



**Politechnika
Śląska**

**DYSCYPLINA NAUKOWA
INŻYNIERIA LĄDOWA,
GEODEZJA I TRANSPORT**

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Piotr Soczówka

Modelowanie lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego z zastosowaniem metod analizy przestrzennej

Modeling of the location of public transport stops with the
application of methods of spatial analysis

Promotor:

dr hab. inż. Renata Żochowska, prof. PŚ

Promotor pomocniczy:

dr hab. inż. Grzegorz Karoń, prof. PŚ

Katowice, 2023

Serdecznie dziękuję Promotorowi rozprawy Pani Profesor Renacie Żochowskiej za nieocenione wsparcie, cenne uwagi merytoryczne, poświęcenie ogromnej ilości czasu oraz nieustanną motywację i wiarę w powstanie tej pracy. Dziękuję Promotorowi pomocniczemu Profesorowi Grzegorzowi Karoniowi za wszystkie sugestie oraz współpracę przy tworzeniu rozprawy.

Dziękuję Panu Doktorowi Ryszardowi Janeckiemu, Profesorowi Aleksandrowi Sobocie, Doktorowi Marcinowi Kłowskiemu oraz Magistrowi Adrianowi Barchańskiemu za rozwijającą współpracę i dyskusje przy licznych pracach. Dziękuję Kierownikowi Katedry Systemów Transportowych, Inżynierii Ruchu i Logistyki Profesorowi Grzegorzowi Sierpińskiemu oraz wszystkim Pracownikom Katedry za wszelką pomoc.

Serdecznie dziękuję Zarządowi Transportu Metropolitalnego w Katowicach za udostępnienie danych, bez których ta rozprawa nie mogłaby powstać.

Pragnę również podziękować moim Rodzicom oraz Bratu za stworzenie warunków do pracy oraz nieustanne wsparcie. Dziękuję Oliwii i Marcinowi za nieocenioną motywację.

Spis treści

Streszczenie	5
Abstract	6
Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów	7
1. WPROWADZENIE	9
1.1 Uzasadnienie podjęcia tematu	9
1.2 Charakterystyka wybranych pojęć stosowanych w pracy	14
1.3 Problemy badawcze, hipotezy badawcze, teza, cele i zakres pracy	18
2. STAN WIEDZY Z ZAKRESU METOD LOKALIZACJI I ANALIZ PRZESTRZENNYCH	21
2.1 Klasyczne teorie lokalizacji	21
2.2 Dane przestrzenne i metody podziału przestrzeni	25
2.3 Metody taksonomiczne w analizach przestrzennych	32
3. STAN WIEDZY Z ZAKRESU LOKALIZACJI PRZYSTANKÓW PUBLICZNEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO	36
3.1 Rola przystanków w kształtowaniu jakości usług publicznego transportu zbiorowego	36
3.2 Metody modelowania i oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego	46
3.3 Identyfikacja luki badawczej	54
4. METODA OSZACOWANIA POTENCJAŁU LOKALIZACJI PRZYSTANKÓW PUBLICZNEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO	56
4.1 Założenia metody	56
4.2 Dane wykorzystywane w metodzie	62
4.3 Ogólny schemat metody	67
4.4 Opis formalny metody	68
4.5 Algorytm metody	78
4.6 Możliwości zastosowania opracowanej metody	79
5. WERYFIKACJA METODY OSZACOWANIA POTENCJAŁU LOKALIZACJI PUBLICZNEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO	84
5.1 Założenia i procedura weryfikacji opracowanej metody	84
5.2 Opis poligonu badawczego	85
5.3 Struktura danych wykorzystywanych w badaniach	91
5.4 Weryfikacja opracowanej metody	101
6. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA OPRACOWANEJ METODY	127
6.1 Opis przykładu zastosowania opracowanej metody	127
6.2 Oszacowanie potencjału rzeczywistego – wariant A	131
6.3 Oszacowanie potencjału rzeczywistego – wariant B	134

6.4 Analiza porównawcza – warianty A i B.....	137
7. PODSUMOWANIE I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ	139
Literatura	143
Spis tabel	154
Spis rysunków	155

Streszczenie

W obszarach miejskich występują liczne problemy, które wynikają z działalności transportowej oraz z dominacji samochodu osobowego w codziennych podróżach mieszkańców. Podejmowane są liczne działania mające na celu wzrost liczby podróży realizowanych środkami publicznego transportu zbiorowego, przy jednoczesnym zmniejszaniu wykorzystania samochodów osobowych. Do działań tych można zaliczyć opracowywanie metod wspomagających wybór najkorzystniejszej lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego.

Odpowiednia lokalizacja przystanku ma kluczowe znaczenie w podejmowaniu decyzji przez użytkowników systemu transportowego dotyczących wyboru środka transportu i w związku z tym wpływa na liczbę podróży, które mogą być realizowane z danego przystanku. Istnieje wiele metod, które pozwalają na ocenę zasadności lokalizacji przystanków. Metody te bazują na różnych czynnikach wpływających na szeroko rozumiany potencjał lokalizacji przystanku.

W rozprawie przyjęto założenie, że potencjał lokalizacji przystanków może być oszacowany przy zastosowaniu czynników związanych z zagospodarowaniem przestrzennym w otoczeniu przystanku. Zgodnie z tym założeniem opracowana została metoda oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. Podczas prowadzonych badań zastosowano wybrane metody analizy przestrzennej, między innymi związane z podziałem obszaru analizy na wieloboki Woronoja.

W pierwszym rozdziale rozprawy zawarto wprowadzenie do omawianej problematyki, a także przedstawiono problemy badawcze, tezę, cele i zakres pracy. W drugim i trzecim rozdziale zaprezentowany został aktualny stan wiedzy w zakresie metod lokalizacji, analiz przestrzennych oraz sposobów lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. W czwartym rozdziale znajdują się założenia oraz opis formalny opracowanej metody. W piątym rozdziale zaprezentowano weryfikację opracowanej metody, a w szóstym zawarto przykład jej zastosowania. Ostatni, siódmy rozdział, zawiera podsumowanie i kierunki dalszych badań.

Słowa kluczowe: publiczny transport zbiorowy, lokalizacja przystanków, analiza przestrzenna, zagospodarowanie przestrzenne, metody taksonomiczne

Abstract

Urban areas face nowadays numerous problems that arise from transport activity and the dominance of private cars in everyday trips. Different actions are taken in order to increase the number of trips made using means of public transport and, at the same time, decrease the use of cars. These actions include development of methods that support making decisions on the most advantageous location of public transport stops.

The proper location of a public transport stop is crucial for passengers when they decide which mode of transport to choose and therefore it influences the number of trips that can be made from said stop. There are many methods that allow to assess the validity of a location of a stop. Those methods are based on various factors that influence the potential of the location of a stop.

In this dissertation an assumption was made that potential of the location of a stop may be evaluated on the basis of factors associated with land use in the vicinity of the stop. According to this assumption a method of the estimation of the potential of a location of a public transport stop was developed. During the studies chosen methods of spatial analysis were applied, e.g., methods of the division of the area using Voronoi diagram.

First chapter of the dissertation includes the introduction, as well as research questions, thesis, goals of the study and its scope. In second and third chapters there is a literature review in the aspect of methods of location, spatial analysis and ways to locate public transport stops. Fourth chapter contains assumptions of the method and its formal description. Fifth chapter is dedicated to verification of the method and sixth contains an example of the application of the method. The last, seventh, chapter contains summary and directions for further research.

Keywords: public transport, location of stops, spatial analysis, land use, taxonomic methods

Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów

MOPLP	– metoda oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego,
MP	– model przystanków w obszarze analizy,
MZP	– model zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy,
MPP	– model podziału przestrzeni w obszarze analizy,
ΛT	– zbiór wartości potencjałów teoretycznych lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego dla wszystkich wieloboków Woronoja, na które został podzielony obszar analizy,
ΛR	– zbiór wartości potencjałów rzeczywistych lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego dla wszystkich wieloboków Woronoja, na które został podzielony obszar analizy,
A	– obszar analizy,
P	– zbiór numerów przystanków w obszarze analizy,
SP	– zbiór numerów stanowisk przystankowych w obszarze analizy,
FSP	– zbiór współrzędnych geograficznych stanowisk przystankowych,
SG	– zbiór środków geometrycznych przystanków w obszarze analizy,
FSG	– zbiór współrzędnych geograficznych środków geometrycznych,
C	– zbiór numerów kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego,
E	– zbiór numerów klas obiektów zagospodarowania przestrzennego,
W	– zbiór wag obiektów zagospodarowania przestrzennego,
DC	– zbiór wag klas obiektów zagospodarowania przestrzennego występujących w kategorii c ,
V	– zbiór numerów wieloboków Woronoja w obszarze analizy,
$O_{e,v}$	– liczba obiektów klasy e w wieloboku v ,
$OW_{e,v}$	– ważona liczba obiektów klasy e w wieloboku v ,
$OWZ_{c,v}$	– ważona liczba obiektów w kategorii c dla wieloboku v ,
$UOWZ_{c,v}$	– unitaryzowana ważona liczba obiektów w kategorii c dla wieloboku v ,
$SUOWZ_{c,v}$	– ważona wartość $UOWZ_{c,v}$,
ΛT_v	– potencjał teoretyczny lokalizacji przystanków w wieloboku v ,

- S_v – zbiór numerów wieloboków sąsiednich z wielobokiem v ,
- SG_{S_v} – zbiór numerów środków geometrycznych wieloboków ze zbioru S_v ,
- $S1_v$ – zbiór wieloboków sąsiednich z wielobokiem v o poziomie sąsiedztwa 1,
- ΛWT_{S_v} – ważony potencjał teoretyczny wieloboku należącego do zbioru $S1_v$,
- ΛWZT_v – suma ważonych potencjałów teoretycznych wieloboków należących do zbioru $S1_v$,
- ΛR_v – potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków w wieloboku v ,
- PAS – liczba pasażerów korzystających z przystanku.

1. WPROWADZENIE

1.1 Uzasadnienie podjęcia tematu

Przemieszczanie się jest jedną z najbardziej fundamentalnych potrzeb każdego człowieka. W ciągu wieków zmiana ulegały cele i sposoby realizacji podróży, a w związku z tym także czas ich trwania, wygoda czy koszt. Współcześnie, stopień rozwoju poszczególnych elementów systemu transportowego umożliwia znacznie bardziej efektywne przemieszczanie się, również na duże odległości. Ciągłe rozwijane są środki transportu, które dzisiaj nie służą jedynie pokonaniu dystansu pomiędzy źródłem a celem podróży, ale mają także zapewnić pasażerom komfortowe warunki podróży. Pozytywne zmiany można także zaobserwować w przypadku infrastruktury transportu, zarówno indywidualnego jak i zbiorowego. Budowane są drogi wysokich klas technicznych (autostrady, drogi ekspresowe), łączące duże ośrodki miejskie i umożliwiające znaczne skrócenie czasu podróży. Poprawie ulega stan infrastruktury kolejowej. Powstają także nowoczesne przystanki publicznego transportu zbiorowego, dworce kolejowe, lotniska, korzystnie wpływające na wizerunek transportu zbiorowego.

Rozwój transportu indywidualnego, a przede wszystkim ciągle rosnąca liczba pojazdów osobowych oraz dominacja tego środka transportu w podziale modalnym podróży realizowanych w dużych ośrodkach miejskich wiąże się także z negatywnymi skutkami i konsekwencjami [59], [71]. Szczególnie wyraźnie problemy te widoczne są w obszarach metropolitalnych czy aglomeracjach miejskich. Jeszcze w 1990 roku po polskich drogach jeździło ponad 5 milionów pojazdów osobowych [92]. W 2000 roku liczba ta uległa podwojeniu, a w 2010 roku wynosiła już ponad 17 milionów [92]. Obecnie w Polsce zarejestrowanych jest ponad 25 milionów samochodów osobowych, a tendencja wzrostowa jest ciągle obserwowana [149]. Podobny trend można zaobserwować także w innych państwach, m.in. w Stanach Zjednoczonych czy Niemczech [137].

Problemy transportowe występujące w obszarach miejskich dotyczą głównie kongestii transportowej, zanieczyszczeń, hałasu i zdarzeń drogowych [62], [64], [67], [98], [107]. Prowadzą one do różnorodnych uciążliwości związanych ze zdrowiem mieszkańców oraz degradacją środowiska [67].

Kongestia transportowa to jeden z najbardziej widocznych skutków dominującej roli samochodu osobowego w podróżach realizowanych na obszarach miejskich. Definicje

kongestii odnoszą się do występowania sytuacji, gdy na danym odcinku drogi znajduje się zbyt duża liczba pojazdów, co prowadzi do obniżenia ich prędkości [107],[157]. Z tego powodu powstawanie zatorów na drogach wiąże się z wydłużeniem czasu podróży, stratami czasu, ograniczeniem możliwości swobodnego planowania podróży i zanieczyszczeniem powietrza [107]. Osoby dojeżdżające do pracy spędzają dodatkowy czas w zatorach, co prowadzi do zmęczenia, spadku produktywności oraz może być przyczyną stresu [57].

Kolejnym problemem wynikającym ze zwiększonej działalności transportowej jest zanieczyszczenie środowiska, przede wszystkim powietrza, gleby lub wody [42], [170]. Do najbardziej szkodliwych substancji można zaliczyć m.in. tlenek węgla, tlenki azotu, tlenki siarki czy cząstki stałe [161]. Ich emisja ma negatywny wpływ na środowisko i przyczynia się do powstawania problemów zdrowotnych u ludzi [123], [131]. Zanieczyszczenie wód może być związane z opadami deszczu, w wyniku których woda spływa z jezdni dróg, lub z występowaniem szkodliwych substancji w materiałach używanych do budowy dróg [42].

Działalność transportowa jest także źródłem hałasu [94]. Największy udział ma w tym zakresie transport lotniczy, kolejowy oraz transport prowadzony drogami wysokich klas technicznych. Duża liczba samochodów w centrach miast również przyczynia się do powstawania hałasu [74]. Hałas może powodować wiele problemów ze zdrowiem, m.in. zaburzeń słuchu, problemów z układem sercowo-naczyniowym, stresu, problemów ze snem czy problemów ze zdrowiem psychicznym [41], [55].

Z transportem nierozzerwalnie związane jest także występowanie zdarzeń drogowych, tj. wypadków i kolizji. Zdarzenia drogowe wiążą się z bezpośrednim zagrożeniem życia i zdrowia osób podróżujących. Choć w Polsce obserwuje się w ostatnich latach tendencję spadkową liczby wypadków, liczby ofiar śmiertelnych i rannych, to wciąż ok. 2 tysiące osób co roku ginie w wyniku wypadków, a ponad 20 tysięcy osób odnosi obrażenia [150]. Wypadki wiążą się także z kosztami – szacuje się, że łączny koszt jednej ofiary śmiertelnej to ponad 2,6 mln złotych, a koszt ofiary ciężko rannej to ok. 3,5 mln złotych [162]. Z tego powodu nieustannie prowadzi się działania mające na celu poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego [65].

Opisane problemy w znacznym stopniu przyczyniają się do obniżenia jakości życia mieszkańców dużych obszarów miejskich. Z tego powodu od wielu lat podejmowane są działania mające na celu ograniczenie negatywnego wpływu transportu na jego otoczenie [91]. Stosuje się odpowiednie narzędzia zarządzania mobilnością mieszkańców dużych aglomeracji miejskich, tak aby stopień zrównoważenia mobilności był jak największy [6], [70].

Zrównoważona mobilność jest blisko związana z pojęciem zrównoważonego rozwoju. Zgodnie z raportem Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju (tzw. Komisja Brundtland) zrównoważony rozwój to: „*rozwój, który zaspokaja potrzeby współczesności, bez narażania zdolności przyszłych pokoleń do zaspokajania własnych potrzeb*” [109]. Koncepcja zrównoważonej mobilności opiera się na definicji zrównoważonego rozwoju, ale dotyczy sfery transportu, zwłaszcza transportu w miastach.

Działania zrównoważonej mobilności skoncentrowane są na ludziach, ich jakości życia, polepszeniu warunków życia czy ograniczeniu niszczenia środowiska naturalnego [18], [19], [25], [66], [79]. Do postulowanych działań zalicza się m.in. promocję środków transportu alternatywnych wobec samochodu osobowego – w tym transportu zbiorowego – oraz przesunięcie modalne z transportu indywidualnego na transport publiczny [70]. Również w innych dokumentach o znaczeniu strategicznym zwraca się uwagę na konieczność tworzenia i promowania bezpiecznego, dostępnego i niezawodnego publicznego transportu zbiorowego [99].

Aby publiczny transport zbiorowy mógł stanowić atrakcyjną alternatywę dla transportu indywidualnego i w konsekwencji przyczynić się do realizacji celów zrównoważonej mobilności konieczne jest zapewnienie odpowiedniego poziomu jakości tego transportu [43], [97]. W źródłach literaturowych wymienia się wiele cech transportu zbiorowego, które kształtują jego jakość, m.in: dostępność, punktualność, prędkość, częstotliwość, bezpieczeństwo [133]. Z tego wynika, że jakość publicznego transportu zbiorowego jest pojęciem wieloaspektowym i wymagającym analizy z uwzględnieniem różnych punktów widzenia.

Do najważniejszych postulatów przewozowych, które osoby korzystające z usług publicznego transportu zbiorowego kierują pod jego adresem można zaliczyć m.in. dostępność [3]. Jest to cecha, która w bezpośredni sposób wpływa na możliwość rozpoczęcia podróży środkami tego rodzaju transportu. Z dostępnością z kolei ściśle związana jest lokalizacja miejsc, w których pasażerowie rozpoczynają bądź kończą podróż środkami publicznego transportu zbiorowego. Do takich miejsc należą przystanki.

Lokalizacja przystanków publicznego transportu zbiorowego jest ważnym elementem kształtowania zrównoważonej mobilności, ponieważ wpływa na decyzję o wyborze środka transportu [158]. Mało atrakcyjna lokalizacja, np. z dala od miejsc zamieszkania czy miejsc realizowania innych aktywności może zniechęcać potencjalnych pasażerów do wyboru środków publicznego transportu zbiorowego i przyczynić się do wzrostu udziału podróży

realizowanych transportem indywidualnym. Właściwie dobrana lokalizacja przystanków może z kolei spowodować wzrost liczby osób korzystających z publicznego transportu i zainteresowania tym rodzajem transportu jako alternatywy dla samochodu osobowego [147].

Ustalenie najbardziej korzystnej lokalizacji przystanku publicznego transportu zbiorowego jest procesem złożonym [122], [167]. Właściwa lokalizacja powinna nie tylko być związana z jak największą liczbą potencjalnych pasażerów, ale również powinna zapewniać pasażerom odpowiedni poziom bezpieczeństwa [102]. Ważne jest także aby uwzględniać ograniczenia osób ze szczególnymi potrzebami [75].

Kluczowe znaczenie przy modelowaniu lokalizacji przystanków mają cechy przestrzeni, która otacza przystanki [16], [31], [36], [73]. Współczesne metody lokalizacji przystanków zakładają wykorzystanie danych przestrzennych o obszarze w bezpośrednim sąsiedztwie przystanku [31], [73], [105]. Do decyzji o lokalizacji przystanku często stosuje się metody bazujące m.in. na liczbie osób mieszkających lub pracujących w określonej odległości (przestrzennej lub czasowej), a także na cechach socio-demograficznych ludności [16], [36].

