pojazdy]	Wartość modelowana [pojazdy]	Bezwzględna różnica [pojazdy]	Względna różnica [%]	SQV [-]
36	18	15	-3	-18.8%	0.93
37	83	61	-22	-26.5%	0.81
41	107	156	49	46.0%	0.68
45	141	156	15	10.8%	0.89
48	96	80	-16	-16.9%	0.86
50	284	264	-20	-6.9%	0.90
51	84	78	-6	-6.9%	0.94
53	79	101	22	27.9%	0.80
58	249	202	-47	-19.1%	0.77
59	161	180	19	11.8%	0.87
<b>suma</b>	<b>4191</b>	<b>4195</b>	<b>4</b>	<b>0.1%</b>	<b>0.99</b>
<b>średnia</b>			<b>29</b>	<b>22.8%</b>	<b>0.81</b>



Rysunek 6.5 Liczba pojazdów bez wykupionego abonamentu – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

#### 6.4.7 Elastyczność cenowa popytu parkingowego pochodzącego od użytkowników nieposiadających wykupionych abonamentów postojowych

Elastyczność popytu rozumiana jest w ekonomii jako stosunek względnej zmiany wielkości popytu do względnej zmiany czynnika, który tę zmianę wywołał. W przypadku elastyczności cenowej popytu czynnikiem tym jest zmiana ceny<sup>27</sup>. Dzięki informacjom zebranych w ramach ankiet omówionych w podrozdziale 5.3, udało się uwzględnić w modelu SPP czynnik elastyczności cenowej popytu parkingowego na poziomie poszczególnych rejonów transportowych.

Jedno z zagadnień poruszonych w opracowanym formularzu badawczym miało na celu określenie udziału rezygnacji z parkowania w konsekwencji podniesienia wysokości opłaty postojowej. Zadaniem respondenta było wskazanie poziomów cenowych dla każdej z pięciu z góry wyznaczonych wielkości prawdopodobieństwa rezygnacji z parkowania. W ankietach deklarowano następujące poziomy cenowe:

- C<sub>0</sub>: koszt, dla którego prawdopodobieństwo rezygnacji z parkowania wynosiłoby 0% (tj. odpowiedź „do tej wysokości ceny na pewno zaparkuję”),
- C<sub>25</sub>: koszt, dla którego prawdopodobieństwo rezygnacji z parkowania wynosiłoby 25% (“raczej zaparkuję”),
- C<sub>50</sub>: koszt, dla którego prawdopodobieństwo rezygnacji z parkowania wynosiłoby 50% (“może zaparkuję, może nie”),
- C<sub>75</sub>: koszt, dla którego prawdopodobieństwo rezygnacji z parkowania wynosiłoby 75% (“raczej nie zaparkuję”),
- C<sub>100</sub>: koszt, dla którego prawdopodobieństwo rezygnacji z parkowania wynosiłoby 100% („od tej wysokości ceny na pewno nie zaparkuję”).

Analizując otrzymane wyniki ankiet, zauważono, że dla poszczególnych rejonów, wartości poziomów cenowych od C<sub>0</sub> do C<sub>100</sub>, mają zależność bliską zależności liniowej. Zależność tę dostrzeżono zarówno w przypadku wyników ankiet przeprowadzonych w poszczególnych rejonach komunikacyjnych, jak i dla uśrednionych wartości wyznaczonych na bazie całego zbioru ankiet w krakowskiej SPP. Na tej podstawie przyjęto więc, iż udział rezygnacji z postoju w danym rejonie komunikacyjnym w zależności od wysokości opłaty parkingowej przyjmie postać jak na rysunku 6.6.

<sup>27</sup> Posługując się [117]: „Elastyczność cenowa popytu jest to względna zmiana ilości popytu w stosunku do względnej zmiany ceny danego dobra. Zwykle jest ona ujemna, gdyż zgodnie z prawem popytu, gdy cena rośnie, to ilość popytu maleje i odwrotnie. Do obliczania zmian ilościowych popytu zależnie od zmiany ceny towaru służy współczynnik elastyczności cenowej popytu. W najprostszym sposobie obliczamy go posługując się następującym wzorem:

$$E_{CPp} = \frac{\Delta P_p}{P_p} : \frac{\Delta C}{C}$$

gdzie:

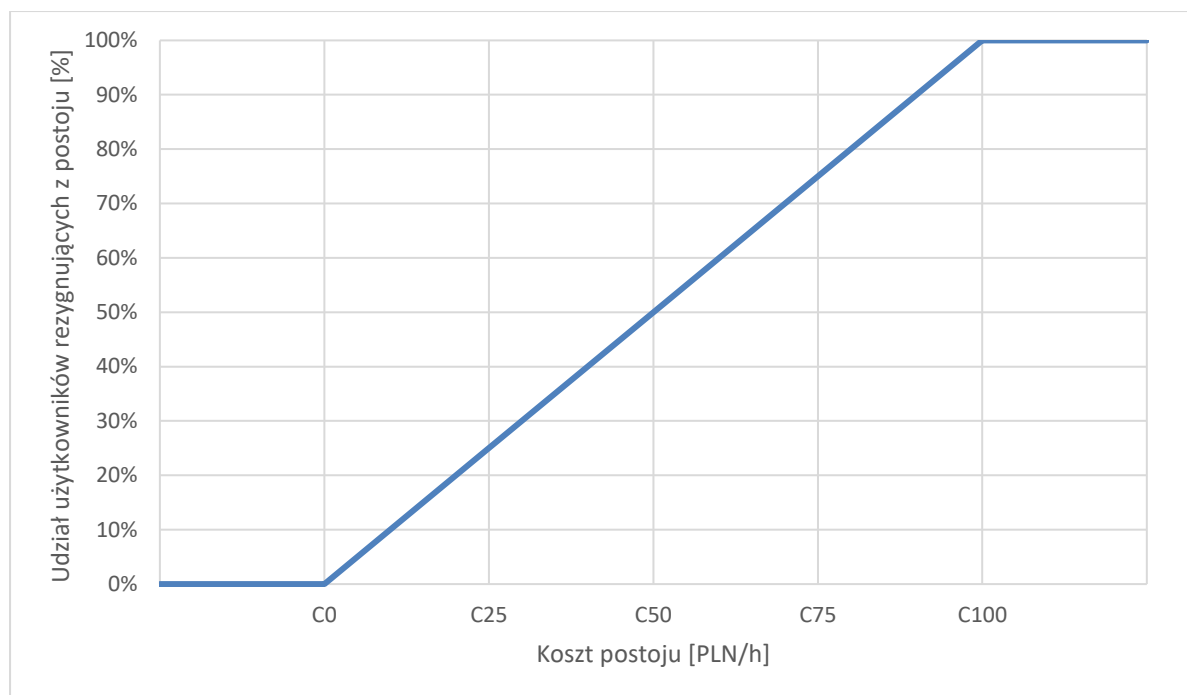
P<sub>p</sub> – popyt w okresie bazowym;

Δ P<sub>p</sub> – przyrost lub spadek popytu w okresie badanym;

C – cena w okresie bazowym;

Δ C – przyrost lub spadek ceny w okresie badanym.

Współczynniki elastyczności kształtują się w granicach od zera do nieskończoności.”



Rysunek 6.6 Udział użytkowników rezygnujących z postojów w zależności od wysokości kosztu postojowego w danym rejonie komunikacyjnym

Modelując elastyczność cenową popytu parkingowego spostrzeżono ponadto, iż cena wskazana jako ta, dla której udział rezygnacji z zaparkowania wynosi 50% ( $C_{50}$ ) stanowi liczbę bardzo bliską średniej arytmetycznej ze wszystkich pięciu wartości od  $C_0$  do  $C_{100}$ , tj. że zachodzi właściwość ujęta w równaniu 6.15.

$$C_{50} \approx \frac{C_0 + C_{25} + C_{50} + C_{75} + C_{100}}{5} \quad (6.15)$$

Na potrzeby niniejszej dysertacji średnią arytmetyczną wielkości poziomów cenowych od  $C_0$  do  $C_{100}$  uzyskaną dla  $i$ -tego rejonu komunikacyjnego nazwano ceną referencyjną  $C_i^R$ . Postanowiono bowiem modelować tę wartość jako punkt odniesienia dla modelowania wszystkich poziomów cenowych wyznaczających poszczególne progi procentowych udziałów rezygnacji z zaparkowania w danym rejonie komunikacyjnym.

W celu modelowania wielkości ceny referencyjnej dla poszczególnych rejonów komunikacyjnych skorzystano z regresji wektorów nośnych typu NuSVR (ang. *Nu Support Vector Regression*) [105]. Metoda ta stanowi algorytm nadzorowanego uczenia maszynowego, który stosowany jest do prognozowania wartości dyskretnych. Jak wszystkie rodzaje regresji wektorów nośnych, tak i NuSVR bazuje na wykorzystywaniu maszyn wektorów nośnych (ang. *Support Vector Machines*). Maszyny wektorów nośnych stanowią natomiast zestaw metod używanych do klasyfikacji, regresji oraz wykrywania anomalii w danych. Implementowane dane wejściowe służące nauce modelu tworzą tzw. hiperpłaszczyzny klasyfikujące (ang. *Support Vector Classifiers*). Zadaniem regresji wektorów nośnych jest odnalezienie hiperpłaszczyzny wyznaczającej wartość modelowanej zmiennej dla zadanych wartości wektorów wejściowych.

Aby wykorzystana metoda uczenia maszynowego mogła dokonać prawidłowej klasyfikacji, wszystkie dane wejściowe stanowiące zmienne objaśniające, a także zmienną objaśnianą należało najpierw zestandaryzować.



W przypadku modelowanej zmiennej, jako zmienne objaśniające posłużyły:

- powierzchnia biurowa,
- stosunek powierzchni mieszkalnej do powierzchni niemieszkalnej,
- dostępność transportowa komunikacją zbiorową w szczycie popołudniowym,
- stosunek sumy atrakcji podróży w szczycie porannym i popołudniowym do powierzchni całkowitej,
- odległość centroidy danego rejonu komunikacyjnego od centroidy pierwszego rejonu komunikacyjnego.

Kod źródłowy zawierający zestandaryzowane wartości, których użyto do wytrenowania modelu regresji NuSVR w celu określenia wielkości ceny referencyjnej w poszczególnych rejonach komunikacyjnych, przedstawiono w załączniku 6.3. Opracowany skrypt powstał w środowisku programistycznym Python [106].

Kolejnym krokiem podjętym w celu uwzględnienia elastyczności cenowej popytu w modelu SPP było wyznaczenie wskaźników pozwalających na zastosowanie obliczonej referencyjnej ceny do określenia progów cenowych dla poszczególnych poziomów udziałów rezygnacji z parkowania. Na bazie wszystkich zebranych ankiet obliczono współczynniki, których użyto do opracowania równań 6.16 do 6.20. Wzory miały taką samą postać dla każdego i-tego rejonu komunikacyjnego.

$$C_i^0 = 0,58 * C_i^R \quad (6.16)$$

$$C_i^{25} = 0,80 * C_i^R \quad (6.17)$$

$$C_i^{50} = 0,99 * C_i^R \quad (6.18)$$

$$C_i^{75} = 1,19 * C_i^R \quad (6.19)$$

$$C_i^{100} = 1,44 * C_i^R \quad (6.20)$$

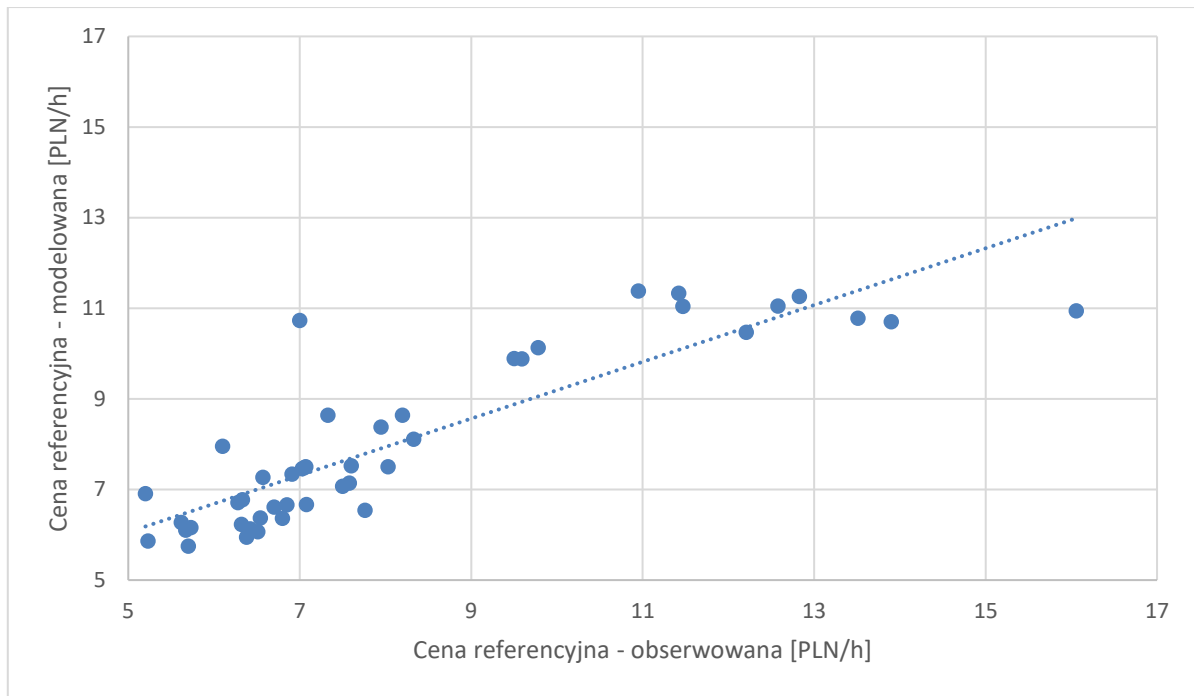
W tabeli 6.9 zestawiono obserwowane i modelowane wartości referencyjnej ceny dla poszczególnych rejonów. Ponadto, w tabeli zawarto także ceny dla poszczególnych poziomów udziałów rezygnacji z parkowania, które wyznaczono na podstawie wartości modelowanych i opracowanych wzorów 6.16 do 6.20.

Tabela 6.9 Referencyjna cena dla poszczególnych rejonów komunikacyjnych wraz z poziomami udziałów rezygnacji z parkowania

Rejon	Cena referencyjna [PLN/h]		Bezwzględna różnica [PLN/h]	Względna różnica [%]	C <sub>0</sub>	C <sub>25</sub>	C <sub>50</sub>	C <sub>75</sub>	C <sub>100</sub>
	Obserwacja	Model							
1	8.20	8.64	0.44	5.3%	5.01	6.93	8.58	10.23	12.42
2	7.03	7.46	0.43	6.2%	4.33	5.99	7.41	8.84	10.74
3	9.59	9.88	0.29	3.0%	5.73	7.93	9.81	11.71	14.21
4	10.95	11.38	0.43	4.0%	6.60	9.14	11.31	13.49	16.38
5	9.50	9.89	0.39	4.1%	5.73	7.94	9.82	11.72	14.23
6	12.58	11.05	-1.53	-12.2%	6.40	8.87	10.98	13.09	15.90
7	11.47	11.04	-0.43	-3.8%	6.40	8.87	10.97	13.08	15.88
8	13.90	10.70	-3.20	-23.0%	6.20	8.59	10.63	12.68	15.39
9	12.83	11.26	-1.57	-12.2%	6.53	9.05	11.19	13.35	16.21
10	11.42	11.33	-0.09	-0.8%	6.57	9.10	11.26	13.43	16.30
11	16.06	10.94	-5.12	-31.9%	6.34	8.78	10.86	12.96	15.73
12	9.78	10.13	0.35	3.6%	5.87	8.13	10.06	12.00	14.57
13	12.21	10.47	-1.74	-14.3%	6.07	8.40	10.40	12.40	15.06

Rejon	Cena referencyjna [PLN/h]		Bezwzględna różnica [PLN/h]	Względna różnica [%]	C <sub>0</sub>	C <sub>25</sub>	C <sub>50</sub>	C <sub>75</sub>	C <sub>100</sub>
	Obserwacja	Model							
14	13.51	10.78	-2.73	-20.2%	6.25	8.66	10.71	12.78	15.51
15	6.10	7.95	1.85	30.3%	4.61	6.38	7.89	9.42	11.43
16	5.20	6.91	1.71	32.8%	4.00	5.55	6.86	8.18	9.94
17	7.06	7.49	0.43	6.1%	4.34	6.02	7.44	8.88	10.78
18	7.76	6.54	-1.22	-15.8%	3.79	5.25	6.49	7.75	9.41
21	6.51	6.07	-0.44	-6.8%	3.52	4.87	6.03	7.19	8.73
22	7.33	8.64	1.31	17.8%	5.01	6.94	8.58	10.24	12.43
23	6.85	6.66	-0.19	-2.7%	3.86	5.35	6.62	7.90	9.59
27	7.50	7.07	-0.43	-5.8%	4.10	5.67	7.02	8.37	10.17
28	8.03	7.50	-0.53	-6.6%	4.35	6.03	7.45	8.89	10.80
30	7.07	7.50	0.43	6.1%	4.35	6.02	7.45	8.89	10.79
33	6.57	7.27	0.70	10.7%	4.22	5.84	7.23	8.62	10.47
34	6.28	6.71	0.43	6.9%	3.89	5.39	6.67	7.96	9.66
36	5.73	6.16	0.43	7.5%	3.57	4.95	6.12	7.30	8.86
37	6.38	5.95	-0.43	-6.8%	3.45	4.78	5.91	7.05	8.56
39	7.58	7.14	-0.44	-5.8%	4.14	5.73	7.09	8.46	10.27
40	8.33	8.11	-0.22	-2.7%	4.70	6.51	8.05	9.61	11.66
41	7.00	10.73	3.73	53.3%	6.22	8.62	10.66	12.72	15.44
45	6.33	6.77	0.44	6.9%	3.92	5.43	6.72	8.02	9.74
46	6.42	6.13	-0.29	-4.5%	3.55	4.92	6.09	7.27	8.82
47	5.23	5.86	0.63	12.1%	3.40	4.71	5.82	6.95	8.43
48	6.70	6.61	-0.09	-1.3%	3.83	5.31	6.57	7.84	9.51
50	6.91	7.34	0.43	6.2%	4.25	5.89	7.29	8.70	10.56
51	7.95	8.38	0.43	5.5%	4.86	6.73	8.33	9.94	12.06
52	5.62	6.27	0.65	11.6%	3.64	5.04	6.23	7.43	9.03
53	6.32	6.23	-0.09	-1.4%	3.61	5.01	6.19	7.39	8.97
54	7.60	7.52	-0.08	-1.0%	4.36	6.04	7.47	8.92	10.83
55	7.08	6.67	-0.41	-5.8%	3.86	5.35	6.62	7.90	9.59
58	6.80	6.36	-0.44	-6.5%	3.69	5.11	6.32	7.54	9.15
59	6.54	6.37	-0.17	-2.6%	3.69	5.12	6.33	7.55	9.17
60	5.67	6.10	0.43	7.6%	3.54	4.90	6.06	7.23	8.78
61	5.70	5.75	0.05	0.9%	3.33	4.62	5.71	6.82	8.28
<b>średnia</b>	<b>8.16</b>	<b>8.04</b>	<b>-0.12</b>	<b>-1.5%</b>	<b>4.66</b>	<b>6.45</b>	<b>7.98</b>	<b>9.53</b>	<b>11.57</b>

Dla stworzonego modelu wskaźnik determinacji  $R^2$  wyniósł 0,76 przy jednoczesnym błędzie średniokwadratowym wynoszącym 0,85 PLN, co można uznać za wynik dobry. W większości przypadków bezwzględna różnica wynosiła kilkadziesiąt groszy. Działo się tak przede wszystkim w rejonach komunikacyjnych, dla których obserwowane referencyjne ceny były niższe. Graficzne porównanie modelowanych i obserwowanych wartości ceny referencyjnej przedstawiono na rysunku 6.7.



Rysunek 6.7 Referencyjna cena dla poszczególnych rejonów komunikacyjnych – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Ze względu na fakt, iż dane empiryczne dotyczące elastyczności cenowej popytu parkingowego zebrane były wyłącznie w obszarze ścisłego centrum i śródmieścia, postanowiono dodatkowo zaproponować czynnik korygujący uwzględniający odległość rejonu od punktu centralnego miasta. W ten sposób uwzględniono spadek skłonności użytkowników do opłacenia postoiu wraz ze zwiększeniem odległości od obszarów centralnych miasta. Wskaźnik korygujący stosowano wyłącznie w przypadku rejonów, których centroidy znajdowały się dalej od punktu centralnego miasta, niż najdalej położona od niego centroida uwzględniona w ramach badań ankietowych. Za punkt centralny przyjęto centroidę pierwszego rejonu komunikacyjnego, a współczynniki korygujące nakładano na ceny referencyjne poprzez przemnożenie ich przez obliczony wskaźnik. Współczynnika korygującego nie uwzględniano w przypadku, gdy odległość od centroidy pierwszego rejonu mieściła się w zasięgu 2,7 km, tj. gdy centroida danego rejonu komunikacyjnego znajdowała się w zasięgu obszaru na podstawie którego wytrenowano model uczenia maszynowego. Współczynnik korygujący danego rejonu komunikacyjnego powstawał przez podzielenie odległości 2,7 km przez odległość jego centroidy od punktu centralnego miasta.

Na podstawie poziomów cenowych od  $C_0$  do  $C_{100}$ , obliczonych na podstawie skorygowanych wartości cen referencyjnych, dla każdego rejonu transportowego wyznaczono prostą regresji pozwalającą określić udział użytkowników skłonnych do zaparkowania przy danym poziomie cenowym. Udział odnosił się do liczby wszystkich początkowo chętnych do zaparkowania w danym rejonie komunikacyjnym i obliczany był według wzoru 6.21:

$$U_p(C_i) = a * C_i + b \quad (6.21)$$

gdzie:

$U_p(C_i)$  – udział chętnych do zaparkowania w  $i$ -tym rejonie komunikacyjnym przy koszcie  $C_i$  za godzinę postoiu w tym rejonie,

$a$  – współczynnik kierunkowy prostej równania regresji liniowej,

$b$  – wyraz wolny prostej równania regresji liniowej.

Ze względu na konieczność przyjmowania przez wielkość udziału wartości z przedziału od zera do jednego, należało wykluczyć wszystkie wyniki wykraczające poza ten zakres. Niezbędnym było zatem przyjęcie  $U_p(C_i) = 0$  we wszystkich przypadkach, w których równanie regresji dawało wynik ujemny oraz  $U_p(C_i) = 1$  dla wszystkich wyników przekraczających wartość 1.

Ostateczną więc daną wejściową do skryptu modelu, która pozwoliła zidentyfikować reakcję popytu parkingowego na zmianę kosztu za godzinę postoju, były parametry regresji liniowej modelującej elastyczność cenową popytu dla każdego z rejonów komunikacyjnych. Eliminacja potencjalnych wyników spoza pożądanego przedziału (od zera do jednego) następowała w kodzie przy uwzględnieniu dodatkowych warunków ograniczających.

### 6.5 Implementacja modelu funkcjonowania SPP w środowisku programistycznym

Elementem spajającym wszystkie części składowe modelu funkcjonowania SPP był skrypt przygotowany w środowisku programistycznym Python [107]. Integrował on w sobie wszystkie modelowane dane wejściowe oraz dane wzięte wprost z modelu transportowego aglomeracji krakowskiej. Dzięki temu możliwe było zaprogramowanie algorytmu rozkładu popytu parkingowego między wszystkie rejony komunikacyjne miasta.

Aby zweryfikować, czy przygotowane dane wejściowe i algorytm dadzą właściwe odwzorowanie istniejącej sytuacji w SPP, koniecznym było stworzenie skryptu, w którym zakodowany stan SPP był zgodny z obowiązującymi w październiku 2018 zasadami jej funkcjonowania. Skrypt ten służył wyłącznie do kalibracji modelu.

Kalibracja modelu polegała natomiast na testowaniu różnych sposobów modelowania poszczególnych zmiennych opisanych w podrozdziałach 6.4.2 do 6.4.7. i następujących po tym próbach wyboru kombinacji modelowanych zmiennych, która dawała wynik poziomów zajętości poszczególnych rejonów komunikacyjnych najbardziej zbliżony do poziomów obserwowanych w rzeczywistości. Miarami użytymi do oceny jakości modelu funkcjonowania SPP były wskaźnik determinacji ( $R^2$ ), błąd średniokwadratowy regresji (RMSE) oraz średni bezwzględny błąd procentowy (MAPE). W przypadku zmiennych modelowanych przy pomocy równań regresji, zakładano różne możliwe zestawy zmiennych objaśniających, po czym testowano indywidualną zbieżność otrzymywanych modeli poszczególnych składowych modelu z danymi obserwowanymi. Kolejnym krokiem było testowanie wpływu poszczególnych modelowanych zmiennych na wyniki poziomów zajętości wskazanych przez model funkcjonowania SPP.

Dane przestrzenne związane ze stworzeniem macierzy sąsiedztwa rejonów komunikacyjnych także podlegały kalibracji. Niezbędnym było bowiem ustalenie dopuszczalnej odległości między centroidami rejonów komunikacyjnych, która pozwalała na zakwalifikowanie rejonów jako rejony sąsiednie. Ze względu na otrzymany w ankietach maksymalny tolerowany czas dojazdu do miejsca docelowego, który nie mógł być przedmiotem zmian, postanowiono przetestować w procesie kalibracji różne wielkości prędkości dojazdu pieszego.

Ostatecznie, w celu technicznego umożliwienia skalibrowania modelu do otrzymanych pomiarów, koniecznym było uniemożliwienie skryptowi modyfikacji wektora z góry zadanych kosztów za godzinę postoju w SPP. W związku z powyższym, ów wektor został zaimplementowany jako niemodyfikowalna dana wejściowa w początkowej części skryptu, przed rozpoczęciem iteracyjnego procesu rozkładu popytu parkingowego. Ponadto, aby móc odnieść ceny wskazane w ankietach pozyskanych w 2019 roku do pomiarów zajętości przeprowadzonych w roku 2018, przeskalowano wszystkie ceny do poziomów z 2018 roku. Do tego celu wykorzystano stosunek przeciętnego wynagrodzenia brutto w sektorze przedsiębiorstw roku 2019 do 2018, który wyniósł 1,073 [108]. W modelu wskaźnik ten opisano parametrem 'price\_factor'. Pełny kod źródłowy służący kalibracji modelu zgodnie z algorytmem opisanym w podrozdziale 6.3.1, umieszczony został w załączniku 6.4.

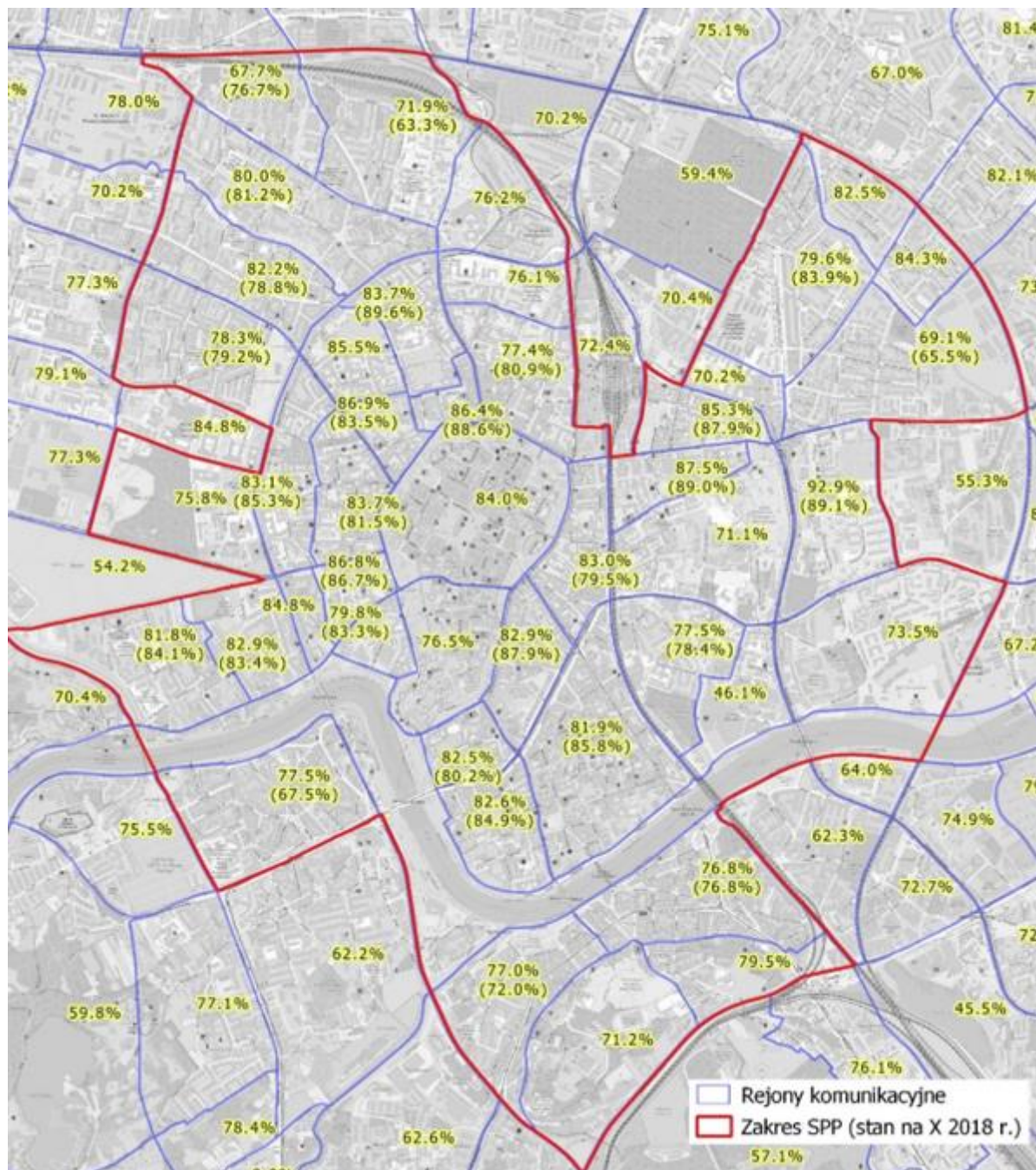
Kod źródłowy, który posłużył do delimitacji SPP według algorytmu opisanego w podrozdziale 6.3.2, umieszczono natomiast w załączniku 6.5. W skrypcie tym wektor kosztu parkowania w SPP za pierwszą godzinę postojową należał do zmiennych elementów kodu. Wartości początkowe wektora 'park\_cost' wynosiły zero dla wszystkich rejonów komunikacyjnych, niezależnie od tego, czy obowiązywała w nich w październiku 2018 r. SPP czy też nie. Wartości omawianego wektora mogły ulegać zmianom w kolejnych iteracjach.

Skrypt służący wyznaczeniu granic obowiązywania SPP posiadał ponadto dwa dodatkowe parametry – napelnienie graniczne oraz krok zwiększania ceny za godzinę postojową. Chcąc przyjąć odpowiedni maksymalny dopuszczalny poziom napelnienia (w skrypcie jako 'max\_occupancy\_target'), skorzystano z literatury przedmiotu według której właściwym jest limit 85% zapelnienia dostępnej podaży parkingowej [86].

Krok, o który ewentualnie w kolejnych iteracjach zwiększany jest koszt za godzinę postojową w rejonie komunikacyjnym, określony został w skrypcie jako 'step' i wyrażany jest w jednostce lokalnej waluty. Przyjęto, iż odpowiednią wartością parametru 'step' będzie 0,50 PLN. Jest to wartość na tyle niewielka, by podnoszenie kosztu postojowego nie powodowało nagłej rezygnacji znaczącej części popytu parkingowego. Jednocześnie wartość ta jest wystarczająco duża, by rozliczanie opłat było wygodne – tak dla użytkowników, jak i dla operatora SPP – i nie wymagało używania bilonu najmniejszych nominałów.

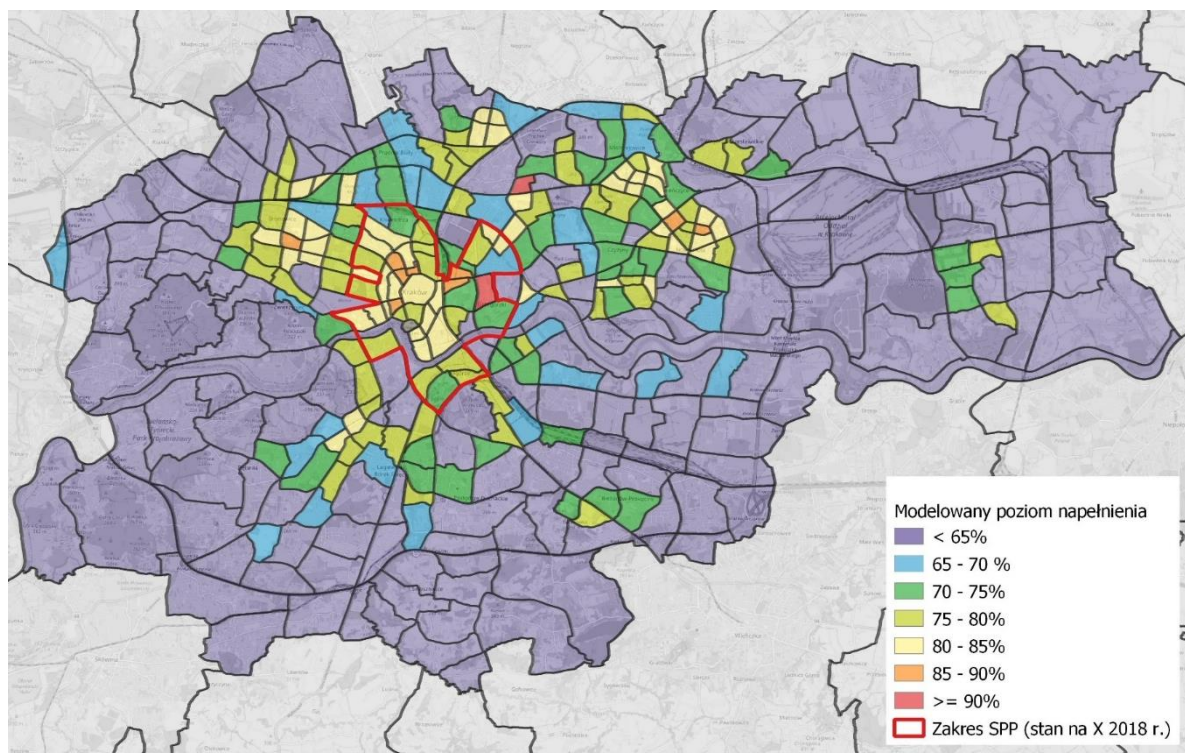
## 6.6 Wyniki rozkładu modelu funkcjonowania SPP w trakcie godziny szczytu

W wyniku przeprowadzenia procedury rozkładu popytu parkingowego w godzinie szczytu, uzyskano poziomy napelnień przedstawione na rysunku 6.8. Wszystkie wartości podkreślono dla poprawy czytelności żółtym kolorem. W przypadku gdy znana była wartość obserwowana, podano ją w nawiasach pod wartością modelowaną.



Rysunek 6.8 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – centrum Krakowa – październik 2018 r.

Mapa tematyczna obrazująca zakresy poziomów napętnień modelowanych w całym obszarze miejskim Krakowa przedstawiono na rysunku 6.9.



Rysunek 6.9 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – obszar miejski Krakowa – październik 2018 r.

Porównanie wyników modelu ze stanem istniejącym dla poziomu zajętości miejsc postojowych przedstawiono w tabeli 6.10.