W pracy przyjęto założenie, że cechami przestrzennymi, które w najbardziej istotny sposób wpływają na wybór lokalizacji przystanku są cechy związane z zagospodarowaniem przestrzennym. Identyfikację oraz analizę obiektów zagospodarowania przestrzennego umożliwiają metody analizy przestrzennej. Zastosowanie tych metod w modelowaniu lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego jest zatem szczególnie korzystne. Biorąc powyższe pod uwagę jako temat pracy przyjęto modelowanie lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego z zastosowaniem metod analizy przestrzennej. Jako kluczowe czynniki decydujące o wyborze lokalizacji przyjęto dane o zagospodarowaniu przestrzennym w otoczeniu przystanku.

Badania związane z modelowaniem lokalizacji przystanków oraz poszukiwaniem szczególnie korzystnych lokalizacji mają bardzo istotne znaczenie w kontekście podnoszenia jakości publicznego transportu zbiorowego oraz dostosowywania jej do oczekiwań pasażerów. Powinno się prowadzić analizy dotyczące modelowania lokalizacji przystanków w systemach transportu zbiorowego, ponieważ właściwa lokalizacja przystanku przyczynia się do wzrostu liczby osób realizujących podróże za pomocą tego rodzaju transportu [89] i w konsekwencji także do realizowania celów i założeń zrównoważonej mobilności miejskiej.

W rozprawie dla potrzeb modelowania lokalizacji przystanków opracowana została metoda oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. Jako kluczowy czynnik decydujący o potencjale lokalizacji przyjęto charakterystykę zagospodarowania przestrzennego w otoczeniu przystanku. Przez potencjał lokalizacji należy rozumieć miarę zasadności lokalizacji przystanków, związaną z potencjalną liczbą pasażerów, która może rozpocząć lub zakończyć podróż na danym przystanku. Zgodnie z tym podejściem wynikiem analiz prowadzonych przy zastosowaniu opracowanej metody nie jest dokładne wyznaczenie liczby pasażerów, którzy mogą skorzystać z przystanku, a ocena zasadności lokalizacji, związana z potencjalną liczbą pasażerów. Dzięki takiemu założeniu istnieje możliwość oceny zasadności przy zastosowaniu mniejszej liczby czynników niż w metodach pozwalających na określenie dokładnej liczby osób, które rozpoczną lub zakończą podróż na danym przystanku. Takie podejście przyjęte w pracy odróżnia ją od istniejących metod. Inną cechą metody, wyróżniającą ją na tle tych obecnie stosowanych, jest zastosowanie podziału obszaru zgodnego z teselacją Woronoja.

Przesłanką do podjęcia tematu pracy są istniejące w obszarach miejskich problemy wynikające z działalności transportowej, powodowane wzrostem liczby samochodów oraz wzrostem popytu na transport i prowadzące do obniżenia poziomu życia mieszkańców tych obszarów oraz problemów zdrowotnych czy degradacji środowiska naturalnego. W celu ograniczenia negatywnego wpływu zidentyfikowanych problemów stosuje się narzędzia zarządzania mobilnością w sposób zgodny z zasadami zrównoważonego rozwoju, w tym zrównoważonej mobilności. Jednym z działań, które przyczyniają się do realizacji celów zrównoważonej mobilności jest wzrost roli i znaczenia publicznego transportu zbiorowego w obszarach miejskich. Aby tego dokonać należy zapewnić odpowiedni poziom jakości transportu publicznego. Jednym z aspektów funkcjonowania transportu zbiorowego, który kształtuje jakość oferowanych usług jest lokalizacja przystanków. Cechy przestrzeni z kolei wpływają na wyznaczenie lokalizacji tych przystanków. Bazując na tym założeniu opracowano metodę oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego, która może być zastosowana podczas modelowania lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w celu oceny zasadności lokalizacji przystanku.

1.2 Charakterystyka wybranych pojęć stosowanych w pracy

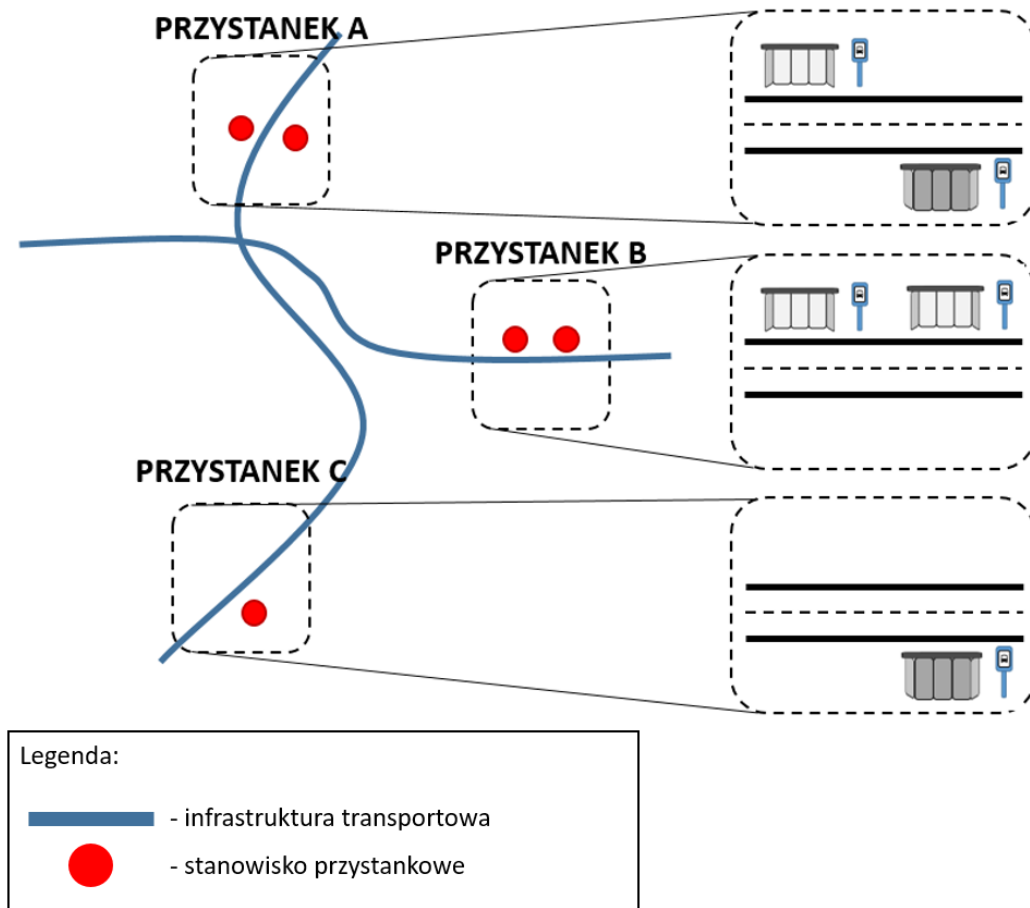
Pojęcie „publiczny transport zbiorowy” często w literaturze oraz w mowie potocznej stosowane jest na równi z pojęciami: „transport publiczny”, „miejski transport zbiorowy”, „komunikacja miejska” czy „komunikacja zbiorowa”. Pojęcia te nie są zupełnie tożsame, ale – zwłaszcza w ujęciu nieformalnym – oznaczają często ten sam system publicznych przewozów zbiorowych. Zgodnie z Ustawą z dnia 16 grudnia 2010 roku [153], publiczny transport zbiorowy to *„powszechnie dostępny regularny przewóz osób wykonywany w określonych odstępach czasu i po określonej linii komunikacyjnej, liniach komunikacyjnych lub sieci komunikacyjnej”*. Z kolei w publikacji [24] autorzy zwracają uwagę, że nie ma powszechnie akceptowanej definicji transportu publicznego.

Zawarta w Ustawie z dnia 16 grudnia 2010 roku o publicznym transporcie zbiorowym definicja linii komunikacyjnej (*„połączenie komunikacyjne na sieci dróg publicznych albo liniach kolejowych, innych szynowych, linowych, linowo-terenowych, albo akwenach morskich lub wodach śródlądowych wraz z oznaczonymi miejscami do wsiadania i wysiadania pasażerów na liniach komunikacyjnych, po których odbywa się publiczny transport zbiorowy”*) [153], wskazuje na konieczność wyznaczenia na takiej linii miejsc przeznaczonych do wsiadania i wysiadania z pojazdu. Takie miejsca nazywane są przystankami komunikacyjnymi i definiowane są jako miejsca *„przeznaczone do wsiadania lub wysiadania pasażerów na danej linii komunikacyjnej, w których umieszcza się informacje dotyczące w szczególności godzin odjazdów środków transportu”*. Ponadto, w transporcie drogowym, miejsca te powinny być oznaczone zgodnie z przepisami ustawy z dnia 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym [154]. Z kolei w ustawie z dnia 20 czerwca 1997 roku Prawo o ruchu drogowym przystanek definiowany jest jako *„miejsce zatrzymywania się pojazdów transportu publicznego, oznaczone odpowiednimi znakami drogowymi”* [154]. Jako „odpowiednie znaki drogowe” należy rozumieć w tym przypadku znaki: D15 „przystanek autobusowy”, D16 „przystanek trolejbusowy” i D17 „przystanek tramwajowy”.

Dla potrzeb dysertacji przyjęto, że przystanki z kolei składają się z określonej liczby stanowisk przystankowych. Ich liczba może wahać się od jednego czy dwóch stanowisk do nawet kilkunastu stanowisk w przypadku dużych dworców autobusowych lub centrów przesiadkowych. Podział przystanku na stanowiska przystankowe wynika z możliwości

zróźnicowania obsługi transportowej i oferty przewozowej na poszczególnych stanowiskach tworzących jeden przystanek.

Na rysunku 1.1 pokazano różne przykłady rozmieszczenia stanowisk przystankowych w obrębie jednego przystanku.



Rys. 1.1 Przykłady rozmieszczenia stanowisk przystankowych tworzących przystanek

Źródło: Opracowanie własne

W temacie rozprawy zawarte jest słowo „modelowanie”, oznaczające działanie polegające na budowie modelu, a następnie na eksperymentowaniu z opracowanym modelem [63], [172]. Model z kolei jest uproszczonym odwzorowaniem rzeczywistości, obejmującym jedynie te cechy, które są istotne z punktu widzenia prowadzonych badań. Modelowanie związane jest zatem z opisywaniem procesów zachodzących w rzeczywistości w sposób przybliżony [143], [171], [172]. Wyróżnia się kilka typów modeli [63], [120]:

- a. opisowe,
- b. fizyczne,
- c. analogowe,
- d. matematyczne.

Modelowanie matematyczne polega na odwzorowaniu rzeczywistych procesów za pomocą języka matematyki. Wyróżnia się kilka etapów modelowania matematycznego [63]: sformułowanie celów badania, konstruowanie modelu oraz eksperymenty z modelem. Ostatni z wymienionych etapów jest szczególnie istotny, ponieważ po jego wykonaniu następuje ocena przeprowadzonych eksperymentów. Jeśli ocena okaże się niesatysfakcjonująca to następuje powrót do etapu konstruowania modelu i wprowadzenie zmian w jego strukturze. W takim ujęciu modelowanie matematyczne ma charakter iteracyjny.

W niniejszej rozprawie istotne jest także pojęcie lokalizacji. Słownik języka polskiego definiuje lokalizację w dwojaki sposób [152]. Po pierwsze jako „*umiejscowienie, rozmieszczenie czegoś w określonym miejscu oraz ograniczenie skutków jakiegoś zjawiska do pewnego miejsca, obszaru*”, ale także jako „*ustalenie przez inwestora i zatwierdzenie przez organ administracyjny miejsca budowy obiektu*” [152]. Definicje te odnoszą się do występowania jakiegoś zjawiska, obiektu, dobra czy innego dowolnego elementu w określonym miejscu. Nie uwzględnia się w nich sposobu, w jaki to określone miejsce zostało ustalone lub wybrane. Lokalizacja jest zatem traktowana w tym kontekście jako pewien wyróżnik danego miejsca, w sposób statyczny opisujący co w tym miejscu się znajduje. Drugi sposób definiowania lokalizacji, który można odnaleźć w słowniku, zwraca uwagę jednak na to, że lokalizacja może być traktowana również jako proces, w którym miejsce budowy jest ustalane, a następnie zatwierdzone [152].

Na dwojaką naturę pojęcia lokalizacja uwagę zwraca także H. Godlewska w publikacji [46]. Z jednej strony definiuje ona lokalizację jako miejsce prowadzenia określonej działalności, a z drugiej jako procedurę podejmowania decyzji lokalizacyjnej. Podobnie w publikacji [80] lokalizacja jest rozumiana zarówno jako działanie zmierzające do wybrania dla konkretnego przedsiębiorstwa (podmiotu gospodarczego) miejsca, w którym będzie realizowało swoją misję prowadząc w określony sposób działalność gospodarczą danego rodzaju oraz jako użytkowany w pewien sposób fragment przestrzeni geograficznej mający specyficzne cechy fizyczne, społeczne i ekonomiczne predestynujące go do efektywnego ekonomicznie prowadzenia w tym miejscu określonej działalności gospodarczej.

W związku z tym należy zauważyć, że do pojęcia lokalizacji można podejść jako do procesu, który składa się z pewnych etapów, a którego efektem jest wskazanie najbardziej korzystnego umiejscowienia danego obiektu. Zatem w niniejszej pracy modelowanie lokalizacji rozumiane jest jako proces, podczas którego dokonuje się poszukiwania odpowiedniej lokalizacji

przystanków publicznego transportu zbiorowego. Proces ten wymaga określenia odpowiednich czynników lokalizacji, określenia matematycznego wpływu tych czynników na potencjał wykorzystania przystanku oraz - ostatecznie - wskazania miejsca, w którym przystanek powinien być zlokalizowany [23], [46].

Pojęcie lokalizacji może być dzielone wg różnych kryteriów. Mając na uwadze poziom dokładności można wyróżnić lokalizację ogólną oraz szczegółową [46]. Lokalizacja ogólna dotyczy umiejscowienia danego obiektu z dokładnością do regionu, a lokalizacja szczegółowa związana jest z konkretnym umiejscowieniem obiektu w tym regionie (z dokładnością do działki ziemi). Zatem, np. przy lokalizacji zakładu produkcyjnego, lokalizacja ogólna dotyczy np. miejscowości, w której ten zakład zostanie zlokalizowany, a lokalizacja szczegółowa dokładnego adresu w tej miejscowości, w której działalność będzie prowadzona.

Według innego kryterium podziału, wydzielić można także lokalizację bierną oraz czynną [46]. Lokalizacja bierna związana jest z wyborem istniejących obiektów, a następnie ich modernizacją, by dostosować je do profilu działalności, która ma być w nich prowadzona. Lokalizacja czynna natomiast polega na ustaleniu zupełnie nowego miejsca, w którym od podstaw zostanie przygotowana infrastruktura do prowadzenia określonej działalności. Oczywiście, decyzja o lokalizacji biernej lub czynnej w dużym stopniu uzależniona jest od dostępności istniejących obiektów i możliwości oraz kosztów ich dostosowania. W przypadku określonych typów działalności koszty dostosowania istniejącego obiektu mogą przewyższać koszty budowy nowego obiektu [46].

W literaturze zwraca się także uwagę na konieczność wyróżnienia lokalizacji dynamicznej oraz statycznej [46]. W przypadku lokalizacji statycznej analizie poddawany jest jedynie stan obecny, a w przypadku lokalizacji dynamicznej uwzględnia się także prognozowane zmiany w otoczeniu obiektów.

Ostatnie z analizowanych kryteriów dotyczy podziału lokalizacji na bezwzględną i względną [47]. W przypadku lokalizacji bezwzględnej analizie poddawana jest jedynie lokalizacja danego obiektu (lub obszaru, regionu) w konkretnym miejscu w przestrzeni [47]. Natomiast przy lokalizacji względnej bierze się także pod uwagę odległość (względne położenie) od innych obiektów (lub obszarów czy też regionów) [47]. Na przykład, rozpatrując lokalizację zakładu produkcyjnego, lokalizacja bezwzględna związana jest jedynie z określeniem konkretnej działki ziemi (konkretnego adresu), na której prowadzona jest

działalność, a lokalizacja względna dotyczy także analizy położenia np. innych zakładów produkcyjnych, funkcjonujących w tej samej branży.

Przy podejmowaniu decyzji o wyborze lokalizacji obiektu należy uwzględnić wpływ określonych czynników lokalizacji [23], [46]. Na przestrzeni lat zbiór takich czynników ulegał zmianom, różne czynniki także miały znaczenie w przypadku odmiennych typów działalności. Jako czynniki lokalizacji rozumie się określone korzyści, występujące wówczas, gdy działalność gospodarcza jest zlokalizowana w danej miejscowości. Są to zatem pewne okoliczności czy cechy, które sprawiają, że określona lokalizacja jest korzystniejsza w porównaniu do innych [46].

1.3 Problemy badawcze, hipotezy badawcze, teza, cele i zakres pracy

Na podstawie przedstawionych rozważań sformułowano problemy badawcze w postaci następujących pytań badawczych:

- 1) jakie czynniki związane z obiektami zagospodarowania przestrzennego obszaru wpływają na potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego?
- 2) jak zamodelować matematycznie wpływ czynników związanych z obiektami zagospodarowania przestrzennego na potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego?

Pierwsze pytanie odnosi się do problemu badawczego dotyczącego identyfikacji czynników związanych z obiektami zagospodarowania przestrzennego, które w największym stopniu wpływają na potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. Identyfikacja takich czynników pozwoliła opracować metodę oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. Drugie pytanie odnosi się do problemu badawczego, dotyczącego modelowania wpływu cech przestrzennych na potencjał lokalizacji i związane jest z określeniem tego wpływu za pomocą narzędzi modelowania matematycznego i analizy przestrzennej.

Na podstawie sformułowanych pytań i problemów badawczych określono hipotezy badawcze:

- 1) na potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego wpływa liczba i kategoria obiektów zagospodarowania przestrzennego,

- 2) wpływ czynników związanych z obiektami zagospodarowania przestrzennego na potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego może zostać zamodelowany matematycznie z zastosowaniem metod analizy przestrzennej.

Na podstawie sformułowanych hipotez badawczych określono tezę pracy. Została ona sformułowana w następujący sposób: *istnieje możliwość oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego na podstawie czynników związanych z obiektami zagospodarowania przestrzennego z zastosowaniem metod analizy przestrzennej.*

Teza determinuje cele niniejszej pracy, które zostały podzielone na cele naukowe oraz użyteczne. Do celów naukowych zaliczono:

- a. opracowanie zasad podziału przestrzeni obszaru dla potrzeb modelowania lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego,
- b. identyfikację czynników związanych z obiektami zagospodarowania przestrzennego wpływających na potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego,
- c. klasyfikację przystanków publicznego transportu zbiorowego w aspekcie obsługi transportowej,
- d. opracowanie modeli matematycznych odwzorowujących wpływ czynników związanych z obiektami zagospodarowania przestrzennego na potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego.

Jako cele użyteczne przyjęto:

- a. opracowanie metody oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego z zastosowaniem metod analizy przestrzennej,
- b. weryfikację opracowanej metody na wybranym obszarze miast Będzin, Dąbrowa Górnicza i Sosnowiec,
- c. implementację metody na przykładzie rzeczywistego zbioru przystanków. Wybrane przystanki znajdowały się na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Zbiór ten obejmował przystanki autobusowe znajdujące się w południowej części Chorzowa.

Opracowana metoda będzie miała zastosowanie jako narzędzie wspomagające proces modelowania lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego, przede wszystkim przez osoby zajmujące się organizacją transportu publicznego w wybranym obszarze.

Aby zrealizować postawione cele oraz udowodnić tezę pracy wykonano następujące zadania:

- a. przeprowadzenie studiów literaturowych w aspekcie lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego oraz analiz przestrzennych w transporcie,
- b. analizę wyników badań liczby osób korzystających z wybranych przystanków autobusowych,
- c. pozyskanie danych o obiektach zagospodarowania przestrzennego na wybranym obszarze,
- d. podział przestrzeni obszaru na wieloboki Woronoja,
- e. weryfikację metody oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego z zastosowaniem metod analizy przestrzennej na podstawie aplikacji metody na wybranym obszarze miast Będzin, Dąbrowa Górnicza i Sosnowiec.

Zakres pracy odpowiada treści poszczególnych rozdziałów. W pierwszym rozdziale omówiono przesłanki podjęcia tematu pracy, scharakteryzowano podstawowe pojęcia oraz określono problemy badawcze, tezę, celę i zakres pracy. W drugim rozdziale pracy zaprezentowano aktualny stan wiedzy z zakresu metod lokalizacji oraz analiz przestrzennych. W trzecim rozdziale znajduje się przegląd aktualnego stanu wiedzy z zakresu metod modelowania i oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. W czwartym rozdziale zawarto opis opracowanej metody oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. W rozdziale tym znajduje się schemat metody, opis formalny, algorytm oraz przykłady zastosowania. W piątym rozdziale zaprezentowano wyniki weryfikacji opracowanej metody. Szósty rozdział zawiera implementację metody na wybranym zbiorze przystanków. Siódmy rozdział obejmuje podsumowanie pracy oraz kierunki dalszych badań.

2. STAN WIEDZY Z ZAKRESU METOD LOKALIZACJI I ANALIZ PRZESTRZENNYCH

2.1 Klasyczne teorie lokalizacji

Jednym z pierwszych autorów, podejmujących tematykę związaną z lokalizacją był Sir William Petty [114]. Zainteresowania naukowe Petty'ego związane były z produkcją rolniczą. Już w XVII wieku zwrócił on uwagę na związek odległości miejsca produkcji danego dobra od miejsca zbytu i ceny sprzedaży, a także na rolę kosztów transportu i problemów, które w trakcie przewozu mogą wystąpić [114]. Zajmował się także analizami, które dzisiaj można nazwać analizami przestrzennymi, np. badał wielkości jednostek terytorialnych w Irlandii, biorąc pod uwagę czas dojazdu do centrum tej jednostki. Petty wprowadził także pojęcie renty z lokalizacji [114]. Innym autorem podejmującym pośrednio tematykę lokalizacji był Adam Smith, który zajmował się wyznaczaniem wielkości renty gruntowej i zauważył istotny wpływ kosztów transportu na tę rentę. Według Smitha, grunty o jednakowej żyzności zlokalizowane bliżej rynku pozwalają osiągnąć większą rentę niż te zlokalizowane w większej odległości [114].

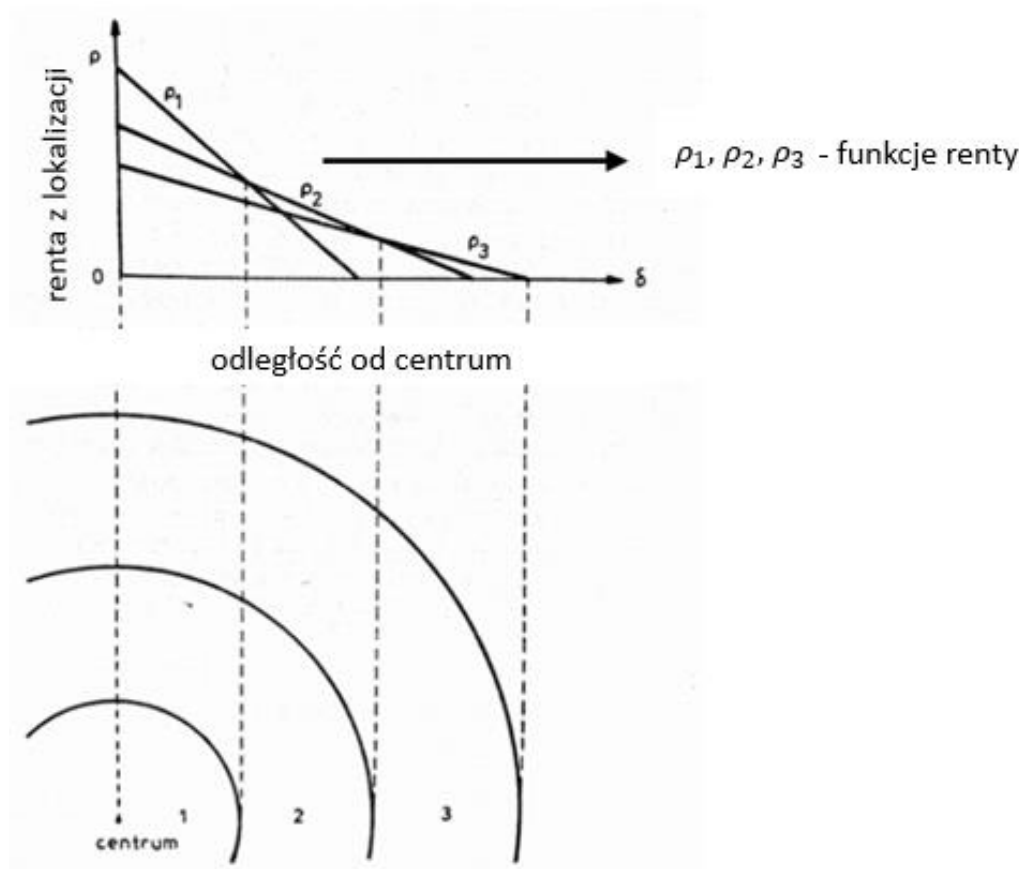
Pierwsze próby opracowania formalnej teorii lokalizacji datuje się na początek XIX wieku [103]. Dotyczyły one lokalizacji rolnictwa, jako że ten sektor gospodarki odgrywał w ówczesnym świecie najważniejszą rolę. Wraz z rozwojem przemysłu, mniej więcej od połowy tego samego wieku wzrosło znaczenie drugiego sektora gospodarki. W związku z tym, w dobie industrialnej szczególnym zainteresowaniem cieszyły się problemy lokalizacji obiektów przemysłowych. Wiele z tych teorii dzisiaj można uważać za teorie klasyczne, które nadały kierunek wielu innym teoriom i modelom, opracowywanym w kolejnych latach.

Jako pierwszą formalną propozycję analizy przestrzennej, prowadzącej do wyboru odpowiedniej lokalizacji produkcji powszechnie przyjmuje się teorię Johannesa von Thüнена, opublikowaną w 1826 roku, w dziele „*Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*” [103].

W tej pracy von Thünen podejmował problematykę lokalizacji produkcji rolniczej, w zależności od renty gruntowej, jaka może być uzyskana w poszczególnych lokalizacjach. Renta gruntowa odnosi się do maksymalnej kwoty, jaką użytkownik ziemi jest gotów zapłacić za możliwość korzystania z tej ziemi (renta podażowa) lub minimalnej kwoty, jakiej właściciel ziemi oczekuje za jej przekazanie (renta popytowa). Z powodu trudności w określeniu renty popytowej (wynikających z konieczności odwzorowania wpływu mało ścisłych czynników,

takich jak np. przywiązanie do ziemi) w literaturze najczęściej opisuje się rentę podażową [28], [103].

Lokalizacja produkcji danego dobra jest przedstawiana za pomocą kręgów (pierścienie Thünera). Granice kręgów wyznaczone są poprzez miejsca przecięcia funkcji renty dla poszczególnych produktów (równowaga Thünera) [28], [104]. Ilustruje to rysunek 2.1:



Rys. 2.1 Wyznaczanie pierścieni von Thünera
Źródło: opracowanie własne na podstawie [103]

Pewne założenia teorii J.H. von Thünera dzisiaj straciły na aktualności [103], niemniej jednak jego praca położyła podwaliny pod liczne teorie lokalizacji, nie tylko produkcji rolniczej, ale także zakładów przemysłowych czy modele związane z lokalizacją mieszkań.

W drugiej połowie XIX wieku, w okresie, gdy w coraz większej liczbie państw rosła rola przemysłu, zaczęły powstawać także pierwsze teorie, modele i metody związane z lokalizacją zakładów przemysłowych. Jedną z pierwszych osób, zajmujących się problematyką lokalizacji przemysłu był Carl Wilhelm Friedrich Launhardt [114]. W swojej działalności Launhardt zajmował się problemem lokalizacji zakładu przemysłowego, który wykorzystuje w swojej

działalności dwa czynniki produkcji oraz posiada jeden rynek zbytu. W ujęciu Launhardt'a, wyróżniono dwa czynniki kształtujące lokalizację takich zakładów przemysłowych: koszty transportu oraz inne uwarunkowania związane z kosztem ziemi, energii itp. Koszty transportu były czynnikiem najważniejszym, a lokalizacja pozwalająca na minimalizację tych kosztów jest lokalizacją najlepszą [114].

Również A. Weber w swojej pracy zajmował się podobną problematyką co Launhardt – lokalizacją zakładu przemysłowego, korzystającego w swojej działalności produkcyjnej z dwóch surowców, zlokalizowanych w dwóch miejscach w przestrzeni oraz sprzedającego swoje produkty na jednym rynku [11]. Weber w swoich rozważaniach wyróżnił trzy główne czynniki lokalizacji [11]:

- a. czynnik transportu,
- b. czynnik pracy,
- c. czynnik aglomeracji.

Należy jednak zauważyć, że spośród tych trzech czynników, to czynnik transportu miał w ujęciu Webera znaczenie największe – pozostałe dwa czynniki odgrywały znacznie mniejszą rolę – miały jedynie znaczenie modyfikacyjne [11]. Spowodowane jest to faktem, że na przełomie wieku XIX i XX koszty transportu mogły stanowić nawet do 40% całkowitych kosztów produkcji. Z tego powodu, najlepsza lokalizacja działalności, to taka lokalizacja, w której koszty transportu są minimalne [11].

Zakładając, że czynnik transportu ma znaczenie największe, lokalizacja obiektów przemysłowych może być [46]:

- a. surowcowa (w rejonach występowania surowców, które są wykorzystywane),
- b. rynkowa (w rejonach miejsc zbytu gotowych produktów).

Od momentu opublikowania pracy Webera podejmowane były próby rozwiązania tego problemu. W literaturze można odnaleźć trzy podejścia: analogiczne, geometryczne oraz numeryczne [103]. Podejście geometryczne, związane jest z kreśleniem izodapan. W ujęciu Webera izodapany to linie jednakowych, całkowitych kosztów transportu, na jednostkę produkcji. Są to linie łączące punkty, dla których koszt określonych kombinacji przewozów ładunków jest równy [85].

W rzeczywistym świecie, często dochodzi do zjawiska koncentracji produkcji na pewnym obszarze [103]. Najczęściej taka koncentracja przyjmuje formę miasta lub miejscowości. Pojawia się jednak pytanie, dlaczego miasta charakteryzują się danym rozkładem

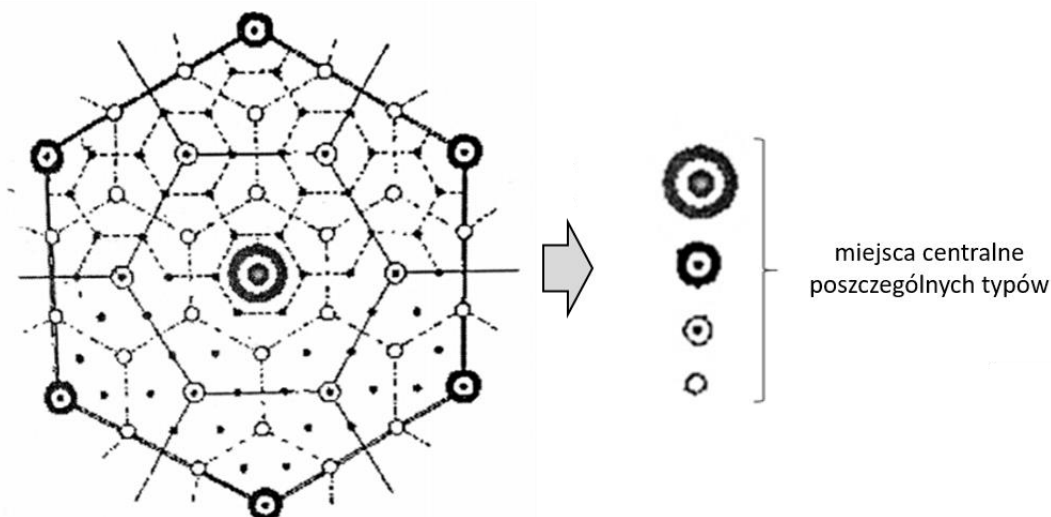
przestrzennym, dlaczego różnią się od siebie wielkością, a liczba miast o poszczególnych wielkościach jest inna. Warto zauważyć, że sama niejednorodność występowania surowców czy dóbr w przestrzeni nie wystarczy, aby wyjaśnić istnienie miast i ich rozkład przestrzenny. Jak zauważa C. Ponsard, istnienie miast związane jest z korzyścią skali, tzn. ze spadkiem kosztów produkcji wraz ze wzrostem wielkości w danym przedziale. Biorąc pod uwagę także istnienie innych podmiotów gospodarczych czy obiektów przemysłowych pojęcie korzyści skali rozszerzane jest na korzyści aglomeracji. Korzyści te mogą być wyrażane poprzez komplementarność procesów produkcji, czy dostęp do pewnych dóbr publicznych [88].

Próba wyjaśnienia rozkładu przestrzennego miast, a także ich wielkości, podjęta została przez niemieckiego geografa Waltera Christallera, który w 1933 roku opublikował pracę, w której zawarł teoretyczne podstawy teorii ośrodków centralnych [33], [104]. Zgodnie z tą teorią ośrodek centralny rozumiany jest jako osiedle (miasto) spełniające funkcje centralne. Stanowi on centrum większej okolicy, a także węzeł komunikacyjny. Ośrodki centralne charakteryzują się zróżnicowanym znaczeniem. Niektóre mogą odgrywać niewielką rolę, inne posiadają znacznie większy status [33].

W ośrodkach centralnych produkowane są pewne dobra centralne. Te same dobra są następnie konsumowane w punktach wokół ośrodka centralnego (a także w samym ośrodku centralnym). Produkcja dobra jest zatem skoncentrowana, a jego konsumpcja jest rozproszona. Dobra centralne różnią się od siebie – niektóre produkowane są jedynie w ośrodkach centralnych wysokich rzędów, inne z kolei także w ośrodkach centralnych niższych rzędów. Wybór miejsca produkcji związany jest także z pojęciami zasięgu dobra oraz jego progu. Zasięg dobra to maksymalna odległość, jaką godzi się przebyć konsument do ośrodka centralnego, aby to dobro nabyć, a próg to minimalna ilość produkowana oraz konsumowana danego dobra, która zapewnia zysk producentowi.

Miejscowości charakteryzują się różnymi typami, określającymi ich znaczenie, na podstawie zasięgu rynkowego. Im większy zasięg rynkowy (tzn. im większy zasięg mają dobra produkowane w danym ośrodku) tym większe znaczenie ma dany ośrodek. R. Domański w swojej pracy [33] wyróżnił 8 typów ośrodków.

Wizualizację systemu ośrodków centralnych zaprezentowano na rysunku 2.2.



Rys. 2.2 System ośrodków centralnych
 Źródło: opracowanie własne na podstawie [33]

Poszczególne typy ośrodków centralnych charakteryzują się różną liczbą miejscowości, różnym promieniem, powierzchnią, liczbą oferowanych produktów czy typową liczbą mieszkańców. Należy przy tym zauważyć, że dobra produkowane w ośrodkach niższych typów są także produkowane w ośrodkach wyższych typów [33].

Obecnie problematyka lokalizacji ma istotne znaczenie w wielu dziedzinach gospodarki i nauki, między innymi w transporcie. Rozwijane są zwłaszcza metody dotyczące lokalizacji infrastruktury transportowej, między innymi lotnisk [37], stacji kolejowych [95] czy magazynów [61], [144].

W analizach związanych z lokalizacją szczególnie istotne znaczenie mają dane przestrzenne. Między innymi na podstawie tych danych podejmowane są decyzje o lokalizacji obiektów w przestrzeni. W prowadzeniu takich analiz szczególnie użyteczne są także metody analizy przestrzennej.

2.2 Dane przestrzenne i metody podziału przestrzeni

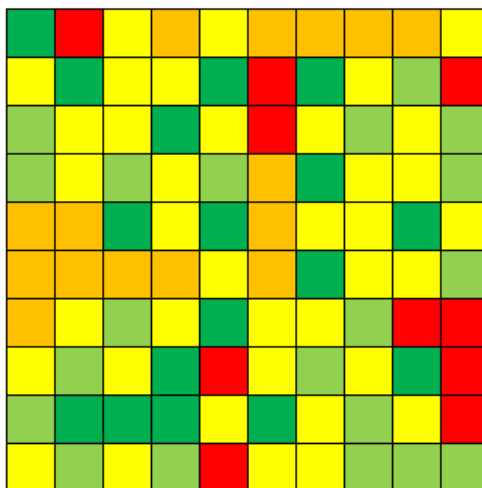
Dane przestrzenne to wszystkie dane, które posiadają informację o lokalizacji w przestrzeni. Istnieje wiele sposobów klasyfikowania danych przestrzennych [53], [141]. Wyróżnia się m.in. podział ze względu na źródło informacji przestrzennych oraz typy takich informacji [140]. W przypadku źródeł danych wyróżniono dane geograficzne oraz dane społeczno- ekonomiczne [140].

Zbiór procedur, których wyniki są uzależnione od lokalizacji takich danych nazywa się analizami przestrzennymi [140]. W analizach przestrzennych wykorzystuje się dwa podstawowe modele danych geograficznych [82]:

- a. dane rastrowe,
- b. dane wektorowe.

Dane rastrowe przedstawione są w postaci uporządkowanej struktury wierszy i kolumn, które tworzą regularną siatkę [140]. Podstawowym elementem siatki jest piksel lub pole podstawowe. O jakości danych rastrowych decyduje m.in. rozdzielczość, czyli wielkość pojedynczego piksela. Im mniejsza długość boku piksela, tym większy poziom szczegółowości [140].

Przykład danych rastrowych pokazano na rysunku 2.3.