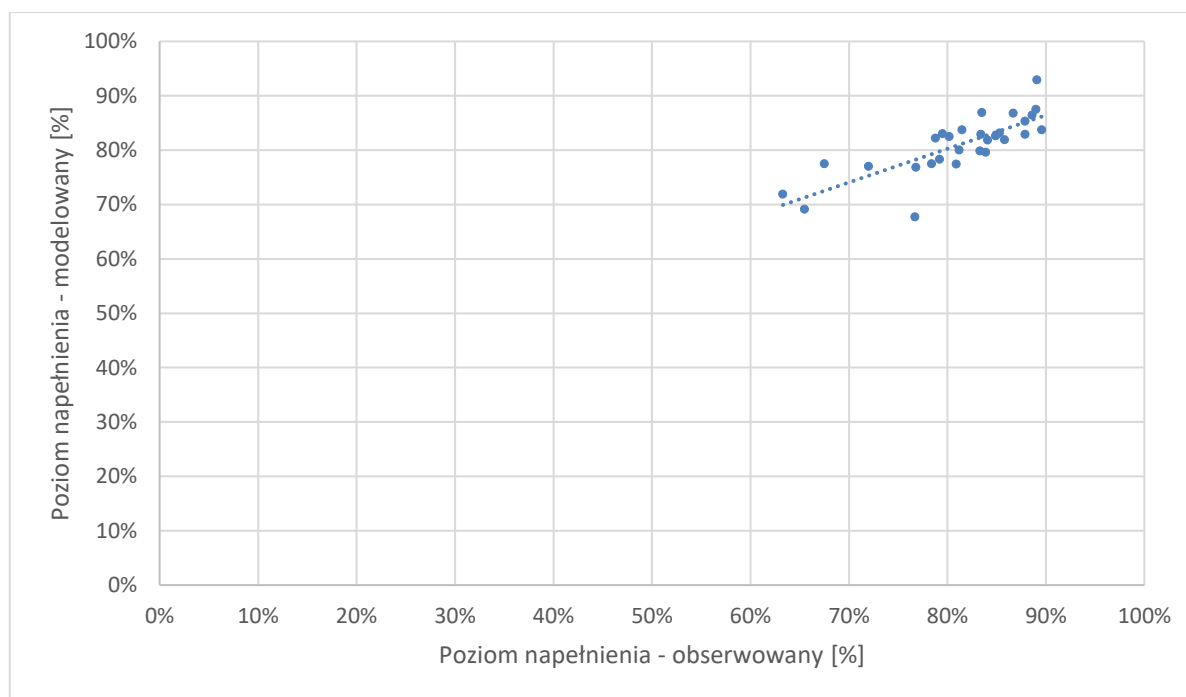
Tabela 6.10 Poziom zajętości miejsc postojowych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Rejon	Wartość obserwowana [%]	Wartość modelowana [%]	Bezwzględna różnica [p.p.]	Względna różnica [%]
3	83.3%	79.8%	-3.5	-4.2%
5	86.7%	86.8%	0.0	0.0%
6	85.3%	83.1%	-2.2	-2.5%
7	81.5%	83.7%	2.2	2.7%
9	83.5%	86.9%	3.3	4.0%
10	88.6%	86.4%	-2.2	-2.5%
11	89.6%	83.7%	-5.9	-6.6%
13	80.9%	77.4%	-3.5	-4.4%
14	79.5%	83.0%	3.5	4.4%
15	87.9%	82.9%	-5.1	-5.8%
16	80.2%	82.5%	2.3	2.9%
17	85.8%	81.9%	-3.9	-4.6%
18	84.9%	82.6%	-2.3	-2.7%
21	67.5%	77.5%	10.0	14.8%
22	83.4%	82.9%	-0.5	-0.6%

Rejon	Wartość obserwowana [%]	Wartość modelowana [%]	Bezwzględna różnica [p.p.]	Względna różnica [%]
23	84.1%	81.8%	-2.3	-2.7%
30	79.2%	78.3%	-0.9	-1.1%
33	78.8%	82.2%	3.4	4.3%
34	81.2%	80.0%	-1.1	-1.4%
36	76.7%	67.7%	-8.9	-11.6%
37	63.3%	71.9%	8.6	13.6%
41	87.9%	85.3%	-2.6	-3.0%
45	83.9%	79.6%	-4.3	-5.2%
48	65.5%	69.1%	3.6	5.5%
50	89.1%	92.9%	3.8	4.3%
51	89.0%	87.5%	-1.5	-1.7%
53	78.4%	77.5%	-0.9	-1.2%
58	76.8%	76.8%	0.0	0.0%
59	72.0%	77.0%	5.0	7.0%
<b>średnia</b>	<b>81.2%</b>	<b>81.0%</b>	<b>-0.2</b>	<b>0.0%</b>

W rejonach komunikacyjnych objętych pomiarami patrolowymi przeciętne napełnienie parkingowe wynosiło 81,2%. Zestawiając tę wartość ze średnią na poziomie 81,0%, którą uzyskano z modelu, można stwierdzić, iż model bardzo dobrze oddaje przeciętny obraz stopnia zajętości na terenie objętym badaniami. Wartości modelowane uzyskane dla poszczególnych rejonów komunikacyjnych różnią się od pomiarów zazwyczaj o kilka punktów procentowych.

Graficzne zobrazowanie wyników zaprezentowanych w tabeli 6.10 umieszczone zostało na rysunku 6.10.



Rysunek 6.10 Poziom zajętości miejsc postojowych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

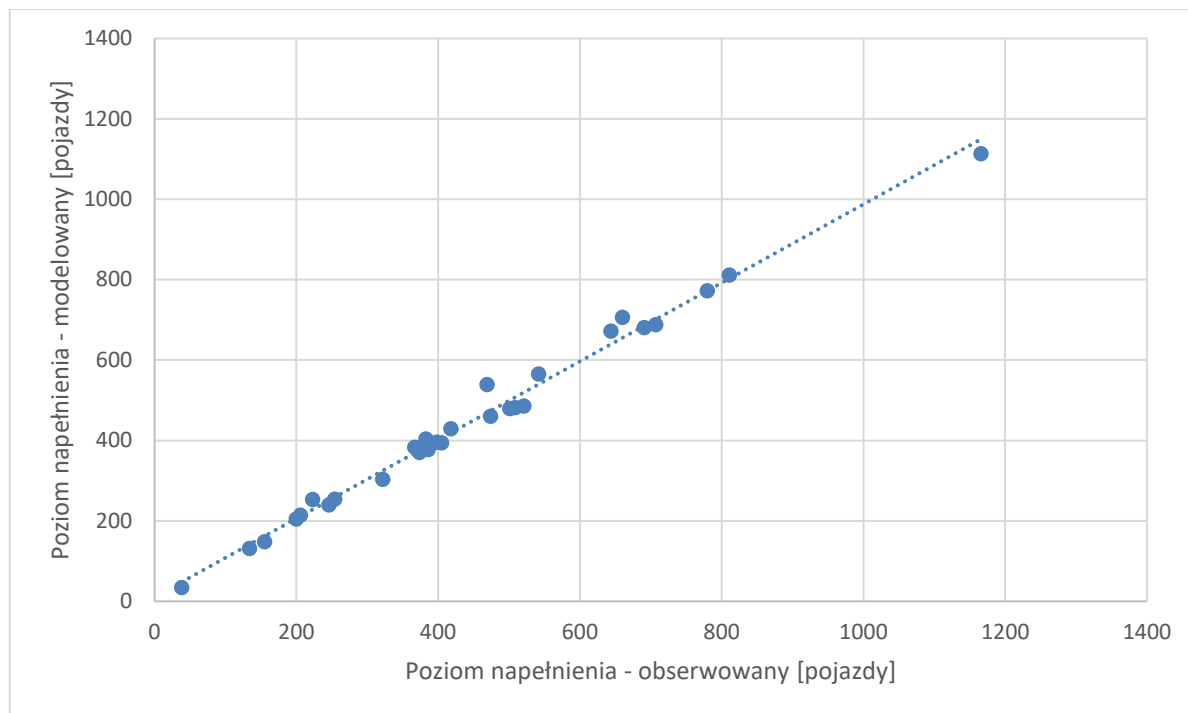


Przełożenie uzyskanych wyników poziomów nappełnień na liczbę zaparkowanych pojazdów zaprezentowano w tabeli 6.11.

Tabela 6.11 Liczba pojazdów zajmujących miejsca postojowe w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Rejon	Wartość obserwowana [pojazdy]	Wartość modelowana [%]	Bezwzględna różnica [pojazdy]	Względna różnica [%]	SQV
3	155	148	-7	-4.2%	0.95
5	254	254	0	0.0%	1.00
6	386	377	-10	-2.5%	0.95
7	418	429	11	2.7%	0.95
9	206	214	8	4.0%	0.95
10	246	240	-6	-2.5%	0.96
11	521	486	-34	-6.6%	0.87
13	501	479	-22	-4.4%	0.91
14	367	383	16	4.4%	0.92
15	322	303	-19	-5.8%	0.91
16	200	205	6	2.9%	0.96
17	1166	1113	-53	-4.6%	0.87
18	405	394	-11	-2.7%	0.95
21	469	539	70	14.8%	0.76
22	398	396	-2	-0.6%	0.99
23	707	688	-19	-2.7%	0.93
30	780	772	-9	-1.1%	0.97
33	644	672	28	4.3%	0.90
34	691	681	-9	-1.4%	0.97
36	38	34	-4	-11.6%	0.93
37	223	253	30	13.6%	0.83
41	474	460	-14	-3.0%	0.94
45	509	482	-26	-5.2%	0.90
48	383	404	21	5.5%	0.90
50	542	565	23	4.3%	0.91
51	134	131	-2	-1.7%	0.98
53	374	370	-4	-1.2%	0.98
58	811	811	0	0.0%	1.00
59	660	706	46	7.0%	0.85
<b>suma</b>	<b>12984</b>	<b>12989</b>	<b>5</b>	<b>0.0%</b>	<b>1.00</b>
<b>średnia</b>			<b>18</b>	<b>4.3%</b>	<b>0.93</b>

Reprezentacja graficzna porównania wielkości obserwowanych i modelowanych liczb pojazdów zajmujących miejsca postojowe w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie umieszczona została na rysunku 6.11.



Rysunek 6.11 Liczba pojazdów zajmujących miejsca postojowe w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – zestawienie wartości obserwowanych i modelowanych

Dla wyników przedstawionych w wartościach procentowych uzyskano wskaźnik determinacji  $R^2$  na poziomie 0,63. Oznacza to, iż model wyjaśnia 63% zmienności modelowanej wielkości. Wartość tę uznać można za akceptowalną, zwłaszcza w obliczu specyfiki modelowanej zmiennej, której wartości mogą znajdować się jedynie w wąskim przedziale od zera do jednego. Gdy ten sam wskaźnik wyznaczymy dla wartości wyrażonych w pojazdach, wynosi on już 0,99. Różnica we wskaźnikach determinacji wynika z różnicy w jednostce wielkości. Wartości procentowe napełnienia są ograniczone do zakresu od 0 do 100%, przez co w przypadku nawet niewielkich różnic w odniesieniu do niewielkich modelowanych wielkości otrzymywany procent różnicy jest większy niż w przypadku występowania tej samej różnicy wyrażonej w modelowanej liczbie pojazdów. Spojrzenie na otrzymane wyniki z uwzględnieniem perspektywy liczby zaparkowanych pojazdów pozwala stwierdzić, że model właściwie oddaje warunki funkcjonowania SPP. Dodatkowo potwierdzają to wartości SQV, zarówno na poziomie indywidualnych porównań, jak i dla średniej na poziomie 0,93. Błąd średniokwadratowy regresji RMSE wyniósł 4,2% dla poziomu napełnienia oraz 24 pojazdy dla liczby zaparkowanych pojazdów. Średni bezwzględny błąd procentowy MAPE wyniósł 4,3%.

Przyjęcie wytyczonych w ramach modelu transportowego aglomeracji krakowskiej rejonów transportowych wiązało się jednak z ryzykiem związanym z ich zbyt dużą wielkością. Obawiano się możliwości potencjalnego nieuchwycenia zjawiska związanego z ewentualnym poszukiwaniem alternatywnego miejsca postojowego w zasięgu bardzo krótkiego dojścia pieszego. W rzeczywistości może bowiem dochodzić do przenoszenia się popytu parkingowego do obszarów położonych dużo bliżej, niż by to wynikało z sąsiedztwa centroid najbliższych rejonów komunikacyjnych. Postanowiono zatem sprawdzić wyniki rozkładu popytu parkingowego w przypadku, gdyby przyjmowane jednostki obszarowe były mniejszych rozmiarów. W tym celu postanowiono każdy z rejonów komunikacyjnych modelu aglomeracji krakowskiej, który znajdował się w obrębie III obwodnicy miejskiej (tzw. obwodnicy międzydzielnicowej) podzielić na mniejsze rejony, które na potrzeby dysertacji nazwano

mikrorejonami. Przyjęto, że powierzchnie całkowite rejonów modelu transportowego zostaną podzielone na podjednostki o maksymalnej powierzchni równej powierzchni będącej w zasięgu dwustumetrowego zasięgu dojścia pieszego. Wartość tę przyjęto jako zaokrąglenie wartości otrzymanych na podstawie badań mówiących o przeciętnej odległości miejsca postoju od miejsca docelowego [92], [109]. W wyniku dokonanej za pośrednictwem oprogramowania geoinformacyjnego dezagregacji w obrębie III obwodnicy miejskiej Krakowa w miejsce 120 rejonów transportowych otrzymano 380 mikrorejonów. Łącznie zatem obszar Krakowa podzielono na 621 rejonów i mikrorejonów, zamiast początkowych 363 rejonów transportowych. Mapa pokazująca zastosowany podział w obrębie obwodnicy międzydzielnicowej została umieszczona na rysunku 6.12.



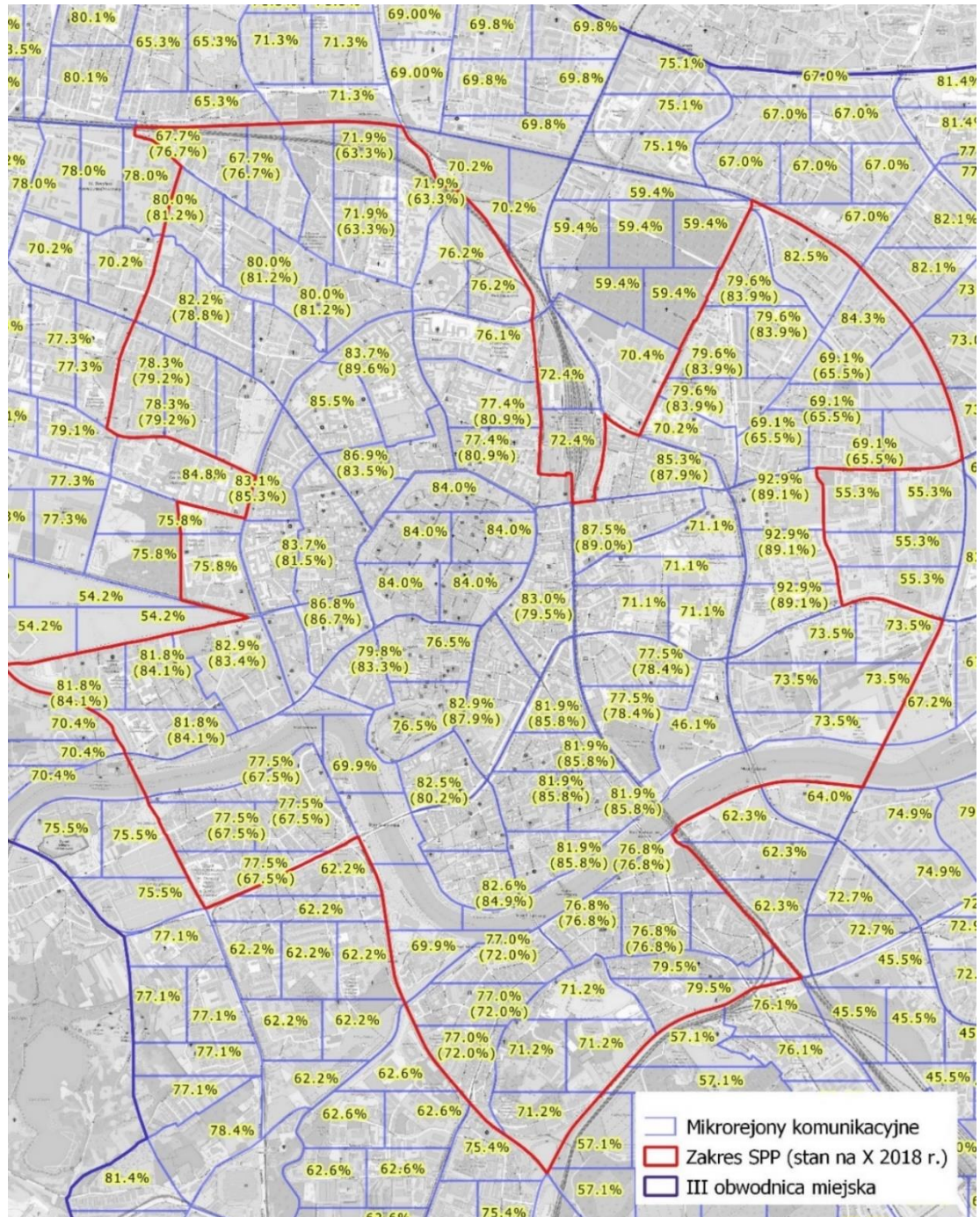
Rysunek 6.12 Podział rejonów komunikacyjnych modelu transportowego aglomeracji krakowskiej na mikrorejony w obrębie obwodnicy międzydzielnicowej

Zastosowanie proponowanego podziału na mniejsze rejony skutkowało zazwyczaj uzyskaniem kilku mikrorejonów wyodrębnionych na podstawie jednego pierwotnego rejonu komunikacyjnego. W ścisłym historycznym centrum miasta zdarzyły się jednak także przypadki rejonów, które ze względu na swój początkowy niewielki rozmiar nie wymagały podziału na mikrorejony.

Przypisania wartości zmiennych objaśniających modelu funkcjonowania SPP do nowopowstałych mikrorejonów dokonano równomiernie, dzieląc początkowe wartości używanych zmiennych (takich jak np. powierzchnia biurowa, mieszkaniowa czy atrakcja

podróży) w zależności od liczby mikrorejonów powstających w miejsce pierwotnego rejonu transportowego. Wyznaczenia macierzy sąsiedztwa mikrorejonów komunikacyjnych oraz macierzy atrakcyjności alternatywnych sąsiednich mikrorejonów dokonano analogicznie, jak w przypadku sposobów opisanych w podrozdziałach 6.4.3 i 6.4.4. Centroidy poszczególnych mikrorejonów określono przy wykorzystaniu oprogramowania GIS, a kryteria dotyczące uznawania mikrorejonów za mikrorejony sąsiednie były takie same, jak w przypadku rejonów zaczerpniętych bezpośrednio z modelu transportowego aglomeracji krakowskiej.

Poziomy modelowany napełnienia otrzymane w wyniku zastosowania podejścia bazującego na podziale obszaru wewnątrz III obwodnicy miasta na mikrorejony przedstawiono na rysunku 6.13.



Rysunek 6.13 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w mikrorejonach w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – centrum Krakowa – październik 2018 r.

Dokonanie rozkładu popytu parkingowego skutkowało równomiernym rozłożeniem popytu między wszystkie mikrorejony wchodzące w zakres obszarowy swoich pierwotnych rejonów komunikacyjnych. Sytuacja taka była możliwa ze względu na brak przepełnienia poszczególnych mikrorejonów oraz obowiązywanie jednolitych stawek opłat za postój w obrębie mikrorejonów będących częścią tych samych rejonów transportowych.

### 6.7 Przeliczenie modelowanych dni do dnia maksymalnego zapotrzebowania na miejsca postojowe

Ze względu na skalibrowanie modelu do godziny szczytu odwzorowującej godzinę 11:00 w dni między wtorkiem a czwartkiem w październiku, postanowiono zweryfikować, czy istnieje okres, w którym zapotrzebowanie na parkowanie jest większe. W tym celu skorzystano z danych, które zostały wykorzystane przez autorkę dysertacji do wyznaczenia miarodajnych okresów przeprowadzania badań zachowań parkingowych użytkowników SPP w jednej z innych prac [110]. Dane te zebrano dla wszystkich dni roboczych roku 2015. Obejmowały one swoim zasięgiem wszystkie parkomaty zlokalizowane w 18 rejonach komunikacyjnych należących wówczas do SPP. Zestawienie obserwowanych średnich poziomów zajętości przestrzeni parkingowej pochodzących od użytkowników wykupujących bilet postojowy w automacie parkingowym przedstawiono w tabeli 6.12. Dane zagregowano dla wszystkich rejonów komunikacyjnych, z rozróżnieniem poszczególnych dni tygodnia w każdym z miesięcy.

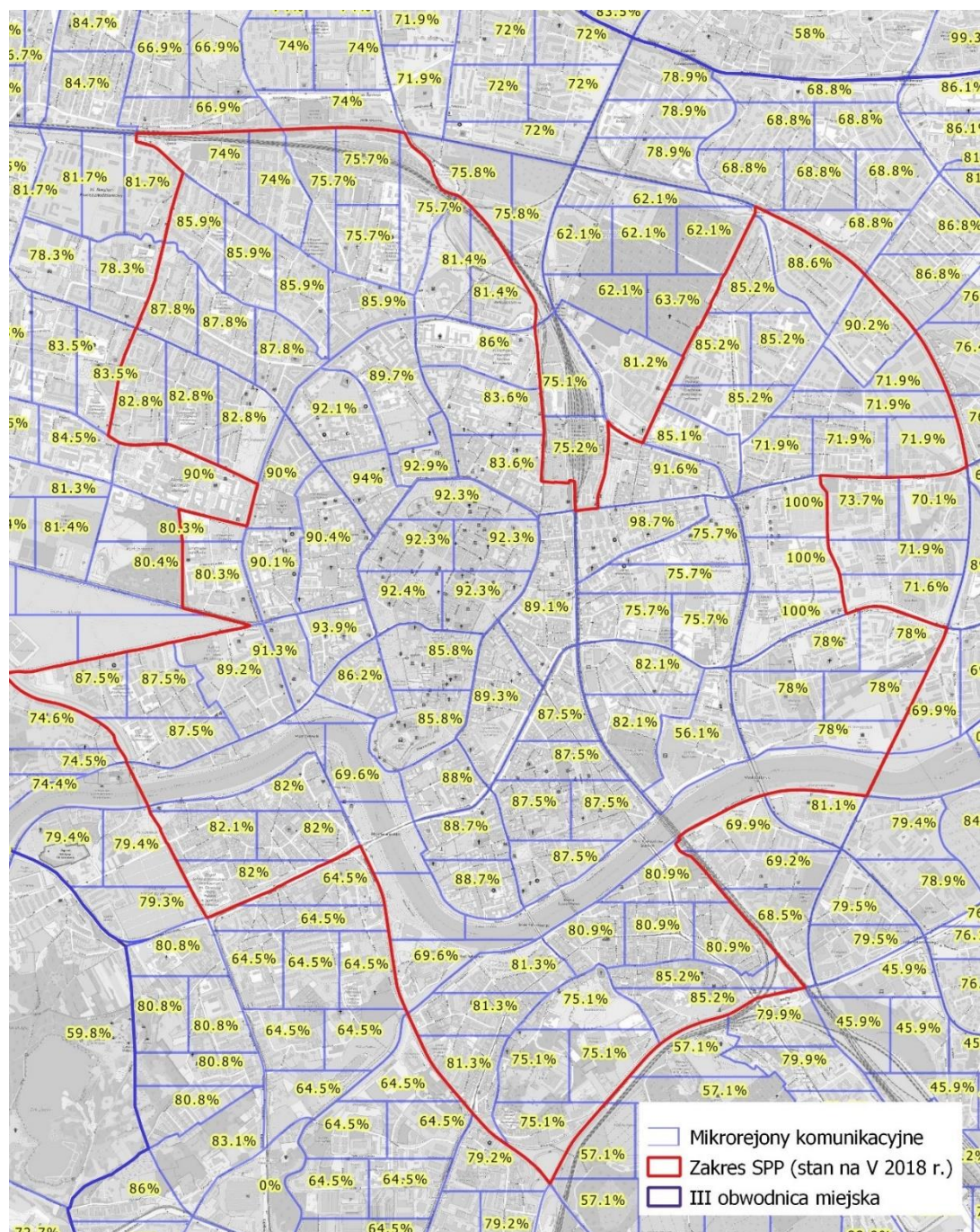
Tabela 6.12 Średni poziom napełnień pochodzących od użytkowników wykupujących bilet postojowy w parkomacie – dla poszczególnych dni tygodnia w każdym z miesięcy 2015 roku

Miesiąc	Dzień tygodnia				
	Poniedziałek	Wtorek	Środa	Czwartek	Piątek
Styczeń	14.3%	14.2%	14.1%	15.4%	15.0%
Luty	14.3%	14.4%	14.1%	14.9%	15.3%
Marzec	15.2%	14.7%	14.4%	14.9%	15.3%
Kwiecień	15.4%	14.7%	15.2%	15.2%	16.0%
Maj	15.7%	15.3%	15.2%	15.6%	<b>17.2%</b>
Czerwiec	16.3%	15.8%	15.3%	16.0%	16.6%
Lipiec	17.1%	16.8%	16.7%	16.8%	16.6%
Sierpień	16.4%	16.9%	17.0%	17.0%	16.8%
Wrzesień	15.5%	15.5%	15.1%	15.6%	15.6%
Październik	14.2%	<b>13.8%</b>	<b>14.1%</b>	<b>14.5%</b>	15.1%
Listopad	13.8%	13.9%	13.9%	14.2%	14.4%
Grudzień	15.3%	14.9%	14.3%	12.9%	14.9%

Na podstawie przedstawionych informacji można stwierdzić, że szczytowy poziom obłożenia w SPP w ciągu całego roku odnotowano w majowe piątki. Żaden z październikowych dni między wtorkiem a czwartkiem nie charakteryzował się tak wysokim zapotrzebowaniem na miejsca postojowe w SPP. Aby móc modelować maksymalne potencjalne zapotrzebowanie w ciągu godziny szczytu, postanowiono zatem zastosować wskaźnik korygujący, który odniesie maksymalne obserwowane zapotrzebowanie do modelowanego średniego zapotrzebowania z wtorku, środy i czwartku. Po podzieleniu napełnienia z majowego piątku (17,2%) przez średnie napełnienie między wtorkiem a czwartkiem w październiku (14,2%) otrzymano współczynnik 1,22.

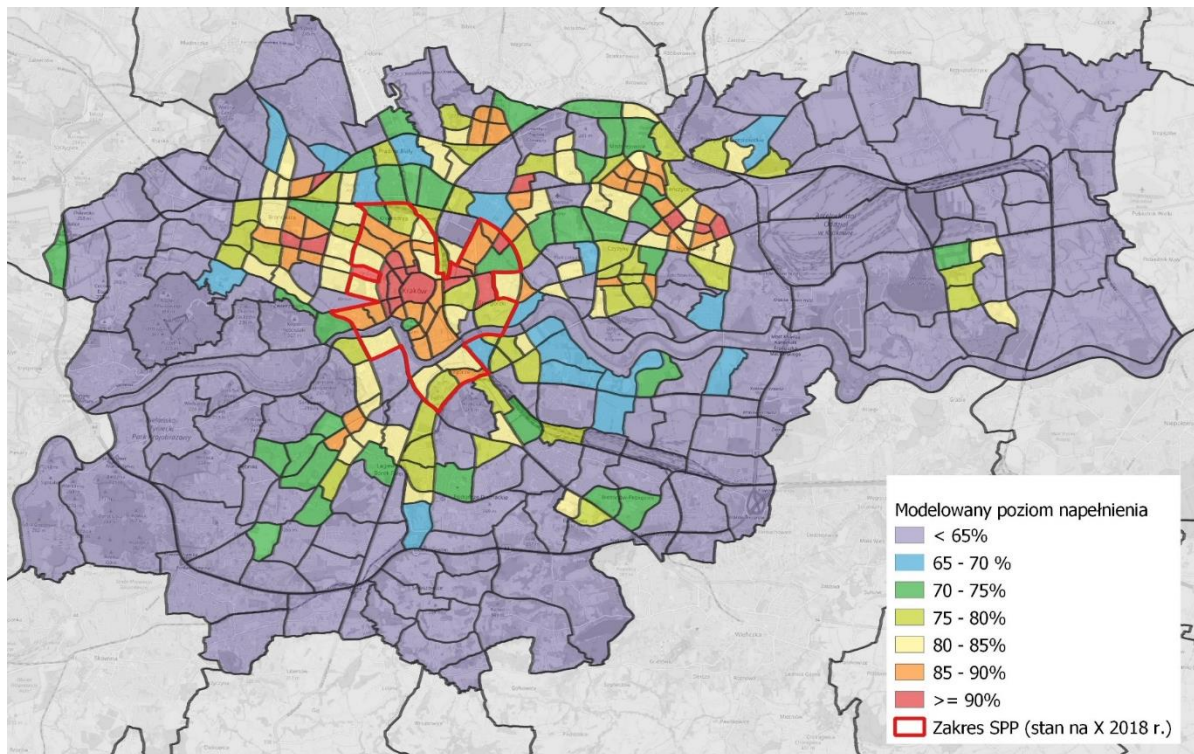
Przez obliczony przelicznik przemnożono wszystkie elementy wektora przechowującego informacje dotyczące zapotrzebowania na parkowanie pochodzące od

pojazdów nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego. Dodać należy, że zasięg krakowskiej SPP oraz zasady w niej obowiązujące były identyczne w maju oraz październiku 2018 r. Modelowane poziomy zajętości miejsc postojowych w godzinie szczytu dla wszystkich rejonów komunikacyjnych, z uwzględnieniem współczynnika przeliczeniowego, umieszczone zostały na rysunku 6.14.

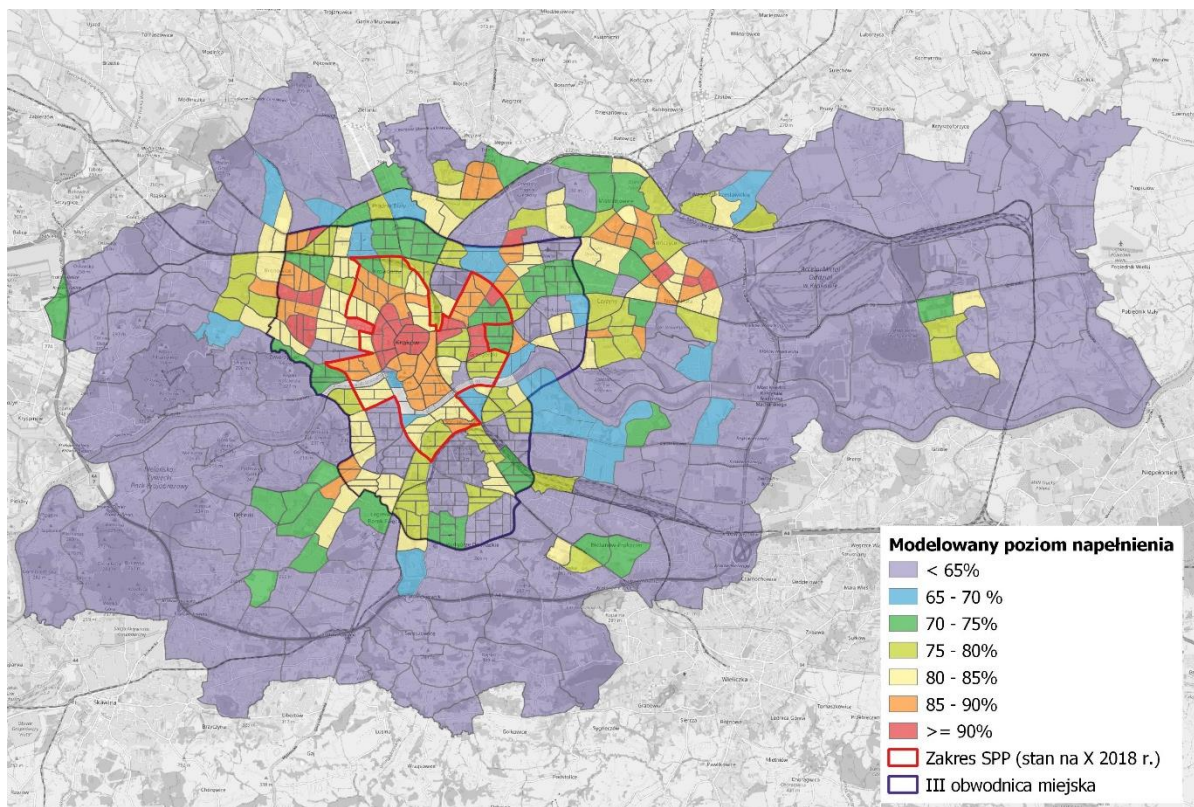


Rysunek 6.14 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie w mikrorejonach – centrum Krakowa – maj 2018 r.

Mapa tematyczna przedstawiająca modelowane poziomy zajętości miejsc postojowych w godzinie szczytu dla wszystkich rejonów komunikacyjnych, z uwzględnieniem współczynnika przeliczeniowego, umieszczona została na rysunku 6.15. Analogiczna mapa, w której uwzględniono podział na mikrorejon w obrębie międzydzielnicowej obwodnicy miasta została przedstawiona na rysunku 6.16.

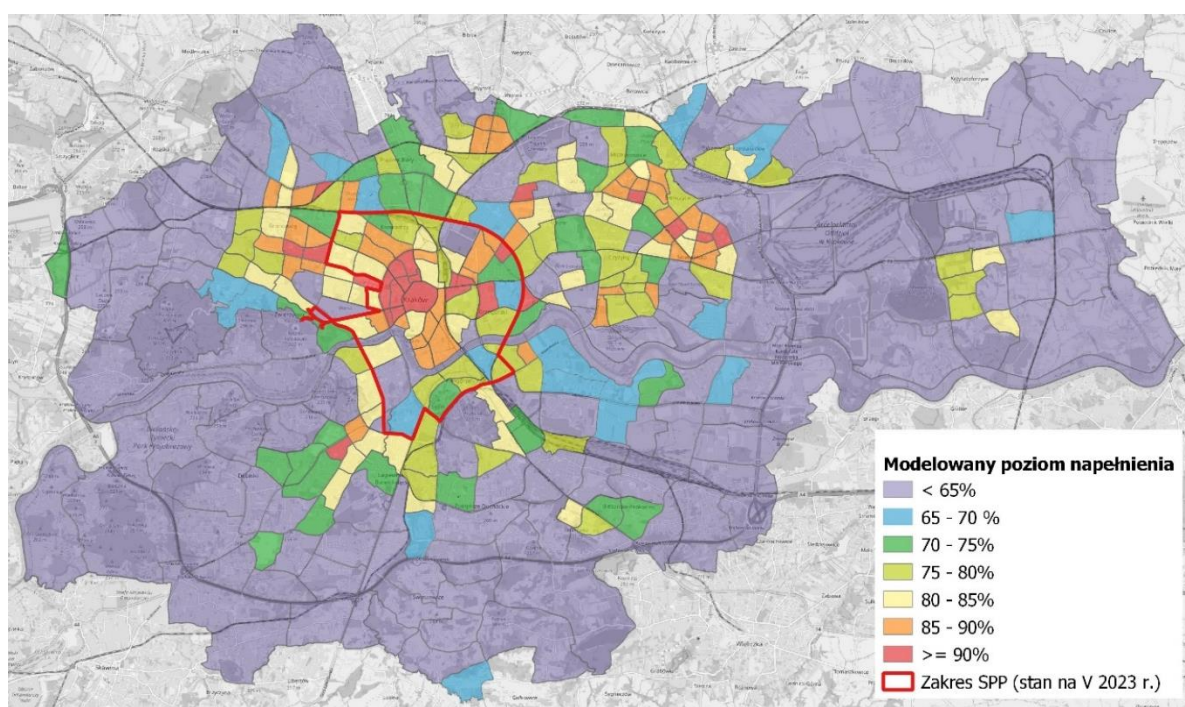


Rysunek 6.15 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w rejonach komunikacyjnych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – obszar miejski Krakowa – maj 2018 r.



Rysunek 6.16 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w rejonach i mikrorejonach komunikacyjnych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – obszar miejski Krakowa – maj 2018 r.