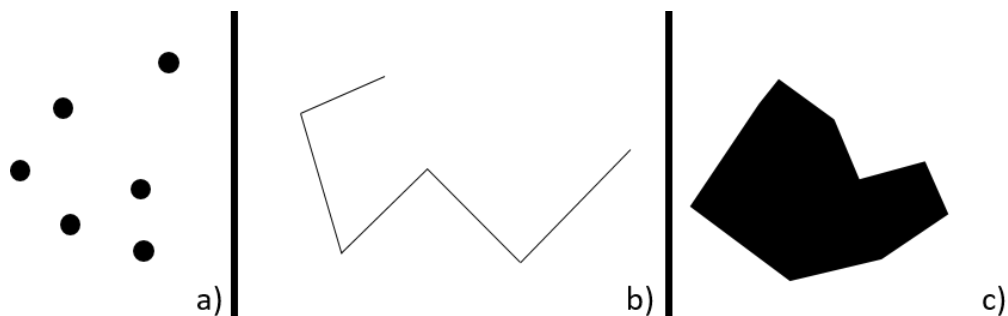
Rys. 2.3 Przykład danych rastrowych
Źródło: Opracowanie własne

Podstawową cechą danych rastrowych jest to, że wartość opisywanego atrybutu jest taka sama w całym polu podstawowym. Z tego powodu zastosowanie zbyt dużych pikseli może prowadzić do nieprecyzyjnego opisu danych [140].

W przypadku danych wektorowych informacje o istniejących obiektach opisywane są za pomocą zbioru punktów o określonych współrzędnych. Wyróżnia się trzy podstawowe typy obiektów zaliczanych do danych wektorowych [82], [140]:

- a. punkty,
- b. linie,
- c. poligony.

Przykłady tych typów pokazano na rysunku 2.4.



Rys. 2.4 Przykład danych wektorowych: a) punkty, b) linie, c) poligony

Źródło: Opracowanie własne

Kształt obiektów opisywany jest za pomocą współrzędnych. Punkty określone są jedną parą współrzędnych (x, y) , linie to uporządkowane pary współrzędnych (x, y) , a poligony to płaszczyzny ograniczone liniami.

Wyróżnia się także podział ze względu na charakter zmienności danych. W takim ujęciu występują dane [53], [156]:

- a. punktowe, które reprezentują występowanie zjawisk w określonych punktach w przestrzeni geograficznej,
- b. powierzchniowe, które charakteryzują się ciągłą zmiennością,
- c. obszarowe, które charakteryzują się skokową zmiennością.

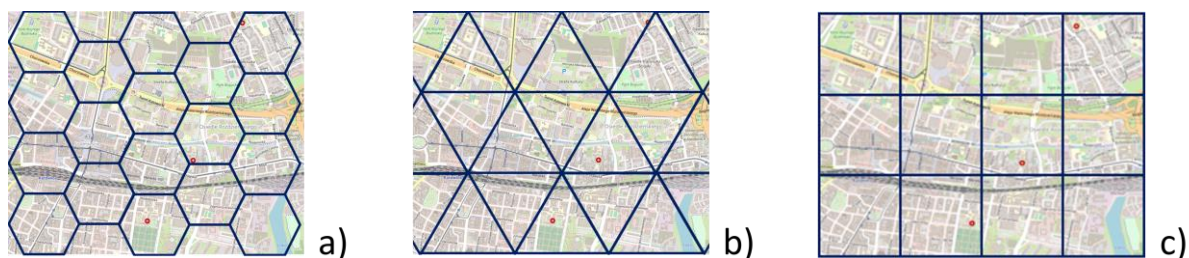
Dane obszarowe opisują między innymi jednostki administracyjne lub inne jednostki przestrzenne, a dane powierzchniowe mogą dotyczyć np. występowania zjawisk lub zasobów naturalnych [140].

Analiza danych przestrzennych często wymaga podziału przestrzeni, w której zlokalizowane są dane poddawane analizie na mniejsze jednostki [126]. Jest to szczególnie istotne między innymi na potrzeby klasyfikacji obszarów.

Proces podziału przestrzeni w obszarze na jednostki o ustalonym kształcie nazywa się teselacją. Istnieją dwa podstawowe podejścia do teselacji [125], [140]:

- a. teselacja regularna,
- b. teselacja nieregularna.

Teselacja regularna polega na nałożeniu na płaszczyznę obszaru regularnej kraty, w wyniku czego uzyskiwany jest zbiór pól podstawowych o jednakowym kształcie. Zwykle stosowane są pola w kształcie sześciokątów, trójkątów równobocznych lub kwadratów [140]. Przykłady teselacji regularnych pokazano na rysunku 2.5.



Rys. 2.5 Przykład teselacji regularnych: a) pola podstawowe w kształcie sześciokątów, b) pola podstawowe w kształcie trójkątów równobocznych, c) pola podstawowe w kształcie kwadratów

Źródło: Opracowanie własne

Podział przestrzeni na regularne pola podstawowe jest często stosowany w analizach związanych z transportem. W tabeli 2.1 pokazano przykłady zastosowania teselacji regularnej w analizach transportowych.

Tabela 2.1: Zastosowanie teselacji regularnej w analizach transportowych

Lp.	Przykład zastosowania	Publikacja
1	2	3
1.	Analiza związku pomiędzy zagospodarowaniem przestrzennym a zachowaniami komunikacyjnymi	Troncoso Parady, G. i in., [151]
2.	Analiza liczby osób korzystających ze stacji bike-sharingu	Gehrke, S. R. Welch, T.F., [45]
3.	Analiza dostępności publicznego transportu zbiorowego	Lo, H. i in., [83]
4.	Metoda wyboru odpowiedniej lokalizacji obiektów rekreacyjnych z wykorzystaniem danych o podróżach	Märki, F. i in., [90]
5.	Analiza rozwoju sieci transportowej	Levinson, D. M. i in., [81]
6.	Analiza rozwoju obszarów miejskich z wykorzystaniem danych o transporcie	Katoshevski, R. i in., [72]
7.	Tworzenie modeli potoków ruchu	Xue-Cheng, S. i in., [165]; Yong-Sheng, Q. i in., [166]
8.	Analiza struktury sieci drogowo-ulicznej w aspekcie gęstości i spójności	Soczówka, P. i in., [126]
10.	Analiza topologiczna sieci transportowych	Soczówka, P. Żochowska, R., [128]

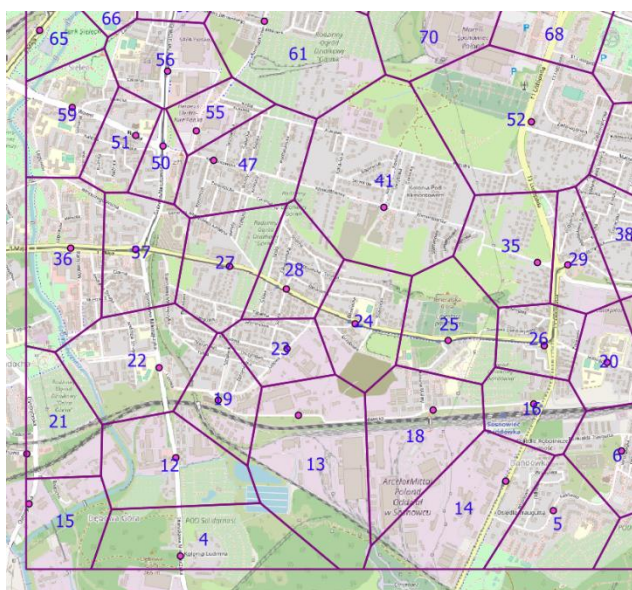
Źródło: opracowanie własne

Podział przestrzeni na pola podstawowe o regularnym kształcie jest zatem istotnym elementem w wielu rodzajach analiz związanych z transportem. Jest to podejście szczególnie przydatne w przypadku analiz sieci transportowej [125].

Teselacja nieregularna prowadzi z kolei do uzyskania obszarów niejednorodnych pod względem kształtu. Obszar analizy dzielony jest na pola różniące się kształtem oraz wielkością [140]. Wśród teselacji nieregularnych warto wyróżnić podział przestrzeni na rejony komunikacyjne. Jest to podejście stosowane w podczas budowy modeli ruchu. W wyniku takiego podziału przestrzeni uzyskuje się w obszarze analizy mniejsze jednostki, charakteryzujące się podobieństwem istotnym z punktu widzenia procesu generowania podróży [14].

Ważnym sposobem podziału przestrzeni na nieregularne pola jest także teselacja Woronoja [140]. Podział przestrzeni na wieloboki Woronoja polega na określeniu w obszarze analizy zbioru punktów (środków), a następnie wyznaczeniu wieloboków, w taki sposób, że w każdym wieloboku znajduje się tylko jeden punkt z przyjętego zbioru – punkt ten nazywany jest środkiem wieloboku. Uzyskane wieloboki charakteryzują się tym, że jakiegokolwiek obiekt położony wewnątrz danego wieloboku jest bliżej środka tego wieloboku niż jakiegokolwiek innego środka [5], [32]. Taki sposób podziału przestrzeni pozwala na przypisanie każdego obiektu znajdującego się w danym wieloboku do konkretnego środka. Umożliwia także identyfikację sąsiedztwa na podstawie kryterium wspólnej granicy [76].

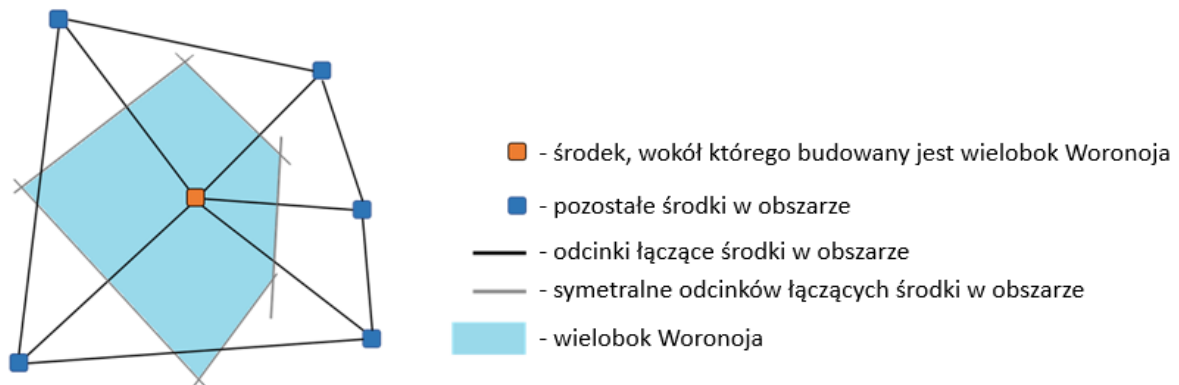
Na rysunku 2.6 pokazano przykład podziału przestrzeni na wieloboki Woronoja.



Rys. 2.6 Przykład teselacji Woronoja

Źródło: Opracowanie własne

Konstrukcja wieloboków Woronoja polega na określeniu lokalizacji wszystkich środków, kolejno połączeniu ich odcinkami oraz wyznaczeniu symetralnych tych odcinków [76]. W taki sposób uzyskuje się wieloboki wypukłe, o nieregularnym kształcie, tworzące sieć w obszarze [32]. Przykład konstrukcji pojedynczego wieloboku został pokazany na rysunku 2.7.



Rys. 2.7 Konstrukcja wieloboków Woronoja

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [32]

Podział przestrzeni na wieloboki Woronoja jest wykorzystywany w badaniach naukowych w wielu dziedzinach nauki. W tabeli 2.2 pokazano przykłady zastosowania wieloboków Woronoja w wybranych dziedzinach nauki.

Tabela 2.2: Zastosowanie teselacji Woronoja w wybranych dziedzinach nauki

Lp.	Dziedzina nauki	Publikacja
1	2	3
1.	Transport	Chen, B-Y. i in., [20], Hua, W., Rongguo, M. [58], Lopez, C. i in. [84], Teknomo, K. i in., [148], Wang, F. i in., [159]
2.	Geometria	Reem, D., [108]
3.	Ekologia	Mercier, F., Baujard, O., [93]

Lp.	Dziedzina nauki	Publikacja
1	2	3
4.	Robotyka	Chi, W. i in., [21], Garrido, S. i in., [44]
5.	Chemia	Konstantinovsky, D. i in., [78]
6.	Inżynieria lotnicza	Bostan, B. i in., [10]
7.	Geologia	Zhang, K. i in., [168]
8.	Inżynieria materiałowa	Cao, B. i in., [13]
9.	Rolnictwo	Tahilyani, S. i in., [145]
10.	Kosmonautyka	Du, H. i in., [34]
11.	Fizyka	Bassett, B.R., Owen, J.M., [8]
12.	Elektrotechnika	Su, J. i in., [139]
13.	Biologia	Bock, M. i in., [9], Feinstein, J. i in., [40]

Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z tabelą 2.2 wieloboki Woronoja znalazły zastosowanie w szerokim spektrum badań naukowych. W dziedzinie transportu wykorzystywane są między innymi w analizach związanych z lokalizacją obiektów infrastruktury transportowej.

W przypadku podziału obszaru na mniejsze jednostki istotnym problemem jest ustalenie jednostek sąsiadujących. Istnieje wiele metod ustalania sąsiedztwa obszarów [48], [54], [140]:

- a. sąsiedztwo na podstawie właściwości geometrycznych – w tej metodzie wyróżnia się dwa podejścia:
 - sąsiedztwo na podstawie przyległości obszarów – zgodnie z tym podejściem obszary sąsiadują ze sobą, jeśli posiadają wspólną granicę,
 - sąsiedztwo na podstawie odległości pomiędzy obszarami – zgodnie z tym podejściem obszary sąsiadują ze sobą, jeśli odległość pomiędzy nimi mieści się w określonym przedziale,
- b. sąsiedztwo na podstawie wspólnych interakcji – w tej metodzie obszary sąsiadują ze sobą, jeśli istnieją pomiędzy nimi powiązania,

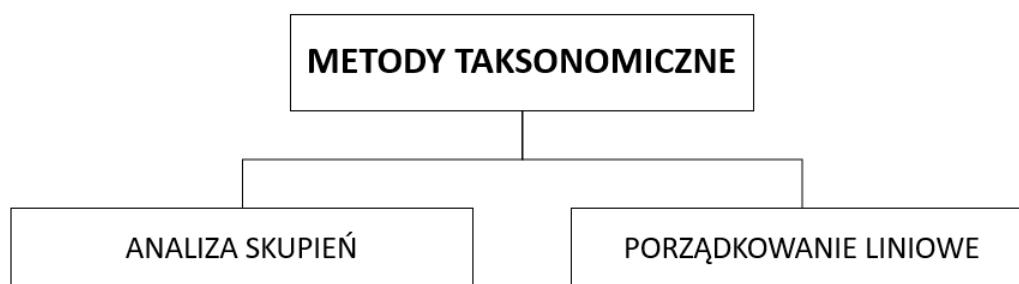
- c. sąsiedztwo na podstawie przynależności do grupy – zgodnie z tą metodą sąsiedztwo związane jest z występowaniem zależności pomiędzy obszarami, które klasyfikują je do tej samej klasy lub zbioru,
- d. sąsiedztwo na podstawie algorytmu najbliższych sąsiadów – w tej metodzie sąsiedztwo ustalane jest na podstawie zbioru określonej liczby najbliższych sąsiadów. Każdy obszar w analizowanym zbiorze ma taką samą liczbę obszarów sąsiednich.

Poszczególne metody wyznaczania sąsiedztwa mogą być stosowane osobno lub jednocześnie, w zależności od przyjętego celu analiz.

2.3 Metody taksonomiczne w analizach przestrzennych

Taksonomia to nauka, która zajmuje się procedurami i zasadami klasyfikacji obiektów, które są opisywane przez zbiór wielu cech [77], [163]. W wyniku klasyfikacji uzyskuje się klasy, które z jednej strony charakteryzują się jak największym podobieństwem obiektów należących do tej samej klasy, a z drugiej cechują się jak najmniejszym podobieństwem obiektów należących do różnych klas [39], [163]. Dzięki temu klasyfikacja pozwala na odkrycie ukrytych zależności pomiędzy obiektami.

Istnieją dwie podstawowe grupy metod taksonomicznych [163]. Zostały one pokazane na rysunku 2.8.



Rys. 2.8 Podział metod taksonomicznych
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [163]

Analiza skupień to klasyfikacja strukturalna, która prowadzi do uzyskania klas równowartościowych. Porządkowanie liniowe to natomiast metoda klasyfikacji rankingowej, w wyniku której uzyskuje się zbiór klas uszeregowanych od najlepszej do najgorszej [77], [163].

Klasyfikacja jest procesem, w wyniku którego obiekty wielocechowe przydzielane są do klas. Z tego powodu istotnym elementem tego procesu jest wybór cech, które posłużą do

klasyfikacji – zmiennych diagnostycznych [134]. Powinny to być cechy, które umożliwią odpowiednie rozróżnienie klasyfikowanych obiektów. Do wyboru cech, które utworzą zbiór zmiennych, często stosuje się metody statystyczne. Istotne jest, aby wybrać zbiór zmiennych, które z jednej strony w kompleksowy sposób opiszą badane objekty, a z drugiej ich liczba będzie możliwie najmniejsza. Zmienne powinny także charakteryzować się niewielkim stopniem skorelowania pomiędzy sobą [39], [163].

Klasyfikacja wymaga ustalenia miary podobieństwa obiektów [163]. Często to podobieństwo określane jest za pomocą funkcji odległości pomiędzy obiektami. Odległość taka powinna być nieujemna oraz symetryczna. Do najczęściej stosowanych funkcji odległości zalicza się [163]:

- a. odległość euklidesową,
- b. odległość miejską,
- c. odległość Minkowskiego,
- d. odległość Czebyszewa,
- e. odległość Mahalanobisa.

Zgodnie z [77], [163] można wyróżnić cztery podstawowe rodzaje klasyfikacji strukturalnej:

- a. klasyfikację rozłączną,
- b. klasyfikację rozmytą,
- c. klasyfikację probabilistyczną,
- d. klasyfikację przybliżoną.

W klasyfikacji rozłącznej każdy obiekt należy dokładnie do jednej klasy. Oznacza to, że objekty przyporządkowywane są do klas z prawdopodobieństwem wynoszącym 1. W klasyfikacji rozmytej przyporządkowanie do klas określane jest stopniem przynależności z zakresu $\langle 0-1 \rangle$. Klasyfikacja probabilistyczna pozwala uzyskać prawdopodobieństwo przynależności do każdej z klas. Zgodnie z podejściem klasyfikacji przybliżonej każda klasa ma górne oraz dolne przybliżenie [163].