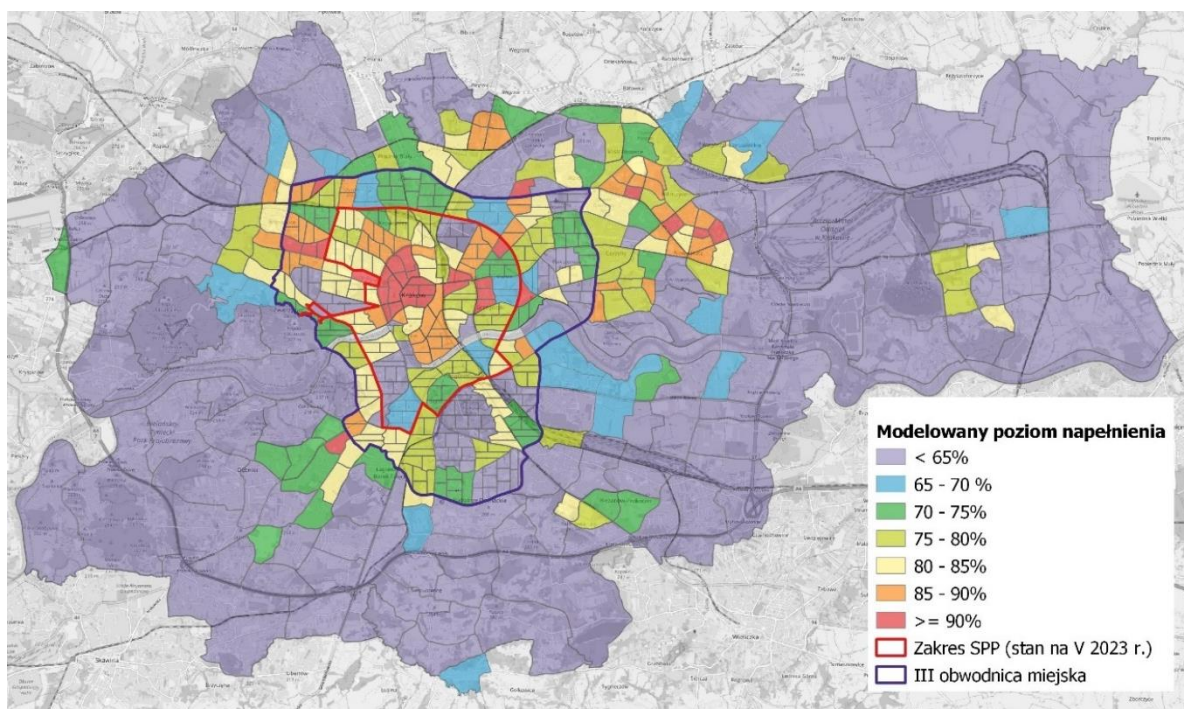
Chcąc sprawdzić, jak opracowany model jest w stanie przewidywać przyszłe napełnienie miejsc postojowych, postanowiono podjąć się próby modelowania poziomów zajętości w aktualnych warunkach. Postanowiono modelować szczytowe napełnienie w roku publikacji niniejszej dysertacji, tj. w maju 2023 r.<sup>28</sup>. Dysponując tym samym zestawem zmiennych objaśniających dla roku 2018 i 2023, postanowiono zróżnicować modele dla tych lat wyłącznie poprzez uwzględnienie zakładanej różnicy w uwarunkowaniach ekonomicznych. Oceny tej dokonano na podstawie porównania przeciętnego wynagrodzenia brutto w sektorze przedsiębiorstw dla wymienionych lat. Porównano przeciętne wynagrodzenie dla całego roku kalendarzowego 2018 oraz 2022 (będącego ostatnim pełnym zakończonym rokiem przed majem 2023 r.). Po podzieleniu średniego wynagrodzenia za 2022 rok przez przeciętną pensję brutto w 2018 roku, otrzymano przelicznik różnicy w przeciętnych zarobkach na poziomie 1,37. Pomnożenie przez ten przelicznik cen referencyjnych wykorzystywanych do uwzględnienia elastyczności cenowej popytu pozwoliło na uzyskanie równań aktualnych dla roku 2023. Wyniki modelowanych poziomów napełnień w 2023 r. przedstawiono oddzielnie na poziomie dezagregacji do rejonów komunikacyjnych oraz z uwzględnieniem mikrorejonów – odpowiednio na rysunku 6.17 oraz 6.18.



Rysunek 6.17 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w rejonach komunikacyjnych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – obszar miejski Krakowa – maj 2023 r.

<sup>28</sup> W ramach prac uwzględniono stan SPP w Krakowie aktualny na dzień 15 maja 2023 r.



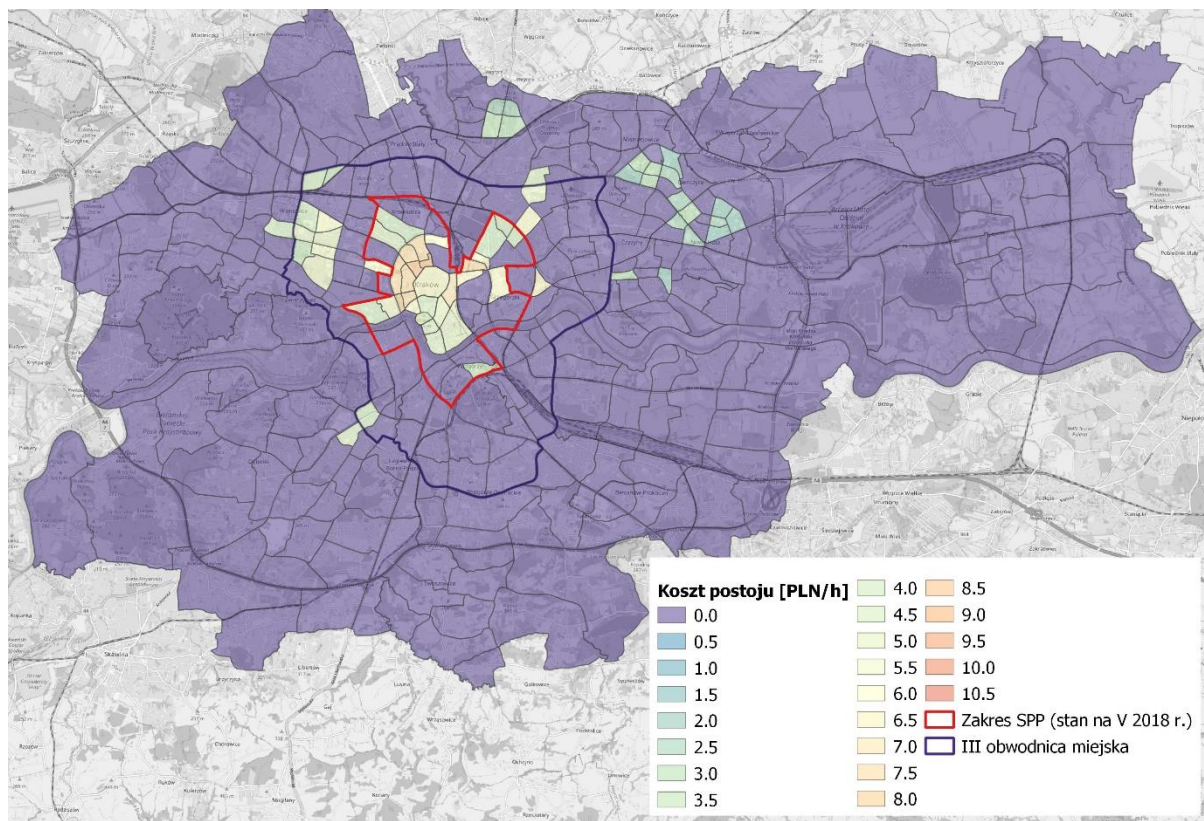


Rysunek 6.18 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w rejonach i mikrorejonach komunikacyjnych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – obszar miejski Krakowa – maj 2023 r.

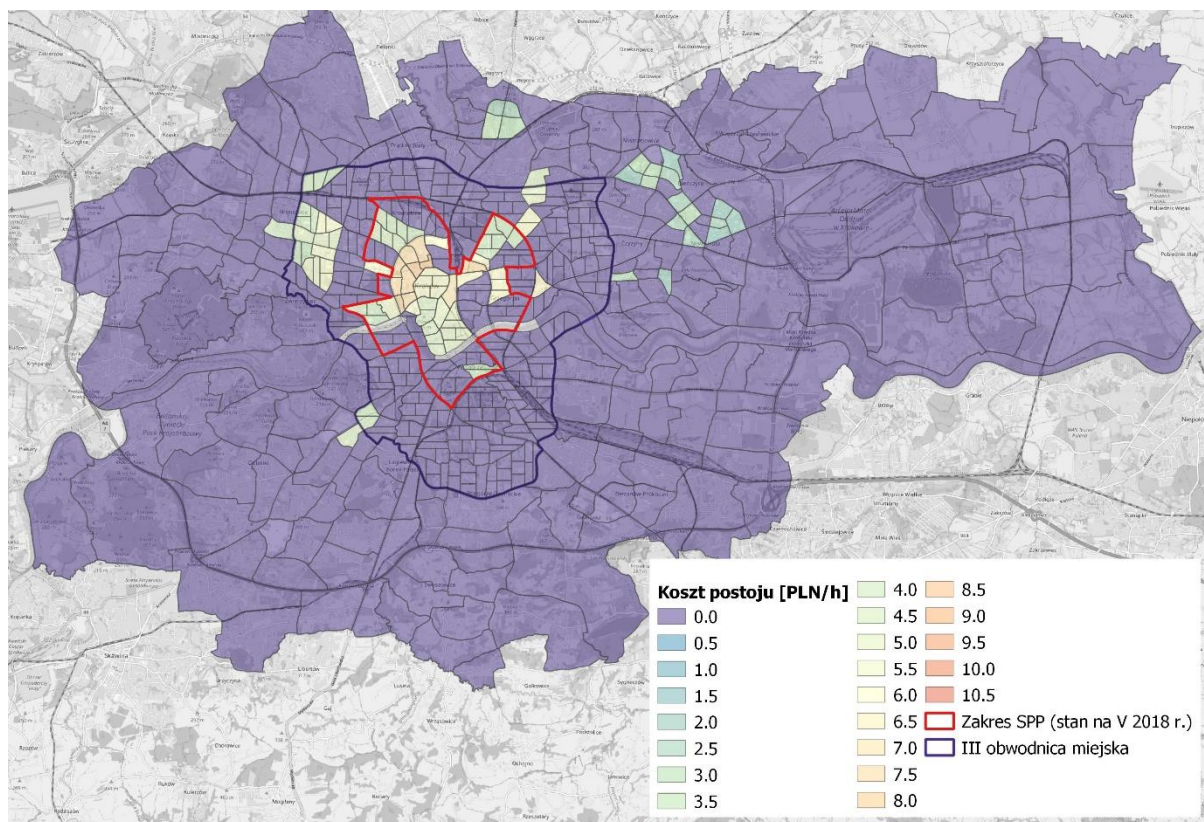
Uzyskany obraz modelowanych poziomów napelnienia miejsc postojowych był niemal identyczny w przypadku wykorzystania dezagregacji przestrzennej przy użyciu mikrorejonów, jak i bez niej. Zastosowanie zabiegu zwiększenia rozdzielczości przestrzennej danych dała zatem możliwość lepszego uchwycenia potencjalnych migracji popytu parkingowego między rejonami bez powodowania znacznych różnic w modelowanym poziomie napelnienia parkingowego.

### 6.8 Rekomendowany zasięg obowiązywania SPP w Krakowie

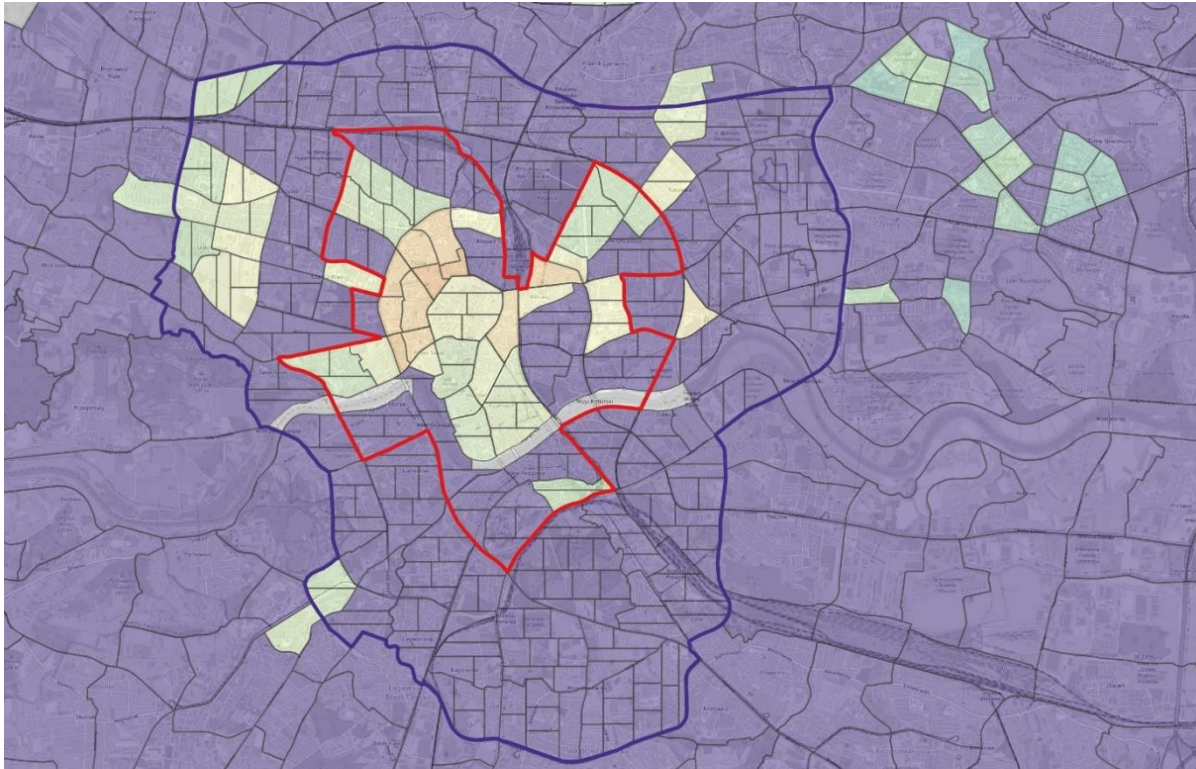
Chcąc określić przy pomocy opracowanego modelu obszar, na którym wskazane jest funkcjonowanie SPP, skorzystano ze skryptu służącego do delimitacji strefy. Dodatkowo uwzględniono w skrypcie także opracowany współczynnik przeliczeniowy opisany w rozdziale 6.7. Przelicznik zaaplikowano do wszystkich elementów wektora popytu związanego z użytkownikami nieposiadającymi wykupionych abonamentów postojowych. W analizach przyjęto dopuszczalny limit maksymalnej zajętości miejsc postojowych na poziomie 85%. Wyniki modelu SPP pozwalającego na wyznaczenie zasięgu i polityki cenowej SPP w rejonach komunikacyjnych Krakowa w maju 2018 r. przedstawiono na rysunku 6.19. Na rysunku 6.20 i 6.21 zaprezentowano natomiast analogiczne wyniki modelu delimitacji SPP przy wykorzystaniu podziału obszaru wewnątrz III obwodnicy miejskiej na mikrorejon.



Rysunek 6.19 Modelowane koszty za godzinę postoju w rejonie komunikacyjnym dla dopuszczalnej maksymalnej zajętości miejsc postojowych na poziomie 85% – maj 2018 r.



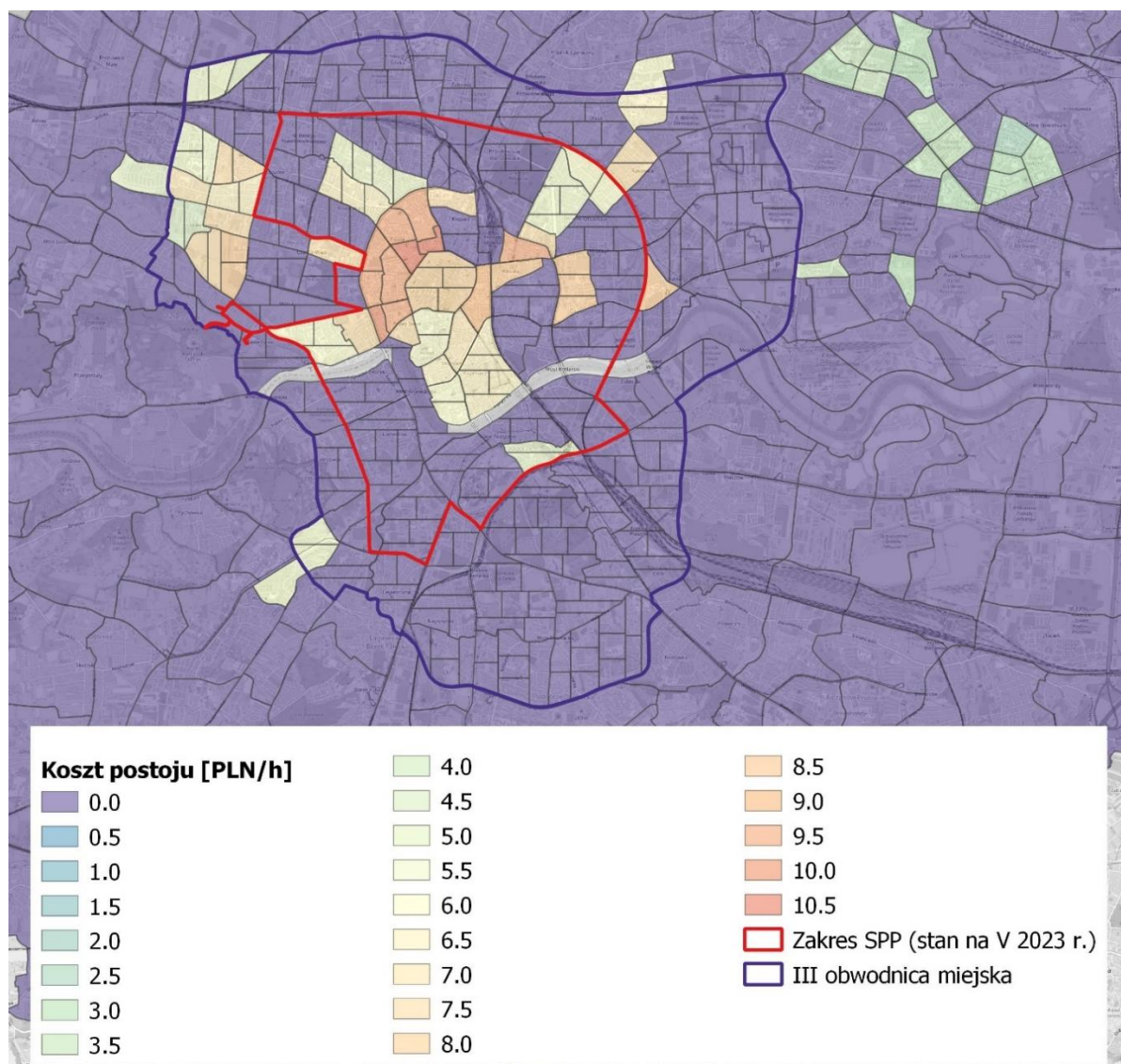
Rysunek 6.20 Modelowane koszty za godzinę postoju w rejonie i mikrorejonie komunikacyjnym dla dopuszczalnej maksymalnej zajętości miejsc postojowych na poziomie 85% – maj 2018 r.



Rysunek 6.21 Modelowane koszty za godzinę postoju w rejonie i mikrorejonie komunikacyjnym dla dopuszczalnej maksymalnej zajętości miejsc postojowych na poziomie 85% – zbliżenie na obszar obejmujący międzydzielnicową obwodnicę Krakowa – maj 2018 r.

Przyjęcie maksymalnego dopuszczalnego napełnienia miejsc postojowych na poziomie 85% spowodowało, że model wskazał 103 rejonów i mikrorejonów komunikacyjnych, w których pożądanym było wprowadzenie SPP. Zakres cen za godzinę postoju znajdował się w przedziale od 2,00 do 8,50 PLN. Strefa obejmowałaby głównie wybiórcze rejonów w ścisłym centrum miasta, co pokrywałoby się w części z zakresem SPP, jaki obowiązywał w maju 2018 r. Dodatkowo, SPP objęłaby kilka rejonów poza tym obszarem – głównie w miejscach wysokiego zagęszczenia ludności, gdzie popyt związany z zaspokojeniem zapotrzebowania na miejsca postojowe mieszkańców konkuruje z popytem generowanym przez liczne działalności o charakterze usługowym.

Obraz modelowanych poziomów kosztów za godzinę postoju był identyczny w przypadku wykorzystania dezagregacji przestrzennej przy użyciu rejonów komunikacyjnych oraz mikrorejonów. Ze względu na spójność uzyskiwanych wyników między modelowanymi opcjami podziału przestrzennego oraz chęć otrzymania rezultatów w możliwie jak największej rozdzielczości danych, rekomenduje się używanie do dalszych analiz podziału przestrzennego bazującego na mikrorejonach komunikacyjnych. Dodatkowo, aby zaproponować możliwie jak najbardziej aktualny rekomendowany zasięg i politykę cenową proponowanej SPP, postanowiono do tego celu skorzystać z modelu delimitacji reprezentującego warunki panujące w maju 2023 r. Rysunek 6.22 prezentuje otrzymane wyniki modelowanego kosztu za godzinę postoju w SPP na poziomie dezagregacji do mikrorejonów transportowych.



Rysunek 6.22 Modelowane koszty za godzinę postoju w SPP dla dopuszczalnej maksymalnej zajętości miejsc postojowych na poziomie 85% – maj 2023 r.

Przyjęcie maksymalnego dopuszczalnego napełnienia miejsc postojowych na poziomie 85% spowodowało, że model wskazał 103 mikrorejony (wyodrębnione na podstawie 66 rejonów komunikacyjnych), w których rekomendowane było wprowadzenie SPP. Zakres cen za godzinę postoju znajdował się w przedziale od 2,50 do 10,50 PLN. Według bezpośrednich wskazań modelu, strefa powinna objąć większość rejonów w ścisłym centrum miasta, które pokrywałyby się z zakresem SPP, jaki obowiązywał w maju 2023 r. Dodatkowo, model wskazał także kilkadziesiąt mikrorejonów i rejonów poza tym obszarem. Obszarami wskazanymi przez opracowany model do bycia częścią strefy w 2018 i 2023 r. są te same mikrorejony. Różnica między modelowanymi latami pojawia się wyłącznie w sugerowanych kosztach godziny postoju w SPP. Wynika to z braku modyfikacji zmiennych wpływających na wielkość popytu parkingowego przy jednoczesnym uwzględnieniu zmiany wartości pieniądza w czasie.

Szczególne uwagę należy jednak zwrócić na znaczną rozbieżność między modelowanym a obowiązującym zasięgiem SPP. Model wydaje się w znacznym stopniu zaniżać zapotrzebowanie na płatny postój. Uznano, że najprawdopodobniej przyczyną niedoszacowania zapotrzebowania na postój przez model symulacyjny mógł być niski poziom napełnień, do których opracowany model był kalibrowany. Przeciętny empiryczny szczytowy

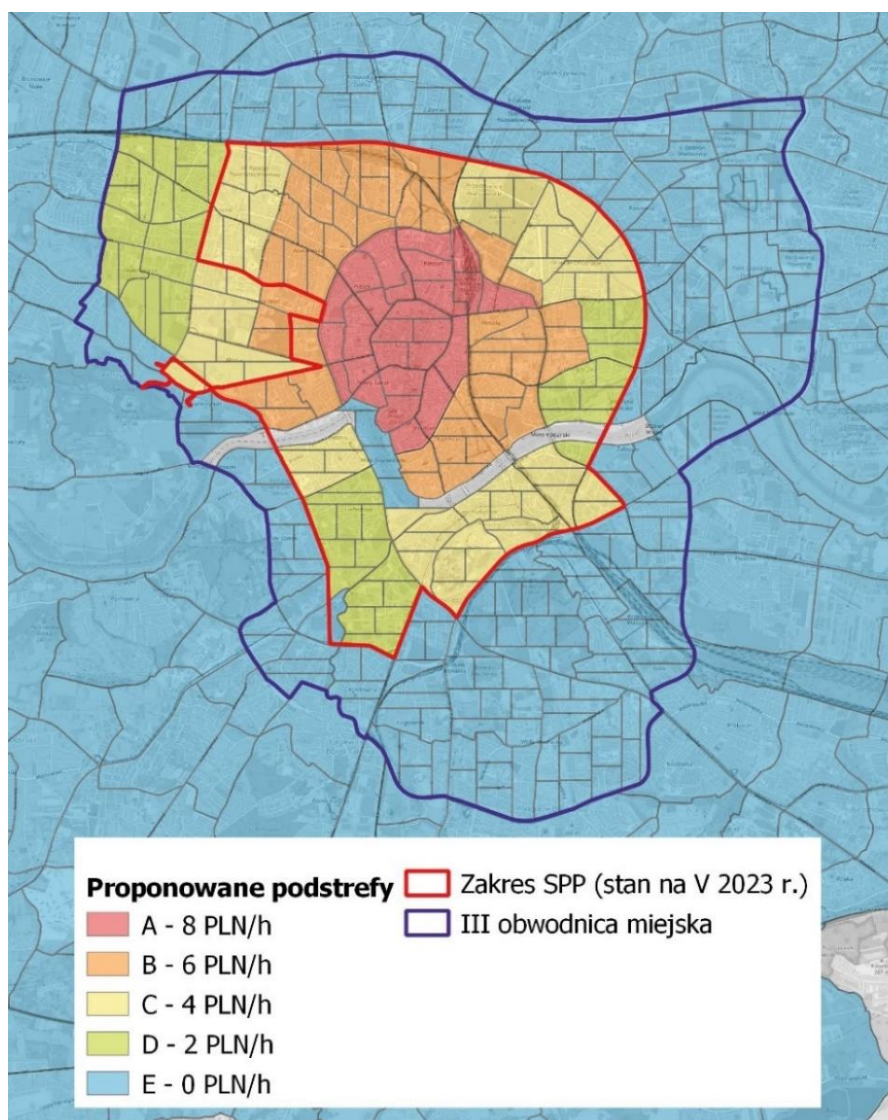
poziom napelnienia w rejonach komunikacyjnych otrzymany w ramach przeprowadzonych badań patrolowych wynosił bowiem jedynie 81,2%. Gdyby typowa sytuacja parkingowa w godzinie szczytu wyglądała tak, jak w przeprowadzonych badaniach patrolowych, to dalsze rozszerzanie SPP oraz wprowadzanie wyższych stawek opłat za postój byłoby zbędne. Rozszerzanie SPP oraz podnoszenie opłat postojowych miało jednak miejsce kilkukrotnie po okresie, w którym badania były prowadzone. Implementacja stref przez miejskie władze przeprowadzana jest w obszarach, w których uciążliwie wysokie zapotrzebowanie na powierzchnię parkingową utrzymuje się permanentnie i jest powszechnie uznanym problemem. Zazwyczaj towarzyszy jej duża ostrożność i generalna niechęć do rozszerzania SPP, gdyż decyzje te spotykają się zazwyczaj z dezaprobatą większości użytkowników miejskiej infrastruktury parkingowej. Dlatego uznano też, że należy utrzymać obecny kształt SPP i dodać jedynie te zgrupowania mikrorejonów z deficytem miejsc postojowych, które znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie obowiązującej strefy. Modyfikacji na terenie już obowiązującej strefy podlegała natomiast polityka cenowa. Tam, gdzie model sugerował brak potrzeby stosowania opłat parkingowych, zredukowano stawkę. W oparciu o wizualną ocenę przestrzennego rozproszenia modelowanych pożądaných poziomów cenowych zweryfikowano obecnie obowiązujący podział na podstrefę A, B oraz C, który warunkuje wysokość opłat postojowych. Dostrzeżono także potrzebę wprowadzenia dodatkowej podstrefy D, która pozwoliła na lepsze dopasowanie wielkości opłaty parkingowej do wyników symulacji modelu. Podziału SPP na podstrefy w oparciu o skupiska mikrorejonów o podobnym pałapie cenowym, dokonano wzdłuż szwów zagospodarowania przestrzennego. Stosowanie jednolitych stawek za postój w obszarach większych niż poszczególne modelowane mikrorejonu bądź rejonu transportowe było konieczne ze względów praktycznych. Dzięki podziałowi na większe podstrefy istniała bowiem możliwość wyznaczenia bardziej rozległych, spójnych geograficznie obszarów z jednolitą polityką cenową. Organizowane w ten sposób SPP są znacznie bardziej przyjazne użytkownikowi, niż strefy w których stosowane stawki opłat są skomplikowane przez częste różnicowanie w zależności od lokalizacji.

Wysokość stawek za godzinę postoju wyznaczono korzystając z poziomów cenowych zarekomendowanych przez model symulacyjny służący delimitacji SPP. Dla przyjętych podstref obliczono średnie modelowane poziomy cenowe uwzględniające wszystkie mikrorejonu komunikacyjne. Następnie obliczono przeciętny modelowany poziom cenowy z wykluczeniem rejonów, dla których symulacja nie wykazała potrzeby wprowadzenia strefy, tj. rejonów z zerowym modelowanym rekomendowanym kosztem postoju. W ten sposób otrzymano wartości mogące sugerować przedział, z zakresu którego pochodzić powinna ostatecznie dobrana kwota pobierana za godzinę postoju w strefie. Dodatkowo, w analizie postanowiono uwzględnić także procentowy udział mikrorejonów komunikacyjnych danej podstrefy, w których SPP zgodnie z modelem być nie powinno. Zabieg ten miał na celu wsparcie procesu podejmowania decyzji związanej z ostatecznym doбором wysokości stawki za postój w każdej z podstref. Im większy udział mikrorejonów, w teorii niepotrzebnie uwzględnionych w SPP, tym silniejsza rekomendacja, by proponowana kwota była bliżej dolnej granicy otrzymanego przedziału. Należy podkreślić, że istotny wpływ na wielkość proponowanych w podstrefach stawek opłat miał zastosowany podział na mikrorejonu. Mikrorejonu umożliwiły bowiem lepsze uśrednienie proponowanej wysokości stawek opłat dla poszczególnych podstref. Działo się tak ponieważ uwzględnienie mikrorejonów pozwoliło zwiększyć w obliczeniach wagę większych rejonów. Większe obszarowo rejonu były bowiem reprezentowane liczniej niż rejonu o niewielkiej powierzchni, które zostały podzielone na mniejszą liczbę mikrorejonów. Ponadto, postuluje się także, by taryfa opłat postojowych była możliwie jak najprostsza i łatwa do zapamiętania przez użytkowników. W tabeli 6.13 zaprezentowano wielkości poszczególnych modelowanych kosztów postoju wraz z ostatecznie przyjętą stawką, w zależności od przyjętej podstrefy.

Tabela 6.13 Rekomendowane koszty godziny postoju w poszczególnych podstrefach SPP

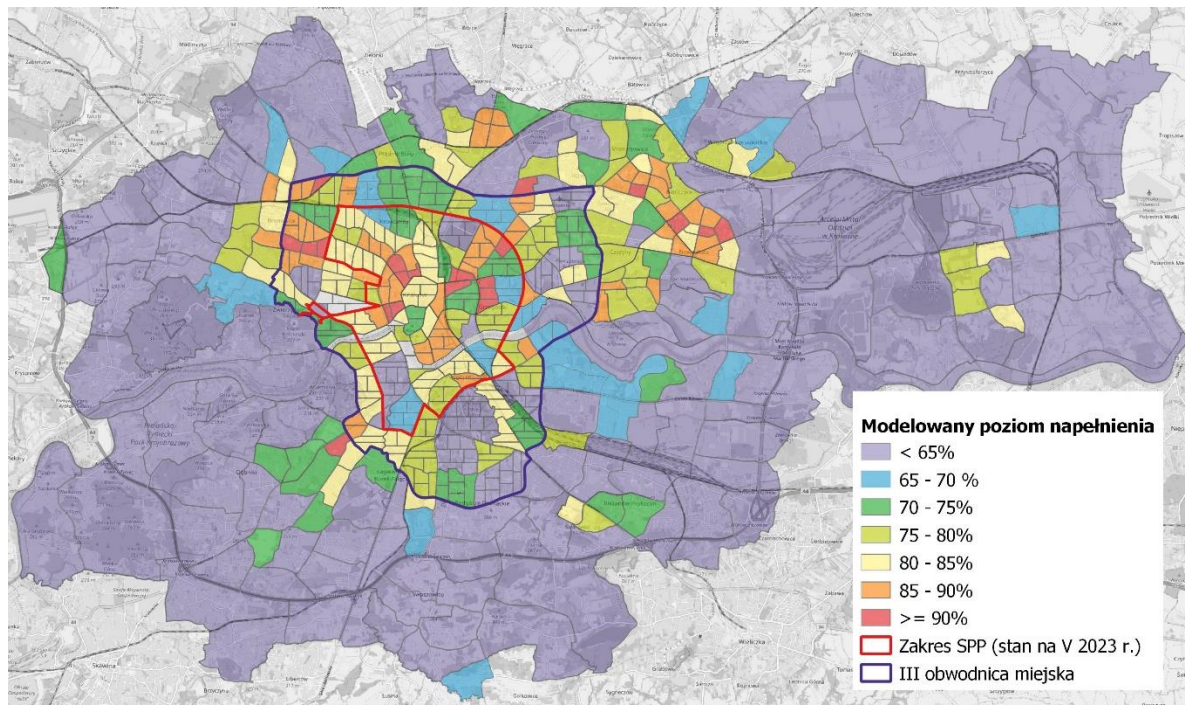
Podstrefa	Modelowany koszt postoju [PLN/h]		Udział mikrorejonów z zerowym modelowanym kosztem [%]	Rekomendowany koszt [PLN/h]
	z uwzględnieniem mikrorejonów z zerowym modelowanym kosztem	bez uwzględniania mikrorejonów z zerowym modelowanym kosztem		
A	7,20	8,50	15%	8,00
B	3,30	6,70	50%	6,00
C	0,80	5,50	86%	4,00
D	2,30	6,70	66%	2,00
E	0,30	6,40	95%	0,00

Przyjęte stawki opłat postojowych wahały się w zakresie od 2,00 PLN do 8,00 PLN i były zmieniane o 2,00 PLN co kolejną wyznaczaną podstrefę. Zgodnie z obowiązującym w maju 2023 r. stanem prawnym, wprowadzenie proponowanych wysokości opłat postojowych było legalne. Ostatecznie, rekomendowany zasięg i polityka cenowa krakowskiej SPP przyjęły postać zobrazowaną na rysunku 6.23.



Rysunek 6.23 Rekomendowany zasięg SPP wraz z sugerowaną polityką cenową – maj 2023 r.

Po analizie wyników symulacji modelu służącego delimitacji SPP zaproponowano wprowadzenie strefy w 176 mikrorejonach, które pierwotnie w modelu transportowym aglomeracji krakowskiej obejmowały 70 rejonów komunikacyjnych. Modelowany poziom napętnienia miejsc postojowych po zastosowaniu proponowanego zasięgu SPP i sugerowanej polityki cenowej przedstawiony został na rysunku 6.24.



Rysunek 6.24 Modelowany poziom napętnienia miejsc postojowych po zastosowaniu proponowanego zasięgu SPP i sugerowanej polityki cenowej – maj 2023 r.

Porównanie przeciętnych poziomów napętnienia przed i po implementacji proponowanego sposobu funkcjonowania SPP, na poziomie agregacji po poszczególnych podstrefach, przedstawiono w tabeli 6.14.

Tabela 6.14 Modelowany średni poziom napętnienia w podstrefach – przed i po wprowadzeniu modyfikacji kształtu i polityki cenowej w SPP – maj 2023 r.

Podstrefa	Poziom napętnienia [%]	
	stan obecny	po modyfikacji SPP
A	88.4%	83.6%
B	82.9%	81.1%
C	74.0%	78.0%
D	67.0%	76.1%
E	66.0%	66.1%

Zgodnie z wynikami modelu, przed wprowadzeniem sugerowanych zmian w funkcjonowaniu SPP, głównie podstrefa A borykała się z problemem znacznego deficytu miejsc postojowych (tj. przekroczony był poziom 85% zajętości powierzchni parkingowej). Po wprowadzeniu zaproponowanych zmian w zasięgu terytorialnym SPP i modyfikacji polityki cenowej krakowskiej strefy, udało się uzyskać docelowy przeciętny poziom napętnienia blisko, lecz poniżej pożądanego maksymalnego 85%. Redukcja poziomu napętnienia nastąpiła według symulacji także w podstrefie B. W przypadku niektórych indywidualnych mikrorejonów komunikacyjnych podstrefy A oraz B, poziom 85% był przekroczony, jednak były to przypadki

nieliczne na tle pozostałych mikrorejonów tych podstref. Po zaimplementowaniu proponowanego kształtu SPP odciążone zostały dwie najbardziej centralnie położone podstrefy SPP. W przypadku pozostałych podstref doszło do obciążenia dodatkowym popytem parkingowym, jednak w żadnej z nich nie doszło do przekroczenia poziomu napełnienia krytycznego.

### 6.9 Wnioski z rozdziału 6.

Ze względu na brak dostępnych narzędzi służących delimitacji SPP koniecznym było opracowanie autorskiej metody pozwalającej na kwantyfikację omawianego zjawiska, bez możliwości skorzystania z rozwiązań proponowanych przez innych badaczy. Stworzenie modelu funkcjonowania SPP było zatem złożonym procesem wymagającym przyjęcia wielu założeń i uogólnień.

Dzięki opracowaniu klasyfikacji popytu parkingowego zbudowano dedykowany model popytu parkingowego. Składało się na niego wiele pomniejszych elementów, które uwzględniały zarówno komponenty związane z popytem parkingowym i popytem parkingowym, jak i z czynnikami przestrzennymi. Zintegrowanie opracowanych części składowych modelu stało się możliwe dzięki przygotowaniu procedury służącej kalibracji modelu oraz algorytmu delimitacji SPP. Po zaimplementowaniu opracowanych modułów w środowisku programistycznym udało się pozyskać informacje na temat stanu istniejącego poziomów napełnienia miejsc postojowych w strefie, jak i wskazać wielkości kosztów postoju, które pozwalałyby na ograniczenie wysokości stopnia zajętości miejsc postojowych do zakładanego dopuszczalnego maksymalnego pułapu. Pomimo wystąpienia trudności wywołanych najprawdopodobniej przez zaniżone wyniki badań patrolowych napełnień miejsc postojowych, do których kalibrowany był model, udało się finalnie zaproponować nowy zasięg oraz politykę cenową SPP w Krakowie.

Przeprowadzona analiza pozwala dostrzec znaczną trudność w wyznaczeniu pożądanego obszaru obowiązywania SPP, który byłby jednolity i przy tym nie obejmował obszarów, w których, zgodnie z modelem, wprowadzenie strefy jest zbędne. Na przedstawionych w rozdziale mapach z modelowanymi kosztami postoju można było bowiem zidentyfikować pomniejsze zespoły rejonów komunikacyjnych, oddalonych od ścisłego centrum, które teoretycznie powinny stanowić część SPP miasta, poza tą wyznaczoną w obszarze śródmiejskim. Sam model funkcjonowania SPP nie jest także w stanie zidentyfikować szwów zagospodarowania przestrzennego ani naturalnych barier przestrzennych, przez co niekiedy rejony wytypowane do bycia częścią strefy sprawiają wrażenie obszarów wskazanych w sposób wybiórczy i jednocześnie trudny w interpretacji oraz implementacji. Nie da się zatem wprost rekomendować zasięgu i polityki cenowej SPP patrząc wyłącznie na wyniki modelu. Pomimo pozornie precyzyjnych wskazań co do konieczności wprowadzania w danej lokalizacji SPP, należy traktować je z dużą ostrożnością. Należy uwzględnić uwarunkowania organizacyjne i przestrzenne (szwy zagospodarowania przestrzennego, jednorodność proponowanej strefy, jak i poszczególnych podstref), a także efektywność ekonomiczną postulowanych rozwiązań. W obszarach, które model wskazał jako część strefy pomimo braku spójności przestrzennej z pozostałą częścią SPP oraz znacznego oddalenia od obszaru centralnego miasta, rekomenduje się zwrócenie szczególnej uwagi na kwestię uzasadnienia ekonomicznego wprowadzania SPP. Przykładowo bowiem, wprowadzanie stosunkowo niewielkich opłat za postój na rozległym terenie, w którym nadmiar popytu parkingowego nie jest krytyczny, może nie spełniać kryteriów efektywności ekonomicznej utrzymania strefy ze względu na generowanie dużych kosztów utrzymania. Podkreślić należy, że efektywność ekonomiczna nie jest celem wprowadzania SPP, jednak może być ona jednym z kryteriów uwzględnianych podczas interpretacji wyników modelu symulacyjnego SPP. Implementacja strefy wiąże się bowiem z koniecznością jej późniejszej



obsługi (utrzymanie sprzętu służącego poborowi opłat postojowych, zatrudnienie kontrolerów SPP etc.), co powoduje powstanie znacznych obciążeń finansowych dla budżetów miast.

Mając na uwadze potencjalne przyszłe użycie opracowanego modelu podkreśla się użyteczność zastosowania w analizach podziału na mikrorejony oraz aplikowanie stopniowo rosnących stawek opłat. Użycie mikrorejonów pozwala ograniczyć ryzyko związane z wielkością rejonów komunikacyjnych dobranych na etapie budowy modelu transportowego. Przy wykorzystaniu mikrorejonów możliwe staje się uchwycenie zjawiska poszukiwania alternatywnych miejsc postojowych w zasięgu krótszego dojścia pieszego, co zdaje się lepiej oddawać warunki panujące w rzeczywistości. Dlatego też rekomenduje się, by przyszłe prace oparte o stosowanie opracowanego modelu funkcjonowania SPP budować na podziale przestrzennym zaczerpniętym z modelu transportowego miasta bądź aglomeracji z doszczegółowieniem na poziomie mikrorejonów. W kwestii kształtowania wysokości opłat zaleca się natomiast, by stopniować stawki opłat tworzyły tzw. strefy buforowe i by nie graniczyły ze sobą bezpośrednio rejony ze znacznie różniącą się opłatą postojową. Ewentualność taką dopuszcza się jedynie w przypadku, gdy występuje jakaś znacząca bariera przestrzenna, jak np. rzeka czy arteria drogowa wysokiej klasy, która wyraźnie rozdziela więzi sąsiedzkie.

Ze względu na niejednoznaczności w interpretacji wyników przedstawionych w niniejszym rozdziale, proponuje się podjęcie próby wykorzystania opracowanego modelu służącego delimitacji SPP na przykładzie innego obszaru miejskiego.

## **7. Zastosowanie opracowanej metodyki do delimitacji Strefy Płatnego Parkowania w obszarze miejskim Warszawy**

W celu zweryfikowania możliwości stosowania opracowanego modelu funkcjonowania SPP dla innych obszarów miejskich, postanowiono podjąć się próby delimitacji strefy dla miasta Warszawy. Przygotowanie modelu funkcjonowania SPP w Warszawie wymagało przyjęcia takich samych założeń, jak założenia określone w rozdziale 6, na potrzeby zbudowania modelu dla obszaru miasta Krakowa. Postanowiono zastosować te same godziny szczytu, zmienne objaśniające i objaśniane, algorytmy oraz struktury skryptów obliczeniowych.

Wykonanie adaptacji modelu funkcjonowania SPP na potrzeby stolicy kraju było możliwe przede wszystkim dzięki dostępności modelu transportowego wykonanego w ramach Warszawskich Badań Ruchu, tj. Modelu Transportowego Aglomeracji Warszawskiej (MTAW) [111]. Uzupełniającym źródłem informacji, pozwalającym dodatkowo uchwycić różnicę poziomów zamożności mieszkańców obu miast, został Bank Danych Lokalnych GUS [108].

Szczegółowe opisy przygotowania i adaptacji danych użytych do odtworzenia metodyki budowy modeli SPP zostały zaprezentowane w rozdziale 7.1. Rozdział 7.2 przedstawia natomiast opracowane wyniki modelu SPP dla obszaru miejskiego Warszawy. Rekomendowany zasięg obowiązywania SPP dla miasta Warszawy omówiono w rozdziale 7.3, a podsumowania wszystkich podjętych działań mających na celu weryfikację stworzonej metody zawarto w rozdziale 7.4.

### **7.1. Budowa modelu funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania w Warszawie**

Do odtworzenia metodyki opracowywania modelu funkcjonowania SPP koniecznym było przygotowanie nowych zestawów danych wejściowych specyficznych dla miasta Warszawy. Do owego zestawu zaliczały się:

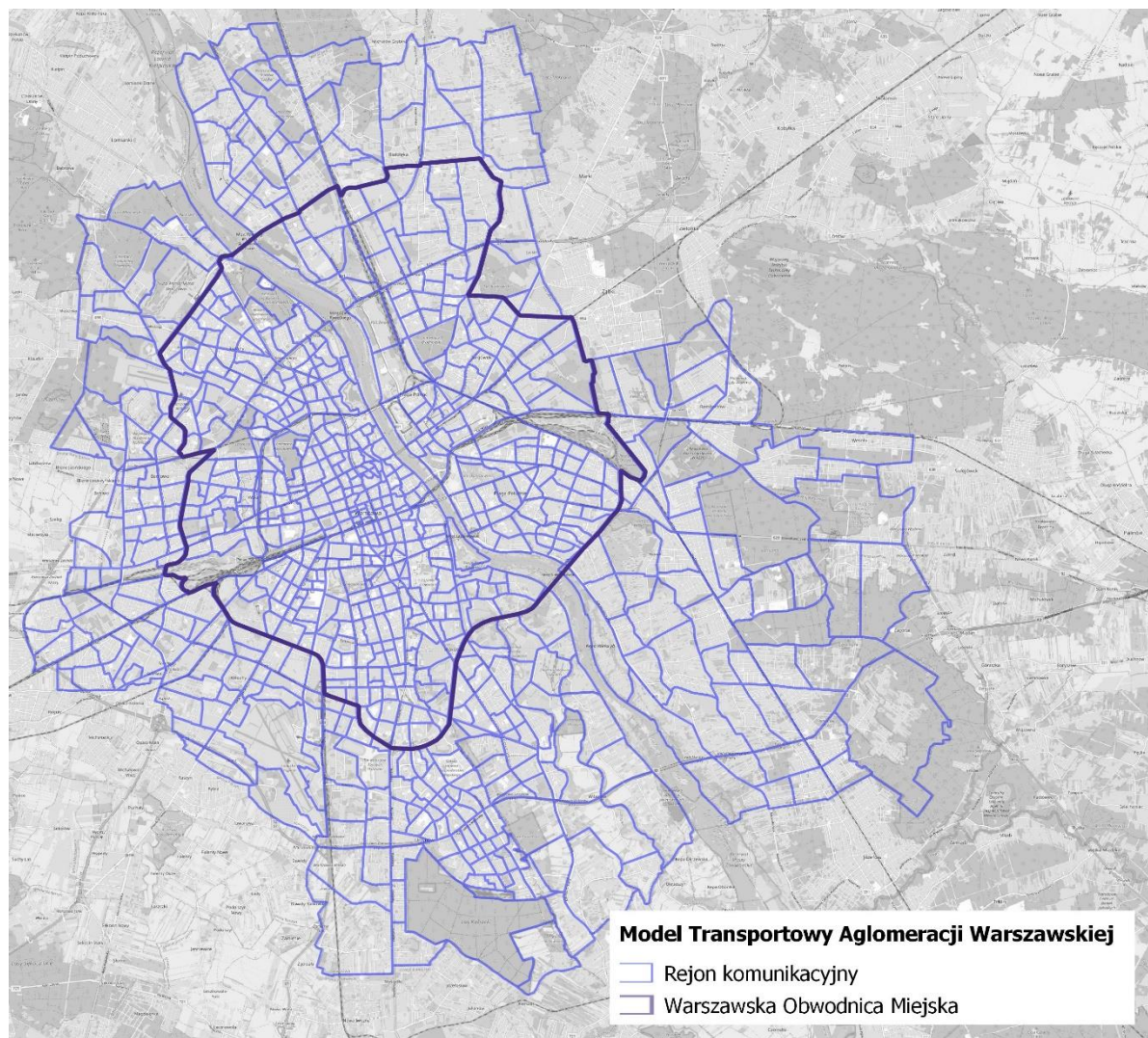
- Liczba dostępnych miejsc postojowych mogących zostać objętych SPP,
- Macierz sąsiedztwa rejonów komunikacyjnych,
- Macierz atrakcyjności zaparkowania w alternatywnym sąsiednim rejonie komunikacyjnym,
- Udział pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym,
- Liczba użytkowników nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego,
- Elastyczność cenowa popytu parkingowego pochodzącego od użytkowników bez wykupionego abonamentu postojowego.

Zanim jednak możliwe było przygotowanie powyższych informacji wsadowych, należało najpierw dokonać podziału miasta na rejon komunikacyjny oraz zgromadzić wartości wszystkich niezbędnych zmiennych objaśniających na poziomie dezagregacji przestrzennej właściwej rejonom.

#### **7.1.1. Model Transportowy Aglomeracji Warszawskiej jako źródło podziału przestrzennego miasta**

Model Transportowy Aglomeracji Warszawskiej powstał w 2016 roku, na podstawie zebranych badań ankietowych i pomiarowych wykonanych w ramach Warszawskich Badań Ruchu. Modelowanymi okresami był szczyt poranny i popołudniowy dnia roboczego w kwietniu 2015 roku. W ramach MTAW wyznaczono 896 wewnętrznych rejonów komunikacyjnych, które łącznie reprezentowały całą aglomerację Warszawską. W obrębie samego miasta stołecznego Warszawy wyznaczono 801 rejonów, które były bazą do stworzenia modelu warszawskiej SPP. Pozostałe 95 rejonów odwzorowywało 25 gmin

podwarszawskich, które nie zostały ujęte w modelu funkcjonowania SPP. Mapę rejonów komunikacyjnych, które posłużyły do opracowania warszawskiego modelu SPP umieszczono na rysunku 7.1.



Rysunek 7.1 Podział miasta Warszawy na rejony komunikacyjne według Modelu Transportowego Aglomeracji Warszawskiej (opracowanie własne na podstawie [111])

Kontynuując podejście przyjęte w przypadku opracowania dla przypadku krakowskiego – dla Warszawy również założono potrzebę zastosowania mikrorejonów. Mikrorejonów wyznaczono wewnątrz obszaru określonego przez Warszawską Obwodnicę Miejską (WOM) [112], którą uznano za ekwiwalent międzydzielnicowej obwodnicy Krakowa. Analogicznie postanowiono także podzielić istniejące rejony na podjednostki, których powierzchnie nie przekraczały określonego progu. Ze względu na znacznie większą powierzchnię wewnątrz WOM w stosunku do powierzchni otaczanej przez krakowską III obwodnicę, zwiększono promień zakładanego dojeżdżania pieszo do 300 metrów (z początkowych 200 metrów założonych w przypadku Krakowa). Ostatecznie, maksymalną powierzchnię jednego mikrorejonu obliczono na podstawie koła o promieniu 300 metrów. Z pierwotnych 487 rejonów MTAW uzyskano 766 mikrorejonów. Przyjęty podział na mikrorejonów wraz z zaznaczonym zasięgiem obowiązującej SPPN [113] i WOM zilustrowano na rysunku 7.2



Rysunek 7.2 Podział miasta Warszawy na mikrorejonów komunikacyjnych (opracowanie własne na podstawie [111])

Zastosowany podział przestrzenny miasta Warszawy pozwolił na wyznaczenie geograficznych centroid dla każdego z rejonów komunikacyjnych. Analogicznie, jak w przypadku modelu transportowego aglomeracji krakowskiej, udało się odtworzyć proces wyznaczania odległości każdej z centroid od punktu centralnego miasta (tj. centroidy pierwszego rejonu komunikacyjnego). Dzięki zastosowaniu oprogramowania GIS możliwym było także wyznaczenie odległości między centroidami wszystkich rejonów.

### 7.1.2. Dane zaczerpnięte bezpośrednio z bazy danych Modelu Transportowego Aglomeracji Warszawskiej

Dla każdego z wyodrębnionych w MTAW rejonów, wyekstrahowano bezpośrednio z bazy danych modelu transportowego informacje zawarte w tabeli 7.1.

Tabela 7.1 Informacje zaczerpnięte bezpośrednio z bazy danych Modelu Transportowego Aglomeracji Warszawskiej

Rodzaj danych	Przyjęty ekwiwalent z bazy danych MTAW
Powierzchnia całkowita	Z_POW (powierzchnia rejonu komunikacyjnego w metrach kwadratowych)
Powierzchnia biurowa	Z_EGIB_B (powierzchnia całkowita budynków biurowych)
Powierzchnia handlowa	Z_EGIB_H (powierzchnia całkowita budynków handlowo-usługowych)
Powierzchnia mieszkalna	Z_EGIB_M (powierzchnia całkowita budynków mieszkalnych)
Powierzchnia produkcyjna	Z_EGIB_G (powierzchnia całkowita budynków produkcyjnych, usługowych i gospodarczych dla rolnictwa) + + Z_EGIB_Z (powierzchnia całkowita budynków szpitali i zakładów opieki medycznej) <sup>29</sup>
Powierzchnia przemysłowa	Z_EGIB_P (powierzchnia całkowita budynków przemysłowych) + + Z_EGIB_S (powierzchnia całkowita zbiorników, silosów i budynków magazynowych) + + Z_EGIB_T (powierzchnia całkowita budynków transportu i łączności)
Powierzchnia oświatowa	Z_EGIB_K (powierzchnia całkowita budynków oświaty, nauki i kultury oraz budynków sportowych)
Powierzchnia niemieszkalna	Z_EGIB_B + Z_EGIB_H + Z_EGIB_G + Z_EGIB_Z + Z_EGIB_P + + Z_EGIB_S + Z_EGIB_T + Z_EGIB_K + Z_EGIB_I (powierzchnia całkowita innych budynków niemieszkalnych)

Wszystkie powierzchnie uwzględnione w MTAW zostały ujęte w metrach kwadratowych, przez co koniecznym było ich przeliczenie do wartości w hektarach – analogicznie, jak zostało to zrobione dla modelu transportowego aglomeracji krakowskiej.

### 7.1.3. Dane obliczone na podstawie wyników Modelu Transportowego Aglomeracji Warszawskiej

MTAW posłużył dodatkowo jako źródło danych do obliczenia dostępności oraz sumy atrakcji podróży. Wyznaczenie dostępności potrzebnej do odtworzenia opracowanego modelu funkcjonowania SPP było konieczne jedynie dla dostępności komunikacją zbiorową w godzinie szczytu popołudniowego. Do tego celu wykorzystano właściwe dla szczytu popołudniowego macierze czasu przejazdu oraz więźbę ruchu, które zostały dostarczone wraz z modelem transportowym.

<sup>29</sup> Umieszczenie powierzchni całkowitej budynków szpitali i zakładów opieki medycznej w kategorii powierzchni produkcyjnej wynika z potrzeby zachowania klasyfikacji przyjętej w modelu aglomeracji krakowskiej.

Suma atrakcji każdego rejonu komunikacyjnego została wyznaczona jako suma wszystkich kończących się w danym rejonie podróży na podstawie następujących macierzy popytu:

- Macierz popytu pochodzącego od mieszkańców Warszawy dla komunikacji indywidualnej w szczycie porannym,
- Macierz popytu pochodzącego od mieszkańców aglomeracji warszawskiej dla komunikacji indywidualnej w szczycie porannym,
- Macierz popytu pochodzącego od mieszkańców Warszawy dla komunikacji indywidualnej w szczycie popołudniowym,
- Macierz popytu pochodzącego od mieszkańców aglomeracji warszawskiej dla komunikacji indywidualnej w szczycie popołudniowym,
- Macierz popytu pochodzącego od mieszkańców Warszawy i aglomeracji warszawskiej dla komunikacji zbiorowej w szczycie porannym,
- Macierz popytu pochodzącego od mieszkańców Warszawy i aglomeracji warszawskiej dla komunikacji zbiorowej w szczycie popołudniowym.

#### 7.1.4. Opracowanie danych wejściowych do skryptu modelu funkcjonowania SPP

Dysponując kompletem niezbędnych zmiennych objaśniających oraz podziałem przestrzennym miasta Warszawy, możliwym było modelowanie czynników stanowiących bezpośrednie dane wejściowe do skryptu modelu funkcjonowania SPP. Zestawienie wszystkich użytych zmiennych objaśniających wraz ze wskazaniem źródła danych oraz informacją, czy w danym czynniku postanowiono uwzględnić aspekt różnicy w zamożności mieszkańców Krakowa i Warszawy, zawarto w tabeli 7.2.

Tabela 7.2 Dane wejściowe do modelu SPP Warszawy wraz z zestawieniem zmiennych objaśniających potrzebnych do ich przygotowania

Modelowany czynnik	Źródło danych		Czy uwzględniono czynnik różnicy w zamożności mieszkańców?
	Baza danych MTAW	Obliczone na podstawie MTAW	
Liczba dostępnych miejsc postojowych	$P_H, P_M, P_{NM}$	-	nie
Udział pojazdów z wykupionym abonamentem postojowym	ATR	-	nie
Liczba pojazdów bez wykupionego abonamentu postojowego	$P_C, P_B, P_H, P_{PROD}, ATR$	-	nie
Macierz sąsiedztwa rejonów komunikacyjnych	-	Przy użyciu centroid rejonów i mikrorejonów komunikacyjnych	tak
Macierz atrakcyjności parkowania w alternatywnym rejonie sąsiednim	-		tak
Elastyczność cenowa popytu parkingowego	$P_B, MdP, ATR/PC, ODL$	AKZP	tak

Jak wynika z tabeli 7.2, obie opracowywane macierze oraz czynnik związany z elastycznością cenową popytu parkingowego wymagały dodatkowo wzięcia pod uwagę aspektu różnic w poziomie zamożności użytkowników korzystających z SPP w Krakowie i Warszawie. Dokonano tego dzięki zastosowaniu odpowiedniego wskaźnika przeliczeniowego bazującego na różnicy płac między mieszkańcami obu miast.

Wskaźnik przeliczeniowy postanowiono obliczyć na podstawie stosunku średnich wielkości wynagrodzeń. Do tego celu użyto informacji zawartych w Banku Danych Lokalnych GUS [108]. Skorzystano z najbardziej powszechnie używanej miary wysokości płac, którą podaje się na poziomie agregacji przestrzennej rzędu powiatu, jaką jest kwota przeciętnego miesięcznego wynagrodzenia brutto. Wskaźnik przeliczeniowy wyznaczono na podstawie informacji z roku 2019, ze względu na okres przeprowadzania ankiet będących podstawą analiz elastyczności cenowej popytu parkingowego. Przeciętna miesięczna płaca brutto w Warszawie wyniosła wówczas 6802,60 PLN, natomiast w Krakowie kwota ta była niższa i wyniosła 5878,79 PLN. Obliczając iloraz obu wynagrodzeń, wywnioskowano, że przeciętny użytkownik SPP w Warszawie będzie cenił swój czas o 15,71% bardziej, niż użytkownik w stolicy Małopolski.

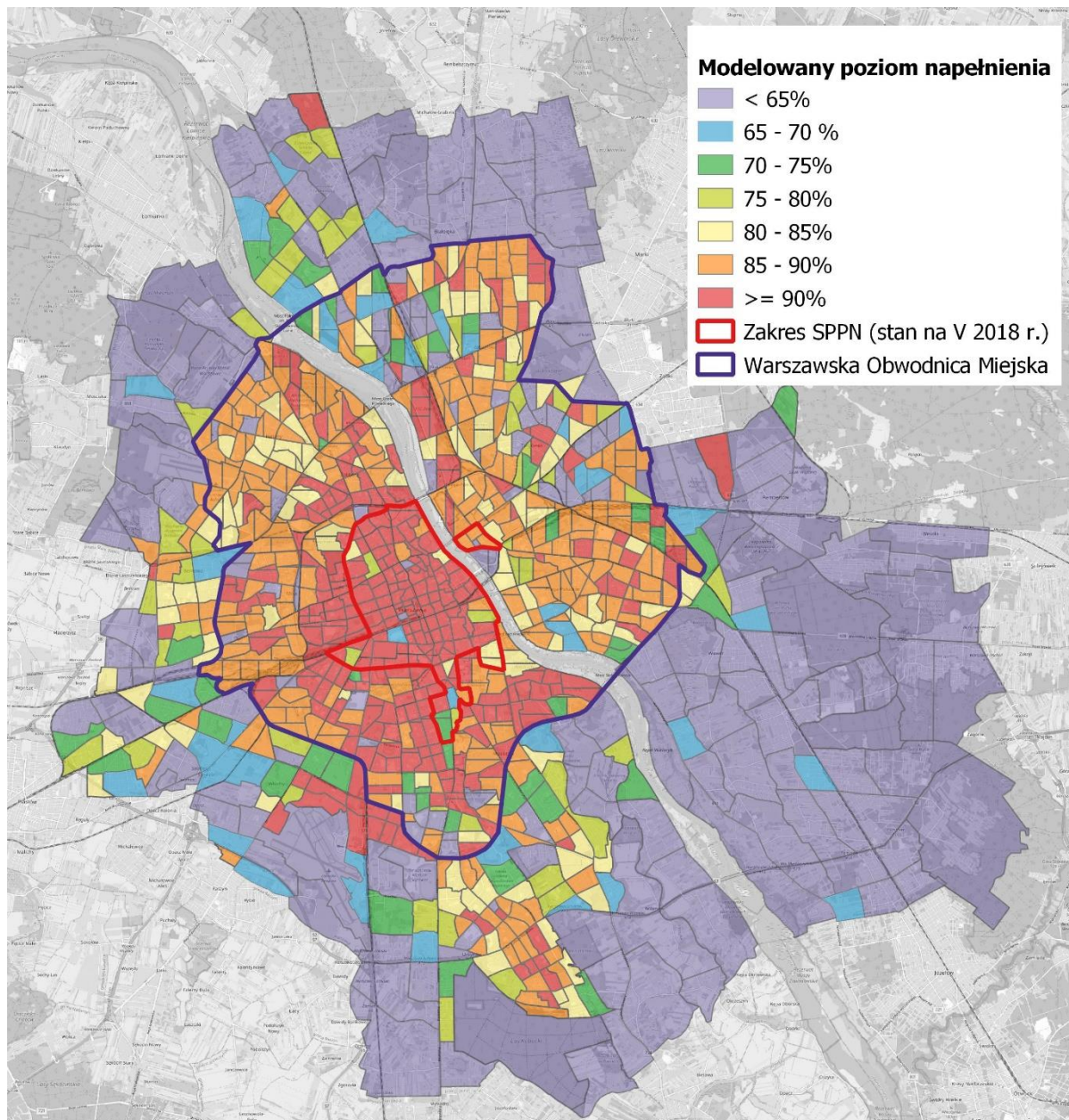
Chcąc uwzględnić czynnik zróżnicowanego kosztu czasu przy opracowywaniu właściwej dla miasta Warszawy macierzy sąsiedztwa rejonów komunikacyjnych (a w konsekwencji także w macierzy atrakcyjności alternatywnego rejonu sąsiedniego), zredukowano o 15,71% maksymalny dopuszczalny czas dojścia pieszego. W konsekwencji jako sąsiednie rejon komunikacyjne uznano te, których centroidy były od siebie oddalone co najwyżej o 18,7 minuty dojścia pieszego, a nie o 21,6 minuty, jak w przypadku Krakowa. Zakładaną prędkość dojścia pozostawiono na poziomie 4 km/h, w związku z czym dopuszczalna maksymalna odległość wyniosła w modelu funkcjonowania SPP dla Warszawy 1,2 km (dla Krakowa było to 1,4 km).

Ostatni z modelowanych czynników, w którym wzięto pod uwagę różnicę w zamożności mieszkańców była elastyczność cenowa popytu parkingowego. W tym przypadku postanowiono modelować cenę referencyjną, tak jak dla Krakowa, tj. korzystając z metody regresji wektorów nośnych. Modelowaną dla każdego z rejonów komunikacyjnych cenę podniesiono następnie o 15,71%. Pozostałe kroki pozwalające na wyznaczenie funkcji regresji określających udział użytkowników skłonnych do zaparkowania w zależności od ceny postoju przeprowadzono analogicznie, jak w przypadku modelu przygotowanego dla krakowskiej SPP.

## 7.2. Wyniki modelu funkcjonowania SPP dla obszaru miejskiego Warszawy

Dysponując wszystkimi niezbędnymi danymi wejściowymi postanowiono odtworzyć zarówno proces modelowania SPP mający na celu odwzorowanie sytuacji istniejącej (przy użyciu metodyki zastosowanej do kalibracji krakowskiego modelu), jak i sam proces służący właściwej delimitacji stref. Odwzorowania sytuacji istniejącej dokonano przy pomocy omówionej w rozdziale 6.3.1 procedury rozkładu popytu parkingowego w godzinie szczytu. Powielenie metody tworzenia modelu funkcjonowania SPP dla Warszawy objęło także przemnożenie popytu pochodzącego od osób nieposiadających wykupionego abonamentu postojowego do popytu z dnia maksymalnego zapotrzebowania na miejsca postojowe. Założono, że do co zasady sezonowość zmian wielkości popytu parkingowego będzie zachowana między najistotniejszymi w skali regionu i kraju ośrodkami, jakimi są dwa największe miasta w Polsce. Stanowią one bowiem zarówno cel licznych podróży związanych z obowiązkami służbowymi czy edukacją, jak i podróży związanych z ruchem turystycznym i rekreacyjnym. Odtworzono zatem krok polegający na przemnożeniu popytu parkingowego pochodzącego od użytkowników nieposiadających abonamentu postojowego przez wskaźnik przeliczeniowy, którego wyznaczenie zostało już opisane w podrozdziale 6.7.

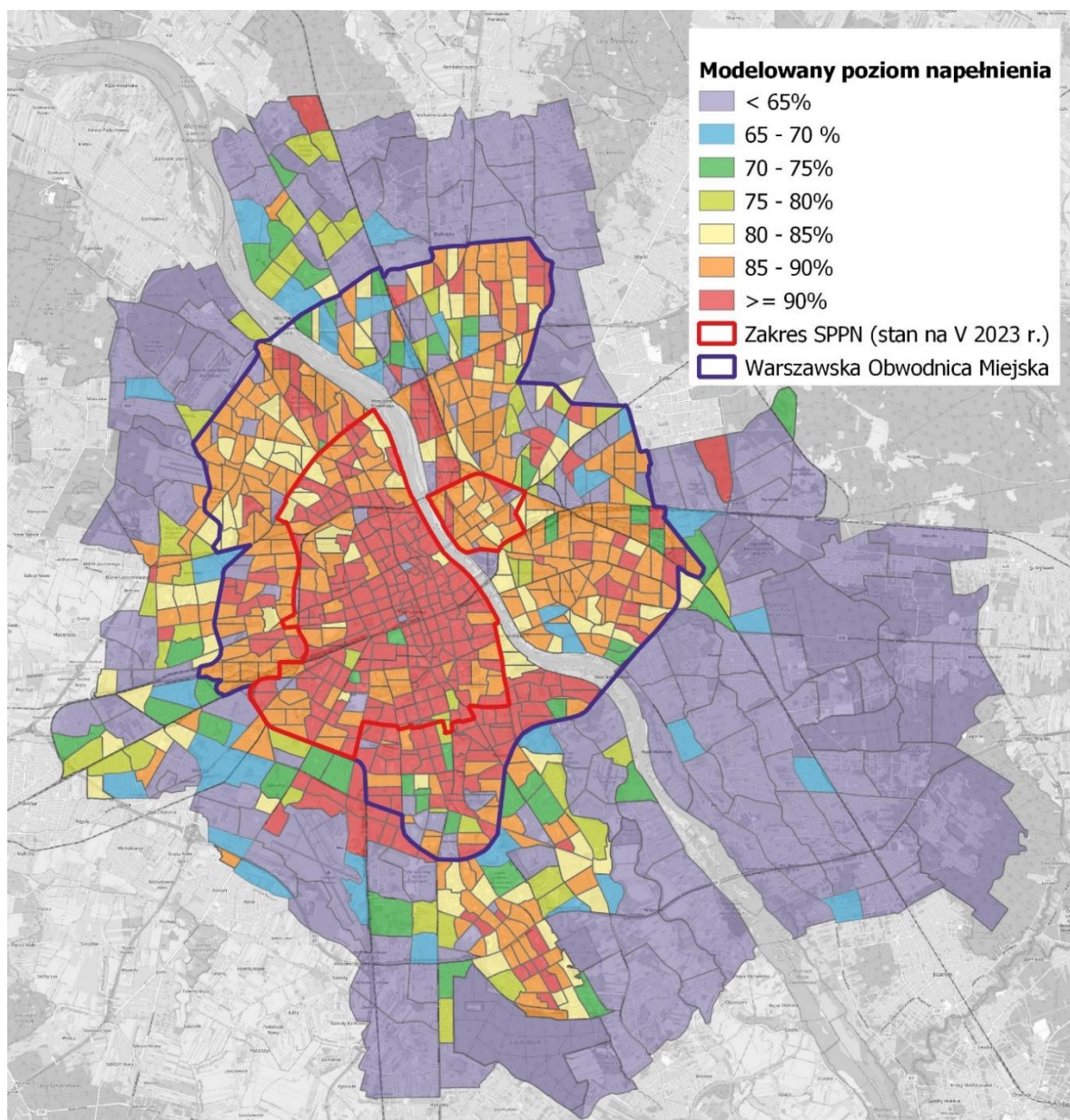
Otrzymane wyniki poziomów zajętości w obszarze miejskim Warszawy w maju 2018 r. przedstawiono na mapie tematycznej umieszczonej na rysunku 7.3.



Rysunek 7.3 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – Warszawa – maj 2018 r.

W wyniku przeprowadzonej symulacji, chcąc otrzymać obraz bardziej aktualnych wyników symulacji funkcjonowania SPP w Warszawie, zastosowano metodę przeliczenia modelowanego roku 2018 do roku 2023. Kalkulacji dokonano analogicznie, jak w przypadku modelu dla obszaru miejskiego Krakowa (poprzez modyfikację czynnika uwzględniającego elastyczność cenową popytu), co skutkowało uzyskaniem poziomów zajętości przedstawionych na rysunku 7.4.



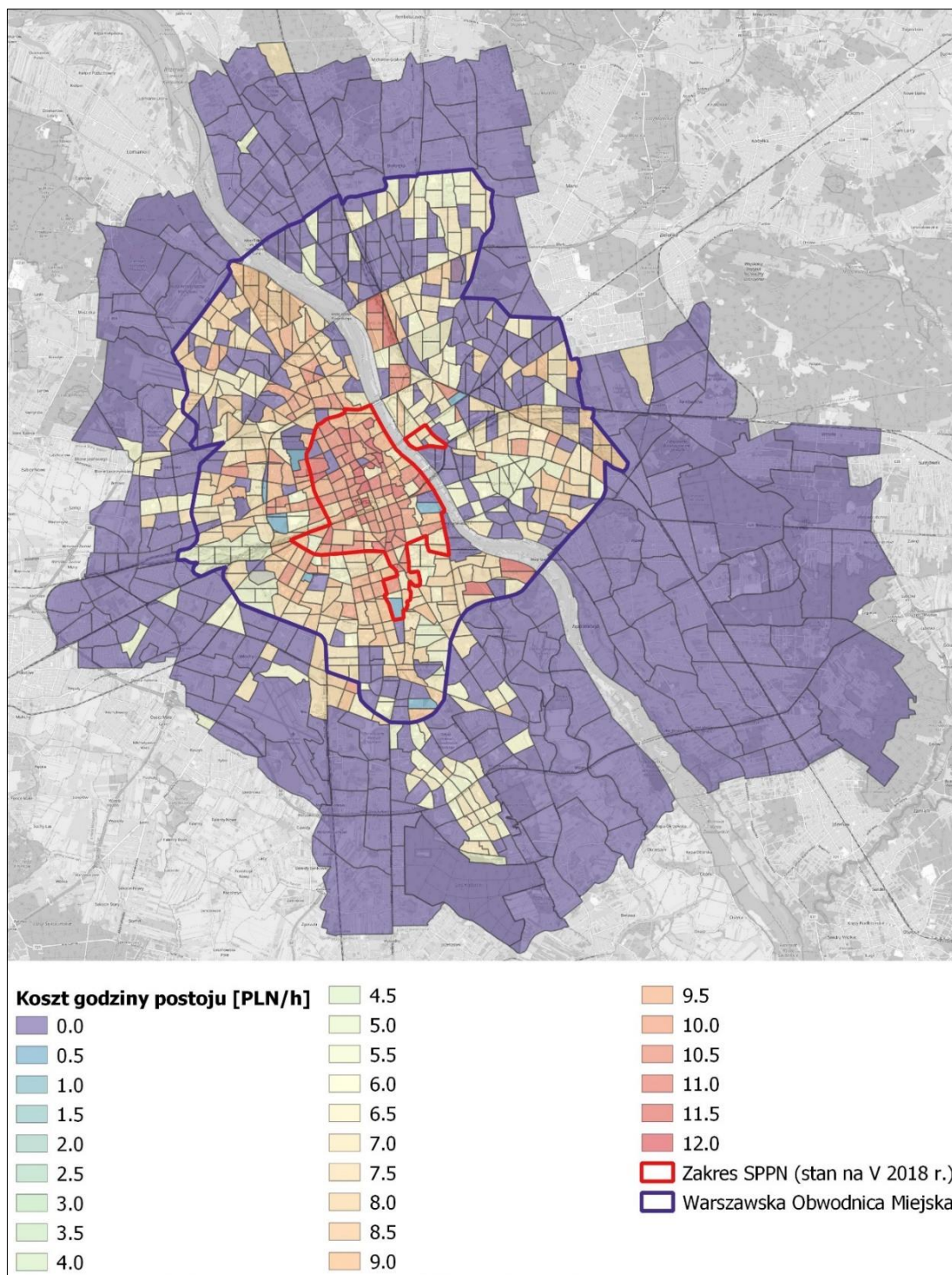


Rysunek 7.4 Modelowany poziom zajętości miejsc postojowych w godzinie szczytu zapotrzebowania na parkowanie – Warszawa – maj 2023 r.