Podstawowe typy metod klasyfikacji rozłącznej to metody hierarchiczne oraz metody optymalizacyjno-podziałowe [163]. W metodach hierarchicznych w czasie procesu klasyfikacji wyróżnia się poziomy, na których objekty łączą się lub dzielą się na klasy w taki sposób, że klasa na danych poziomie zawiera klasy poziomu niższego. W metodach optymalizacyjno-

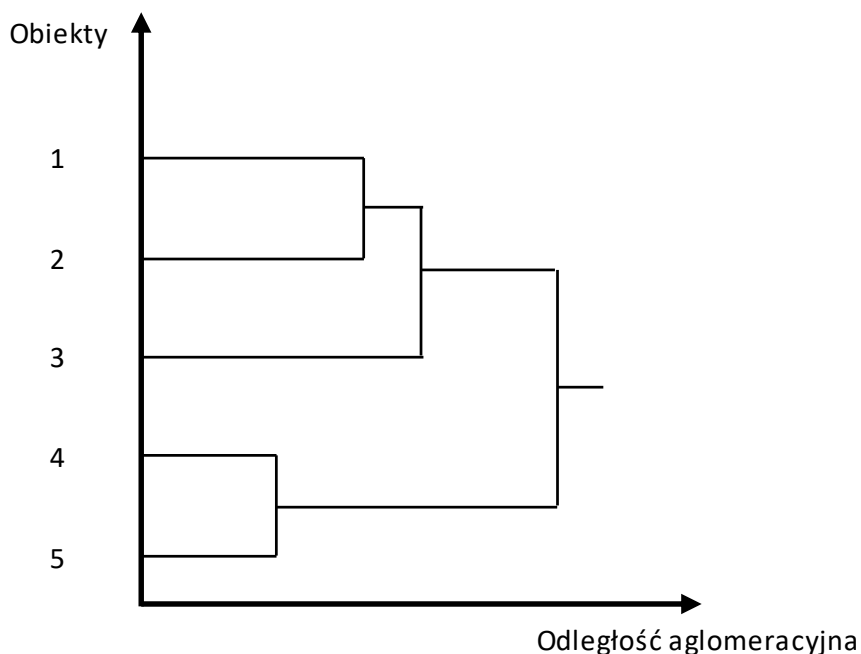
podziałowych zakłada się klasyfikację początkową, a następnie następuje przeniesienie obiektów pomiędzy klasami i weryfikacja czy rezultat klasyfikacji poprawił się.

Metody hierarchiczne dzielą się z kolei na dwie podstawowe grupy: metody aglomeracyjne oraz podziałowe [134], [163]. W metodach aglomeracyjnych początkowo każdy obiekt stanowi oddzielną klasę, a następnie w procesie klasyfikacji następuje łączenie obiektów. W metodach podziałowych ma miejsce sytuacja odwrotna – początkowo istnieje jedna klasa, obejmująca wszystkie obiekty.

Istnieje wiele metod aglomeracyjnych. Do najczęściej stosowanych zalicza się [39]:

- a. metodę Warda,
- b. metodą najbliższego sąsiedztwa,
- c. metodą najdalszego sąsiedztwa,
- d. metodę średniej międzyklasowej,
- e. metodę środka ciężkości.

Wyniki klasyfikacji przy zastosowaniu metod aglomeracyjnych przedstawia się za pomocą dendrogramu – drzewa klasyfikacji [163]. Drzewo klasyfikacji pozwala na przedstawienie kolejnych etapów aglomeracji klas. Umożliwia również porównanie odległości pomiędzy poszczególnymi klasami. Na podstawie tej odległości dokonuje się ustalenia liczby klas. Przykład takiego drzewa pokazano na rysunku 2.9.



Rys. 2.9 Przykład drzewa klasyfikacji

Źródło: Opracowanie własne

Metody taksonomiczne stanowią cenne narzędzie również w analizach związanych z transportem. Są stosowane między innymi do klasyfikacji obszarów, w których prowadzone są badania [35]. Dzięki temu uzyskuje się klasy obszarów, charakteryzujących się podobieństwem z punktu widzenia przyjętych cech. To z kolei umożliwia dobór działań dostosowanych do potrzeb występujących w poszczególnych klasach obszarów.

3. STAN WIEDZY Z ZAKRESU LOKALIZACJI PRZYSTANKÓW PUBLICZNEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO

3.1 Rola przystanków w kształtowaniu jakości usług publicznego transportu zbiorowego

Biorąc pod uwagę cele działań związanych ze zrównoważonym rozwojem, zarządzaniem mobilnością i wynikającą z nich potrzebę zwiększenia udziału podróży wykonywanych środkami publicznego transportu zbiorowego konieczne jest zapewnienie odpowiedniego (tj. oczekiwanego przez pasażerów) poziomu usług, oferowanych przez organizatorów. Innymi słowy, system publicznego transportu zbiorowego musi cechować się wysokim poziomem jakości [133]. Jakość usług publicznego transportu zbiorowego można rozpatrywać z punktu widzenia organizatora transportu, przewoźnika i pasażera [133]. W przypadku podjętej tematyki, największe znaczenie ma jakość z perspektywy pasażerów (lub potencjalnych pasażerów), ponieważ to od stopnia spełnienia ich oczekiwań zależy decyzja o wyborze publicznego transportu zbiorowego do realizacji podróży.

Najczęściej oczekiwana przez pasażerów jakość usług i jakość postrzegana nie są na identycznym poziomie [133]. W ten sposób powstaje luka jakościowa, przedstawiająca różnicę pomiędzy wyobrażeniem pasażera o jakości transportu, jakiej wymaga oraz rzeczywistą jakością, która jest mu dostarczana. Ważnym problemem w kształtowaniu jakości usług publicznego transportu zbiorowego jest określenie rozmiarów luki jakościowej, zidentyfikowanie obszarów w największym stopniu odbiegających poziomem jakości od oczekiwań pasażerów oraz wybór działań mogących prowadzić do zrównania poziomu jakości oczekiwanej i odczuwanej [133]. W tym celu należy jasno sprecyzować oczekiwania pasażerów oraz dobrać odpowiednie miary, pozwalające na weryfikację stopnia spełnienia danego oczekiwania. Jakość publicznego transportu zbiorowego jest problemem wieloaspektowym, zatem pasażerowie mogą określać swoje wymagania w odniesieniu do różnych aspektów funkcjonowania systemu publicznego transportu zbiorowego. W literaturze takie oczekiwania lub żądania nazywane są postulatami przewozowymi [118].

Istnieje wiele propozycji formułowania zbiorów postulatów przewozowych, różniących się m.in. stopniem szczegółowości, poziomem agregacji podobnych postulatów, kryteriami wyboru postulatów czy przyjętą wagą poszczególnych postulatów. Z tego powodu, zbiory postulatów zaproponowane przez różnych autorów różnią się od siebie.

W. Starowicz proponuje zbiór dziesięciu postulatów przewozowych [133]:

- a. dostępność sieci komunikacyjnej,
- b. częstotliwość,
- c. punktualność,
- d. bezpieczeństwo,
- e. bezpośredniość podróży,
- f. pewność odbycia zaplanowanej podróży,
- g. prędkość,
- h. koszt,
- i. wygoda,
- j. informacja.

Każdemu postulatowi przypisane jest jego znaczenie oraz sposób określenia spełnienia postulatu, np. postulat „dostępność sieci komunikacyjnej” ma znaczenie odległości od przystanku (rozumianej jako odległość czasowa lub przestrzenna), a sposobem określenia spełnienia postulatu może być maksymalna odległość nieuciążliwego dojścia pieszego. Z kolei postulat „punktualność” oznacza zgodność odjazdów z rozkładem jazdy, a sposobem określenia spełnienia postulatu jest tolerancja odchyień. Z punktu widzenia lokalizacji przystanków ważnym postulatem jest „prędkość”, w tym przypadku mająca znaczenie czasu jazdy, uwzględniającego zatrzymania na trasie oraz na przystankach. Z przystankami związany jest także postulat „bezpieczeństwo”, dotyczący bezpieczeństwa osobistego pasażerów na przystankach i w pojazdach publicznego transportu zbiorowego, czy postulat „wygoda”, związany z warunkami oczekiwania na przystanku i przebywania w pojeździe [133].

Inny zbiór postulatów proponuje A. Rudnicki. W jego ujęciu identyfikuje się pięć postulatów [118]:

- a. dostępność,
- b. niezawodność,
- c. czas podróży,
- d. warunki podróży,
- e. ekologię podróży.

Należy jednak zauważyć, że te postulaty mają charakter kryteriów syntetycznych i składają się z dodatkowej liczby kryteriów cząstkowych. I tak np. w przypadku postulatu „dostępność” wyróżnia się kryteria cząstkowe m.in. aspekty dotyczące rozkładu jazdy, oferty

przewozowej czy czasu i ciągłości działania. W przypadku „czasu podróży” kryteria cząstkowe uwzględniają czas dojścia do przystanku, czas oczekiwania na przystanku, czas jazdy i czas tracony na przesiadki. Jako kryteria cząstkowe w przypadku „warunków podróży” wskazuje się m.in. warunki dojścia do przystanku, warunki oczekiwania na przystanku, bezpośredniość połączeń (brak konieczności wykonywania przesiadek). Wieloaspektowym kryterium jest postulat „niezawodność”, w przypadku którego kryteria cząstkowe dotyczą układu linii, regularności kursowania pojazdów, punktualności, pewności dojazdu do celu podróży czy elastyczności funkcjonowania. Kryteria cząstkowe w przypadku „ekologii podróży” związane są nie tylko z warunkami środowiskowymi, tzn. emisją spalin czy hałasem, ale także z bezpieczeństwem osobistym pasażerów (w pojeździe i na przystankach) czy bezpieczeństwem dotyczącym możliwości wystąpienia zdarzeń drogowych [118].

Podobne podejście można odnaleźć w publikacji [115], w której zdefiniowano cztery grupy postulatów. Podobnie jak w ujęciu A. Rudnickiego, również w tym przypadku są to kryteria syntetyczne, zawierające kryteria cząstkowe:

- a. czas podróży,
- b. dostępność,
- c. warunki podróży,
- d. niezawodność.

Spełnienie postulatu „dostępność” mierzone jest za pomocą wskaźnika gęstości sieci, wyrażonego w długości tras komunikacyjnych na 1 km² oraz wskaźnikiem przesiadkowości. Kryteria związane z czasem podróży dotyczą średniego rzeczywistego czasu dojazdu do celu podróży, średniego czasu dojścia pieszego do przystanku, średniego czasu oczekiwania na przystanku czy średniego czasu przesiadania się. W przypadku postulatu „niezawodność” kryteria cząstkowe związane są z minimalną częstotliwością kursowania pojazdów, wskaźnikiem punktualności, ale także ze średnimi odległościami międzyprzystankowymi. Postulat „warunki podróży” zawiera kryteria dotyczące komfortu podróży [115].

J. Walker proponuje zbiór siedmiu postulatów przewozowych (nazywanych w jego publikacji „wymaganiami”). W porównaniu do zbiorów dotychczas zaprezentowanych postulaty w ujęciu tego autora są przedstawione w znacznie bardziej opisowy sposób [158]. Wg J. Walkera publiczny transport zbiorowy:

- a. umożliwi pasażerowi podróż tam, gdzie chce dojechać (*„it takes me where I want to go”*),

- b. umożliwia pasażerowi podróż, wtedy, kiedy chce ją odbyć („*it takes me when I want to go*”),
- c. pozwala pasażerowi dobrze wykorzystać jego czas („*it is a good use of my time*”),
- d. pozwala pasażerowi dobrze wykorzystać jego pieniądze („*it is a good use of my money*”),
- e. szanuje pasażera w aspekcie bezpieczeństwa, wygody i udogodnień („*it respects me in the level of safety, comfort, and amenity it provides*”),
- f. pasażer może mu zaufać („*I can trust it*”),
- g. daje pasażerowi swobodę zmiany planów („*it gives me freedom to change my plans*”).

Większość postulatów w ujęciu J. Walkera można rozpatrywać w sposób wieloaspektowy. Na przykład, postulat „publiczny transport zbiorowy umożliwia pasażerowi podróż tam, gdzie chce dojechać” związany jest zarówno z lokalizacją przystanków publicznego transportu zbiorowego (czy są usytuowane blisko miejsc, do których pasażerowie chcą dojechać lub blisko miejsc z których pasażerowie chcą rozpocząć podróż), jak i ze spójnością sieci publicznego transportu zbiorowego (czy pomiędzy dwoma przystankami istnieje możliwość zrealizowania podróży bez przesiadek lub co najwyżej z jedną przesiadką) [158].

Podobnie należy podejść do interpretacji postulatu „publiczny transport zbiorowy pozwala pasażerowi dobrze wykorzystać jego czas”. Z jednej strony znaczenie tego postulatu dotyczy krótkiego (tj. akceptowanego przez pasażera) czasu podróży, co z kolei związane jest z lokalizacją przystanków (krótki czas dojścia do przystanku), częstotliwością kursowania (krótki czas oczekiwania na przystanku) oraz prędkością komunikacyjną (krótki czas przejazdu). Czas przejazdu z kolei zależy także od liczby przystanków, zlokalizowanych na trasie. Z drugiej strony znaczenie tego postulatu należy rozpatrywać z aspekcie użytecznego spędzenia czasu (co jest powiązane także z postulatem „publiczny transport zbiorowy szanuje pasażera w aspekcie bezpieczeństwa, wygody i udogodnień”), biorąc pod uwagę możliwość odbycia podróży w sposób bezpieczny i w komfortowych warunkach [158].

Innym wieloaspektowym postulatem jest postulat „publiczny transport zbiorowy daje pasażerowi swobodę zmiany planów”. Z jednej strony pasażerowie powinni mieć możliwość podjęcia decyzji o odbyciu podróży i sposobie jej wykonania bez konieczności uwzględnienia ograniczeń związanych z transportem publicznym – a to z kolei związane jest z lokalizacją przystanków, częstotliwością kursowania pojazdów, spójnością sieci publicznego transportu zbiorowego, okresem dnia, w którym przewozy są realizowane czy z czasem podróży. Zgodnie

z tym postulatem publiczny transport zbiorowy powinien być zatem dostępny dla pasażerów gdziekolwiek i kiedykolwiek tego chcą. Z drugiej strony ewentualna zmiana planów nie powinna wymagać skomplikowanego procesu wyszukiwania informacji o nowej podróży (godziny odjazdów, lokalizacja przystanków itp.). Oferta publicznego transportu zbiorowego powinna być więc łatwa do zrozumienia dla pasażerów [158].

Również w publikacji [15] można odnaleźć zbiór pewnych obszarów funkcjonowania systemu transportu zbiorowego, które, w opinii pasażerów lub potencjalnych pasażerów, wymagają poprawy. Poniżej zaprezentowano wybrane postulaty, które otrzymano na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych i odpowiedzi udzielonych na pytanie „co może przyczynić się do zwiększenia atrakcyjności transportu publicznego?”:

- a. lepsza niezawodność obsługi,
- b. większa częstotliwość,
- c. wygodniejsza lokalizacja przystanków,
- d. lepsza informacja,
- e. większy komfort oczekiwania na przystanku,
- f. krótszy czas podróży,
- g. lepszy stan pojazdów,
- h. niższy koszt przejazdu,
- i. większa bezpośredniość podróży.

Zbiór postulatów przedstawiony w publikacji W. Starowicza charakteryzuje się większym poziomem szczegółowości, pewne postulaty z tego zbioru (np. punktualność czy częstotliwość) zostały w nim wyodrębnione jako osobne postulaty, podczas gdy w przypadku innych zbiorów są kryteriami cząstkowymi bardziej syntetycznych postulatów. Takie podejście sprawia jednak, że zbiór dziesięciu postulatów przewozowych z publikacji [133] zawiera również inne zaprezentowane postulaty i może stanowić podstawę dalszych rozważań dotyczących związku pomiędzy lokalizacją przystanków publicznego transportu zbiorowego a jakością publicznego transportu zbiorowego.

Niektóre z przedstawionych postulatów wydają się silnie związane z lokalizacją przystanków publicznego transportu zbiorowego – innymi słowy, lokalizacja przystanku ma duży wpływ na możliwość spełnienia tych wymagań pasażerów. Inne postulaty z kolei związane są z lokalizacją przystanków w mniejszym stopniu, często pośrednio, a jeszcze inne nie mają znaczącego powiązania z lokalizacją przystanków. Jako postulaty pozostające

najsilniej związane z lokalizacją przystanków należy wymienić: dostępność sieci komunikacyjnej, prędkość podróży oraz bezpieczeństwo podróży.

Dostępność sieci komunikacyjnej w ujęciu W. Starowicza rozumiana jest jako odległość przestrzenna lub czasowa od przystanku. Z tym postulatem wiąże się także postulat J. Walkera „publiczny transport zbiorowy umożliwia pasażerowi podróż tam, gdzie chce dojechać”, a także jeden z postulatów przedstawiony w publikacji [15] (wygodniejsza lokalizacja przystanków). Należy zwrócić uwagę, że dostępność publicznego transportu można rozważać nie tylko w aspektach przestrzennych, ale także czasowych (z dostępnością czasową związane są postulaty „publiczny transport zbiorowy umożliwia pasażerowi podróż, wtedy, kiedy chce ją odbyć), jednakże lokalizacja przystanków jest znacznie bardziej powiązana z dostępnością przestrzenną.

Lokalizacja przystanków odgrywa zatem kluczową rolę w ocenie dostępności publicznego transportu zbiorowego [27], [158]. W tradycyjnym ujęciu tego rodzaju transportu, każde przemieszczenie środkami publicznego transportu zbiorowego rozpoczyna się na przystanku, w związku z tym pasażer musi pokonać pewną odległość od źródła podróży do przystanku początkowego, a następnie od przystanku końcowego do celu podróży. Dostępność przystanków jest zatem czynnikiem w największym stopniu kształtującym przestrzenną dostępność systemu publicznego transportu zbiorowego. W związku z tym istotne jest, aby z jednej strony jak największa powierzchnia obszaru obsługiwanego przez system transportu publicznego znajdowała się w strefie akceptowanej przez pasażera odległości do przystanku, a z drugiej, aby w przypadku szczególnie istotnych miejsc, tj. najważniejszych generatorów ruchu przystanek zlokalizowany był jak najbliżej takiego obiektu. Zapewnienie odpowiedniej dostępności przystanków, a co za tym idzie odpowiedniego poziomu dostępności przestrzennej całego systemu jest kluczowym działaniem związanym z zachęcaniem pasażerów do korzystania z usług publicznego transportu zbiorowego. Jeśli pasażer jeszcze przed wejściem do pojazdu będzie musiał pokonać zbyt dużą odległość od miejsca, z którego rozpoczyna podróż, do przystanku lub z przystanku końcowego do miejsca, w którym podróż kończy to istnieje ryzyko, że – jeśli ma taką możliwość – wybierze środki transportu indywidualnego, zapewniające znacznie większą elastyczność podróży (np. możliwość dojazdu w pobliże miejsca docelowego).

Lokalizacja przystanków ma także bardzo duży wpływ na możliwość spełnienia postulatu „prędkość”, związanego z czasem podróży. Prędkość komunikacyjna pojazdów jest

w znacznym stopniu zależna od czasu postojów pojazdu na przystankach. Z tego powodu – chociaż czysto teoretycznie istnieje możliwość zlokalizowania przystanków tak gęsto, aby zapewnić maksymalną dostępność przestrzenną (np. odległość dojścia do przystanku z dowolnego miejsca na obszarze nie większą niż 100m) – to takie rozwiązanie w znaczący sposób obniżyłoby prędkość komunikacyjną, a co za tym idzie, postulat związany z czasem podróży nie byłby spełniony [158].