Zarówno w przypadku symulacji dla roku 2018, jak i dla roku 2023 uwidoczniło się znaczące przekroczenie dopuszczalnego maksymalnego poziomu napętnienia miejsc postojowych. Najbardziej obciążone popytem parkingowym były obszary ścisłego centrum oraz śródmieścia, które znajdują się w lewobrzeżnej części miasta. Warszawa prawobrzeżna znajdująca się wewnątrz obszaru wyznaczonego przez WOM również dotknięta była deficytem miejsc postojowych, jednak był on znacznie mniej dokuczliwy niż w części miasta po drugiej stronie rzeki Wisły. Stan istniejący zasymulowany w modelu wskazuje na niewystarczający zasięg obecnie obowiązującej SPP oraz zbyt niskie stawki opłat za godzinę postojową (w przypadku obu modelowanych lat). Według symulacji, niemal cała lewobrzeżna część miasta wchodząca w skład obecnej strefy borykała się z poziomami napętnień przekraczającymi bardzo często nawet 90%. Sytuacja panująca w SPP zastosowanej dla niewielkiej części prawobrzeżnej Warszawy była nieco lepsza, jednak także tu napętnienie przekraczało preferowany maksymalny próg poziomu zajętości. Zasięg obowiązującej strefy również zdawał się być zbyt mały, niezależnie od modelowanego roku.

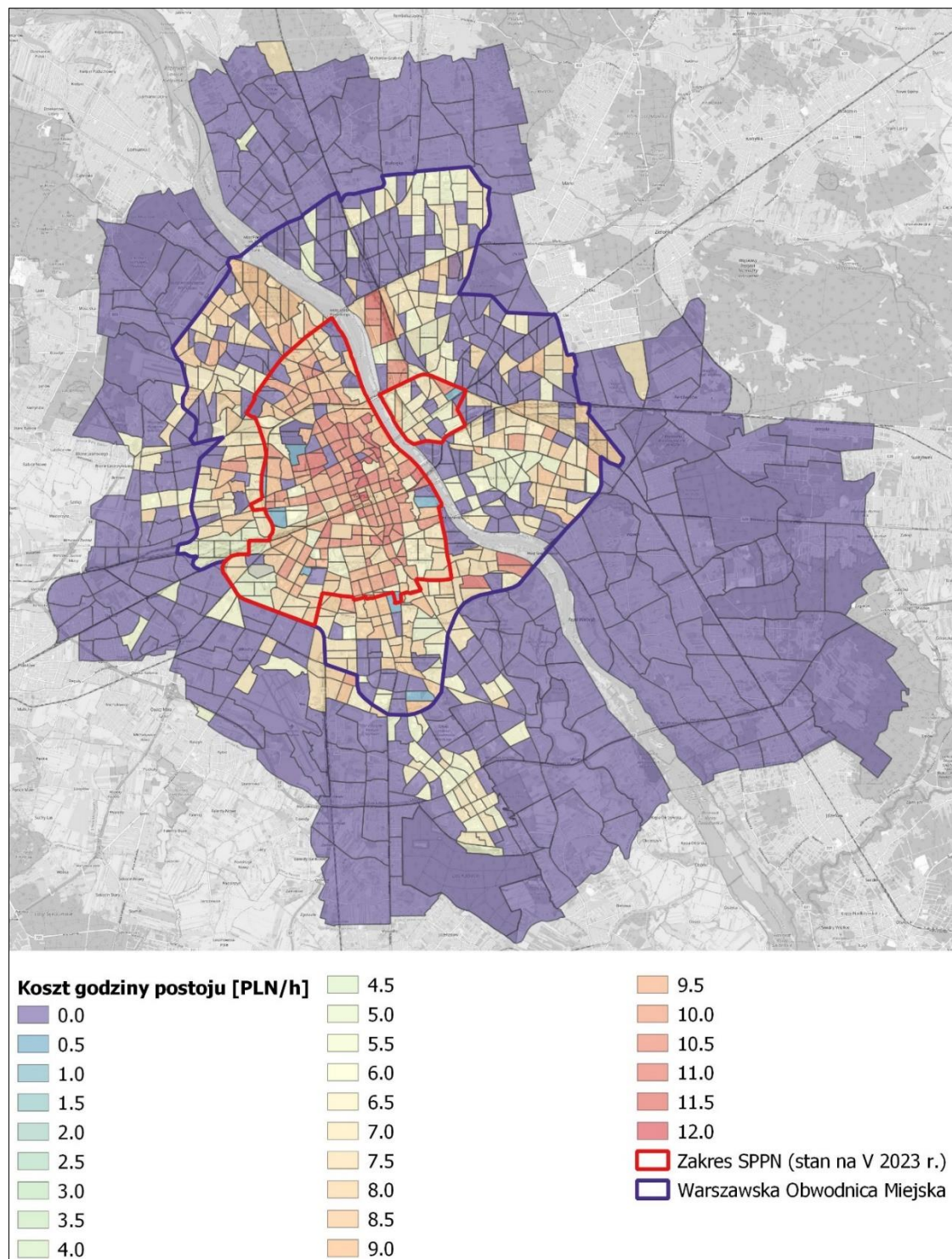
### 7.3. Rekomendowany zasięg obowiązywania SPP dla miasta Warszawy

Analogicznie jak w przypadku próby delimitacji SPP na przykładzie Krakowa, dla miasta Warszawy zastosowano procedurę rozkładu popytu parkingowego opisaną w podrozdziale 6.3.2. W toku analiz uwzględniono także ten sam limit maksymalnej zajętości miejsc parkingowych, tj. 85% i krok zwiększania stawki opłat za postój w kolejnych iteracjach co 0,50 PLN. Wyniki symulacji dla roku 2018 i 2023 przedstawiono odpowiednio na rysunku 7.5 oraz 7.6.



Rysunek 7.5 Modelowane poziomy kosztu za godzinę postoju dla dopuszczalnej maksymalnej zajętości miejsc postojowych na poziomie 85% – przykład Warszawy – maj 2018 r.

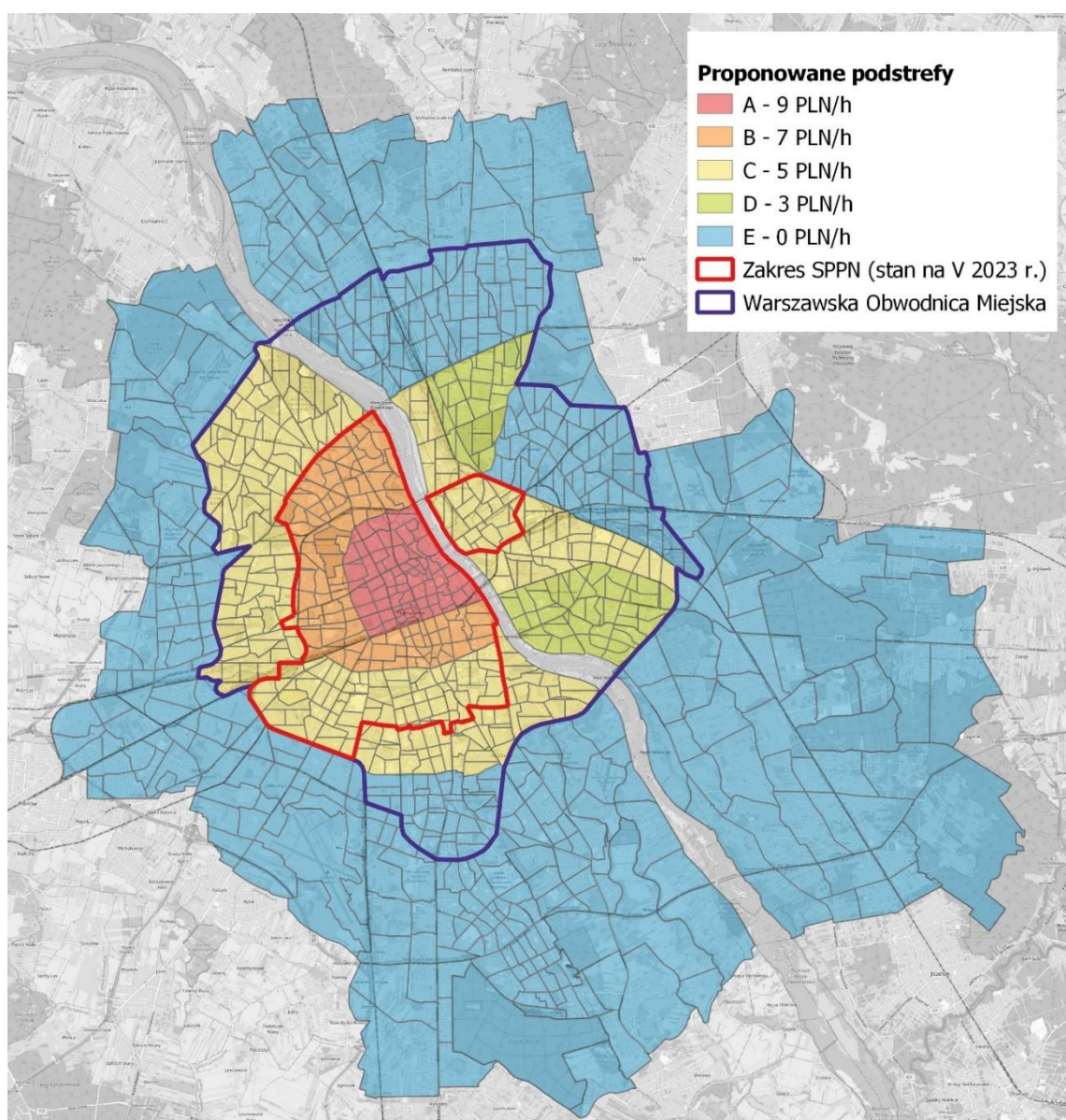
Założenie maksymalnego dopuszczalnego napełnienia miejsc postojowych na poziomie 85% spowodowało, że dla roku 2018 model wskazał 683 rejonów i mikrorejonów komunikacyjnych, w których rekomendowane było wprowadzenie SPP. Zakres cen za godzinę postojową znajdował się w przedziale od 0,50 PLN do 11,00 PLN.



Rysunek 7.6 Modelowany poziomy koszt za godzinę postojową dla dopuszczalnej maksymalnej zajętości miejsc postojowych na poziomie 85% – przykład Warszawy – maj 2023 r.

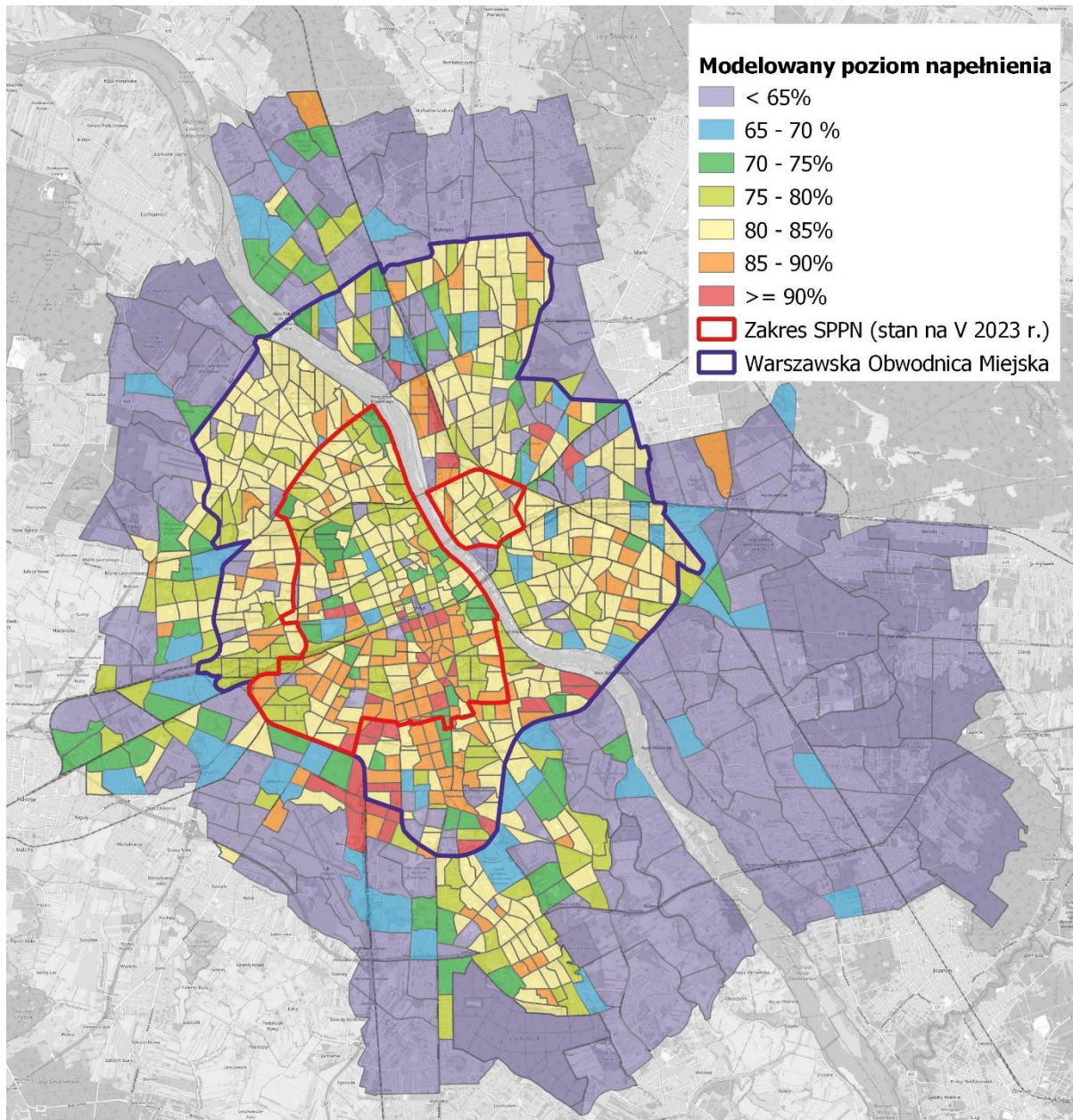
W symulacji dla 2023 r., przyjęcie maksymalnej dopuszczalnej zajętości miejsc postojowych na poziomie 85% spowodowało, że model także wskazał 683 rejonów i mikrorejonów komunikacyjnych, w których pożądanym było wprowadzenie SPP. Zakres cen za godzinę postoją znajdował się w nieznacznie zmienionym przedziale, tj. od 0,50 PLN do 12,00 PLN.

Biorąc pod uwagę praktyczny aspekt implementacji SPP, koniecznym było zastosowanie jednolitych stawek opłat za postój w obszarach większych niż poszczególne modelowane mikrorejonory bądź rejonory transportowe. Z tego względu dokonano wizualnej oceny przestrzennego rozproszenia modelowanych pożądaných poziomów cenowych. Dokonanie klasteryzacji skupisk mikrorejonów o podobnym pułapie cenowym nastąpiło wzdłuż szwów zagospodarowania przestrzennego. Ujednolicenie stawek w obszarach zidentyfikowanych podstref SPP powodowało w części mikrorejonów zawyżenie bądź zaniżenie opłat za postój. Porównując jednak uśrednione modelowane docelowe stawki opłat w obrębie wyznaczonych podstref do stawek proponowanych początkowo, kwoty te nie odbiegały znacząco od siebie. Ostateczny zasięg proponowanych podstref wraz z przyjętą polityką cenową zobrazowano na rysunku 7.7.



Rysunek 7.7 Proponowany zasięg SPP wraz z sugerowaną polityką cenową – Warszawa – maj 2023 r.

Chcąc sprawdzić wpływ wprowadzenia SPP w proponowanej postaci, postanowiono zasymulować poziomy napętnień miejsc postojowych przy zastosowaniu w mikroregionach kosztów za godzinę postoju bazujących na sugerowanej polityce cenowej. Po zaimplementowaniu w modelu funkcjonowania SPP proponowanej polityki cenowej oraz dokonaniu rozkładu popytu parkingowego udało się uzyskać dla mikroregionów komunikacyjnych modelowane poziomy napętnienia jak na rysunku 7.8.



Rysunek 7.8 Modelowany poziom napętnienia miejsc postojowych po zastosowaniu proponowanego zasięgu SPP i sugerowanej polityki cenowej – Warszawa – maj 2023 r.

Porównanie przeciętnych poziomów napętnienia przed i po implementacji proponowanego sposobu funkcjonowania SPP, na poziomie agregacji po poszczególnych podstref, przedstawiono w tabeli 7.3.

Tabela 7.3 Modelowany średni poziom napełnienia w podstrefach – przed i po wprowadzeniu modyfikacji kształtu i polityki cenowej w SPP – Warszawa – maj 2023 r.

Podstrefa	Poziom napełnienia [%]	
	stan obecny	po modyfikacji SPP
A	91.2%	82.7%
B	86.0%	84.2%
C	83.3%	83.1%
D	80.2%	80.2%
E	73.9%	74.0%

Zgodnie z wynikami modelu, przed wprowadzeniem sugerowanych zmian w funkcjonowaniu SPP zarówno podstrefa A, jak i B borykały się z problemem znacznego deficytu miejsc postojowych (tj. przekroczony był poziom 85% zajętości powierzchni parkingowej). Po wprowadzeniu zaproponowanych zmian w zasięgu terytorialnym SPP i modyfikacji polityki cenowej warszawskiej strefy, udało się uzyskać docelowy przeciętny poziom napełnienia blisko, lecz poniżej pożądanych maksymalnych 85%. W przypadku niektórych indywidualnych mikrorejonów komunikacyjnych poziom ten był przekroczony, jednak były to przypadki nieliczne na tle ogółu miasta. Warto zaznaczyć, iż zaimplementowanie proponowanego kształtu strefy pozwoliło na odciążenie obszarów dotychczas przeciążonych popytem parkingowym przy jednoczesnym braku pogorszenia sytuacji w podstrefach ościennych.

#### 7.4. Wnioski z rozdziału 7.

Celem weryfikacji opracowanego w dysertacji modelu było sprawdzenie możliwości aplikacji stworzonej metodyki w przypadku delimitacji SPP w obszarze miejskim innym niż obszar miasta Krakowa. Odtworzenie modelu funkcjonowania SPP na przykładzie Warszawy możliwe było dzięki dostępności Modelu Transportowego Aglomeracji Warszawskiej. Zastosowanie w modelu funkcjonowania SPP zmiennych objaśniających powszechnie używanych w modelach transportowych pozwoliło na bezpośrednie odtworzenie opracowanego podejścia bez konieczności uzupełniania ewentualnych brakujących danych wejściowych. Indywidualizacja modelu funkcjonowania SPP na potrzeby miasta Warszawy wymagała tylko uwzględnienia czynnika różnicy w zamożności mieszkańców Krakowa i stolicy. Posiłkowano się do tego celu wyłącznie publicznie dostępnymi informacjami zaczerpniętymi z GUS.

Uzyskane wyniki modelu funkcjonowania SPP dały realistyczne odzwierciedlenie sytuacji parkingowej w obszarze miejskim Warszawy. Zarówno rozmieszczenie skupisk największego popytu na postój, jak i zakres modelowanych poziomów napełnień na przestrzeni lat znajdują się w spodziewanych zakresach. Na podstawie opracowanego modelu udało się ponadto także dobrać spójne podstrefy parkingowe i zaproponować dla nich prostą i przejrzystą taryfę opłat postojowych. Według symulacji modelu implementacja proponowanej polityki cenowej pozwoliła na redukcję poziomów napełnień do pożądanych wartości w miejscach szczególnego deficytu powierzchni parkingowej, przy jednoczesnym niepogorszeniu sytuacji parkingowej w obszarach przyległych.

Co może się wydawać zaskakujące, wyniki symulacji otrzymane dla obszaru Warszawy wydają się być o wiele bardziej intuicyjne, niż w przypadku Krakowa. Potencjalnych przyczyn zaistnienia takiej sytuacji należy upatrywać się najprawdopodobniej w zróżnicowaniu morfologicznym obu tkanek miejskich. Kraków, którego obszar historycznego centrum do dziś zachował swój średniowieczny charakter znacząco różni się od ścisłego centrum Warszawy. Obecny układ przestrzenny stolicy wykształcił się w dużej mierze

w trakcie jej odbudowy po zniszczeniach powstałych w trakcie II wojny światowej. Znacznie większe zagęszczenie powierzchni różnego przeznaczenia w przeliczeniu na metr kwadratowy powierzchni miasta powoduje, że generowany przez model popyt parkingowy jest znacznie większy w przeliczeniu do ilości dostępnych miejsc postojowych. Taka argumentacja wydaje się być szczególnie uzasadniona w świetle wcześniejszych obaw związanych z potencjalnie zaniżonymi wynikami pomiarów patrolowych łącznego napełnienia miejsc postojowych w Krakowie, do których kalibrowano model funkcjonowania SPP.

Podsumowując, należy podkreślić, iż Model Transportowy Aglomeracji Warszawskiej oraz dane GUS były jedynymi źródłami danych wykorzystanymi do celów odtworzenia modelu funkcjonowania SPP na przykładzie Warszawy. Model nie został ponownie skalibrowany do empirycznych wyników napełnienia powierzchni parkingowej w stolicy. Jednakże, pomimo to rzędy wielkości poziomów napełnienia wraz z rozmieszczeniem mikrorejonów zidentyfikowanych jako obszary o największym deficycie miejsc postojowych wydały się być racjonalne. Uzyskane wyniki mogą zatem wskazywać na uniwersalność zaproponowanej metody. Niezależnie jednak od tego, jak obiecujące zdawać się mogą wyniki uzyskane dla obszaru miejskiego Warszawy, każde użycie opracowanej metodyki budowy modeli stref powinno uwzględniać kalibrację dostosowującą model funkcjonowania SPP do lokalnie panujących uwarunkowań. Ze względu na możliwość obowiązywania lokalnych środków prawnych związanych z regulowaniem podaży powierzchni parkingowej (np. w postaci normatywów parkingowych), rekomenduje się by zwrócić szczególną uwagę na kwestię dopracowania obliczeń związanych z wyznaczaniem liczby dostępnych miejsc postojowych.

## 8. Podsumowanie

### 8.1 Istota badań oraz spełnienie założonych celów

Decyzje związane z implementacją Stref Płatnego Parkowania w obszarach miejskich należą do trudnych decyzji mających w dużej mierze polityczny charakter. Przez brak metod służących jako narzędzie wspomagania podejmowanych decyzji, dotychczasowo wprowadzane rozwiązania były wynikiem analiz opartych głównie o intuicję i doświadczenie zaangażowanych w proces planistów.

W dostępnej literaturze nie znaleziono natomiast propozycji metody pozwalającej na kwantyfikację zjawisk parkingowych w celu wyznaczenia zasięgu przyszłej SPP. Wśród prowadzonych badań dominowały analizy stanu istniejącego selektywnie wybranych obszarów, w których płatne parkowanie już najczęściej obowiązywało. Pomimo wielokrotnie wspomnianego w literaturze zjawiska oddziaływania SPP na sąsiednie obszary, w tym także na tereny nieobjęte płatnym parkowaniem, nigdzie nie natrafiono na próbę matematyzacji tego zjawiska.

W ramach niniejszej rozprawy zaadresowano problem delimitacji SPP, do czego posłużono się opracowanym autorskim modelem symulacyjnym. Zintegrowano w nim liczne dane dotyczące zarówno popytu, jak i podaży parkingowej, z uwzględnieniem czynników przestrzennych. Fundamenty budowy modelu funkcjonowania SPP oparto o istniejący model transportowy aglomeracji. Zaczerpnięto z niego podział przestrzenny obszaru miejskiego na rejony komunikacyjne oraz liczne zmienne objaśniające znajdujące się bezpośrednio w bazie danych modelu oraz obliczone na podstawie wyników rozkładu ruchu na sieć transportową. Dodatkowo bazę dostępnych danych uzupełniono także o dane operacyjne pozyskane od zarządcy SPP, badania patrolowe poziomów napełnień miejsc postojowych oraz wyniki inwentaryzacji miejsc postojowych. Odzwierciedlenia różnic w poziomie zamożności mieszkańców miast oraz zmiany wartości pieniądza w czasie dokonano w oparciu o dane dotyczące wielkości przeciętnych płac, które pozyskano z informacji podawanych publicznie przez Główny Urząd Statystyczny. Aspekt wrażliwości użytkowników na wielkość stosowanych opłat postojowych zweryfikowano przy użyciu własnych badań ankietowych. Uwzględnienie czynnika elastyczności cenowej popytu z jednoczesnym osadzeniem go w kontekście przestrzennym pozwoliło na symulację zjawiska rozlewania się popytu parkingowego w zależności od zasięgu SPP i obranej polityki cenowej.

Opracowany model implementowano w środowisku programistycznym w postaci dwóch wariantów. Pierwszy z nich pozwalał na modelowanie stanu istniejącego, w którym obowiązuje już jakaś forma SPP, ze z góry znanymi kosztami za godzinę postoju. W rezultacie stosowania pierwszego algorytmu otrzymywano wielkości poziomów napełnień miejsc postojowych w poszczególnych rejonach transportowych. Aplikacja pierwszego algorytmu posłużyła również do oceny poziomu kalibracji opracowanego modelu funkcjonowania SPP. Algorytm ten był także wykorzystywany do symulacji poziomów napełnień miejsc parkingowych po implementacji zasięgu i polityki cenowej hipotetycznej SPP. Drugi z przygotowanych algorytmów pozwalał natomiast na obliczenie stawek za godzinę postoju, które by pozwalały na utrzymanie maksymalnych poziomów zajętości w poszczególnych rejonach komunikacyjnych poniżej określonego limitu (przyjętego w niniejszej pracy na poziomie 85%).

Uniwersalne narzędzie w postaci modelu symulacyjnego SPP pozwala na testowanie różnych scenariuszy implementacji stref. Dzięki istnieniu takiej funkcjonalności możliwym jest wybór najlepszej opcji spośród różnych rozpatrywanych wariantów. Decydent zyskuje sposobność selekcji wariantu uwzględniającego indywidualne preferencje i potrzeby, bez konieczności testowania różnych sposobów organizacji SPP na żywym organizmie miejskim.



W sytuacji braku istnienia dedykowanego narzędzia, jedyną możliwość weryfikacji konsekwencji wprowadzanych stref daje bowiem dopiero ich implementacja.

W ramach prac prowadzonych nad niniejszą dysertacją wykorzystano różne narzędzia obliczeniowe do stworzenia metodyki pozwalającej na prawidłowe kształtowanie zasięgu obowiązywania SPP. Aplikacja metod regresji liniowej, nadzorowanego uczenia maszynowego wraz z metodami analiz przestrzennych stworzyła sposobność modelowania różnych komponentów wchodzących w skład modelu powstałego do celów delimitacji SPP. Zidentyfikowano oraz skwantyfikowano czynniki wpływające na zasadność implementacji stref, co miało miejsce dzięki szczegółowej analizie oraz integracji dostępnych danych. Uznaje się zatem, iż cel niniejszej rozprawy został osiągnięty.

Ponadto, udało się także uporządkować obecny stan wiedzy na temat płatnego parkowania, między innymi poprzez kompleksowe określenie organizacyjnych uwarunkowań funkcjonowania SPP. Zaproponowano uściślenie części nomenklatury używanej w kontekście opisu zjawisk związanych z parkowaniem. Wprowadzono także nowe pojęcia służące klasyfikacji popytu parkingowego, które miały bezpośredni związek z opracowaną metodyką wspomagającą podejmowanie decyzji dotyczących implementacji SPP.

## 8.2 Wnioski generalne

1. W dotychczas przeprowadzonych badaniach nad parkowaniem wysiłki badaczy skupiały się głównie na wykorzystaniu bogatego spektrum różnych metod matematycznych do celów opisywania popytu parkingowego. Nigdzie jednak nie znaleziono metody służącej delimitacji SPP przypominającej tę opracowaną w niniejszej dysertacji. Ponadto nie udało się także dotrzeć w literaturze do żadnego wątku, który poruszałby kwestię integracji modelowania popytu parkingowego z modelem transportowym miasta bądź aglomeracji.
2. Dokonanie klasyfikacji popytu parkingowego pozwoliło na zbudowanie dedykowanego mu modelu. Popyt klasyfikowano na dwa sposoby – ze względu na status użytkowników infrastruktury parkingowej oraz ze względu na pochodzenie popytu. W pierwszym przypadku klasyfikowano na podstawie tego, czy popyt wynikał z zapotrzebowania na parkowanie użytkowników posiadających abonament parkingowy czy też nie. W drugim przypadku znaczenie miało to, czy wybrane miejsce postojowe było bezpośrednio związane z celem realizowanej podróży czy też wynikało z innych czynników jak np. z chęci uniknięcia opłat postojowych czy też z braku dostępnych miejsc postojowych w innym obszarze.
3. W ramach pracy stworzono algorytmy, które po zaimplementowaniu w środowisku programistycznym pozwoliły na rozkład popytu parkingowego na dostępną publicznie infrastrukturę parkingową. W rezultacie możliwe było otrzymanie symulowanych wielkości napełnienia powierzchni parkingowej. Na podstawie zastosowania opracowanych procedur udało się uzyskać zadowalające wyniki – współczynnik determinacji  $R^2$  dla symulowanych poziomów napełnień wyniósł 0,63. Dla symulowanej liczby zaparkowanych pojazdów wyniósł on natomiast 0,99.
4. Opracowanie modelu symulacyjnego SPP wymagało zgromadzenia znacznej ilości danych. Zebrano liczne zestawy informacji, jednakże ze względu na różny poziom agregacji przestrzennej koniecznym było ich zunifikowanie. Potrzeba integracji danych do jednakowego formatu wymagała przyjęcia wielu założeń. Ponadto, nie zawsze istniała możliwość wykorzystania otrzymanych danych. Sytuacja taka miała miejsce chociażby w przypadku danych dotyczących wszystkich wydanych abonamentów, gdyż były one zagregowane na poziomie zbyt dużych jednostek obszarowych. Istotną przeszkodą był także brak możliwości pozyskania informacji z bazy danych biletów parkingowych dla roku 2018, w którym przeprowadzono badania patrolowe, do których

kalibrowany był model funkcjonowania SPP. Problem ten wynikał wyłącznie z przyczyn organizacyjno-technicznych (brak dostępu do baz danych ze względu na przekształcenie spółki zarządzającej SPP w Krakowie). Z tego powodu postanowiono wykorzystać dane pochodzące z 2019 roku.

5. Wykorzystanie modeli transportowych miast i aglomeracji w delimitacji SPP pozwoliło na szybkie, niewymagające dodatkowych nakładów finansowych wykorzystanie pracy, która została już najczęściej wykonana w ramach innych zadań związanych z planowaniem rozwoju systemu transportowego danej jednostki. Wiedząc, że dostępny model transportowy udało się już odpowiednio skalibrować, można wnioskować, iż istnieją także wyraźne przesłanki co zasadności zastosowanego w nim podziału terytorialnego na rejony komunikacyjne. Uprzednia kalibracja może także służyć jako sposób pośredniego potwierdzenia poprawności wielkości zmiennych objaśniających przypisanych poszczególnym rejonom. Ostatecznie, zawsze należy liczyć się z ewentualnością braku dostępności modelu transportowego dla danego obszaru, jednakże zazwyczaj modele te są dostępne dla miast, w których zasadne jest rozważanie wprowadzenia bądź modyfikacji SPP.
6. Opracowaną dla obszaru miejskiego Krakowa metodykę postanowiono przetestować na przykładzie miasta Warszawy. Ta próba pokazała możliwość aplikowania stworzonej metody dla innych obszarów miejskich pomimo początkowych trudności związanych z podejrzanym niedoszacowaniem wielkości popytu na miejsca postojowe. Niedoszacowanie popytu mogło wynikać z kalibrowania modelu do stosunkowo niskich wartości napełnień otrzymanych podczas przeprowadzanych badań patrolowych w Krakowie. Model, który wydawał się zaniżać wielkości napełnień miejsc postojowych w krakowskim obszarze miejskim okazał się jednak dawać bardzo intuicyjne i spodziewane wyniki dla obszaru miejskiego Warszawy. Przyczyny opisanego zjawiska upatruje się w różnicy w dokładności zebranych zestawów danych objaśniających oraz w zróżnicowaniu morfologicznym tkanek miejskich obu obszarów, które wpływa na stopień zagęszczenia powierzchni różnego przeznaczenia (np. powierzchni biurowej, mieszkalnej etc.). Uwzględniając powyższe, stwierdza się zatem, iż opracowana metoda nosi znamiona uniwersalności.
7. Biorąc pod uwagę, że opracowane podejście do modelowania SPP jest metodą nową, nie należy oczekiwać, że od razu okaże się doskonała. Wątek delimitacji SPP warto jednak dalej badać i rozwijać, gdyż zagadnienie wyznaczania granic i polityki cenowej stref stanowi wciąż aktualny problem decydentów. Wprowadzanie opłat za postój jest zazwyczaj dużym wyzwaniem, gdyż nie dotyczy tylko kwestii stricte technicznych związanych z modelowaniem popytu parkingowego. Decyzjom związanym z implementacją SPP towarzyszy bowiem dodatkowo poruszenie wątków politycznych i społecznych.
8. Tak, jak w przypadku każdego modelu używanego do celów planowania i organizowania systemów transportowych, tak i opracowany w ramach niniejszej dysertacji model funkcjonowania SPP stwarza szeroką przestrzeń do interpretacji jego wyników. Jest przede wszystkim narzędziem, które może ułatwić ocenę wpływu różnych strategii organizacji płatnego parkowania w obszarach miejskich. W ostateczności jednak, decydujące zdanie na temat finalnego kształtu implementowanych SPP powinno należeć do profesjonalistów, którzy będą w stanie zinterpretować wyniki modelu i odnieść je do panujących, indywidualnych uwarunkowań konkretnego obszaru miejskiego. Otrzymanie zadowalających wyników zarówno na poziomie kalibracji (oddającej uwarunkowania krakowskie), jak i na poziomie weryfikacji w przypadku użycia na przykładzie innego obszaru miejskiego (w warunkach miasta Warszawy) nie daje gwarancji powodzenia w przypadku użycia

dla innego obszaru miejskiego. Mogą istnieć lokalne czynniki nieujęte w opracowanym modelu funkcjonowania SPP, które uniemożliwią jego bezpośrednie użycie. Z tego też względu należy podczas każdej próby użycia niniejszego modelu zweryfikować jego trafność poprzez porównanie wyników modelowania stanu istniejącego ze stanem faktycznym. Dodać należy, iż rekalkibracja modelu celem dokładniejszego odzwierciedlenia indywidualnych lokalnych uwarunkowań (np. w przypadku opracowywania regionalnych bądź krajowych modeli transportowych) jest procedurą standardową.

9. Wszystkie działania podjęte w niniejszej rozprawie związane były z oddziaływaniem na użytkowników miejskiej infrastruktury parkingowej, którzy nie posiadają abonamentów postojowych w strefach dotkniętych szczególnym deficytem miejsc postojowych. Zwrócić należy jednak uwagę na to, że niejednokrotnie popyt pochodzący wyłącznie od mieszkańców (posiadających abonamenty) pozostawia do dyspozycji innym grupom użytkowników jedynie niewielki odsetek dostępnych wolnych miejsc parkingowych. Być może warto więc także rozważyć zaostrenie polityki parkingowej względem osób zamieszkujących SPP, przy jednoczesnym braku dodatkowych ograniczeń stosowanych np. w odniesieniu do przedsiębiorców.

### 8.3 Kierunki dalszych badań

Ze względu na złożony charakter badanego zjawiska, opracowana w niniejszej dysertacji metodyka oraz model nie wyczerpują w pełni analizowanego zagadnienia. Pośród potencjalnych dalszych kierunków badań naukowych należy zatem wymienić:

- integrację modelu funkcjonowania SPP z modelem transportowym miasta bądź aglomeracji (np. poprzez modyfikację podziału zadań przewozowych),
- modelowanie zmienności potoków ruchu pojazdów samochodowych na sieci ulicznej pod wpływem zmian w prowadzonej polityce parkingowej,
- zróżnicowanie sposobu funkcjonowania SPP w zależności od dnia tygodnia (np. zmiana organizacji strefy w weekendy i święta),
- modelowanie poziomów rotacji pojazdów w SPP i poza nią,
- opracowanie alternatywnych algorytmów rozkładu popytu parkingowego,
- weryfikacja modelu w odniesieniu do warunków panujących w SPP po ustaniu stanu epidemii w związku z zakażeniami wirusem SARS-CoV-2.