Zbyt duża liczba przystanków prowadzi do wydłużenia czasu podróży ponad wartość akceptowaną przez pasażerów, jednocześnie zapewniając wysoki poziom dostępności przestrzennej a zbyt mała liczba przystanków, chociaż zapewnia możliwość odbycia przejazdu pomiędzy przystankiem początkowym a końcowym w krótszym czasie to może prowadzić do znaczącego obniżenia poziomu dostępności przestrzennej. Należy znaleźć kompromis pomiędzy liczbą przystanków a czasem podróży, poprzez wybór miejsc szczególnie korzystnych do lokalizowania przystanków.

Inny postulat pozostający w silnym związku z lokalizacją przystanków to postulat „bezpieczeństwo”. Do problematyki bezpieczeństwa pasażerów, związanego z przystankami można podejść w dwojaki sposób. Z jednej strony przystanki powinny być usytuowane w takich miejscach, aby pasażerowie mieli możliwość bezpiecznego dojścia do przystanku, a także bezpiecznego oczekiwania na pojazd oraz bezpiecznego wejścia i wyjścia z pojazdu. Z drugiej strony istotne jest także, aby przystanki wyznaczać w miejscach, w których pasażerowie będą mogli oczekiwać w poczuciu osobistego bezpieczeństwa, także w godzinach nocnych [127].

Zapewnienie możliwości bezpiecznego dojścia do przystanku oraz oczekiwania na pojazd na przystanku ma szczególnie duże znaczenie w przypadku przystanków autobusowych, usytuowanych przy drogach wysokich klas technicznych – pojazdy na takich drogach mogą osiągać duże prędkości, a zatem kluczowe jest stosowanie urządzeń bezpieczeństwa ruchu, które mogą minimalizować ryzyko zdarzenia drogowego z udziałem pieszych, zmierzających do przystanku. Może to odgrywać także istotną rolę w przypadku przystanków transportu szynowego (szybka kolej miejska, tramwaje). Aspekt bezpiecznego wejścia do pojazdu i wyjścia z pojazdu ma szczególne znaczenie w przypadku przystanków tramwajowych w sytuacji, gdy tory tramwajowe ułożone są w jezdni i nie są usytuowane bezpośrednio przy krawężniku lub peronie przystankowym. W takiej sytuacji pasażerowie mogą być zmuszeni do wkroczenia na jezdnię z chodnika i przejścia jednego (lub w skrajnych sytuacjach dwóch czy też trzech) pasów

ruchu, przed dojściem do pojazdu. Takie rozwiązania są szczególnie niebezpieczne dla osób o ograniczonej sprawności ruchowej, które mogą z tego powodu zrezygnować z korzystania z danego przystanku [127].

Postulaty: „bezpośredniość podróży” oraz „wygoda” wydają się być również dość silnie związane z lokalizacją przystanków. Zależność ta nie jest jednak tak jednoznaczna jak w przypadku postulatów wcześniej prezentowanych.

Bezpośredniość podróży w największym stopniu zależy od układu linii komunikacyjnych danego systemu publicznego transportu zbiorowego. Linie komunikacyjne należy planować w taki sposób, aby jak największa liczba pasażerów mogła dostać się ze źródła swojej podróży do celu bez konieczności wykonania przesiadek oraz aby odległość dojścia ze źródła lub celu do przystanku nie przekraczała akceptowanej przez pasażerów wartości. Należy zauważyć, że pasażerowie postrzegają przesiadki jako znaczną uciążliwość, bardziej niedogodną niż np. konieczność dojścia do przystanku, oczekiwanie na przystanku czy sam czas jazdy [49], [158]. Bezpośredniość połączeń ma zatem bardzo duże znaczenie i wpływa na wielkość przewozów publicznym transportem zbiorowym. Aby można było planować bezpośrednie połączenie daną linią komunikacyjną pomiędzy wybranymi miejscami, w pierwszej kolejności w każdym z tych miejsc musi się znajdować przystanek (tj. znajdować się w takiej odległości od wybranego miejsca, którą pasażerowie akceptują jako przemieszczenie piesze). Samo usytuowanie przystanku w takim miejscu oczywiście nie zapewnia jeszcze bezpośredniości, ale jest pierwszym krokiem do możliwości wyznaczenia połączeń bezpośrednich. Dlatego bardzo ważna jest odpowiednia identyfikacja miejsc, w pobliżu których należy lokalizować przystanki.

Postulat związany z wygodą dotyczy komfortu podróży środkiem transportu publicznego oraz oczekiwania na pojazd na przystanku. O ile sama lokalizacja przystanku nie zapewnia jeszcze odpowiedniego poziomu wygody, to ma znaczenie w kontekście możliwości usytuowania na danym stanowisku przystankowych urządzeń poprawiających komfort oczekiwania, tj. wiaty przystankowej, miejsc siedzących, itp. Przystanki zlokalizowane na wąskich chodnikach często tworzone są tylko przez słupek przystankowy ze znakiem, a pasażerowie oczekujący na pojazd utrudniają innym osobom możliwość przejścia chodnikiem. Dlatego ustalając dokładną lokalizację przystanku należy brać pod uwagę umieszczenie w tym miejscu odpowiednich urządzeń. Warto podkreślić, że wygoda oczekiwania na przystanku nie jest kluczowym postulatem przewozowym, od spełnienia którego pasażerowie uzależniają możliwość wykonania podróży (np. w badaniach

W. Starowicza znajduje się na 9 miejscu spośród 10 postulatów) [133], ale niezapewnienie odpowiedniego poziomu komfortu sprawia, że system publicznego transportu zbiorowego jest negatywnie postrzegany przez pasażerów, podróże realizowane tym rodzajem transportu budzą niekorzystne skojarzenia, a pasażerowie skazani są na korzystanie z publicznego transportu zbiorowego ponieważ nie mają innych opcji.

Część postulatów jest w mniejszym stopniu związane z lokalizacją przystanków. Jako takie postulaty można wymienić: punktualność, pewność odbycia zaplanowanej podróży czy informację pasażerską.

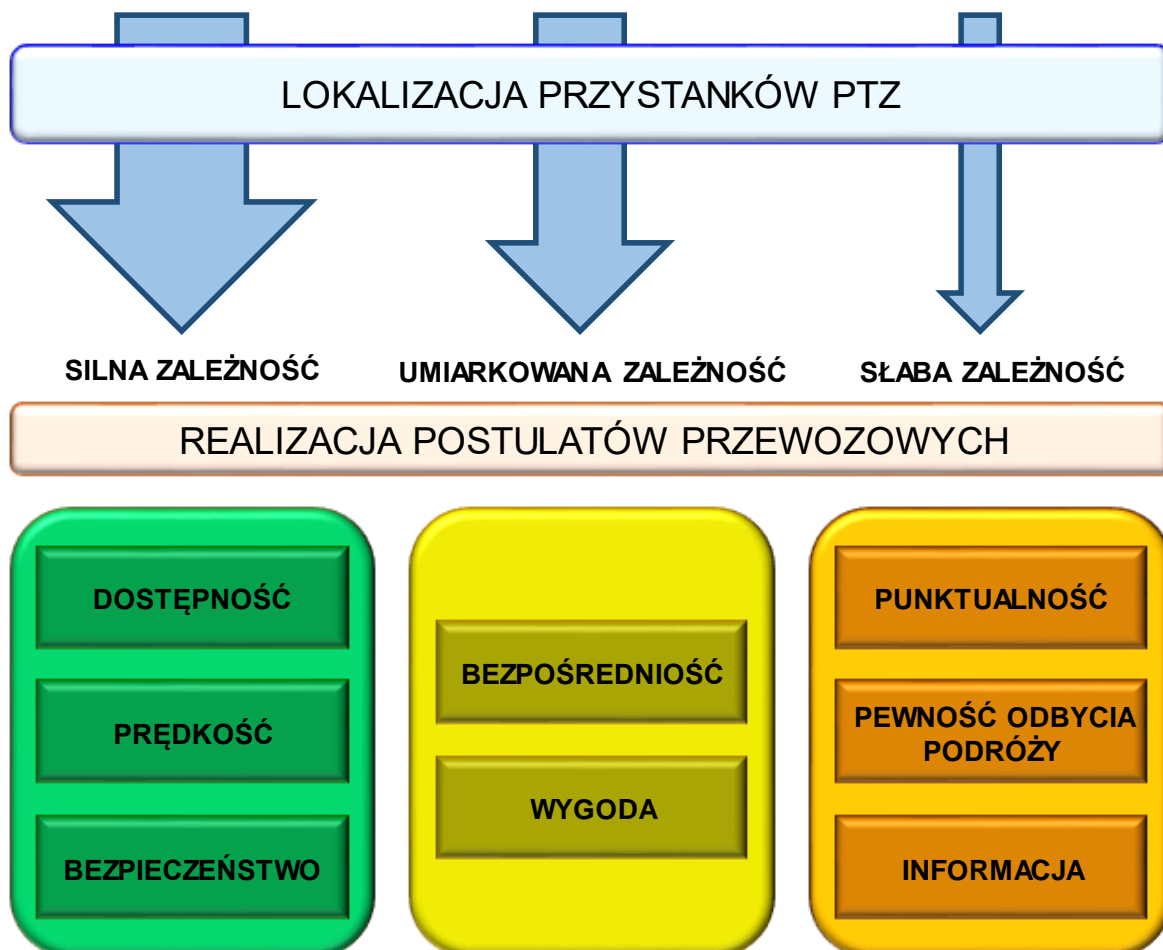
Możliwość zachowania odpowiedniego poziomu punktualności zależy w największym stopniu od właściwego oszacowania czasów przejazdu pomiędzy przystankami, adekwatnych do występującego w różnych porach dnia natężenia ruchu drogowego. Najczęściej sama lokalizacja przystanku nie ma zatem dużego wpływu na punktualność, ale możliwe są sytuacje, gdy konieczność obsługi przystanku o niewielkim znaczeniu (bardzo mała liczba osób korzystających z przystanku lub niewielka odległość od innego przystanku) wymusza przejazd drogą o niekorzystnych warunkach ruchu, co powoduje powstawanie opóźnień w stosunku do rozkładu jazdy. Właściwa i przemyślana lokalizacja przystanków pozwala unikać takich sytuacji i może przyczynić się do wzrostu punktualności.

Postulat „pewność odbycia zaplanowanej podróży” związany jest z możliwością dojazdu do miejsca docelowego w wyznaczonym czasie. To z kolei wiąże się z punktualnością, prawdopodobieństwem awarii pojazdu, czy prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzenia drogowego. Jednakże, w przypadku wystąpienia opóźnień, awarii, lokalizacja przystanku w pobliżu miejsca docelowego eliminuje dodatkowe uciążliwości związane np. z koniecznością pieszego dojścia z przystanku do tego miejsca. Podobnie, jak w przypadku bezpośredniości podróży bardzo istotne jest właściwe identyfikowanie obiektów, w pobliżu których należy usytuować przystanki.

Postulat związany z informacją pasażerską dotyczy zapewnienia odpowiednich komunikatów o rozkładzie jazdy, o rzeczywistym czasie przyjazdu lub odjazdu pojazdu na przystanek, utrudnieniach w ruchu, awariach pojazdów czy tymczasowych zmianach w układzie komunikacyjnym. Podobnie jak w przypadku wygody, możliwość zapewnienia takiej informacji zależy także od właściwej lokalizacji przystanku – jeśli na danym przystanku nie ma miejsca, by ustawić np. tablicę zmiennej treści, to pasażerowie nie będą mogli otrzymywać informacji w czasie rzeczywistym. Jest to kolejny aspekt, który warto wziąć pod

uwagę podczas procesu planowania lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego.

Omawiane zależności i siła wpływu lokalizacji przystanków na możliwość spełnienia postulatów przewozowych zostały w sposób schematyczny ujęte na rysunku 3.1.



Rys. 3.1 Zależności pomiędzy lokalizacją przystanków i postulatami przewozowymi
Źródło: Opracowanie własne

Jak wynika z rysunku 3.1 lokalizacja przystanków wpływa (w większym lub mniejszym stopniu) na możliwość spełnienia wielu postulatów przewozowych zgłaszanych przez pasażerów publicznego transportu zbiorowego. Ponieważ postulaty przewozowe są bezpośrednio związane z możliwością zapewnienia oczekiwanego poziomu jakości usług publicznego transportu zbiorowego, to uzasadnione jest przyjęcie założenia, że lokalizacja przystanków publicznego transportu zbiorowego odgrywa fundamentalną rolę w kształtowaniu tej jakości i analiza problemu badawczego dotyczącego wpływu czynników związanych z obiektami zagospodarowania przestrzennego na potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego jest zasadna.

3.2 Metody modelowania i oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego

3.2.1 Przegląd wybranych metod

W literaturze istnieje wiele podejść do modelowania oraz oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. Stosowane metody różnią się w wielu aspektach, m.in. liczbą kryteriów oceny, zastosowanymi zmiennymi czy zakresem stosowania. Część metod pozwala na ocenę potencjału wybranych lokalizacji przystanków poprzez oszacowanie liczby pasażerów, inne z kolei umożliwiają określenie lokalizacji w przestrzeni. W tabeli 3.1 zaprezentowano wybrane podejścia, stosowane w metodach modelowania lokalizacji i oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego.

Tabela 3.1: Wybrane metody modelowania i oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego

Lp.	Zastosowane podejście	Publikacja
1	2	3
1.	Lokalizacja na podstawie minimalizacji kosztów społecznych oraz kosztów podróży	dell'Olio, L. i in., [30], Moura, J.L., Alonso, B. i in., [96]
2.	Lokalizacja na podstawie dostępności przystanków z uwzględnieniem problemu ostatniej mili	Hasninea, M.S. i in., [56]
3.	Uwzględnienie odległości pomiędzy przystankami	Johar, A. i in., [68]
4.	Uwzględnienie lokalizacji przystanku względem skrzyżowaniem	Hafezi, M., Ismail, A., [52]
5.	Ustalenie optymalnej lokalizacji z zastosowaniem błędzenia losowego	Xuebin, W., [164]
6.	Uwzględnienie wydajności systemu transportowego, potoków ruchu oraz bezpieczeństwa	Guidelines for the Location and Design of Bus Stops, [50]
7.	Zastosowanie narzędzi GIS	Adebola, O., Enosko, O., [2], Rezuanul Islam, M. i in., [110], Shatnawi, N. i in. [122]

Lp.	Zastosowane podejście	Publikacja
1	2	3
8.	Lokalizacja na podstawie bezpieczeństwa pasażerów w otoczeniu przystanku	Baran Ulak, M. i in. [7], Selecting School Bus Stop Locations: A Guide for School Transportation Professionals, [121]
9.	Uwzględnienie wymagań osób o szczególnych potrzebach	Kim, S.H. i in., [75]
10.	Lokalizacja z zastosowaniem analizy skupień	Supangat, K., Soelistio, Y.E., [142]
11.	Lokalizacja z zastosowaniem modelowania dyskretnego	Luo, X. i in., [86]
12.	Uwzględnienie jakości obsługi transportowej	Talagala, P.D., Kalukottege, C.J.P. [146]
13.	Uwzględnienie możliwości pieszego dojścia do przystanku	Ramos-Santiago, L.E., [106]
14.	Zastosowanie teselacji Woronoja	Hua, W., Rongguo, M., [58], Stadler, T. i in., [132], Wang, F. i in., [159]
15.	Zastosowanie modeli typu „Direct Ridership Models”	Abdul Hamid, A.H., Nuh, N.A.M., [1], Cervero, R., Kockelman, K., [16], Cervero, R. i in., [17], Combs, T.S., [26], Currie, G., Delbosc, A., [29], Dill, J. i in., [31], Durning, M., Townsend, C., [36], Estupinan, N., Rodriguez, D.A., [38], Gutierrez, J. i in., [51], Islam, M.R. i in., [60], Kerkman, K. i in., [73], Pavlyuk, D., [101],

Lp.	Zastosowane podejście	Publikacja
1	2	3
		Pulugurtha, S.S., Agurla, M., [105], Ridership Models at the Stop Level, [111], Ryan, S., Frank, L.F., [119], Snellen, D., [124]
16.	Zastosowanie modelu typu „Node-Place Models”	Chorus, P., Bertolini, L., [22], Ma, J. i in., [87], Zhang, Y. i in., [169]

Źródło: opracowanie własne

Zróżnicowanie podejść w opisanych metodach umożliwia dobór metody dostosowanej do celu prowadzonych analiz. Poszczególne metody uwzględniają między innymi aspekty bezpieczeństwa pasażerów, efektywności systemu transportowego czy minimalizacji kosztu lub czasu podróży.

3.2.2 Modele typu „Direct Ridership Models”

Spośród wymienionych metod na szczególną uwagę zasługują metody, które umożliwiają oszacowanie liczby osób korzystających z przystanków poprzez zastosowanie modeli typu „Direct Ridership Models” (DRM). Są to modele bazujące na funkcji regresji, które umożliwiają oszacowanie liczby pasażerów na podstawie przyjętego zbioru zmiennych objaśniających [17]. Zmienne stosowane w modelach typu DRM zwykle zalicza się do trzech grup [16], [36], [60], [73]:

- a. zmienne związane z zagospodarowaniem przestrzennym,
- b. zmienne socjo-ekonomiczne,
- c. zmienne związane z siecią transportową.

Zmienne związane z zagospodarowaniem przestrzennym mają szczególnie duże znaczenie [31]. Przy ich wyborze stosuje się tzw. podejście „3D”, zgodnie z którym należy

uwzględnić gęstość zabudowy (ang. Density), różnorodność zabudowy (and. Diversity) i cechy infrastruktury (and. Design) [16], [26], [31], [36].

Gęstość zabudowy związana jest z liczbą obiektów zagospodarowania przestrzennego w określonym obszarze wokół przystanku. Różnorodność zabudowy dotyczy występowania różnych typów zabudowy, a cechy infrastruktury związane są między innymi z charakterystykami zwiększającymi atrakcyjność ruchu pieszego ([31], [38]), w tym ze spójnością sieci, która wpływa na potoki ruchu pieszego [100]. W celu określenia spójności sieci wykorzystuje się wskaźniki topologiczne [69], [112], [128].

W części opracowań wprowadza się także dodatkowe zmienne związane z zagospodarowaniem przestrzennym: dostępność do celów podróży (and. Destinations) oraz odległość do przystanku (and. Distance). Są to tzw. podejścia „4D” lub „5D”, stanowiące rozszerzenie podejścia typu „3D” [60], [73].

Obszar wokół przystanku, który jest poddawany analizie często określany jest buforem o ustalonym promieniu wokół przystanku [73], [132]. Wielkość promienia związana jest między innymi z rodzajem podsystemu publicznego transportu zbiorowego [73], [87].

Modele typu DRM wymagają zastosowania dużej liczby zmiennych z przyjętych grup. Istniejące modele różnią się od siebie pod względem stosowanych charakterystyk. W tabeli 3.2 zaprezentowano przykładowe modele DRM z wyszczególnieniem zmiennych, które zostały wzięte pod uwagę przez ich autorów.

Tabela 3.2: Przykłady zmiennych objaśniających stosowanych w wybranych modelach DRM

Lp.	Publikacja	Zmienne wpływające na liczbę osób korzystających z przystanków
1	2	3
1.	Pulugurtha, S.S., Agurla, M., [105]	<p>Czynniki socjo-ekonomiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> - populacja (z uwzględnieniem płci, wieku oraz pochodzenia) - liczba gospodarstw domowych, średni dochód w gospodarstwie, - liczba pojazdów samochodowych w gospodarstwie domowym, - wskaźnik zatrudnienia. <p>Czynniki związane z zagospodarowaniem przestrzennym:</p> <ul style="list-style-type: none"> - powierzchnia obiektów mieszkalnych, - powierzchnia obiektów handlowo-usługowych, - powierzchnia obiektów przemysłowych, - powierzchnia obiektów administracyjnych. <p>Czynniki związane z siecią transportową:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ograniczenia prędkości,

Lp.	Publikacja	Zmienne wpływające na liczbę osób korzystających z przystanków
1	2	3
		- organizacja ruchu.
2.	Cervero, R. i in., [17]	<ul style="list-style-type: none"> - liczba kursów z danego przystanku w ciągu dnia, - liczba kursów linii dowozowych, - odległość do najbliższego przystanku, - pojemność parkingów P&R, - gęstość zaludnienia (w buforze 0,5 mili), - całkowita gęstość (zaludnienia i zatrudnienia).
3.	Estupinan, N., Rodriguez, D.A., [38]	<ul style="list-style-type: none"> - liczba linii komunikacyjnych konkurencyjnych do badanego systemu, - występowanie linii dowozowych, - liczba linii komunikacyjnych obsługujących przystanek, - typ przystanku, uwzględniający jego wielkość, - liczba kursów z przystanku w ciągu dnia, - występowanie dróg dla rowerów, - wskaźniki różnicowania zagospodarowania przestrzennego, - wskaźnik związany ze sterowaniem ruchem, - obecność bufora pomiędzy chodnikiem a jezdnią, - charakterystyka chodnika, - wskaźnik związany z udogodnieniami dla pieszych, - wskaźniki związane z bezpieczeństwem, czystością, udogodnieniami dla rowerzystów, - gęstość zaludnienia, - gęstość sieci drogowo-ulicznej, - liczba skrzyżowań trzy i czterowłotowych, - wskaźniki związane z bezpieczeństwem ruchu.
4.	Islam, M.R. i in., [60]	<ul style="list-style-type: none"> - gęstość zaludnienia, - gęstość miejsc pracy, - wskaźnik różnicowania zagospodarowania przestrzennego, tzw. „entropy index”, - wskaźniki spójności sieci drogowo-ulicznej, - gęstość sieci drogowo-ulicznej, - dostępność miejsc pracy badanym systemem, - odległość do najbliższego przystanku.
5.	Snellen, D., [124]	<ul style="list-style-type: none"> - gęstość zaludnienia, - gęstość miejsc pracy, - dostępność miejsc aktywności, - topologia sieci transportowej, - charakterystyka gospodarstw domowych.
6.	Currie, G., Delbosc, A., [29]	<ul style="list-style-type: none"> - wskaźniki związane z poziomem obsługi, - pojemność pojazdów, - gęstość zaludnienia oraz miejsc pracy, - wskaźnik motoryzacji, - średnia prędkość pojazdów publicznego transportu zbiorowego, - odległość pomiędzy przystankami,

Lp.	Publikacja	Zmienne wpływające na liczbę osób korzystających z przystanków
1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> - udział sieci publicznego transportu zbiorowego oddzielonej od ruchu innych pojazdów, - dostępność pojazdów, - integracja biletowa, - typ obszaru (związany z kontynentem), - typ systemu publicznego transportu zbiorowego.
7.	Abdul Hamid, A.H., Nuh, N.A.M., [1]	<ul style="list-style-type: none"> - czas podróży, - liczba przystanków w obszarze, - punktualność, - częstość kursowania, - odległość do przystanku.
8.	Kerkman, K. i in., [73]	<ul style="list-style-type: none"> - liczba mieszkańców, osób zatrudnionych i uczących się, - średni przychód w gospodarstwie domowym, - udział osób starszych w populacji, - odległość do centrum miasta, - typ zagospodarowania przestrzennego w obszarze, - liczba kursów z danego przystanku, w każdym kierunku - liczba relacji z przystanku, - liczba celów podróży, - liczba przystanków w pobliżu (bufor 800m), - typ przystanku, - występowanie tablic systemów dynamicznej informacji pasażerskiej, - udogodnienia dla pasażerów na przystanku.
9.	Dill, J. i in., [31]	<p>Czynniki socjo-ekonomiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wskaźniki związane z udziałem procentowym osób określonej płci, pochodzenia lub w określonym wieku, - średni dochód w gospodarstwie domowym, - udział gospodarstw domowych bez samochodu. <p>Czynniki związane z siecią transportową:</p> <ul style="list-style-type: none"> - typ przystanku, - średnia częstotliwość, - liczba przystanków w obszarze, - występowanie parkingów P&R. <p>Czynniki związane z zagospodarowaniem przestrzennym:</p> <ul style="list-style-type: none"> - udział powierzchni obszaru określonego typu, - wskaźniki różnicowania zagospodarowania przestrzennego, - liczba osób mieszkających lub pracujących w obszarze, - lokalizacja przystanku, - odległość do centrum miasta, - liczba celów podróży.
10.	Gutierrez, J. i in., [51]	<ul style="list-style-type: none"> - wskaźniki związane z dostępnością, - liczba linii komunikacyjnych, - typ przystanku, - liczba osób poniżej 20 lat,

Lp.	Publikacja	Zmienne wpływające na liczbę osób korzystających z przystanków
1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> - liczba osób powyżej 65 lat, - liczba osób pracujących, - udział gospodarstw domowych bez samochodu, - zatrudnienie w wybranych sektorach gospodarki, - wskaźniki zróżnicowania zagospodarowania przestrzennego, - gęstość sieci drogowo-ulicznej.
11.	Durning, M., Townsend, C., [36]	<p>Czynniki socjo-ekonomiczne:</p> <ul style="list-style-type: none"> - udział osób bezrobotnych, - średni dochód w gospodarstwie domowym, - udział osób wynajmujących mieszkania, - udział osób o określonym wieku. <p>Czynniki związane z siecią transportową:</p> <ul style="list-style-type: none"> - typ przystanku, - odległość do przystanku końcowego, - występowanie parkingów P&R, - odległość pomiędzy przystankami. <p>Czynniki związane z zagospodarowaniem przestrzennym i otoczeniem przystanku:</p> <ul style="list-style-type: none"> - gęstość zaludnienia, - liczba miejsca pracy, - topologia sieci drogowo-ulicznej, - gęstość sieci drogowo-ulicznej, - udział procentowy obszarów określonego typu, - wskaźnik związany z udogodnieniami dla pieszych, - wskaźniki zróżnicowania zagospodarowania przestrzennego.
12.	Cervero, R., Kockelman, K., [16]	<ul style="list-style-type: none"> - gęstość zaludnienia, - gęstość miejsc pracy, - dostępność miejsc pracy, - wskaźniki zróżnicowania zagospodarowania przestrzennego, - wskaźniki związane z topologią sieci drogowo-ulicznej, - udogodnienia dla pieszych i rowerzystów, - wskaźniki związane z parkingami w obszarze.
13.	Ryan, S., Frank, L.F., [119]	<ul style="list-style-type: none"> - liczba linii komunikacyjnych, - czas oczekiwania na przystanku, - gęstość obiektów zagospodarowania przestrzennego, - powierzchnia obiektów handlowo-usługowych, - gęstość skrzyżowań w obszarze, - wskaźniki zróżnicowania zagospodarowania przestrzennego, - średni dochód, - udział gospodarstw domowych bez samochodu.

Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z tabelą 3.2 istniejące modele DRM cechują się znacznym zróżnicowaniem w aspekcie doboru zmiennych, które służą do wyznaczenia liczby osób korzystających

z przystanków. W większości modeli można jednak zauważyć podejście, zgodnie z którym kluczowe znaczenie mają cechy związane z zagospodarowaniem przestrzennym wokół przystanku, cechami socjo-ekonomicznymi oraz charakterystykami sieci transportowej. Szczególnie często stosowane są zmienne dotyczące gęstości zaludnienia oraz miejsc pracy, zmienne związane z występowaniem obszarów określonego typu (np. liczbą obiektów mieszkalnych, przemysłowych, itp.), zmienne związane ze zróżnicowaniem zagospodarowania przestrzennego, zmienne określające udogodnienia dla ruchu pieszego czy zmienne charakteryzujące poziom obsługi transportowej przystanku.

Zgodnie z omówionymi modelami DRM gęstość zaludnienia oraz miejsc pracy ma pozytywny wpływ na liczbę osób korzystających z przystanków [31]. Również gęstość obiektów zagospodarowania przestrzennego w pozytywny sposób przyczynia się do wzrostu liczby pasażerów [31]. Często w istniejących modelach stosowane są także zmienne opisujące zróżnicowanie zagospodarowania przestrzennego, mimo że wpływ tych zmiennych na liczbę osób korzystających z przystanków nie jest jednoznaczny [129]. W większości opracowań cechy infrastruktury stanowiące udogodnienia dla ruchu pieszego także pozytywnie wpływają na liczbę pasażerów.

Analiza istniejących metod oszacowania potencjału oraz oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego wskazuje, że cechy zagospodarowania przestrzennego wokół przystanku mają istotny wpływ na liczbę osób, która z tych przystanków korzysta. Wśród tych cech należy wymienić w szczególności udział obiektów określonych typów, zwłaszcza obiektów mieszkalnych, miejsc pracy, obiektów edukacyjnych czy handlowo-usługowych [29], [31], [36], [119].

3.2.3 Zastosowanie wieloboków Woronoja w metodach lokalizacji przystanków

Z określaniem lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego związany jest także podział przestrzeni na wieloboki Woronoja. Ponieważ zgodnie z podstawowymi zasadami tego rodzaju teselacji, każdy obiekt znajdujący się w określonym wieloboku jest bliżej przystanku w tym wieloboku niż jakiegokolwiek innego przystanku, może to być użyteczne narzędzie do precyzyjnego określenia „otoczenia przystanku”.

Wieloboki Woronoja wykorzystywane są również w analizach związanych z lokalizacją przystanków. W publikacji [159] autorzy stosują podział obszaru na wieloboki Woronoja w celu minimalizowania odległości jaką pasażerowie muszą pokonać do przystanku. W tym

podejściu ta odległość ma kluczowe znaczenie dla lokalizacji przystanku. W pracy [58] jako główny czynnik decydujący o lokalizacji przyjęto funkcję kosztu podróży. W tym podejściu również obszar analizy został podzielony na wieloboki Woronoja.

Inne podejście zostało zaprezentowane w pracy [132]. W tej publikacji autorzy przedstawili metodę lokalizacji przystanków, która uwzględnia w bezpośredni sposób charakterystykę obiektów zagospodarowania przestrzennego wokół przystanku. Bazując na wskaźnikach związanych z obiektami mieszkalnymi oraz obiektami innego typu oceniają oni zasadność danej lokalizacji. Należy jednak podkreślić, że w opisywanej metodzie otoczeniem przystanku jest bufor o promieniu 100m lub 500m. Zbiór wieloboków Woronoja jest generowany na późniejszym etapie metody.

Należy podkreślić, że chociaż podział przestrzeni zgodny z teselacją Woronoja nie jest powszechnie stosowany w analizach związanych z publicznym transportem zbiorowym, to istnieją metody modelowania lokalizacji lub oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego uwzględniające wieloboki Woronoja. Nie odnaleziono jednak w literaturze metod, które jako otoczenie przystanku traktowałyby wielobok Woronoja i które uwzględniałyby cechy zagospodarowania przestrzennego, cechy socjo-ekonomiczne czy cechy infrastruktury transportowej w wielobokach, których środkami są przystanki publicznego transportu zbiorowego.

3.3 Identyfikacja luki badawczej

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury należy zauważyć, że istniejące metody modelowania oraz oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego charakteryzują się zróżnicowanym podejściem do zbioru zmiennych, na podstawie których podejmowana jest decyzja o lokalizacji przystanku. Modele, które umożliwiają oszacowanie liczby osób korzystających z przystanku, wymagają z kolei zastosowania szerokiego zbioru zmiennych.

Duża liczba wymaganych zmiennych może wymagać kosztownego oraz czasochłonnego procesu pozyskiwania danych niezbędnych do przeprowadzenia analiz. Dodatkowo, o ile pozyskanie danych socjo-ekonomicznych (np. udział liczby osób o określonym wieku czy osób bezrobotnych) nie stanowi większego problemu w przypadku miast czy dzielnic, o tyle może

być utrudnione jeśli analiza prowadzona jest dla buforów wyznaczonych w otoczeniu przystanku.

Należy zatem prowadzić badania mające na celu opracowanie metody, która umożliwi oszacowanie potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego z zastosowaniem możliwie małej liczby zmiennych. Dobór zmiennych powinien również uwzględniać możliwość pozyskania kompletnych danych dla nieregularnych obszarów wokół przystanków. Ze względu na rozwój systemów informacji geograficznej oraz coraz większą dostępność map cyfrowych takimi danymi mogą być cechy związane z zagospodarowaniem przestrzennym w obszarze. Również istniejące metody oceny zasadności lokalizacji przystanków wskazują na istotny wpływ zagospodarowania przestrzennego na liczbę osób korzystających z przystanków publicznego transportu zbiorowego. Takie podejście umożliwia również zastosowanie metod analizy przestrzennej w prowadzonych analizach.

W literaturze istnieją metody lokalizacji przystanków, które wykorzystują teselację Woronoja, jednak według wiedzy autora, w tych metodach otoczenie przystanku nie jest rozumiane jako obszar wieloboku Woronoja, którego środkiem jest lokalizacja przystanku. Takie podejście umożliwiłoby precyzyjne określenie obszaru oddziaływania przystanku na potrzeby prowadzonych analiz.

Biorąc powyższe pod uwagę, w opinii autora rozprawy, istnieje potrzeba opracowania metody, która umożliwi oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w sposób precyzyjny, a jednocześnie przy zastosowaniu możliwie niewielkiej liczby zmiennych, a także takiej która umożliwiłaby wykorzystanie korzystnych, z punktu widzenia modelowania lokalizacji przystanków, cech podziału przestrzeni na wieloboki Woronoja.

Taka metoda będzie stanowić ważne narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji o lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego.

4. METODA OSZACOWANIA POTENCJAŁU LOKALIZACJI PRZYSTANKÓW PUBLICZNEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO

4.1 Założenia metody

Opracowana metoda oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego opiera się na szeregu założeń, dotyczących jej zakresu, przyjętego sposobu postępowania, a także sposobu jej weryfikacji. Wyróżniono następujące grupy założeń:

- a. założenia dotyczące zakresu zastosowania metody,
- b. założenia dotyczące danych wykorzystanych w metodzie,
- c. założenia związane z podziałem przestrzeni na potrzeby stosowania metody,
- d. założenia związane z budową modeli przystanków,
- e. założenia związane z wyznaczaniem potencjału lokalizacji przystanku,
- f. założenia związane ze sposobem opisu obsługi transportowej,
- g. założenia dotyczące zagospodarowania przestrzennego,
- h. założenia dotyczące oceny zasadności lokalizacji przystanku.

Szczegółowe informacje o poszczególnych założeniach w ramach każdej z grup zostały zaprezentowane w tabeli 4.1.

Tabela 4.1: Szczegółowe założenia opracowanej metody

Grupa założeń	Szczegółowe założenia
1	2
Założenia dotyczące zakresu zastosowania metody	1. Metoda ma zastosowanie dla przystanków autobusowych (z wyłączeniem przystanków trolejbusowych), o co najwyżej czterech stanowiskach. 2. Metoda nie ma zastosowania dla centrów przesiadkowych 3. Metoda nie ma zastosowania w przypadku występowania stacji lub przystanków kolejowych w bliskim otoczeniu przystanku autobusowego.

Grupa założeń	Szczegółowe założenia
1	2
<p>Założenia dotyczące danych wykorzystanych w metodzie</p>	<p>1. W opracowanej metodzie oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego zakłada się wykorzystanie trzech rodzajów danych:</p> <ul style="list-style-type: none"> • dane o obiektach zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy, • dane o obsłudze obszaru analizy publicznym transportem zbiorowym, • dane o liczbie osób korzystających z przystanków publicznego transportu zbiorowego w obszarze analizy, co najmniej z dokładnością do pojedynczego dnia i z uwzględnieniem wszystkich kursów realizowanych z przystanków.
<p>Założenia związane z podziałem przestrzeni na potrzeby stosowania metody</p>	<p>1. W opracowanej metodzie zakłada się podział przestrzeni na wieloboki Woronoja.</p> <p>2. Środek każdego wieloboku Woronoja jest wyznaczany na podstawie modelu przystanku w obszarze analizy.</p>
<p>Założenia związane z budową modeli przystanków</p>	<p>1. Model przystanku budowany jest na podstawie lokalizacji stanowisk tworzących dany przystanek.</p> <p>2. Zakłada się, że wszystkie stanowiska przystankowe tworzące przystanki przyjęte do analizy muszą znajdować się w obszarze analizy.</p> <p>3. Lokalizacja stanowisk tworzących przystanek może być rzeczywista lub potencjalna.</p> <p>4. Lokalizacja, zgodna z modelem przystanku znajduje się w środku geometrycznym figury o wierzchołkach w punktach odwzorowujących lokalizację stanowisk tworzących dany przystanek.</p>

Grupa założeń	Szczegółowe założenia
1	2
	5. Przy wyznaczaniu środków geometrycznych założono, że wszystkie stanowiska tworzące przystanek mają taką samą wagę.
Założenia związane z wyznaczaniem potencjału lokalizacji przystanku	<p>1. Potencjał lokalizacji przystanku rozumiany jest jako potencjał wieloboku Woronoja, w którym rozważana jest lokalizacja przystanku - stanowi zatem jedną z charakterystyk wieloboku.</p> <p>2. Potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego jest obliczany na podstawie charakterystyk zagospodarowania przestrzennego w wieloboku Woronoja.</p> <p>3. W metodzie rozróżnia się dwa rodzaje potencjału: potencjał teoretyczny i potencjał rzeczywisty.</p> <p>4. Potencjał teoretyczny wyznaczany jest przy uwzględnieniu charakterystyk zagospodarowania przestrzennego znajdującego się tylko w badanym wieloboku.</p> <p>5. Potencjał rzeczywisty wyznaczany jest przy uwzględnieniu potencjałów teoretycznych wieloboków sąsiednich rozumianych jako wieloboki które graniczą z wielobokiem badanym oraz których środek geometryczny znajduje się w odległości nie większej od środka geometrycznego badanego wieloboku niż założona wartość graniczna.</p> <p>6. Potencjał lokalizacji jest wielkością bezwymiarową.</p>
Założenia związane ze sposobem opisu obsługi transportowej	1. Do opisu obsługi transportowej obszaru niezbędne są dane dotyczące liczby linii komunikacyjnych obsługujących stanowiska przystankowe oraz dane dotyczące liczby kursów dla każdego z nich.
Założenia dotyczące zagospodarowania przestrzennego	1. W opracowanej metodzie zakłada się wykorzystanie baz danych umożliwiających pozyskanie wiarygodnych danych o obiektach zagospodarowania przestrzennego w obszarze