## Bibliografia

- [1] Z. Kłós-Adamkiewicz, „Uogólniony koszt podróży na przykładzie wyboru komunikacji miejskiej i samochodu osobowego”, *Zesz. Nauk. Uniw. Szczecińskiego Probl. Transp. i Logistyki*, t. 35, ss. 73–82, 2016.
- [2] H. Lim i in., „Alternative Approach for Forecasting Parking Volumes”, *Transp. Res. Procedia*, t. 25, ss. 4171–4184, 2017.
- [3] S. Fierek, H. Sawicka, i P. Sawicki, „Wpływ zmian harmonogramu pracy transportu zbiorowego na podział zadań przewozowych”, *Pr. Nauk. Politech. Warsz. - Transp.*, z. 120, ss. 93–109, 2018.
- [4] G. Duranton i M. A. Turner, „The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities”, *Am. Econ. Rev.*, t. 101, ss. 2616–2652, 2011.
- [5] T. Litman, „Generated traffic - implications for transport planning”, *Inst. Transp. Eng. J.*, t. 71, nr 4, ss. 38–47, 2001.
- [6] R. B. Noland i L. L. Lewison, „A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and the UK”, *Transp. Res. Part D*, t. 7, ss. 1–26, 2002.
- [7] M. J. H. Mogridge, *Travel in towns: jam yesterday, jam today and jam tomorrow?* Macmillan Press, 1990.
- [8] D. Lewis, „Estimating the influence of public policy on road traffic levels in greater London”, *J. Transp. Econ. Policy*, t. 46, nr 3, ss. 155–168, 1977.
- [9] W. Gronau i A. Kagermeier, „Mobility management outside metropolitan areas: case study from north Rhine Westphalia”, *J. Transp. Geogr.*, t. 12, 2004.
- [10] K. Nosal, „Wpływ wybranych instrumentów zarządzania mobilnością na podział zadań przewozowych”, praca doktorska, Politechnika Krakowska, 2015.
- [11] P. Sawicki i S. Fierek, „Problem jednoczesnego wyznaczania przebiegu linii i lokalizacji zajezdni w systemie transportu zbiorowego”, *Pr. Nauk. Politech. Warsz. - Transp.*, z. 119, ss. 429–444, 2017.
- [12] R. Pressl i T. Rye, „Dobre powody i zasady zarządzania parkowaniem”, CIVITAS PARK4SUMP, 2020.
- [13] D. Shoup, „The trouble with minimum parking requirements”, *Transp. Res. part A*, t. 33, ss. 549–574, 1999.
- [14] U. Duda-Wiertel i A. Szarata, „The analysis of transport-related behaviours of drivers in highly occupied paid parking zones”, *Adv. Transp. Stud.*, t. 47, ss. 35–48, 2019.
- [15] P. Gołębiowski, I. Jacyna-Gołda, R. Jachimowski, K. Lewczuk, M. Kłodawski i E. Szczepański, „Wybrane aspekty kształtowania zrównoważonego systemu transportowego”, *Logistyka*, t. 3, ss. 7254–7260, 2014.
- [16] T. Ambroziak, R. Jachimowski, D. Pyza, i E. Szczepański, „Analysis of the traffic stream distribution in terms of identification of areas with the highest exhaust pollution”, *Arch. Transp. - Warsaw Univ. Technol. Fac. Transp.*, t. 32, nr 4, ss. 7–16, 2014.
- [17] C. Kubala i T. Kulpa, „Analiza wpływu rozszerzenia strefy płatnego parkowania w Krakowie na zachowania kierowców”, w *Zeszyty Naukowo – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, 1(105)/2015, 2015, ss. 51–60.

- [18] J. Gies, M. Hertel, i S. Tully, „Standardy parkingowe jako instrument sterowania w planowaniu mobilności miejskiej”, CIVITAS PARK4SUMP, 2021.
- [19] T. Litman, „Mobility management. Sustainable transport. A sourcebook for policy-makers”, *Dev. Cities Modul. 2b. Mobil.*, 2003.
- [20] K. Segrave, *Parking Cars in America, 1910-1945: A History*. McFarland, 2014.
- [21] A. Szarata, „Ocena efektywności funkcjonalnej parkingów przesiadkowych (P+R)”, praca doktorska, Politechnika Krakowska, 2005.
- [22] J. Friedberg, „Metodyka opracowywania polityki parkingowej”, w *Zeszyty Naukowo – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie, 1(100)/2013*, 2013, ss. 101–110.
- [23] J. Scheiner, N. Faust, J. Helmer, M. Straub, i C. Holz-Rau, „What’s that garage for? Private parking and on-street parking in a high-density urban residential neighbourhood”, *J. Transp. Geogr.*, t. 85, maj 2020.
- [24] B. Huntsman, P. Lasley, i M. Metsker-Galarza, „Finding the Value of Urban Parking: An Analysis of the Impacts of Smart Parking Systems on Congestion and Land Values in Downtown Houston”, Texas A&M Transportation Institute, 2018.
- [25] *Uchwała Nr XXXVI/225/88 z dnia 6 kwietnia 1988 r. w sprawie projektu uspokojenia ruchu kołowego w śródmieściu Krakowa*.
- [26] M. Kiciński i A. Merkiś-Guranowska, „Wpływ polityki transportowej miasta na zmniejszanie zatłoczenia na przykładzie Środy Wielkopolskiej”, *Pr. Nauk. Politech. Warsz. - Transp.*, ss. 119–128, 2017.
- [27] M. Wawer, „Analiza parkowania w okolicy Starego Miasta w Sandomierzu”, praca inżynierska, Politechnika Warszawska, 2019.
- [28] A. Szarata, „Strefy płatnego parkowania jako narzędzie sterowania dostępnością centrów miast”, *Mag. Autostrady Bud. Drog.*, t. 10, ss. 56–59, 2017.
- [29] *Ustawa z dnia 21.03.1985 o drogach publicznych (Dz.U. 85.14.60, tekst jednolity Dz.U. 07.19.115 z późn. zm.)*.
- [30] *Rozporządzenie Ministrów Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2002 r. w sprawie znaków i sygnałów drogowych*.
- [31] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*.
- [32] *Wyrok Wojewódzkiego Sądu Administracyjnego w Gdańsku z 24 stycznia 2018 r., II SA/Gd 561/17*.
- [33] A. Szarata, „Opinia dotycząca ustalania obszaru funkcjonalnego śródmieścia”, materiały niepublikowane, Kraków, 2020.
- [34] *Ustawa z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (Dz. U. 1990 Nr 16 poz. 95)*.
- [35] *Uchwała nr XLVII/848/16 Rady Miasta Krakowa z dnia 8 czerwca 2016 r. w sprawie przyjęcia Polityki Transportowej dla Miasta Krakowa na lata 2016 - 2025*.
- [36] *Uchwała nr LIII/723/12 Rady Miasta Krakowa z dnia 29 sierpnia 2012 r. w sprawie przyjęcia programu parkingowego dla miasta Krakowa*.
- [37] Komisja Wspólnot Europejskich, *Zielona księga - W kierunku nowej kultury mobilności w mieście*. Bruksela, 2007.
- [38] *Opinia Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie integracji polityki transportowej i gospodarki przestrzennej na rzecz bardziej zrównoważonego transportu miejskiego*. Bruksela, 2009.

- [39] *Ustawa z dnia 18 stycznia 1951 r. o dniach wolnych od pracy.*
- [40] J. Parmar, P. Das, i S. M. Dave, „Study on demand and characteristics of parking system in urban areas: A review”, *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.*, t. 7, nr 1, ss. 111–124, 2020.
- [41] O. Cats, C. Zhang, i A. Nissan, „Empirical Evaluation of an On-Street Pricing Scheme in the City Center”, w *Proceedings of the 94th Transportation Research Board Annual Meeting*, 2015.
- [42] M. Kozłowski, A. Czerepicki, P. Jaskowski, i K. Aniszewski, „Analysis of the System of Controlling Paid Parking Zones”, *Sustainability*, t. 13, nr 8, s. 4211, 2021.
- [43] S. Gaca, W. Suchorzewski, i M. Tracz, *Inżynieria ruchu drogowego: teoria i praktyka*. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2011.
- [44] A. Szarata, M. Pyzik, W. Mrozowski, M. Karwan, U. Duda-Wiertel, i D. Dudek, „Polityka parkingowa w śródmieściu Kielc wraz z analizą Strefy Płatnego Parkowania”, materiały niepublikowane, 2020.
- [45] SmartFactor, „Analiza funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania w Częstochowie”, materiały niepublikowane, 2021.
- [46] C. Kubala, „Analysis of the impact of the Paid Parking Zone enlargement in Cracow on drivers' parking behaviour”, praca magisterska, Politechnika Krakowska, 2015.
- [47] M. Kagerbauer, W. Manz, i D. Zumkeller, „Analysis of PAPI, CATI, and CAWI Methods for a Multiday Household Travel Survey”, w *Transport Survey Methods: Best Practice for Decision Making*, Emerald Group Publishing Limited, 2013, ss. 289–304.
- [48] J. Simićević, S. Vukanović, i N. Milosavljević, „The effect of parking charges and time limit to car usage and parking behaviour”, *Transp. Policy*, t. 30, ss. 125–131, lis. 2013.
- [49] J. de Dios Ortúzar i L. G. Willumsen, *Modelling transport*. John Wiley & Sons, 2011.
- [50] M. M. Borowska-Stefańska i S. A. Wiśniewski, „Designation of a paid parking zone in Łódź”, *Logist. Transp.*, t. 41, ss. 57–72, 2019.
- [51] P. Brzyszczyk, W. Garczewski, i A. Szarata, „Analiza projektu rozszerzenia strefy płatnego parkowania w centrum miasta”, w *Zeszyty Naukowo – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, 1(100)/2013, ss. 51–60.
- [52] A. Brzeziński i T. Dybicz, „Problemy funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania w centrum miasta”, w *Zeszyty Naukowo – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, 1(100)/2013, 2013, ss. 25–36.
- [53] A. Kurek i E. Macioszek, „Analysis of selected parking characteristics in the Paid Parking Zone - a Case Study Based on City in Poland”, 2021.
- [54] A. Kurek, „Methods of Parking Measurements—Research of Parking Characteristics in Paid Parking Zones with Dynamic Parking Information”, 2021, ss. 185–193.
- [55] D. C. Shoup, „Cruising for parking”, *Transp. Policy*, t. 13, nr 6, ss. 479–486, 2006.
- [56] E. Verhoef, P. Nijkamp, i P. Rietveld, „The economics of regulatory parking policies: the (im)possibilities of parking policies in traffic regulation”, *Transp. Res. part A*, t. 29A, ss. 141–156, 1995.
- [57] J. Majdecka, T. Zwoliński, i D. Niewitała, „Przegląd rozwiązań dotyczących polityki parkingowej w miastach europejskich”, *Transp. Miej. i Reg.*, t. 3, ss. 2–22, 2012.

- [58] A. Ciastoń-Ciulkin i W. Starowicz, „Wpływ instrumentów finansowych związanych z funkcjonowaniem Strefy Płatnego Parkowania na zrównoważoną mobilność pracowników Urzędu Miasta Krakowa”, *Transp. Miej. i Reg.*, t. 6, ss. 18–25, 2014.
- [59] G. Marsden, „The evidence base for parking policies - a review”, *Transp. Policy*, t. 13, ss. 447–457, 2006.
- [60] A. Faron, „Granice strefy płatnego parkowania w kontekście lokalizacji przystanków kolei aglomeracyjnej”, *Transp. Miej. i Reg.*, t. 9, 2018.
- [61] I. Bartel, U. Duda, i B. Wiertel, „Analiza i ocena funkcjonowania systemu «Parkuj i Jedź» w Krakowie”, *Transp. Miej. i Reg.*, t. 6, ss. 26–31, 2014.
- [62] K. Jamroz, J. Oskarbski, i P. Krukowski, „System Informacji Parkingowej w zintegrowanym systemie zarządzania ruchem TRISTAR”, w *Zeszyty Naukowo – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, 1(100)/2013, 2013, ss. 135–144.
- [63] T. Szczuraszek i M. Karwasz, „Analiza wybranych charakterystyk parkowania w strefie płatnego parkowania w śródmieściu Bydgoszczy w związku z wdrażaniem ITS”, *Transp. Miej. i Reg.*, t. 11, ss. 12–18, 2014.
- [64] A. Szarata, „Rola pozyskiwania danych w kontekście funkcjonowania Stref Płatnego Parkowania”, w *Zeszyty Naukowo – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, 1(105)/2015, 2015, ss. 107–117.
- [65] V. Wabińska-Chmielewska, „Doświadczenia związane z Partnerstwem Publiczno-Prywatnym w zakresie budowy parkingów”, w *Zeszyty Naukowo – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, 1(100)/2013, 2013, ss. 277–288.
- [66] D. Serrano, G. Suarez, O. Bas, i I. Cruzado, „Feasibility Study for the Construction of Multi-Story Parking through a Public-Private Partnership at the University of Puerto Rico at Mayagüez”, w *ASCE Construction Research Congress 2016*, 2016, ss. 341–350.
- [67] K. Axhausen i J. Polak, „Choice of parking: stated preference approach”, *Transportation (Amst.)*, t. 18, ss. 59–81, 1991.
- [68] L. Dell’Olio, A. Ibeas, i J. L. Moura, „Paying for parking: improving stated-preference surveys”, w *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Transport 162*, 2009, ss. 39–45.
- [69] X. Ma, X. Sun, Y. He, i C. Y., „Parking choice behavior investigation: A case study at Beijing Lama Temple”, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, t. 96, ss. 2635–2642, 2013.
- [70] Z. Mei, Q. Lou, W. Zhang, L. Zhang, i F. Shi, „Modelling the effects of Parking Charge and Supply Using System Dynamics Method”, *J. Adv. Transp.*, 2017.
- [71] G. Antolin, A. Ibeas, B. Alonso, i L. Dell’Olio, „Modelling parking behaviour considering users heterogeneities”, *Transp. Policy*, 2018.
- [72] D. Hensher i J. King, „Parking demand and responsiveness to supply, pricing and location in the Sydney central business district”, *Transp. Res. part A*, t. 35, ss. 177–196, 2001.
- [73] A. Bergantino, C. Capozza, A. De Carlo, i A. Morone, „What drives parking choices: a laboratory experiment”, w *55. Riunione Scientifica Annuale della Società Italiana degli Economisti*, 2014.
- [74] S. Hess i J. Polak, „An analysis of parking behaviour using discrete choice models calibrated on SP datasets”, w *R-sessions at the european regional science conference*, 2004.

- [75] S. Hess i J. Polak, „Mixed Logit Modelling of Parking Type Choice Behaviour”, w *Transportation Statistics*, J.D. Ross Publishing, 2009, ss. 77–102.
- [76] V. Naumov, „Określenie optymalnej pojemności parkingu na podstawie analiz symulacyjnych”, w *Zeszyty Naukowo – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, 1(105)/2015, 2015, ss. 61–70.
- [77] R. Hoessinger *i in.*, „Development of a Real-Time Model of the Occupancy of Short-Term Parking Zones”, *Int. J. Intell. Transp. Syst. Res.*, ss. 37–47, 2014.
- [78] A. Ibeas, R. Cordera, L. Dell’Olio, i J. L. Moura, „Modelling demand in restricted parking zones”, *Transp. Res. part A*, t. 45, ss. 485–498, 2011.
- [79] E. Madsen, I. Mulalic, i N. Pilegaard, „A model for estimation of the demand for on-street parking”, *MPRA Munich, Ger.*, 2013.
- [80] W. Parkitny, „Using the Theory of Games to Modelling the Equipment and Prices of Car Parking”, w *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 245 062046, 2017.
- [81] L. Guo, S. Huang, J. Zhuang, i A. Sadek, „Modelling parking behaviour under uncertainty: A static game theoretic versus a sequential neo-additive capacity modelling approach”, *Networks Spat. Econ.*, t. 13(3), ss. 327–350, 2013.
- [82] J. Rios, D. Morillo-Torres, A. Olmedo, J. Coronado-Hernandez, i G. Gatica, „Pricing for urban areas using queuing theory”, *Procedia Comput. Sci.*, t. 203, ss. 554–558, 2022.
- [83] J. Xiao, Y. Lou, i J. Frisby, „How likely am I to find parking? – A practical model-based framework for predicting parking availability”, *Transp. Res. Part B Methodol.*, t. 112, ss. 19–39, 2018.
- [84] A. Glazer i E. Niskanen, „Parking fees and congestion”, *Reg. Sci. Urban Econ.*, t. 22, ss. 123–132, 1992.
- [85] S. Anderson i A. de Palma, „The economics of pricing parking”, *J. Urban Econ.*, t. 55, ss. 1–20, 2004.
- [86] D. Shoup, *The high cost of free parking*. Chicago: Planners Press, 2005.
- [87] S. Stienstra, „Who Benefits from Free Parking?”, w *Zeszyty Naukowo – Techniczne Oddziału SITK w Krakowie*, 80(134), 2007, ss. 147–155.
- [88] E. Calthrop, S. Proost, i K. van Dender, „Parking policies and road pricing”, *Urban Stud.*, t. 37, ss. 63–76, 2000.
- [89] A. Kelly i P. Clinch, „Influence of varied parking tariffs on parking occupancy levels by trip purpose”, *Transp. Policy*, t. 13, ss. 487–495, 2006.
- [90] D. B. Ottosson, C. Chen, T. Wang, i H. Lin, „The sensitivity of on-street parking demand in response to price changes: A case study in Seattle, WA”, *Transp. Policy*, t. 25, ss. 222–232, 2013.
- [91] T. Litman, „Understanding transport demands and elasticities”, 2017. [Online]. Dostępne na: <http://www.vtpi.org/elasticities.pdf>. [Udostępniono: 12-maj-2018].
- [92] P. Lubrich, „Analysis of parking traffic in Cologne, Germany, based on an extended Macroscopic transport model and parking API data”, *Case Stud. Transp. Policy*, t. 11, 2023.
- [93] G. Emberger i P. Pfaffenbichler, „Equidistance: Evidence of the Influence of Parking Organization on Mode Choice”, 2017, ss. 129–150.



- [94] A. Szarata, „Budowa modelu popytu w ujęciu aglomeracyjnym, bazująca na podejściu czterostadiowym wraz z kalibracją i weryfikacją modelu w oparciu o dostępną bazę danych pomiarowych”, *Konsorcjum naukowo-badawcze: Politechnika Krakowska, PBS, Jan Friedberg, Ekkom, IMS*, Kraków, 2014.
- [95] U. Duda-Wiertel i M. Szubra, „Analiza funkcjonowania Strefy Płatnego Parkowania w Krakowie”, materiały niepublikowane, Kraków, 2018.
- [96] *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 marca 2020 r. w sprawie ogłoszenia na obszarze Rzeczypospolitej Polskiej stanu epidemii.*
- [97] J. Ruzicka, K. Navratilova, i T. Tichy, „Respecting the parking rules in city centres”, w *2019 Smart City Symposium Prague (SCSP)*, 2019, ss. 1–6.
- [98] *Uchwała nr XXII/456/19 Rady Miasta Krakowa 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.*
- [99] J. Greń, *Statystyka matematyczna: podręcznik programowy*. Warszawa, 1987.
- [100] Urząd Miasta Krakowa, „Program obsługi parkingowej dla miasta Krakowa - Inwentaryzacja miejsc postojowych Etap I”, 2007.
- [101] *Uchwała 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.*
- [102] K. Krygowski, Z. Kołodziej, P. Pliszczyński, i R. Sowa, „Projekt organizacji ruchu w Strefie Płatnego Parkowania w Krakowie”, Kraków, 2017.
- [103] QGIS Development. Team, „QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project”, 2021.
- [104] M. Friedrich, E. Pestel, C. Schiller, i R. Simon, „Scalable GEH: A Quality Measure for Comparing Observed and Modeled Single Values in a Travel Demand Model Validation”, *Transp. Res. Rec.*, t. 4, nr 2673, 2019.
- [105] B. Schoelkopf, A. Smola, R. K. Williamson, i B. P. L., „New support vector algorithms”, *Neural Comput.*, t. 12, ss. 1207–1245, 2000.
- [106] F. Pedregosa i G. Varoquaux, „Scikit-learn: Machine Learning in Python”, *J. Mach. Learn. Res.*, t. 12, nr 85, s. 2825–2830, 2011.
- [107] M. Dawson, *Python dla każdego: podstawy programowania*. Helion, 2014.
- [108] Główny Urząd Statystyczny, „Bank Danych Lokalnych”, 2022.
- [109] N. Levy, M. Render, i I. Benenson, „Spatially explicit modeling of parking search as a tool for urban parking facilities and policy assessment”, *Transp. Policy*, t. 39, ss. 9–20, 2015.
- [110] C. Kubala, „Wyznaczenie miarodajnych okresów przeprowadzania badań zachowań parkingowych użytkowników strefy płatnego parkowania”, *Transp. Miej. i Reg.*, t. 9, 2018.

- [111] A. Szarata *i in.*, „Warszawskie Badanie Ruchu 2015 wraz z opracowaniem modelu ruchu. Raport z etapu IV. Model ruchu”, 2016.
- [112] M. Zdancewicz, „Polityka przestrzenna miasta stołecznego Warszawy”, materiały niepublikowane, Warszawa, 2007.
- [113] *Uchwała nr XXXVI/1077/2008 Rady Miasta Stołecznego Warszawy z dnia 26 czerwca 2008 roku w sprawie ustalenia strefy płatnego parkowania, wysokości stawek opłaty za postój pojazdów samochodowych na drogach publicznych w strefie, wysokości opłaty dodatkowej oraz określenia sposobu pobierania tych opłat*
- [114] A. Szarata, „Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej”, Politechnika Krakowska, 2013.
- [115] L. Drabik, *Słownik wyrazów obcych PWN z przykładami i poradami*. Polskie Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 2023.
- [116] *Uchwała nr XXXIV/269/IV/2003 Rady Miasta Poznania z dnia 2 grudnia 2003r. w sprawie ustalenia w Poznaniu strefy płatnego parkowania, stawek opłat za parkowanie pojazdów samochodowych na drogach publicznych w strefie płatnego parkowania, wysokości opłat dodatkowych oraz sposobu ich pobierania.*
- [117] W. Kalita, M. Kurek, B. Sowa, i L. Piczak, *Ekonomia: wybrane zagadnienia mikro i makroekonomii*. Przemysł, 2014.

# ZAŁĄCZNIKI

Załącznik 4.1 – Mapa rejonów komunikacyjnych modelu transportowego aglomeracji krakowskiej wraz z numeracją rejonów



### Załącznik 5.1 – Wyznaczenie dostępności transportowej rejonów komunikacyjnych

Istotnym wskaźnikiem możliwym do obliczania na podstawie wyników modelu transportowego miasta jest dostępność transportowa. Jako że jednostką obszarową wykorzystywaną w modelach transportowych jest rejon komunikacyjny, w niniejszej pracy wskaźnik dostępności transportowej także został do niego odniesiony. Napotkana w literaturze formuła wykorzystywana do wyznaczania dostępności bierze pod uwagę użyty środek transportu [114]. Zanim możliwe stanie się obliczenie globalnej dostępności transportowej rejonu komunikacyjnego, należy najpierw użyć formuł pozwalających na wyznaczenie dostępności różnych środków transportu – zbiorowego oraz indywidualnego (odpowiednio wzór Z5.1 i Z5.2):

$$A_{i,PuT} = \frac{\sum_j T_{ij}^{PuT}}{\sum_j (t_{ij,t}^{PuT} * T_{ij}^{PuT})} \quad (Z5.1)$$

gdzie:

$A_{i,PuT}$  – wskaźnik dostępności środkami transportu zbiorowego  $i$ -tego rejonu komunikacyjnego [ $\text{godz}^{-1}$ ],

$t_{ij,t}^{PuT}$  – czas podróży środkami transportu zbiorowego między rejonami komunikacyjnymi  $i$  oraz  $j$  w okresie analizy  $t$  [ $\text{godz.}$ ],

$T_{ij}^{PuT}$  – liczba podróży środkami transportu zbiorowego między rejonami komunikacyjnymi  $i$  oraz  $j$ .

$$A_{i,PrT} = \frac{\sum_j T_{ij}^{PrT}}{\sum_j (t_{ij,t}^{PrT} * T_{ij}^{PrT})} \quad (Z5.2)$$

gdzie:

$A_{i,PrT}$  – wskaźnik dostępności środkami transportu indywidualnego  $i$ -tego rejonu komunikacyjnego [ $\text{godz}^{-1}$ ],

$t_{ij,t}^{PrT}$  – czas podróży środkami transportu indywidualnego między rejonami komunikacyjnymi  $i$  oraz  $j$  w okresie analizy  $t$  [ $\text{godz.}$ ],

$T_{ij}^{PrT}$  – liczba podróży środkami transportu indywidualnego między rejonami komunikacyjnymi  $i$  oraz  $j$ .

Dopiero po uwzględnieniu wagi liczby podróży wykonanych przy użyciu środków transportu indywidualnego i zbiorowego, otrzymywana jest formuła potrzebna do wyznaczenia globalnego wskaźnika dostępności rejonu komunikacyjnego (wzór Z5.3):

$$D_i = \frac{A_{i,PuT} * U_{i,PuT} + A_{i,PrT} * U_{i,PrT}}{U_{i,PuT} + U_{i,PrT}} \quad (Z5.3)$$

gdzie:

$D_i$  – wskaźnik dostępności globalnej  $i$ -tego rejonu komunikacyjnego [ $\text{godz}^{-1}$ ],

$A_{i,PuT}$  – wskaźnik dostępności środkami transportu zbiorowego  $i$ -tego rejonu komunikacyjnego [ $\text{godz.}^{-1}$ ],

$A_{i,PrT}$  – wskaźnik dostępności środkami transportu indywidualnego  $i$ -tego rejonu komunikacyjnego [ $\text{godz.}^{-1}$ ],

$U_{i,PuT}$  – liczba podróży realizowanych środkami transportu zbiorowego dla  $i$ -tego rejonu komunikacyjnego,

$U_{i,PrT}$  – liczba podróży realizowanych środkami transportu indywidualnego dla  $i$ -tego rejonu komunikacyjnego.

## Załącznik 5.2 – Formularz ankietowy badań przeprowadzonych wśród użytkowników Strefy Płatnego Parkowania w Krakowie

### ANKIETA

Celem ankiety jest zrozumienie zachowań komunikacyjnych użytkowników Strefy Płatnego Parkowania w Krakowie. Badania są anonimowe i służą wyłącznie do celów naukowych. Przeprowadzenie jednej ankiety powinno zająć ok. 3 – 5 minut.

1. Jak długi postój Pan planuje? ..... h.
2. Na jak długi czas wykupił Pan bilet parkingowy? ..... h.
3. Z jakim celem związana jest podróż?
  - praca
    - płacę osobiście
    - płaci pracodawca
  - edukacja
  - rozrywka
  - zakupy
  - inny, jaki? .....
4. Proszę dokończyć zdanie: Miejsce postojowe, w którym zaparkowałem...
  - znajduje się obok miejsca docelowego podróży.
  - znajduje się celowo niebezpośrednio przy celu podróży (założyłem, że nie znajdę miejsca lub będę go długo szukać). Dojście piesze zajmie około ..... minut.
  - znajduje się niebezpośrednio przy celu podróży, gdyż nie było dostępnych wolnych miejsc parkingowych. Dojście piesze zajmie około ..... minut.
5. Jaka jest maksymalna długość dojazdu pieszego, jakie byłby Pan w stanie pokonać, żeby uniknąć opłaty za postój? ..... minut.
6. Proszę uzupełnić poniższe stwierdzenia w kontekście dzisiejszej podróży (w tym samym celu, na ten sam czas):
  - Zrezygnowałbym z podróży samochodem, gdyby koszt godziny parkowania wynosił od ..... PLN.
  - Zaparkowałbym na 25% (= "raczej nie"), gdyby koszt godziny parkowania wynosił ..... PLN.
  - Zaparkowałbym na 50% (= "może tak, może nie"), gdyby koszt godziny parkowania wynosił ..... PLN.
  - Zaparkowałbym na 75% (= "raczej tak"), gdyby koszt godziny parkowania wynosił ..... PLN.
  - Zaparkowałbym na 100%, gdyby koszt godziny parkowania wynosił do ..... PLN.
7. Gdybym nie zrezygnował z podróży mógłbym rozważyć skrócenie czasu parkowania do .....h
8. W jaki sposób odbyłaby się Pana dzisiejsza podróż, gdyby nie odbyła się samochodem?
  - pieszo       rowerem       komunikacją miejską       taksówką/Uberem
  - zrezygnowałbym z podróży       inny, jaki? .....

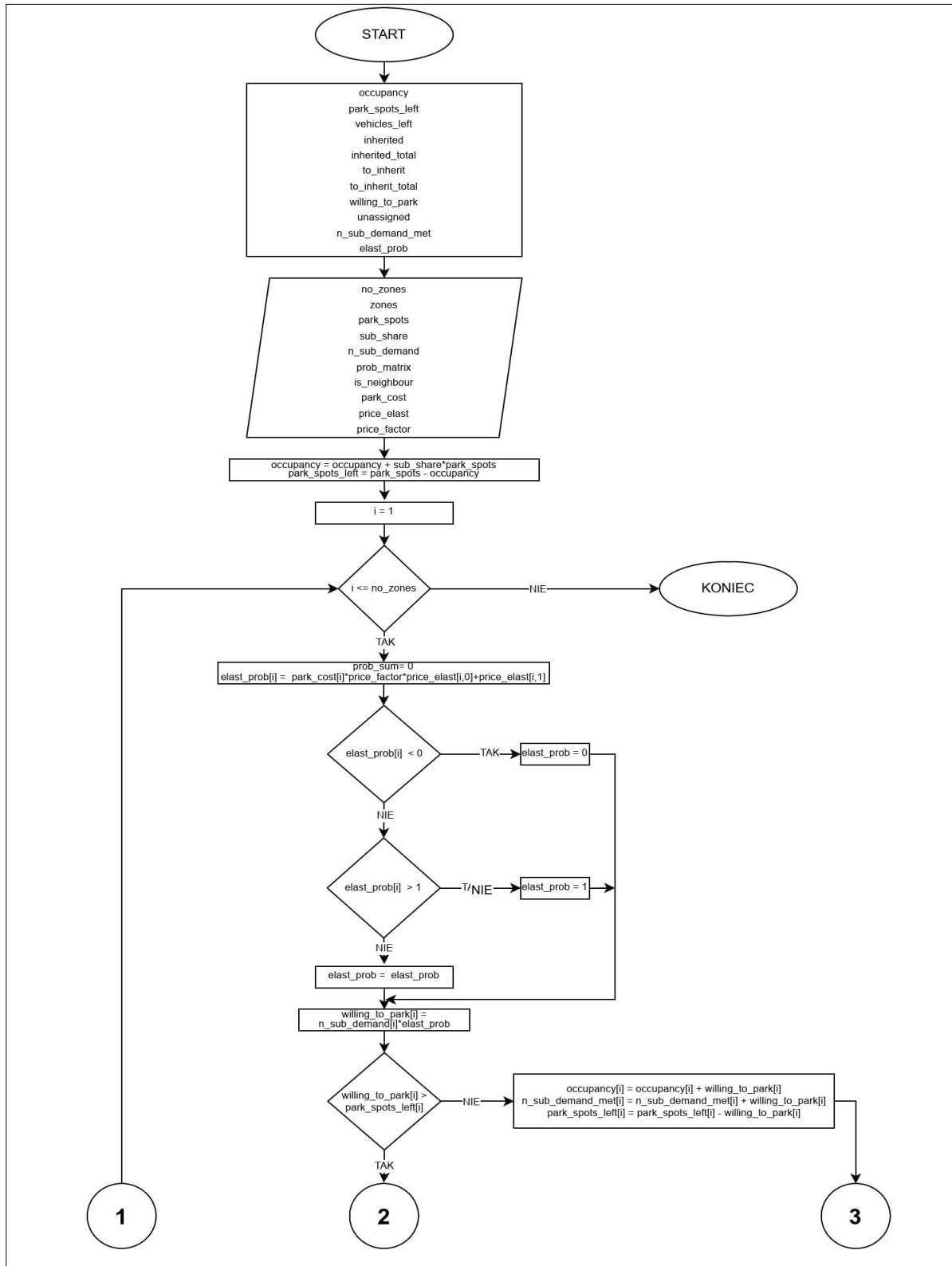
Numer rejonu komunikacyjnego:

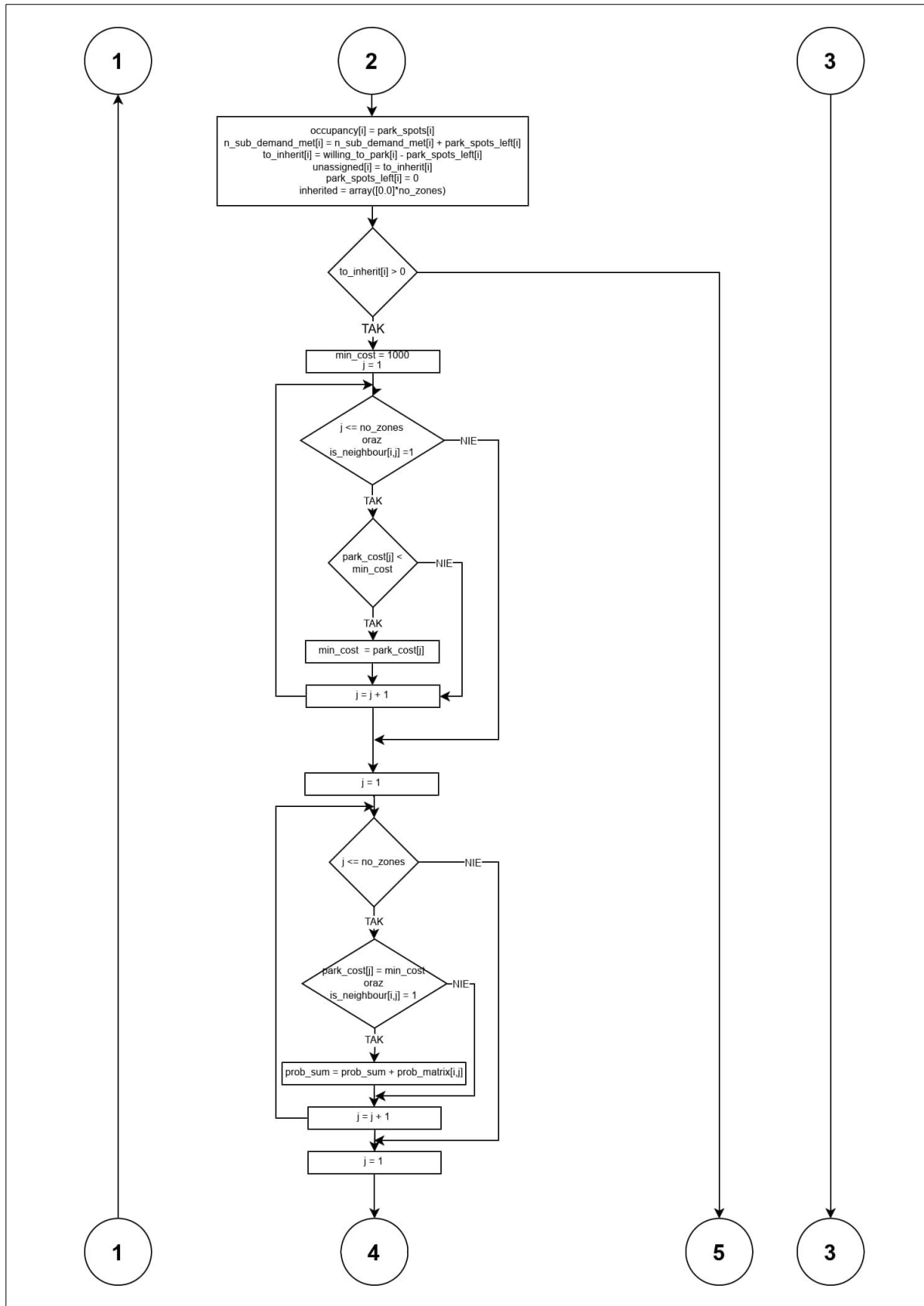
Płeć:

Wiek:

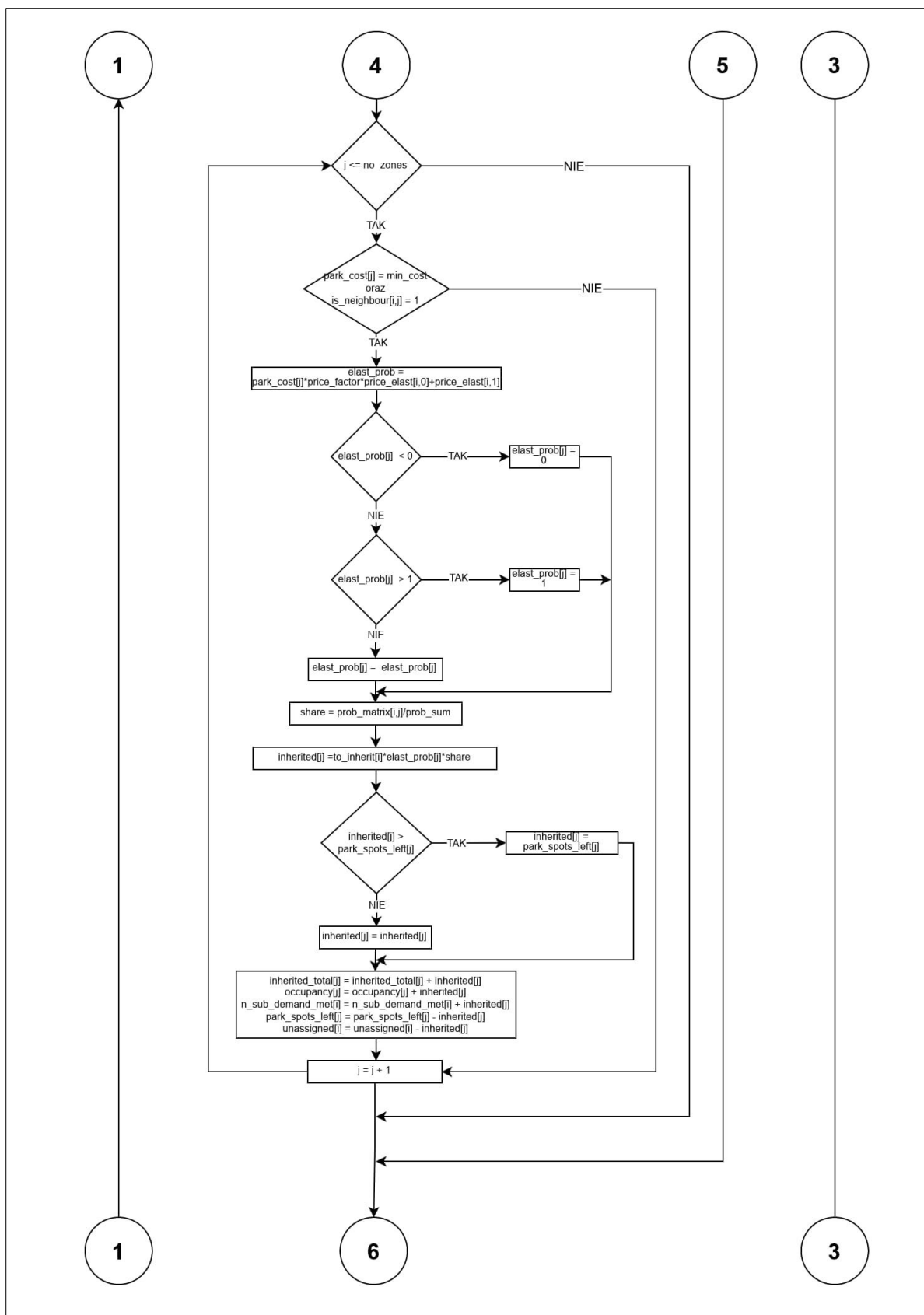
Pojazd:

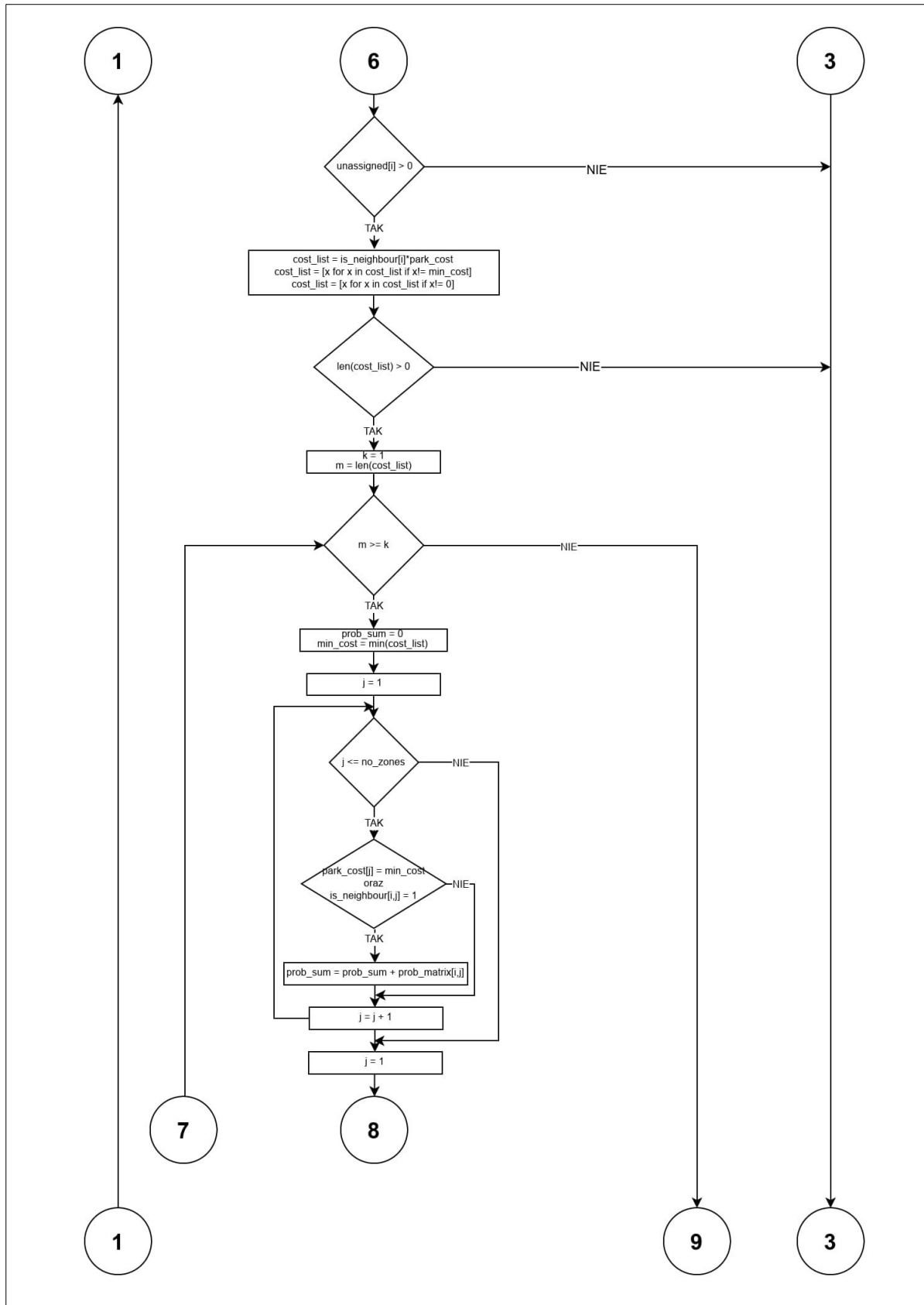
**Załącznik 6.1 – Schemat blokowy służący kalibracji modelu Strefy Płatnego Parkowania**

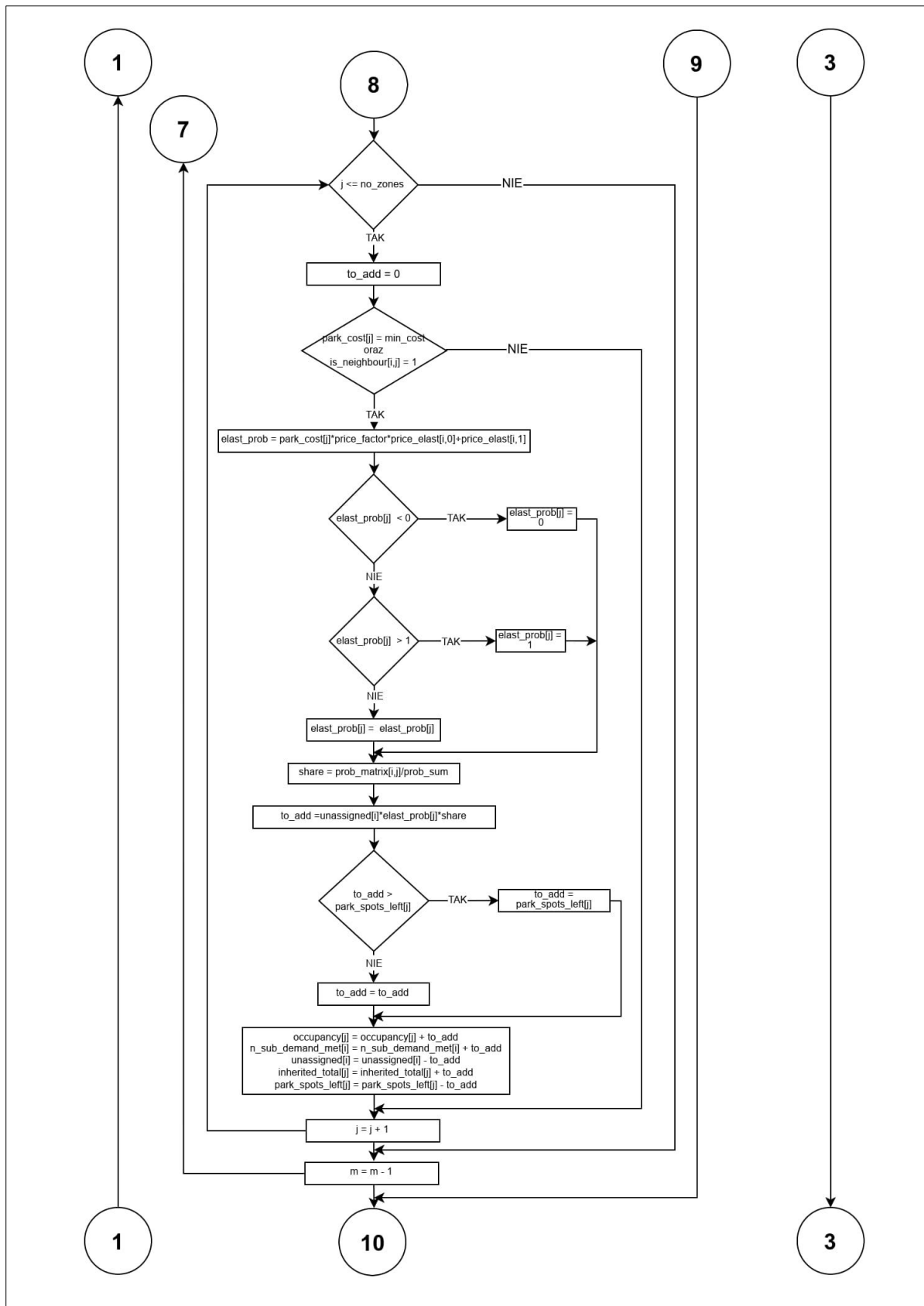


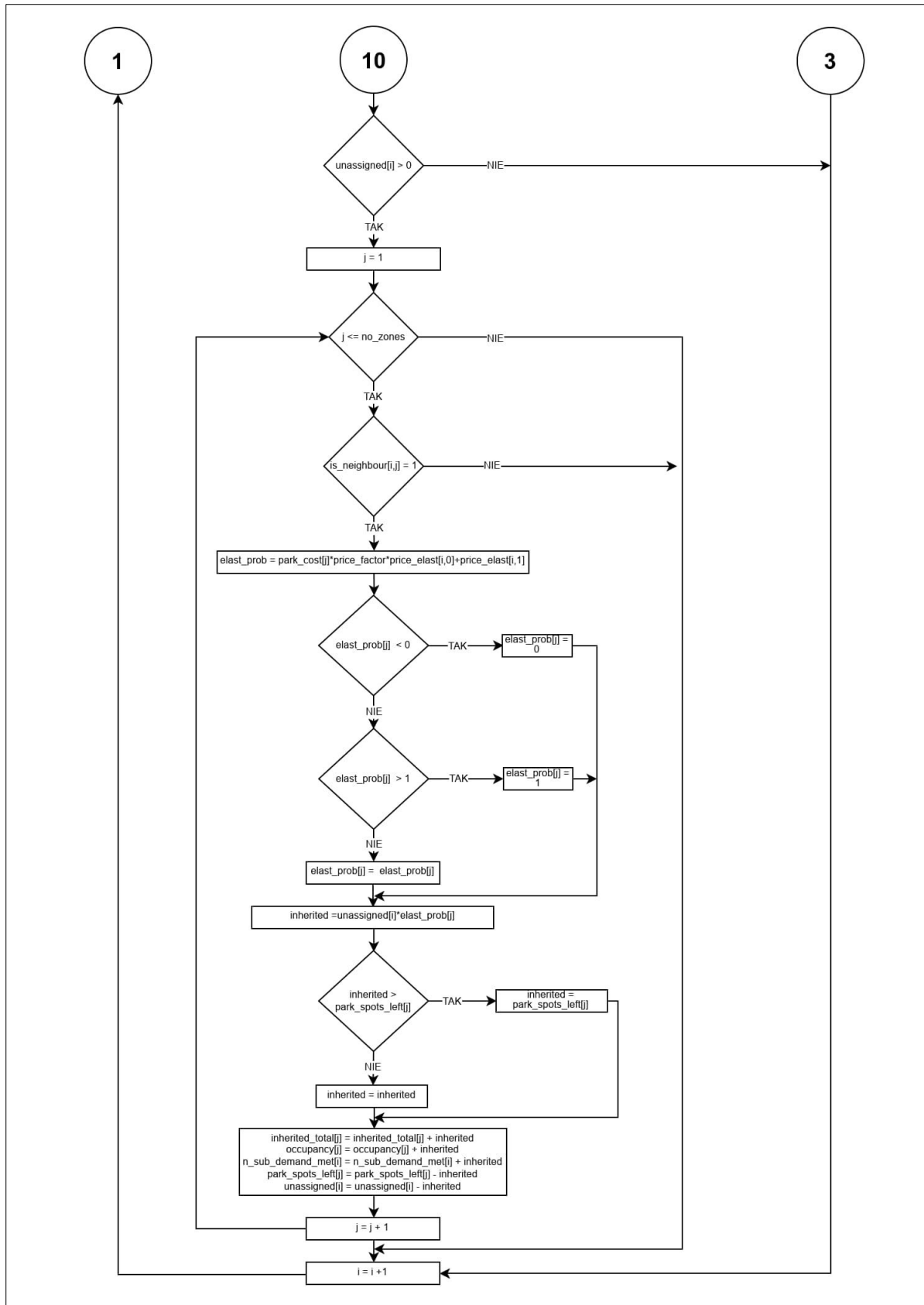




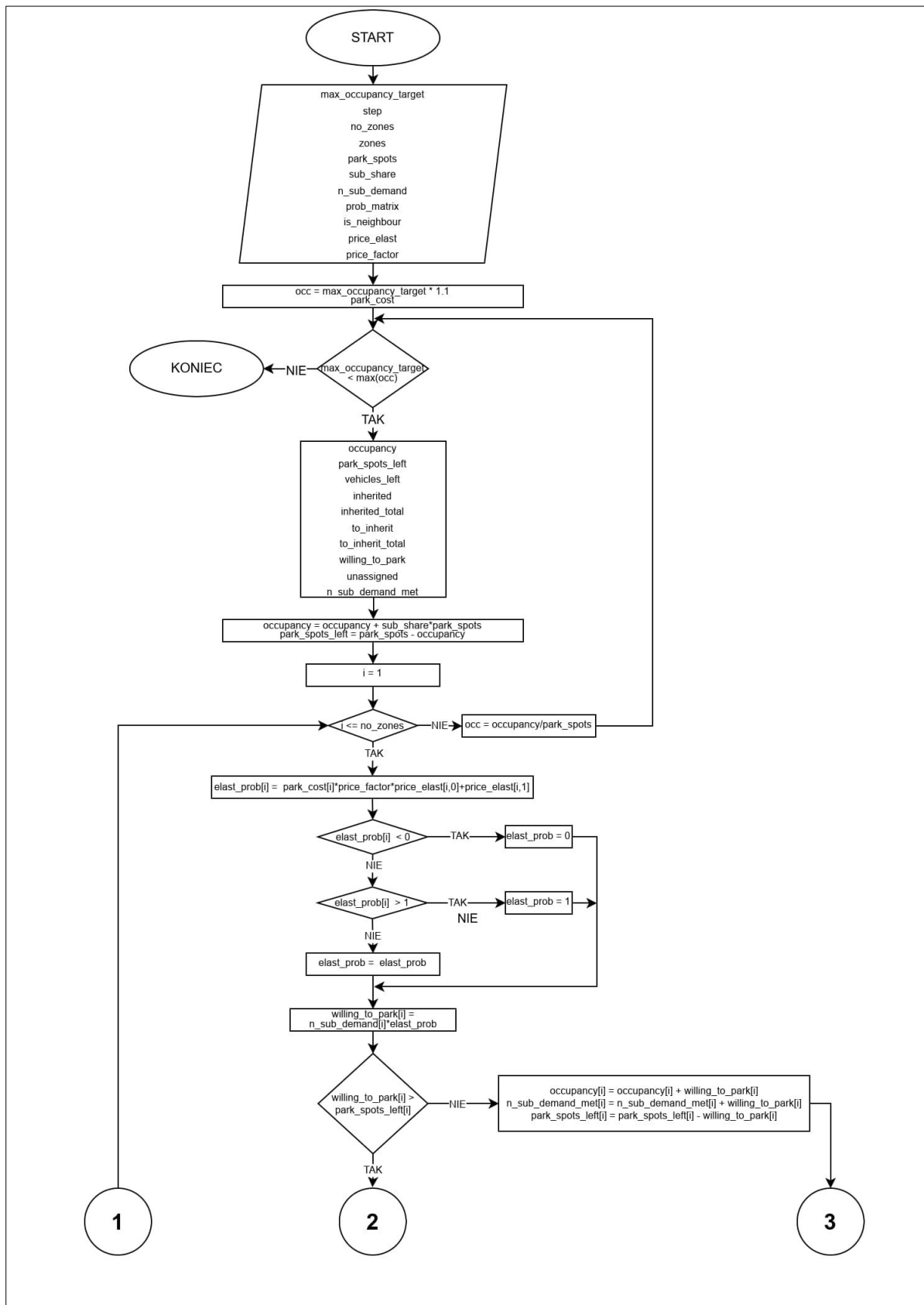


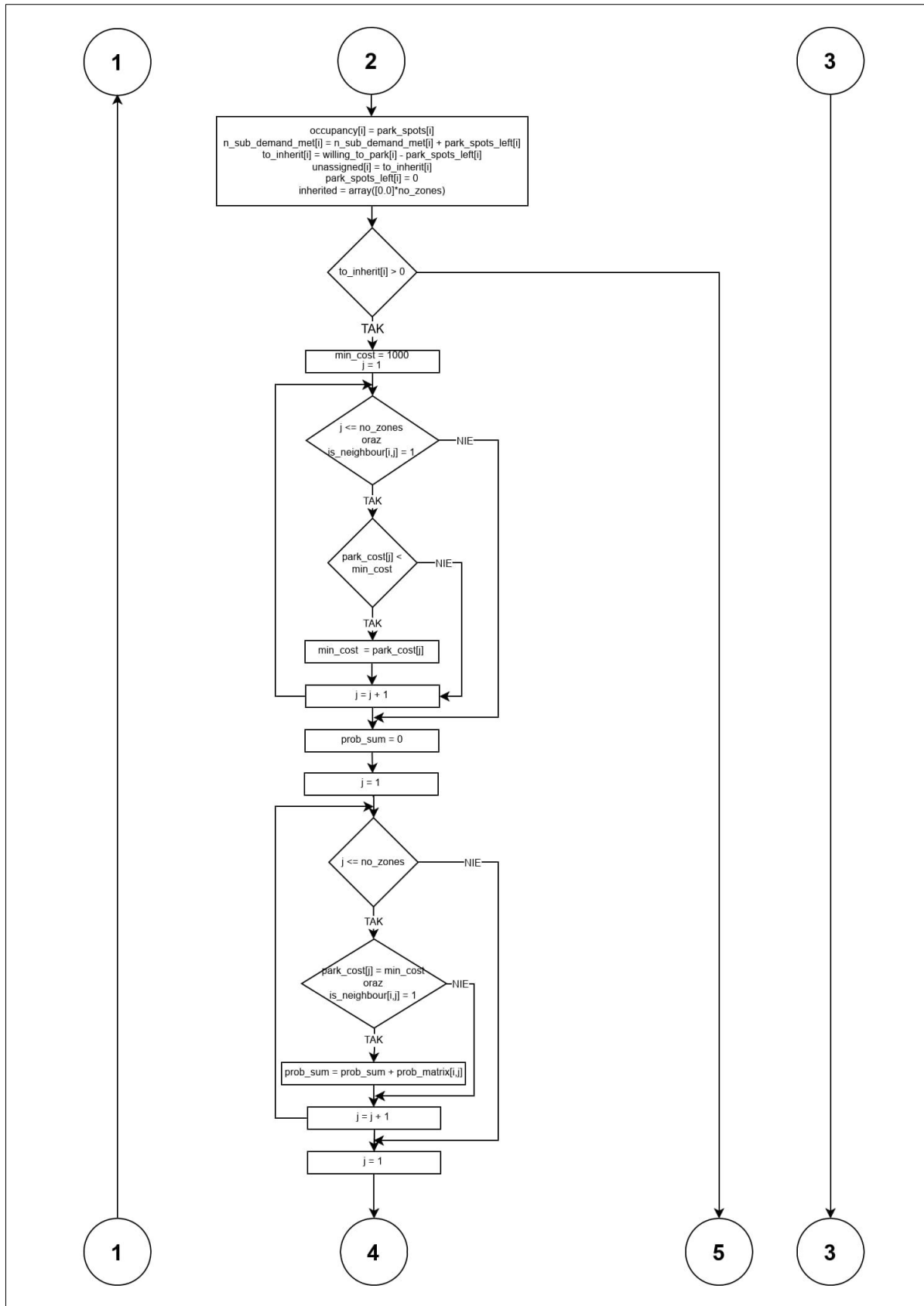


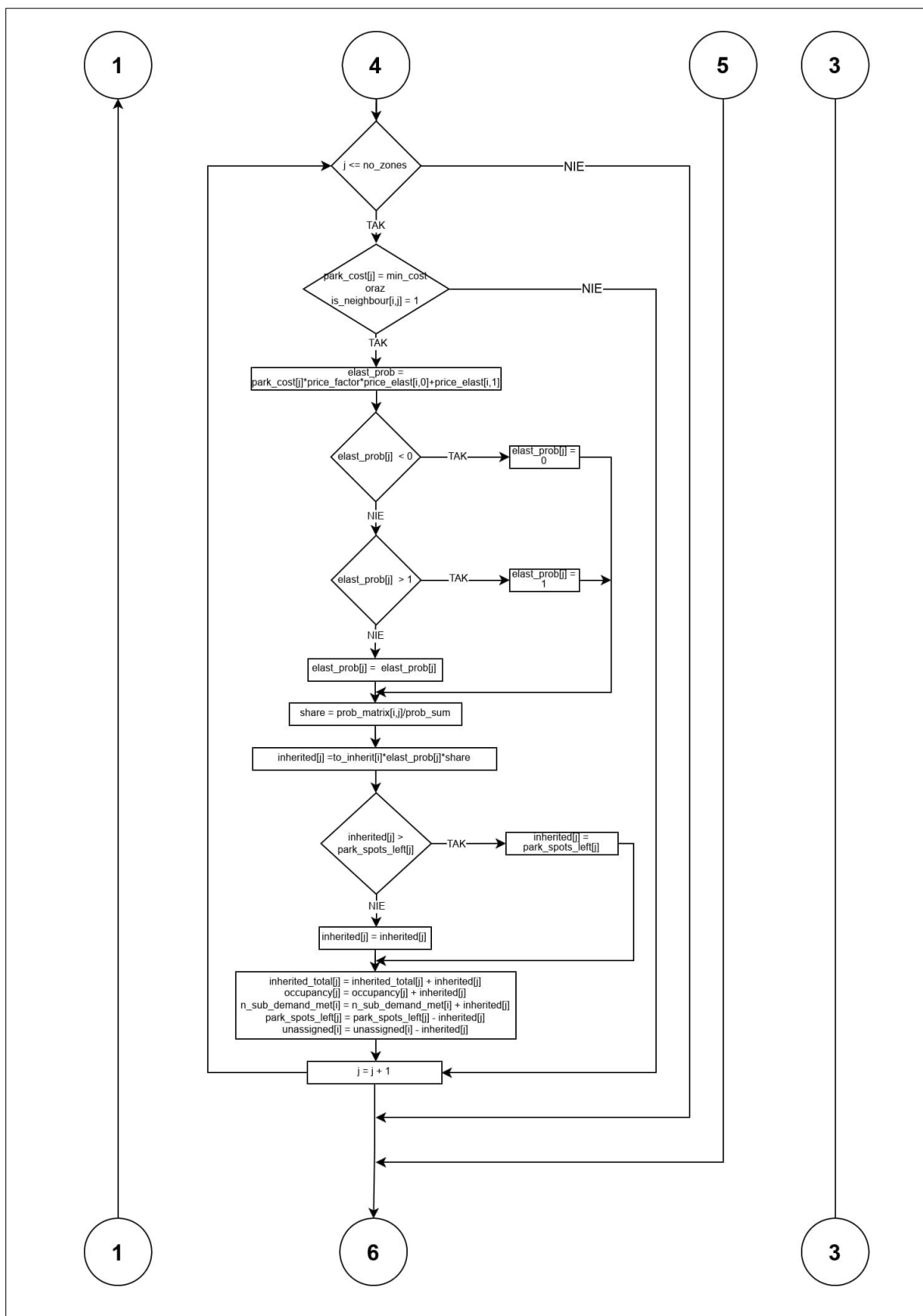


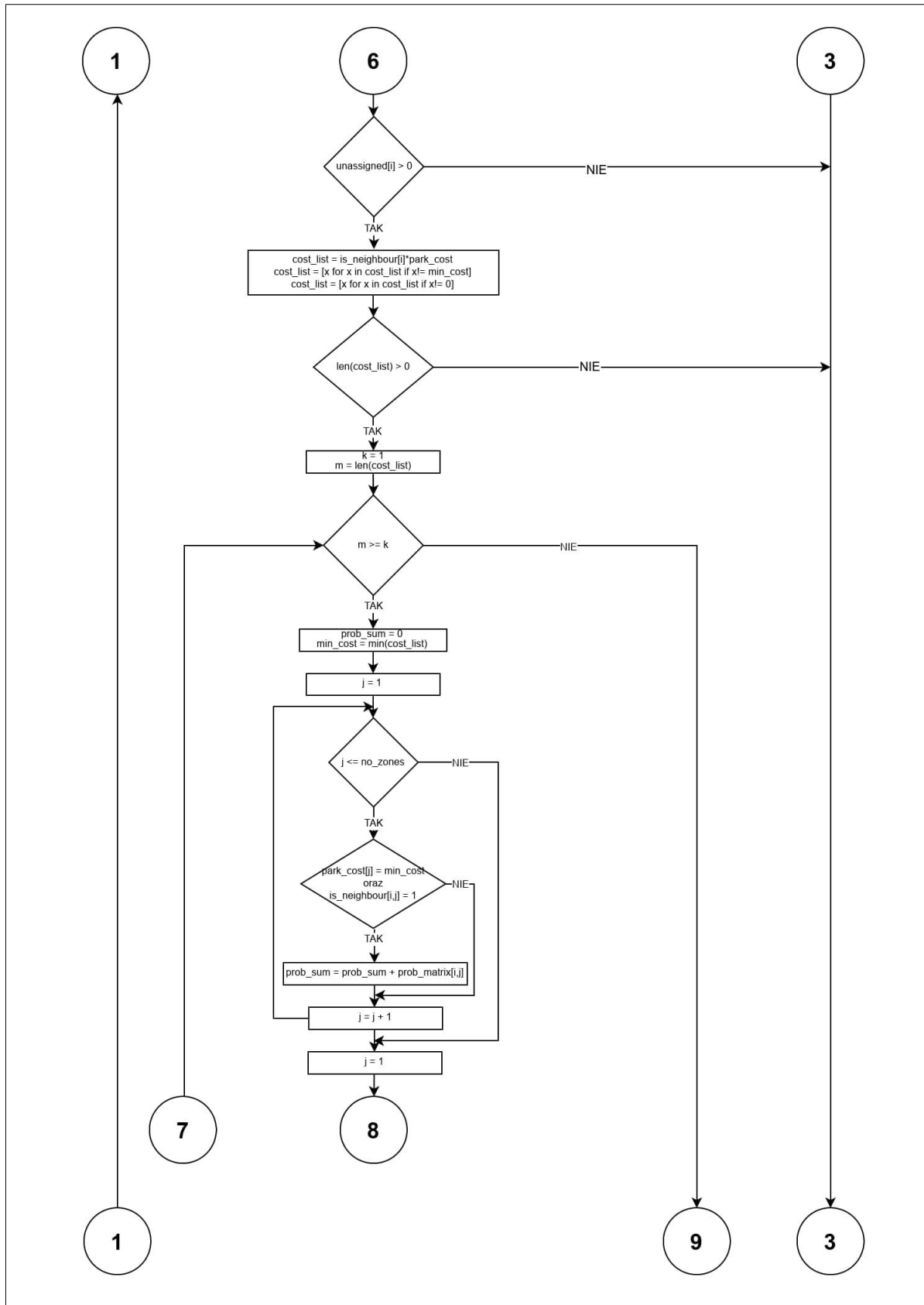


**Załącznik 6.2 – Schemat blokowy służący delimitacji Strefy Płatnego Parkowania**

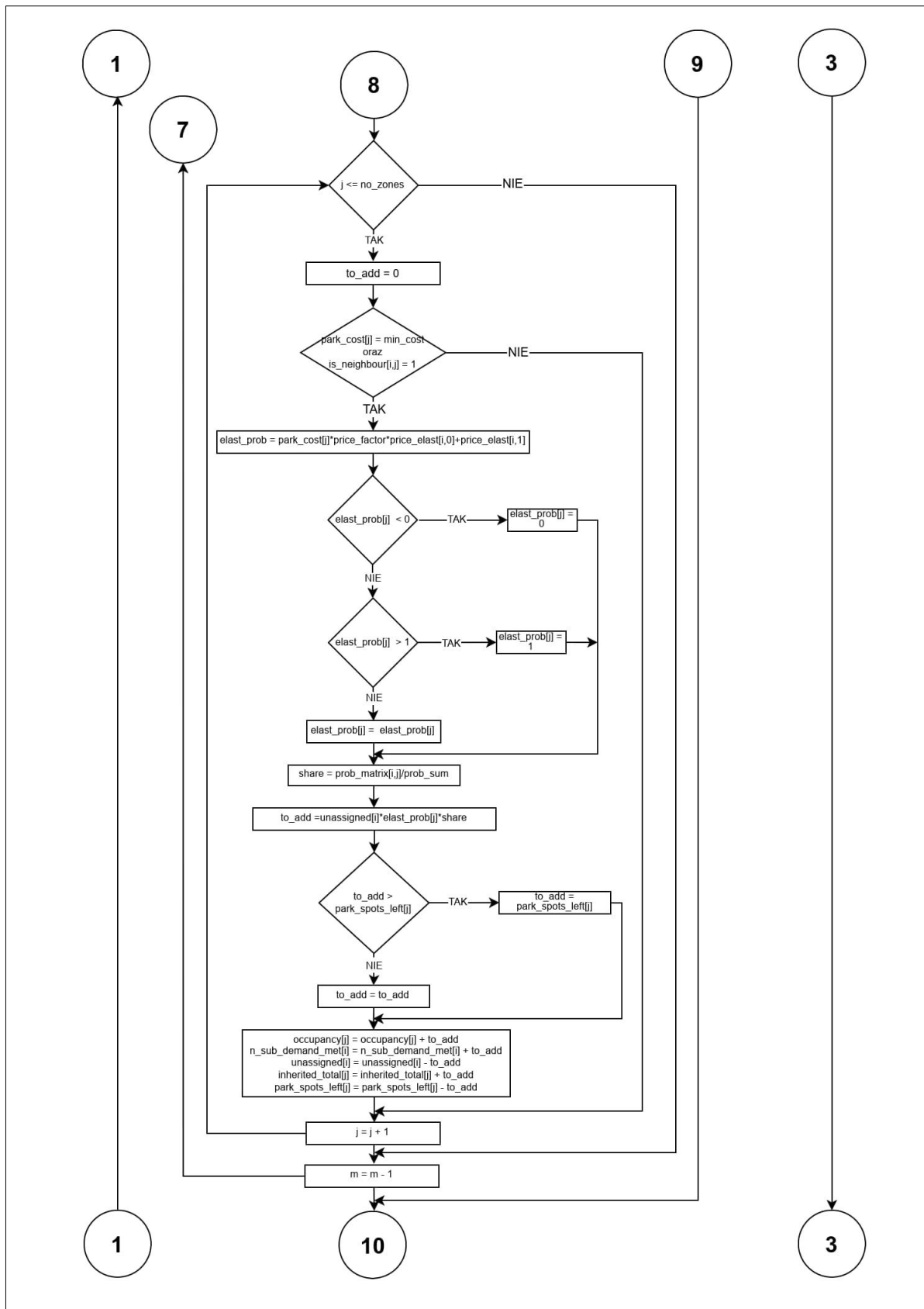


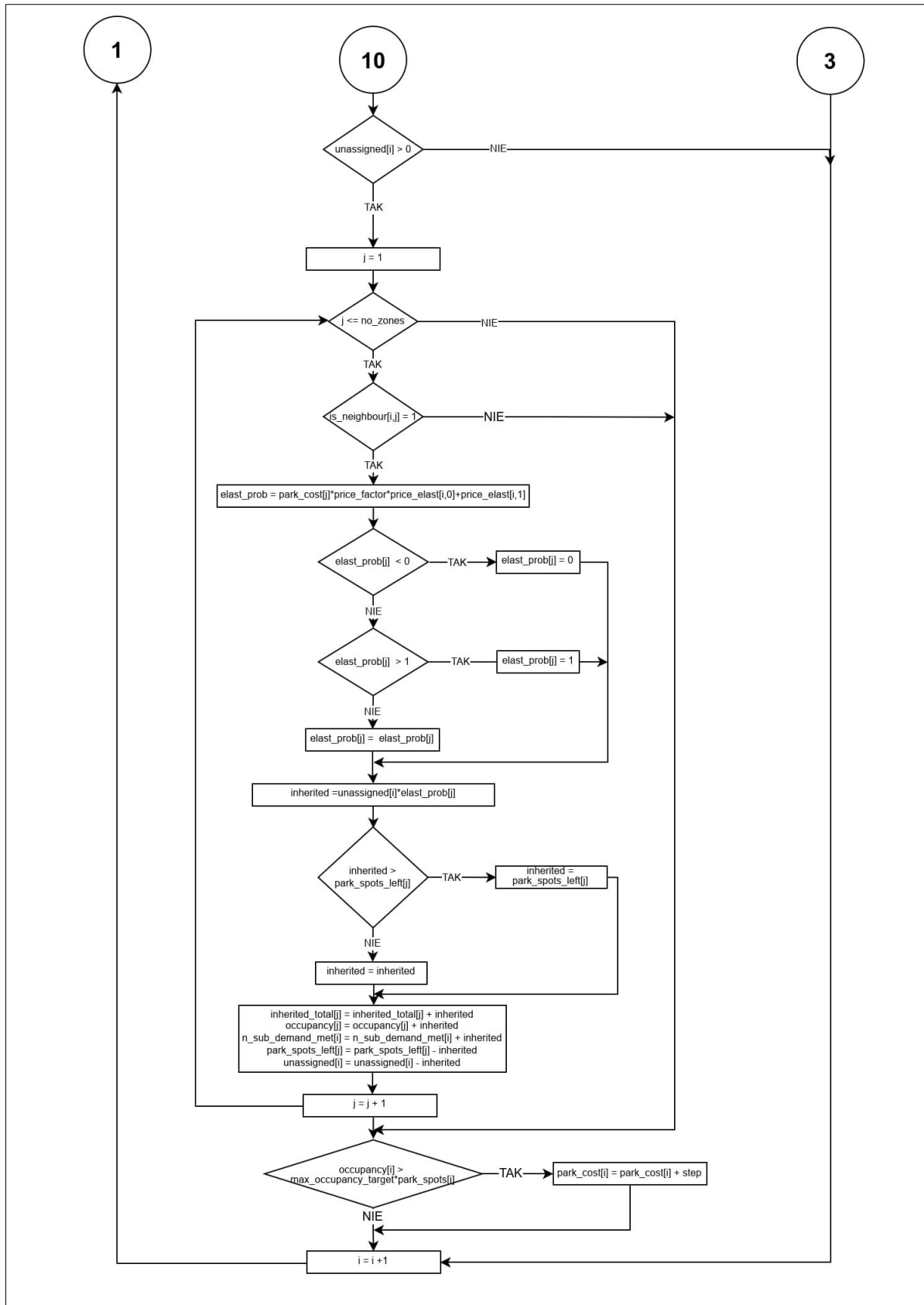












**Załącznik 6.3 – Kod programu służącego uczeniu maszynowemu modelu regresji wektorów nośnych NuSVR do celu wyznaczenia ceny referencyjnej**

```
import numpy as np
from sklearn import svm

# definicja zmiennych objaśniających
# 'PB_scaled', 'MdP_scaled', 'AKZP_scaled', 'ATR/PC_scaled', 'ODL_scaled'

scaled_explanatory_data = np.array([[1.332,-0.242,0.121,0.865,-
2.161],[0.34,-0.204,-0.564,-0.269,-1.066],[-0.466,0.167,-0.339,0.995,-
0.934],[-0.283,-0.367,1.068,0.832,-0.671],[-0.335,-0.147,-0.649,1.45,-
1.059],[-0.229,-0.175,0.247,1.006,-0.759],[-0.421,-0.393,-0.157,1.533,-
1.19],[-0.241,0.116,0.636,0.537,-0.697],[0.536,-0.556,0.638,0.756,-
1.292],[-0.639,-0.358,0.16,1.046,-1.336],[-0.315,0.146,1.25,0.509,-
0.685],[-0.272,0.29,0.2,0.952,-0.47],[1.609,-0.201,2.472,1.775,-1.11],[-
0.079,0.017,0.398,0.346,-1.312],[-0.334,0.023,-0.908,0.385,-0.932],[-
0.668,-0.379,-0.325,-0.744,-0.354],[1.336,-0.027,-0.254,0.333,-0.087],[-
0.538,0.632,-1.182,0.169,0.269],[-0.507,0.064,-1,-0.95,0.551],[-0.668,-
0.027,-0.294,0.696,-0.228],[0.242,-0.065,-1.502,0.141,0.595],[-0.668,-
1.187,-1.007,-1.41,0.06],[-0.481,-1.19,-0.51,-0.646,0.055],[-
0.668,0.291,0.842,-0.207,0.228],[-0.668,0.359,0.496,0.034,0.399],[-
0.481,1.116,-0.774,0.513,0.508],[-0.668,1.411,-0.429,-1.807,1.335],[-
0.206,0.565,-0.349,-1.479,0.765],[-0.283,-1.254,0.276,-1.874,0.115],[-
0.596,-1.228,3.038,-0.497,-0.65],[-0.192,-0.395,1.573,0.911,-
0.391],[0.17,-0.033,0.472,-0.566,0.764],[-0.183,-0.46,-1.259,-
0.773,1.544],[-0.668,-0.154,-1.79,-0.912,1.653],[0.534,-0.11,0.705,-
1.165,1.293],[4.811,-0.084,0.999,1.011,0.539],[2.038,-0.984,0.772,1.374,-
0.695],[-0.161,-0.033,-0.285,-1.242,-0.336],[-0.504,0.168,-0.758,-0.805,-
0.285],[0.185,5.53,1.117,1.336,0.311],[1.458,0.332,-0.999,-
0.954,1.092],[-0.297,0.026,0.066,-0.322,1.223],[-0.668,-0.306,-0.062,-
0.217,1.545],[-0.59,-0.712,-0.741,-1.47,2.021],[-0.618,0.018,-1.412,-
1.195,1.833]])

# definicja zmiennej objaśnianej
cena_referencyjna_scaled =
np.array([0.016,0.43,0.544,1.062,0.51,1.681,1.261,2.185,1.779,1.241,3.008
,0.617,1.543,2.038,-0.784,-1.126,-0.419,-0.154,-0.628,-0.316,-0.497,-
0.251,-0.051,-0.416,-0.605,-0.716,-0.926,-0.676,-0.222,0.063,-0.441,-
0.695,-0.663,-1.114,-0.555,-0.477,-0.08,-0.965,-0.699,-0.213,-0.411,-
0.519,-0.617,-0.949,-0.936])

X = scaled_explanatory_data
y = np.ravel(cena_referencyjna_scaled)

# wybór metody regresji
regr = svm.NuSVR()

# polecenie wykonania dopasowania algorytmu uczenia maszynowego do
wskazanych danych wsadowych
regr.fit(X,y)
```

## Załącznik 6.4 – Kod programu służącego kalibracji modelu Strefy Płatnego Parkowania

```

import numpy as np
# liczba rejonów komunikacyjnych w modelu transportowym miasta
no_zones = 363
# lista rejonów komunikacyjnych
zones = list(range(1,no_zones+1))
# liczba dostępnych miejsc postojowych w poszczególnych rejonach komunikacyjnych
park_spots =
np.array([684,146,186,228,293,453,513,395,246,278,581,117,619,462,366,249,1358,477,85,588,695,477
,841,183,37,242,314,796,477,986,435,95,817,851,290,50,352,46,104,937,539,10,51,93,606,216,241,585
,77,608,150,273,477,52,509,17,98,1056,917,317,198,90,105,109,587,125,693,269,588,103,197,155,378,
569,920,204,0.001,99,701,787,379,682,2023,563,391,922,164,189,59,434,902,202,320,106,70,224,120,5
5,189,206,802,151,191,211,456,0.001,281,131,313,162,529,829,980,706,777,203,552,99,239,0.001,216,
302,277,715,857,866,1569,406,841,458,1397,892,409,394,790,1538,2017,268,906,0.001,619,768,745,708
,664,742,48,581,214,0.001,0.001,75,10,195,81,285,620,115,842,723,548,76,1246,1087,1215,1327,2386,
1387,3162,265,207,156,82,76,226,326,0.001,723,716,402,818,79,584,95,88,205,246,236,100,244,150,87
,704,254,66,81,0.001,191,586,109,75,233,108,170,252,108,256,127,106,184,125,71,109,161,572,595,23
5,71,160,178,117,1117,800,699,678,1886,586,166,83,346,292,596,1021,1134,362,207,359,395,416,533,4
39,644,0.001,497,245,506,551,375,657,370,749,481,300,610,487,688,612,204,151,140,291,190,274,671,
308,125,235,79,347,128,78,151,125,119,222,109,228,128,106,182,91,58,65,217,0.001,43,512,195,478,1
93,3,339,1588,1355,235,70,723,231,257,151,252,455,419,150,482,251,290,142,228,249,250,276,177,103
,145,91,211,69,127,689,750,600,138,78,256,69,154,155,0.001,0.001,46,30,59,0.001,135,0.001,191,199
,85,109,133,89,144,0.001,0.001,0.001,88,72,52,87,72,67,79,77,75,131,88,77,93,234,90,85,120])
# udział pojazdów posiadających abonament
sub_share =
np.array([0.4573,0.3323,0.5017,0.5521,0.5363,0.5107,0.526,0.5465,0.5362,0.5639,0.5607,0.3039,0.48
76,0.5473,0.5288,0.5706,0.5599,0.5477,0.3426,0.5209,0.5672,0.5372,0.554,0.5362,0.3845,0.5966,0.54
86,0.6035,0.5438,0.5729,0.4866,0.3273,0.564,0.5301,0.606,0.3851,0.5456,0.4516,0.5266,0.5982,0.563
2,0,0.2474,0.4568,0.5379,0.5413,0.5664,0.5543,0.1124,0.4941,0.3538,0.4954,0.5634,0,0.5237,0,0.342
8,0.577,0.574,0.5334,0.5314,0.4171,0.5644,0.5678,0.5839,0.4321,0.5854,0.5811,0.5966,0.5712,0.5078
,0.1353,0.5781,0.6,0.5915,0.5311,0,0.5647,0.6,0.5867,0.5791,0.5874,0.6015,0.5951,0.5924,0.6009,0,
5718,0.5371,0.4432,0.5984,0.5997,0.5845,0.5762,0.5455,0.5634,0.5803,0.5759,0.4574,0.5879,0.5758,0
.6004,0.5866,0.5856,0.5865,0.6034,0,0.6023,0.5836,0.5913,0.3925,0.5911,0.605,0.5834,0.5909,0.6011
,0.4623,0.5902,0.5812,0.5185,0,0.5873,0.5765,0.5702,0.5821,0.5882,0.5774,0.5842,0.5704,0.5884,0.5
55,0.5972,0.5789,0.5712,0.593,0.5742,0.5899,0.5798,0.5844,0.5964,0,0.5806,0.5956,0.5993,0.6011,0,
5863,0.5732,0.124,0.5478,0.5422,0,0,0.5722,0.051,0.5006,0.52,0.5797,0.568,0.5678,0.5852,0.592,0.5
707,0.5777,0.5942,0.5759,0.595,0.577,0.5965,0.598,0.5811,0.5786,0.5767,0.5509,0.5789,0.5771,0.582
5,0.5837,0,0.5934,0.5804,0.5597,0.6019,0.5777,0.5923,0.5609,0.5733,0.5612,0.5819,0.5761,0.5837,0,
5854,0.5849,0.5372,0.5981,0.5746,0.5674,0.5732,0,0.5528,0.5877,0.5549,0.5777,0.581,0.5639,0.5351,
0.5716,0.5817,0.5387,0.5546,0.5736,0.5637,0.5729,0.5783,0.58,0.574,0.5948,0.5964,0.5992,0.577,0.5
589,0.5864,0.577,0.5692,0.565,0.5623,0.6036,0.5999,0.5463,0.4878,0.5766,0.5597,0.5441,0.5845,0.59
04,0.5876,0.5771,0.5483,0.578,0.5651,0.5581,0.5868,0.5786,0.5659,0,0.5849,0.5843,0.5663,0.5772,0,
5836,0.5845,0.557,0.5848,0.5874,0.5778,0.5903,0.5648,0.576,0.5607,0.5833,0.5753,0.5798,0.5753,0.5
7,0.5862,0.5941,0.5836,0.5776,0.5882,0.5794,0.5831,0.5754,0.5701,0.5791,0.5797,0.5806,0.5647,0.57
79,0.5726,0.5772,0.5726,0.5701,0.5859,0.202,0.539,0.5514,0,0.4127,0.5807,0.5785,0.5813,0.5813,0,0
.573,0.5916,0.5862,0.4365,0.5767,0.5851,0.5791,0.5874,0.5794,0.5785,0.5929,0.5915,0.5845,0.5947,0,
.5809,0.5796,0.5273,0.5702,0.5918,0.5735,0.5825,0.5802,0.5443,0.552,0.5446,0.5252,0.5772,0.5703,0
.603,0.5811,0.5735,0.5829,0.5667,0.5866,0.5754,0.5606,0.5527,0,0,0.4975,0.4814,0.4538,0,0.5793,0,
0.5875,0.557,0.5794,0.581,0.5576,0.572,0.5813,0,0,0,0.5762,0.5779,0.5521,0.5816,0.5759,0.5699,0.5
773,0.5776,0.5799,0.5722,0.5731,0.5799,0.5798,0.583,0.5811,0.5801,0.5356])
# popyt użytkowników bez wykupionego abonamentu
n_sub_demand =
np.array([261.753,63.1026,55.1489,67.428,97.0741,145.2607,159.48,121.8054,81.7714,83.4144,160.678
7,53.5147,177.1809,130.6127,109.7386,63.3217,352.2251,132.9472,0,59.6625,144.7442,139.2958,221.62
73,30.7644,5.8285,42.6736,65.8194,194.3188,117.7694,207.0379,124.5414,35.6285,210.8166,229.9957,5
0.4509,14.6143,61.0308,11.5254,24.5099,117.4581,156.2653,7.0196,23.2624,12.7597,156.2895,61.2825,
66.6107,79.731,33.9089,264.4307,78.1989,58.8182,101.0036,23.9653,107.5646,10.8781,27.4513,201.538
8,180.0265,56.7004,52.1839,27.932,19.4267,25.0166,85.4181,2.9107,121.663,29.2002,117.2794,0,40.23
1,0,66.5892,83.6526,172.4256,19.3244,0,21.7013,149.9667,160.6657,82.6817,173.1389,204.8391,94.905
2,39.9059,16.271,23.2333,27.5155,13.821,0,154.2813,34.522,0,0,0,0,12.3097,9.0573,13.3634,28.637
9,0,29.232,37.5641,76.2287,0.0003,60.2806,22.6429,74.6067,70.1476,140.294,179.7213,176.2197,153.2
975,173.3416,40.5976,126.0016,21.103,60.0955,0,56.077,20.3027,39.1292,108.985,182.7833,65.0543,20
1.5895,69.2557,76.0911,61.835,140.9391,167.7253,88.736,65.1728,139.9292,123.6947,0,0,121.3952,0,2
09.8797,168.0197,133.3494,155.4707,95.4488,105.4263,8.8168,86.6596,27.4716,0,0.0004,15.2005,3.125
9,20.4297,19.9679,73.6019,64.5827,11.0312,45.9971,56.0744,0,11.6237,0,17.4124,0,0,31.8265,142.373
1,0,0,0,4.0032,6.1878,15.5967,35.4293,0.9954,0,72.4503,0,0,0,0,24.062,12.3393,0,0,0.3925,0,0,0,0,
5747,0,0,0,9.5126,0,0,0,0,25.2437,16.6166,0,0,0,6.982,12.6126,0,0,17.9026,18.1497,33.2702,1
30.2925,125.7792,54.5916,7.1965,22.3726,35.9839,16.8234,141.8596,118.7473,43.5575,111.5034,358.91
78,91.5939,38.957,18.2647,94.5971,77.35,127.1525,131.6499,210.154,94.7653,58.5151,84.9713,96.0406
,64.9877,74.2107,112.782,93.0885,0,98.6122,62.3327,155.0453,122.0602,76.4562,119.0383,95.1575,161.
5983,115.0986,82.3033,138.8054,134.3207,132.9897,98.9633,14.5473,7.3431,0.5858,0,24.7666,40.6421,
93.2716,45.6514,32.5462,39.7139,19.7362,58.8423,21.8907,17.7557,7.7939,2.1687,0,0,8.0494,0,13.064
1,7.2103,12.0329,3.3947,0,5.411,0,0.003,0,0,0,0,0,1.1407,0,180.3046,162.5071,71.2636,12.5308,0,0
,0,8.5085,0,0,0,6.0111,0,0,0,0.4449,0,0,0,0,2.7251,0,5.3771,0,4.0973,0,107.9204,152.3136,37.993
9,0,0,0,10.585,0,0,0,0.0006,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0.0002,0.0002,0,3.3381,3.5893,4.5898,10.1
217,12.7307,12.9015,12.3448,3.7144,0,0,14.0829,0,0,0,14.8282,24.3438])
# zero-jedynkowa macierz sąsiedztwa poszczególnych rejonów komunikacyjnych
# ze względu na swój rozmiar - tablica 363 wektorów zawierających po 363 wartości każdy - nie
umieszczono tej macierzy w niniejszym załączniku; docelowa postać tablicy jest następująca:

```



```

willing_to_park[i] = n_sub_demand[i]*elast_prob

if willing_to_park[i] > park_spots_left[i]:
    occupancy[i] = park_spots[i]
    n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + park_spots_left[i]
    to_inherit[i] = willing_to_park[i] - park_spots_left[i]
    park_spots_left[i] = 0

    ## użytkownicy, którzy zostaną odziedziczni przez sąsiednie rejony
    # dziedziczony popyt wynikający z atrakcyjności zależnej od samej odległości
    # wyzerowanie wektora dziedziczzonego napełnienia
    inherited = np.array([0.0]*no_zones)
    # dziedziczony popyt wynikający z atrakcyjności rejonów sąsiednich zależnej od odległości
    i elastyczności

    unassigned[i] = to_inherit[i]

    if to_inherit[i] > 0:
        #tylko do najtańszego rejonu w zasięgu akceptowalnego dojścia pieszego
        #ustalenie najniższej ceny postoju u wszystkich sąsiadów i
        min_cost = 1000
        for j in zones:
            j = j - 1
            if is_neighbour[i, j] == 1:
                if park_cost[j] < min_cost:
                    min_cost = park_cost[j]
        #ustalenie sumy atrakcyjności zaparkowania u sąsiadów, którzy mają najniższą cenę
        #postoju

        # prob_sum = 0
        for j in zones:
            j = j - 1
            if park_cost[j] == min_cost and is_neighbour[i,j]==1:
                prob_sum = prob_sum + prob_matrix[i,j]
        for j in zones:
            j = j - 1

            if park_cost[j] == min_cost and is_neighbour[i,j]==1:
                elast_prob = park_cost[j]*1.073*price_elast[i,0]+price_elast[i,1]
                if elast_prob >1:
                    elast_prob = 1
                elif elast_prob <0:
                    elast_prob = 0
                else:
                    elast_prob = elast_prob

                share = prob_matrix[i,j]/prob_sum

                inherited[j]=to_inherit[i]*elast_prob*share

                if inherited[j] > park_spots_left[j]:
                    inherited[j] = park_spots_left[j]
                else:
                    inherited[j] = inherited[j]

                inherited_total[j] = inherited_total[j] + inherited[j]
                occupancy[j] = occupancy[j] + inherited[j]
                n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + inherited[j]
                park_spots_left[j] = park_spots_left[j] - inherited[j]
                unassigned[i] = unassigned[i] - inherited[j]
                #to_inherit[i] = to_inherit[i] - inherited[j]

#kolejne, droższe rejony sąsiednie
if unassigned[i] > 0:
    cost_list= is_neighbour[i]*park_cost
    cost_list=[x for x in cost_list if x!=min_cost]
    cost_list=[x for x in cost_list if x!=0]

    if len(cost_list) > 0:
        for _ in cost_list:
            if len(cost_list) > 0:
                min_cost = min(cost_list)
                prob_sum = 0
                for j in zones:
                    j = j - 1
                    if park_cost[j] == min_cost and is_neighbour[i,j]==1:
                        prob_sum = prob_sum + prob_matrix[i,j]

                for j in zones:
                    j = j - 1

```

```

to_add = 0

if park_cost[j] == min_cost and is_neighbour[i,j]==1:

    share = prob_matrix[i,j]/prob_sum
    elast_prob = park_cost[j]*1.073*price_elast[i,0]+price_elast[i,1]

    if elast_prob >1:
        elast_prob = 1
    elif elast_prob <0:
        elast_prob = 0
    else:
        elast_prob = elast_prob

    to_add=unassigned[i]*elast_prob*share

    if to_add > park_spots_left[j]:
        to_add = park_spots_left[j]
    else:
        to_add = to_add

    occupancy[j] = occupancy[j] + to_add
    n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + to_add
    unassigned[i] = unassigned[i] - to_add
    inherited_total[j] = inherited_total[j] + to_add
    park_spots_left[j] = park_spots_left[j] - to_add
cost_list=[x for x in cost_list if x!=min_cost]

if unassigned[i] > 0:
    for j in zones:
        j = j - 1
        if is_neighbour[i,j]==1:
            elast_prob = park_cost[j]*1.073*price_elast[i,0]+price_elast[i,1]
            if elast_prob >1:
                elast_prob = 1
            elif elast_prob <0:
                elast_prob = 0
            else:
                elast_prob = elast_prob

            inherited = unassigned[i] * elast_prob
            # ograniczenie nakładane by nie przekroczyć liczby dostępnych miejsc postojowych
            if inherited > park_spots_left[j]:
                inherited = park_spots_left[j]
            else:
                inherited = inherited

            inherited_total[j] = inherited_total[j] + inherited
            occupancy[j] = occupancy[j] + inherited
            n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + inherited
            park_spots_left[j] = park_spots_left[j] - inherited
            unassigned[i] = unassigned[i] - inherited
        else:
            occupancy[i] = occupancy[i] + willing_to_park[i]
            n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + willing_to_park[i]
            park_spots_left[i] = park_spots_left[i] - willing_to_park[i]
#wyrażenie obliczonej zajętości miejsc postojowych w postaci liczby od 0 do 1
occ = occupancy/park_spots

```

## Załącznik 6.5 – Kod programu służącego delimitacji Strefy Płatnego Parkowania

```

import numpy as np

# liczba z zakresu od 0 do 1 mówiąca o maksymalnym dopuszczalnym napełnieniu
max_occupancy_target = 0.85
# krok zwiększania kosztu parkowania za 1 godzinę [PLN]
step = 0.5

# liczba rejonów komunikacyjnych w modelu transportowym miasta
no_zones = 363
# lista rejonów komunikacyjnych
zones = list(range(1,no_zones+1))

# liczba dostępnych miejsc postojowych w poszczególnych rejonach komunikacyjnych
park_spots =
np.array([684,146,186,228,293,453,513,395,246,278,581,117,619,462,366,249,1358,477,85,588,695,477
,841,183,37,242,314,796,477,986,435,95,817,851,290,50,352,46,104,937,539,10,51,93,606,216,241,585
,77,608,150,273,477,52,509,17,98,1056,917,317,198,90,105,109,587,125,693,269,588,103,197,155,378,
569,920,204,0.001,99,701,787,379,682,2023,563,391,922,164,189,59,434,902,202,320,106,70,224,120,5
5,189,206,802,151,191,211,456,0.001,281,131,313,162,529,829,980,706,777,203,552,99,239,0.001,216,
302,277,715,857,866,1569,406,841,458,1397,892,409,394,790,1538,2017,268,906,0.001,619,768,745,708
,664,742,48,581,214,0.001,0.001,75,10,195,81,285,620,115,842,723,548,76,1246,1087,1215,1327,2386,
1387,3162,265,207,156,82,76,226,326,0.001,723,716,402,818,79,584,95,88,205,246,236,100,244,150,87
,704,254,66,81,0.001,191,586,109,75,233,108,170,252,108,256,127,106,184,125,71,109,161,572,595,23
5,71,160,178,117,1117,800,699,678,1886,586,166,83,346,292,596,1021,1134,362,207,359,395,416,533,4
39,644,0.001,497,245,506,551,375,657,370,749,481,300,610,487,688,612,204,151,140,291,190,274,671,
308,125,235,79,347,128,78,151,125,119,222,109,228,128,106,182,91,58,65,217,0.001,43,512,195,478,1
93,3,339,1588,1355,235,70,723,231,257,151,252,455,419,150,482,251,290,142,228,249,250,276,177,103
,145,91,211,69,127,689,750,600,138,78,256,69,154,155,0.001,0.001,46,30,59,0.001,135,0.001,191,199
,85,109,133,89,144,0.001,0.001,0.001,88,72,52,87,72,67,79,77,75,131,88,77,93,234,90,85,120])

# udział pojazdów posiadających abonament w ogólnej liczbie dostępnych miejsc
sub_share =
np.array([0.4573,0.3323,0.5017,0.5521,0.5363,0.5107,0.526,0.5465,0.5362,0.5639,0.5607,0.3039,0.48
76,0.5473,0.5288,0.5706,0.5599,0.5477,0.3426,0.5209,0.5672,0.5372,0.554,0.5362,0.3845,0.5966,0.54
86,0.6035,0.5438,0.5729,0.4866,0.3273,0.564,0.5301,0.606,0.3851,0.5456,0.4516,0.5266,0.5982,0.563
2,0,0.2474,0.4568,0.5379,0.5413,0.5664,0.5543,0.1124,0.4941,0.3538,0.4954,0.5634,0,0.5237,0,0.342
8,0.577,0.574,0.5334,0.5314,0.4171,0.5644,0.5678,0.5839,0.4321,0.5854,0.5811,0.5966,0.5712,0.5078
,0.1353,0.5781,0.6,0.5915,0.5311,0,0.5647,0.6,0.5867,0.5791,0.5874,0.6015,0.5951,0.5924,0.6009,0.
5718,0.5371,0.4432,0.5984,0.5997,0.5845,0.5762,0.5455,0.5634,0.5803,0.5759,0.4574,0.5879,0.5758,0
.6004,0.5866,0.5856,0.5865,0.6034,0,0.6023,0.5836,0.5913,0.3925,0.5911,0.605,0.5834,0.5909,0.6011
,0.4623,0.5902,0.5812,0.5185,0,0.5873,0.5765,0.5702,0.5821,0.5882,0.5774,0.5842,0.5704,0.5884,0.5
55,0.5972,0.5789,0.5712,0.593,0.5742,0.5899,0.5798,0.5844,0.5964,0,0.5806,0.5956,0.5993,0.6011,0.
5863,0.5732,0.124,0.5478,0.5422,0,0,0.5722,0.051,0.5006,0.52,0.5797,0.568,0.5678,0.5852,0.592,0.5
707,0.5777,0.5942,0.5759,0.595,0.577,0.5965,0.598,0.5811,0.5786,0.5767,0.5509,0.5789,0.5771,0.582
5,0.5837,0,0.5934,0.5804,0.5597,0.6019,0.5777,0.5923,0.5609,0.5733,0.5612,0.5819,0.5761,0.5837,0.
5854,0.5849,0.5372,0.5981,0.5746,0.5674,0.5732,0,0.5528,0.5877,0.5549,0.5777,0.581,0.5639,0.5351,
0.5716,0.5817,0.5387,0.5546,0.5736,0.5637,0.5729,0.5783,0.58,0.574,0.5948,0.5964,0.5992,0.577,0.5
589,0.5864,0.577,0.5692,0.565,0.5623,0.6036,0.5999,0.5463,0.4878,0.5766,0.5597,0.5441,0.5845,0.59
04,0.5876,0.5771,0.5483,0.578,0.5651,0.5581,0.5868,0.5786,0.5659,0,0.5849,0.5843,0.5663,0.5772,0.
5836,0.5845,0.557,0.5848,0.5874,0.5778,0.5903,0.5648,0.576,0.5607,0.5833,0.5753,0.5798,0.5753,0.5
7,0.5862,0.5941,0.5836,0.5776,0.5882,0.5794,0.5831,0.5754,0.5701,0.5791,0.5797,0.5806,0.5647,0.57
79,0.5726,0.5772,0.5726,0.5701,0.5859,0.202,0.539,0.5514,0,0.4127,0.5807,0.5785,0.5813,0.5813,0,0
.573,0.5916,0.5862,0.4365,0.5767,0.5851,0.5791,0.5874,0.5794,0.5785,0.5929,0.5915,0.5845,0.5947,0
.5809,0.5796,0.5273,0.5702,0.5918,0.5735,0.5825,0.5802,0.5443,0.552,0.5446,0.5252,0.5772,0.5703,0
.603,0.5811,0.5735,0.5829,0.5667,0.5866,0.5754,0.5606,0.5527,0,0,0.4975,0.4814,0.4538,0,0.5793,0,
0.5875,0.557,0.5794,0.581,0.5576,0.572,0.5813,0,0,0,0.5762,0.5779,0.5521,0.5816,0.5759,0.5699,0.5
773,0.5776,0.5799,0.5722,0.5731,0.5799,0.5798,0.583,0.5811,0.5801,0.5356])

# popyt na miejsca parkingowe wśród użytkowników nieposiadających abonamentu postojowego
n_sub_demand =
np.array([261.753,63.1026,55.1489,67.428,97.0741,145.2607,159.48,121.8054,81.7714,83.4144,160.678
7,53.5147,177.1809,130.6127,109.7386,63.3217,352.2251,132.9472,0,59.6625,144.7442,139.2958,221.62
73,30.7644,5.8285,42.6736,65.8194,194.3188,117.7694,207.0379,124.5414,35.6285,210.8166,229.9957,5
0.4509,14.6143,61.0308,11.5254,24.5099,117.4581,156.2653,7.0196,23.2624,12.7597,156.2895,61.2825,
66.6107,79.731,33.9089,264.4307,78.1989,58.8182,101.0036,23.9653,107.5646,10.8781,27.4513,201.538
8,180.0265,56.7004,52.1839,27.932,19.4267,25.0166,85.4181,2.9107,121.663,29.2002,117.2794,0,40.23
1,0,66.5892,83.6526,172.4256,19.3244,0,21.7013,149.9667,160.6657,82.6817,173.1389,204.8391,94.905
2,39.9059,16.271,23.2333,27.5155,13.821,0,154.2813,34.522,0,0,0,0,12.3097,9.0573,13.3634,28.637
9,0,29.232,37.5641,76.2287,0.0003,60.2806,22.6429,74.6067,70.1476,140.294,179.7213,176.2197,153.2
975,173.3416,40.5976,126.0016,21.103,60.0955,0,56.077,20.3027,39.1292,108.985,182.7833,65.0543,20
1.5895,69.2557,76.0911,61.835,140.9391,167.7253,88.736,65.1728,139.9292,123.6947,0,0,121.3952,0,2
09.8797,168.0197,133.3494,155.4707,95.4488,105.4263,8.8168,86.6596,27.4716,0,0.0004,15.2005,3.125
9,20.4297,19.9679,73.6019,64.5827,11.0312,45.9971,56.0744,0,11.6237,0,17.4124,0,0,31.8265,142.373
1,0,0,0,4.0032,6.1878,15.5967,35.4293,0.9954,0,72.4503,0,0,0,0,24.062,12.3393,0,0,0.3925,0,0,0,0.
5747,0,0,0,9.5126,0,0,0,0,25.2437,16.6166,0,0,0,6.982,12.6126,0,0,17.9026,18.1497,33.2702,1
30.2925,125.7792,54.5916,7.1965,22.3726,35.9839,16.8234,141.8596,118.7473,43.5575,111.5034,358.91
78,91.5939,38.957,18.2647,94.5971,77.35,127.1525,131.6499,210.154,94.7653,58.5151,84.9713,96.0406
,64.987,74.2107,112.782,93.0885,0,98.6122,62.3327,155.0453,122.0602,76.4562,119.0383,95.1575,161.

```





```

# pusta lista, do której zapisywane będą wszystkie pojazdy chętne do zaparkowania w danym
rejonie
willing_to_park = np.array([0.0]*no_zones)

# pusta lista, do której będzie zapisywana liczba pojazdów, dla których zabrakło miejsc
unassigned = np.array([0.0]*no_zones)

# pusta lista, do której będzie zapisana liczba pojazdów bez abonamentu postojowego, które
chciały
zaparkować w i-tym rejonie i zaparkowały albo w i-tym rejonie albo rejonie sąsiednim
n_sub_demand_met = np.array([0.0]*no_zones)

# obciążenie wszystkich rejonów pojazdami posiadającymi wykupiony abonament
occupancy = occupancy + sub_share*park_spots

# ustalenie liczby dostępnych miejsc postojowych dla pojazdów innych niż pojazdy z abonamentami
park_spots_left = park_spots - occupancy

#obciążenie wszystkich rejonów pojazdami nieposiadającymi abonament
for i in zones:

    i = i - 1
    # użytkownicy chcący zaparkować w docelowym rejonie, którym obecnie obowiązująca cena
    # odpowiada
    elast_prob = park_cost[i]*1.073*price_elast[i,0]+price_elast[i,1]
    if elast_prob >1:
        elast_prob = 1
    elif elast_prob <0:
        elast_prob = 0
    else:
        elast_prob = elast_prob

    willing_to_park[i] = n_sub_demand[i]*elast_prob

    if willing_to_park[i] > park_spots_left[i]:
        occupancy[i] = park_spots[i]
        n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + park_spots_left[i]
        to_inherit[i] = willing_to_park[i] - park_spots_left[i]
        park_spots_left[i] = 0

    # wyzerowanie wektora odziedziczonego napełnienia
    inherited = np.array([0.0]*no_zones)
    # dziedziczony popyt wynikający z atrakcyjności zależnej od odległości i
    # elastyczności
    unassigned[i] = to_inherit[i]

    if to_inherit[i] > 0:
        #tylko do najtańszego rejonu w zasięgu akceptowalnego dojścia pieszego
        min_cost = 1000
        for j in zones:
            j = j - 1
            if is_neighbour[i, j] == 1:
                if park_cost[j] < min_cost:
                    min_cost = park_cost[j]

        prob_sum = 0
        for j in zones:
            j = j - 1
            if park_cost[j] == min_cost and is_neighbour[i,j]==1:
                prob_sum = prob_sum + prob_matrix[i,j]

        for j in zones:
            j = j - 1

            if park_cost[j] == min_cost and is_neighbour[i,j]==1:
                elast_prob = park_cost[j]*1.073*price_elast[i,0]+price_elast[i,1]
                if elast_prob >1:
                    elast_prob = 1
                elif elast_prob <0:
                    elast_prob = 0
                else:
                    elast_prob = elast_prob

                if prob_sum == 0:
                    share = 0
                else:

```

```

share = prob_matrix[i,j]/prob_sum

inherited[j]=to_inherit[i]*elast_prob*share

if inherited[j] > park_spots_left[j]:
    inherited[j] = park_spots_left[j]
else:
    inherited[j] = inherited[j]

inherited_total[j] = inherited_total[j] + inherited[j]
occupancy[j] = occupancy[j] + inherited[j]
n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + inherited[j]
park_spots_left[j] = park_spots_left[j] - inherited[j]
unassigned[i] = unassigned[i] - inherited[j]

#kolejne, droższe rejony sąsiednie
if unassigned[i] > 0:
    cost_list= is_neighbour[i]*park_cost
    cost_list=[x for x in cost_list if x!=min_cost]
    cost_list=[x for x in cost_list if x!=0]

    if len(cost_list) > 0:

        for _ in cost_list:

            if len(cost_list) > 0:
                min_cost = min(cost_list)

                prob_sum = 0
                for j in zones:
                    j = j - 1
                    if park_cost[j] == min_cost and is_neighbour[i,j]==1:
                        prob_sum = prob_sum + prob_matrix[i,j]

                for j in zones:
                    j = j - 1
                    to_add = 0

                    if park_cost[j] == min_cost and is_neighbour[i,j]==1:

                        if prob_sum == 0:
                            share = 0
                        else:
                            share = prob_matrix[i,j]/prob_sum

                        to_add=unassigned[i]*elast_prob*share

                        if to_add > park_spots_left[j]:
                            to_add = park_spots_left[j]
                        else:
                            to_add = to_add

                        if to_add <= park_spots_left[j]:
                            occupancy[j] = occupancy[j] + to_add
                            n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + to_add
                            park_spots_left[j] = park_spots_left[j] - to_add
                            inherited_total[j] = inherited_total[j] + to_add
                            unassigned[i] = unassigned[i] - to_add

                        else:
                            occupancy[j] = occupancy[j] + park_spots_left[j]
                            n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] +
park_spots_left[j]

                            unassigned[i] = unassigned[i] - park_spots_left[j]
                            inherited_total[j] = inherited_total[j] +
park_spots_left[j]

                            park_spots_left[j]= 0

                    cost_list=[x for x in cost_list if x!=min_cost]

if unassigned[i] > 0:
    for j in zones:
        j = j - 1
        if is_neighbour[i,j]==1:
            elast_prob = park_cost[j]*1.073*price_elast[i,0]+price_elast[i,1]
            if elast_prob >1:
                elast_prob = 1
            elif elast_prob <0:
                elast_prob = 0
            else:

```

```
        elast_prob = elast_prob

        inherited = unassigned[i] * elast_prob
        # ograniczenie nakładane by nie przekroczyć liczby dostępnych miejsc postojowych
        if inherited > park_spots_left[j]:
            inherited = park_spots_left[j]
        else:
            inherited = inherited

        inherited_total[j] = inherited_total[j] + inherited
        occupancy[j] = occupancy[j] + inherited
        n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + inherited
        park_spots_left[j] = park_spots_left[j] - inherited
        unassigned[i] = unassigned[i] - inherited

    else:
        occupancy[i] = occupancy[i] + willing_to_park[i]
        n_sub_demand_met[i] = n_sub_demand_met[i] + willing_to_park[i]
        park_spots_left[i] = park_spots_left[i] - willing_to_park[i]

    if occupancy[i] > max_occupancy_target*park_spots[i]:
        park_cost[i] = park_cost[i] + step

#wyrażenie obliczonej zajętości miejsc postojowych w postaci liczby od 0 do 1
occ = occupancy/park_spots
```