Grupa założeń	Szczegółowe założenia
1	2
	<p>analizy (rekomendowana jest Baza Danych Obiektów Topograficznych 10k).</p> <p>2. W celu poprawnej aplikacji metody niezbędne są dane dotyczące lokalizacji (w formie współrzędnych geograficznych), powierzchni, liczby kondygnacji oraz funkcji każdego zidentyfikowanego obiektu zagospodarowania przestrzennego znajdującego się w obszarze analizy.</p> <p>3. W metodzie uwzględnia się wszystkie obiekty zagospodarowania przestrzennego, które znajdują się w obszarze analizy.</p>

Źródło: opracowanie własne

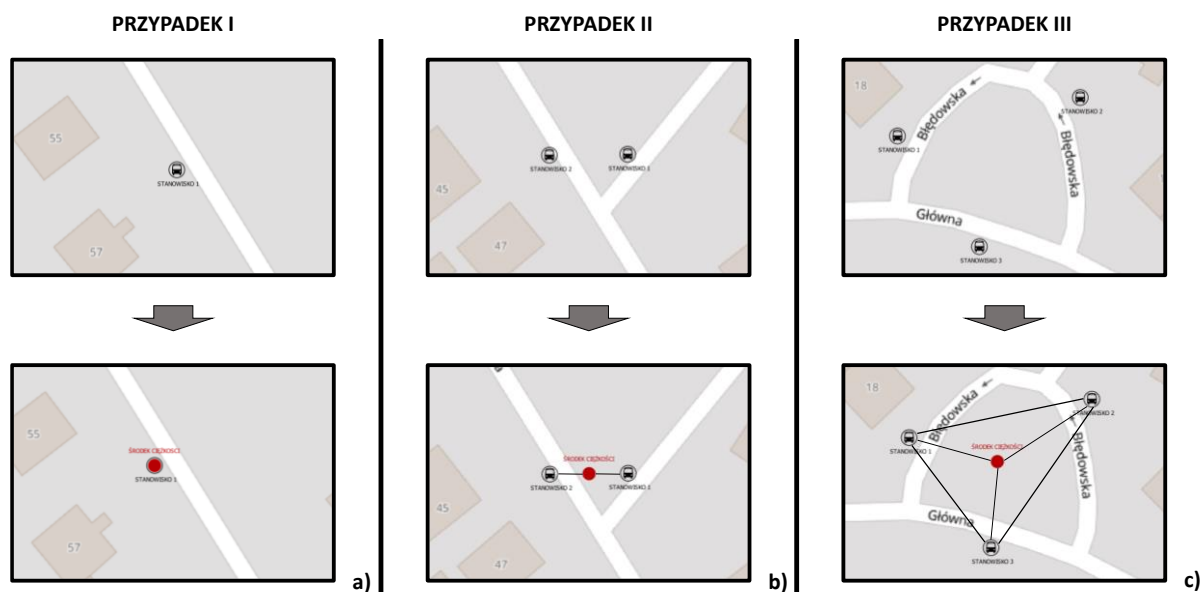
Założenia dotyczące zakresu zastosowania metody wynikają ze zróżnicowanej roli, jaką poszczególne podsystemy publicznego transportu zbiorowego pełnią w całym systemie transportowym obszarze. Podsystemy te różnią się m.in. odległością do przystanku, jaką pasażerowie akceptują czy odległościami pomiędzy przystankami [12], [113], [160]. Z tego powodu analizy związane z lokalizacją przystanków dla poszczególnych podsystemów powinny być prowadzone z uwzględnieniem charakterystyki każdego podsystemu. W związku z tym w niniejszej pracy przyjęto ograniczenie zakresu stosowania metody do przystanków autobusowych.

Ograniczenie dotyczące niestosowania metody w przypadku dużych przystanków, takich jak dworce autobusowe wynika ze szczególnych uwarunkowań lokalizacji takich obiektów. Dworce autobusowe czy centra przesiadkowe pełnią funkcje integracyjną, umożliwiając wygodną zmianę podsystemu transportu czy linii komunikacyjnej. Dodatkowo zajmują one zwykle większą powierzchnię, co prowadzi do konieczności uwzględniania dodatkowych warunków i ograniczeń przy podejmowaniu decyzji o ich lokalizacji. Również stacje i przystanki kolejowe pełnią szczególną rolę integracyjną, w związku z czym przyjęto założenie, że zasadność lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w ich pobliżu nie będzie przedmiotem analiz w tej pracy.

Przesłanką do przyjęcia założeń dotyczących budowy modeli przystanków jest fakt, że przystanek transportu publicznego składa się z określonej liczby stanowisk przystankowych.

W związku z tym faktyczna lokalizacja „przystanku” może być niejednoznacznie rozumiana, zwłaszcza w przypadku przystanków, na których występują co najmniej dwa stanowiska. W opracowanej metodzie przyjęto zatem założenie, że dla każdego przystanku zostanie zbudowany jego model, zgodnie z którym lokalizacja przystanku zostanie precyzyjnie i jednoznacznie ustalona w jednym punkcie obszaru i ten punkt będzie stanowił punkt odniesienia dla dalszych analiz związanych np. z odległością przystanku od określonych obiektów, w dalszych etapach metody.

Model każdego przystanku budowany jest na podstawie informacji o lokalizacji stanowisk przystankowych, stanowiących dany przystanek. Następnie za pomocą oprogramowania QGIS wyznaczany jest środek geometryczny figury o wierzchołkach w punktach odwzorowujących lokalizację stanowisk. Sposób budowy modeli przystanków dla trzech różnych przypadków został pokazany na rysunku 4.1.



Rys. 4.1 Modele przystanków złożonych z: a) jednego stanowiska, b) dwóch stanowisk, c) trzech i więcej stanowisk
Źródło: Opracowanie własne

Opracowana metoda oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego może mieć zastosowanie zarówno dla istniejących przystanków, które znajdują się w obszarze analizy, jak i dla potencjalnych przystanków, rozumianych jako przystanki, w proponowanej lub planowanej lokalizacji. Dzięki temu istnieje możliwość oceny lokalizacji przystanków np. w różnych wariantach rozwoju sieci. W przypadku przystanków potencjalnych budowa modeli przebiega w taki sam sposób jak dla przystanków istniejących.

W opracowanej metodzie konieczne było również przyjęcie założenia związanego z określeniem, które obiekty zagospodarowania przestrzennego należy uwzględnić w analizie. Ma to szczególnie istotne znaczenie w przypadku obiektów położonych w pobliżu granicy obszaru analizy. Na rysunku 4.2 pokazano różne przykłady sytuacji, w których obiekty znajdują się blisko granicy obszaru analizy.



Rys. 4.2 Przykłady lokalizacji obiektów zagospodarowania przestrzennego przy granicy obszaru analizy: a) 100% powierzchni obiektu w obszarze analizy, b) ok. 95% powierzchni obiektu w obszarze analizy, c) ok. 50% powierzchni obiektu w obszarze analizy, d) ok. 25% powierzchni obiektu w obszarze analizy

Źródło: Opracowanie własne

O ile przypadek przedstawiony na rys. 4.2 a), tj., gdy obiekt znajduje się blisko granicy obszaru analizy, ale jednak w całości w tym obszarze nie budzi większych wątpliwości, o tyle przypadki zaprezentowane na rys. 4.2 b) – 4.2 d), gdy granica obszaru przebiega przez budynek wymagają ustalenia założeń i podjęcia decyzji, które obiekty zostaną przyjęte do dalszych analiz. W opracowanej metodzie założono, że jeśli obiekt zagospodarowania przestrzennego w jakiegokolwiek części znajduje się w obszarze analizy to w całości zostanie on uwzględniony w obliczeniach. Założenie to pozwala na precyzyjne wyznaczenie obiektów, które należy poddać analizie.

Zgodnie z podstawowym założeniem opracowanej metody potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego jest obliczany na podstawie charakterystyk zagospodarowania przestrzennego w otoczeniu przystanku. W myśl tego założenia cechy obiektów tworzących zagospodarowanie przestrzenne w pobliżu przystanku mają największy wpływ na liczbę osób korzystających z tych przystanków. W opracowanej metodzie otoczenie

przystanku zostało ograniczone do granic wieloboku Woronoja, w którym znajduje się dany przystanek.

Wyróżnia się dwa rodzaje potencjału lokalizacji przystanków: potencjał teoretyczny oraz potencjał rzeczywisty. Potencjał teoretyczny związany jest z cechami zagospodarowania przestrzennego jedynie w wieloboku Woronoja, w którym zlokalizowany jest analizowany przystanek. Potencjał rzeczywisty obliczany jest z kolei uwzględniając również cechy zagospodarowania przestrzennego sąsiednich wieloboków Woronoja.

4.2 Dane wykorzystywane w metodzie

4.2.1 Rodzaje wykorzystanych danych

Zgodnie z przyjętymi założeniami opracowana metoda oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego wymaga wykorzystania trzech podstawowych rodzajów danych:

- a. danych o obiektach zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy,
- b. danych o obsłudze obszaru analizy publicznym transportem zbiorowym,
- c. danych o liczbie osób korzystających z przystanków publicznego transportu zbiorowego w obszarze analizy.

Jakość pozyskanych danych ma kluczowy wpływ na jakość wyników, które zostaną uzyskane przy zastosowaniu opracowanej metody. W związku z tym, w procesie gromadzenia danych należy zwrócić uwagę na cechy, którymi te dane powinny się charakteryzować.

Istotne znaczenie dla potrzeb szacowania potencjału lokalizacji przystanków ma dokładność danych, rozumiana w tym przypadku jako jakość odwzorowania elementów, które są wykorzystywane w metodzie. W szczególności należy pozyskać dane o lokalizacji obiektów zagospodarowania przestrzennego, rodzajach tych obiektów, powierzchni oraz liczbie kondygnacji. W przypadku danych o obiektach zagospodarowania przestrzennego pozyskanie danych o każdym obiekcie w obszarze może okazać się niemożliwe, a zatem dopuszcza się pojedyncze błędy czy niedokładności, niemniej jednak zastosowane źródło danych powinno pozwolić na uniknięcie błędów systematycznych, np. pominięcia wszystkich obiektów określonego rodzaju.

Ważna jest także kompleksowość pozyskanych danych. Zastosowane źródła danych powinny umożliwić pozyskanie danych o oczekiwanej jakości w całym obszarze analizy.

W szczególności należy unikać źródeł danych, które obejmują tylko część przyjętego obszaru lub które różnią się dokładnością w zależności od części obszaru.

W celu ułatwienia stosowania opracowanej metody zaleca się wykorzystanie źródeł danych charakteryzujących się wysokim poziomem dostępności. Taki poziom dostępności związany jest przede wszystkim z łatwością oraz kosztem pozyskania danych. Łatwość pozyskania danych związana jest np. z możliwością pozyskania danych przy pomocy ogólnodostępnego oprogramowania lub możliwością uniknięcia czasochłonnego procesu przetwarzania czy obróbki danych. W przypadku kosztu pozyskania danych zakłada się stosowanie przede wszystkim takich źródeł danych, które nie wymagają opłaty za pobieranie danych. To założenie może być szczególnie trudne do spełnienia w przypadku danych o liczbie osób korzystających z przystanków. Pozyskanie tego rodzaju danych może także wiązać się np. z koniecznością przeprowadzenia badań w terenie, w zależności od obszaru analizy.

4.2.2 Dane o obiektach zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy

W przypadku danych o obiektach zagospodarowania przestrzennego istnieje kilka potencjalnych źródeł danych, m.in. dane pochodzące z serwisu openstreetmap.org czy dane pochodzące z BDOT10k. Dane pochodzące z openstreetmap.org charakteryzują się co prawda łatwością pozyskania oraz są możliwe do pozyskania bez opłat, ale dodatkowo cechuje je zróżnicowana dokładność w zależności od obszaru.

W związku z tym w opracowanej metodzie przyjęto założenie, że rekomendowanym źródłem danych jest Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k). Zakres informacji dostępnych w tej bazie, a także sposób udostępniania danych zostały zawarte w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 roku [116]. Zgodnie z tym dokumentem w bazie BDOT10k gromadzone są dane obejmujące dziesięć kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego [116]:

- a. sieć wodną,
- b. sieć komunikacyjną,
- c. sieć uzbrojenia terenu,
- d. pokrycie terenu,
- e. budynki, budowle i urządzenia,
- f. kompleksy użytkowania terenu,
- g. jednostki podziału terytorialnego,

- h. tereny chronione,
- i. obiekty inne,
- j. rzeźbę terenu.

W przypadku opracowanej metody oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego szczególnie ważne są obiekty znajdujące się w kategorii: „budynki, budowle i urzędnia”.

W bazie BDOT10k znajdują się informacje o budynkach, budowlach i urządzeniach na obszarze Polski, w tym m.in. informacje o rzeczywistej lokalizacji obiektu w przestrzeni, a także informacje o funkcji ogólnej oraz szczegółowej budynku, które mogą być rozumiane jako rodzaj budynku. Baza BDOT10k obejmuje ponad 160 funkcji szczegółowych, m.in. „budynek jednorodzinny”, „budynek wielorodzinny”, „urząd miasta”, „hotel”, „centrum handlowe”, „hipermarket lub supermarket”, „dworzec kolejowy”, „hala widowiskowa”, „szkoła podstawowa”, „szkoła wyższa”, „kościół” i inne. Dodatkowo, w bazie zawarto informacje o liczbie kondygnacji w przypadku każdego obiektu.

Baza Danych Obiektów Topograficznych BDOT10k stanowi bardzo cenne źródło danych o obiektach zagospodarowania przestrzennego. Dane pochodzące z tego źródła cechują się wysokim poziomem dokładności, związanej z odwzorowaniem lokalizacji poszczególnych obiektów oraz ich geometrii, są łatwo dostępne oraz mogą być pobrane bezpłatnie, przy pomocy darmowego oprogramowania QGIS. Co więcej, ponieważ baza BDOT10k obejmuje swoim zasięgiem obszar całego kraju należy podkreślić, że dane pochodzące z tej bazy są kompleksowe oraz charakteryzują się wysokim poziomem szczegółowości. W opracowanej metodzie oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego założono zatem pozyskanie danych o obiektach zagospodarowania przestrzennego z tej bazy.

4.2.3 Dane o obsłudze obszaru analizy publicznym transportem zbiorowym

Dane o obsłudze obszaru analizy publicznym transportem zbiorowym mają szczególne znaczenie przy weryfikacji opracowanej metody. Założono konieczność pozyskania następujących danych, dotyczących wszystkich przystanków i stanowisk przystankowych w obszarze analizy:

- a. lokalizację wszystkich przystanków autobusowych,
- b. lokalizację stanowisk przystankowych tworzących wszystkie przystanki,

- c. informację o liniach autobusowych obsługujących wszystkie stanowiska na przystankach,
- d. informację o liczbie odjazdów autobusów z poszczególnych stanowisk przystankowych,
- e. informację o przebiegu linii autobusowych obsługujących stanowiska przystankowe.

W przypadku danych o obsłudze komunikacyjnej trudno wskazać uniwersalne źródło danych, które swoim zasięgiem obejmowałoby obszar całego kraju. Poszczególni organizatorzy transportu publikują niezbędne dane w różnych miejscach i przekazują je pasażerom wykorzystując do tego różnorodne kanały dystrybucji informacji. Istnieją również portale internetowe, które pozwalają np. planować podróż w różnych miastach i mogą stanowić cenne, uzupełniające źródło danych. Biorąc jednak pod uwagę, że potencjalni użytkownicy opracowanej metody to przede wszystkim osoby zajmujące się organizacją transportu publicznego w wybranym obszarze należy założyć, że takie osoby dysponują odpowiednimi danymi o obsłudze komunikacyjnej obszaru, w którym planują przewozy czy zarządzają transportem publicznym.

4.2.4 Dane o liczbie osób korzystających z przystanków publicznego transportu zbiorowego w obszarze analizy

Dane o liczbie osób korzystających z przystanków publicznego transportu zbiorowego mają bardzo istotne znaczenie przy weryfikacji opracowanej metody oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. Obliczony potencjał może być porównany z rzeczywistą liczbą osób, korzystających z przystanków i na tej podstawie istnieje możliwość oceny dokładności metody. Należy podkreślić, że liczba osób korzystających z przystanku w przypadku tej metody rozumiana jest jako łączna liczba osób wsiadających oraz wysiadających na danym przystanku we wszystkich kursach linii autobusowych obsługujących ten przystanek w przyjętym okresie doby.

Podobnie jak w przypadku pozostałych rodzajów danych, również w przypadku liczby osób korzystających z przystanków istnieje wiele możliwości uzyskania niezbędnych danych. Do najczęściej stosowanych źródeł danych o liczbie pasażerów korzystających z usług transportu publicznego można zaliczyć [4], [88], [130]:

- a. wyniki badań prowadzonych przez obserwatorów w pojazdach,
- b. wyniki badań prowadzonych przez obserwatorów na przystankach,
- c. wyniki badań z wykorzystaniem monitoringu wewnątrz pojazdów,

d. wyniki badań z wykorzystaniem automatycznych systemów zliczania pasażerów.

Badania prowadzone przez obserwatorów w pojazdach przez wiele lat stanowiły dominujący sposób pozyskiwania danych o napełnieniach środków transportu zbiorowego. Taki sposób zbierania danych wymaga jednak znacznych nakładów oraz jest czasochłonny. W przypadku badań realizowanych w środkach transportu, w zależności od typu pojazdu może istnieć konieczność jednoczesnej rejestracji danych prowadzonej przez kilku obserwatorów [4]. Również pomiary prowadzone na stanowiskach przystankowych, wykorzystywanych przez dużą liczbę pasażerów, mogą wymagać zaangażowania kilku osób do badania pojedynczego stanowiska. Dodatkowo w przypadku badań prowadzonych w pojazdach istnieje możliwość badania linii obsługujących to samo stanowisko w różne dni, przez co pozyskane dane będą – z punktu widzenia danego stanowiska – niespójne.

Ten problem może zostać wyeliminowany w przypadku badań prowadzonych z wykorzystaniem monitoringu wewnątrz pojazdów [88]. W przypadku takich badań również obserwatorzy zliczają osoby, które wsiadły lub wysiadły z pojazdu, ale wykonują pomiary korzystając z nagrań wideo z kamer zamontowanych w pojazdach. W ten sposób istnieje możliwość pozyskania danych z jednego, konkretnego dnia, co umożliwi otrzymanie kompletnego zbioru pasażerów korzystających z każdego przystanku. Niemniej jednak ten sposób wciąż wiąże się z koniecznością zaangażowania znacznej liczby osób do analizy materiału wideo. Istnieje także możliwość analizy nagrań wideo z kamer zainstalowanych na przystankach – np. na tablicach systemów dynamicznej informacji pasażerskiej czy z monitoringu miejskiego [88].

W ostatnich latach coraz częściej stosowane są metody bazujące na systemach automatycznego zliczania pasażerów w pojazdach. Systemy te wykorzystują różne rodzaje czujników, m.in. [4]:

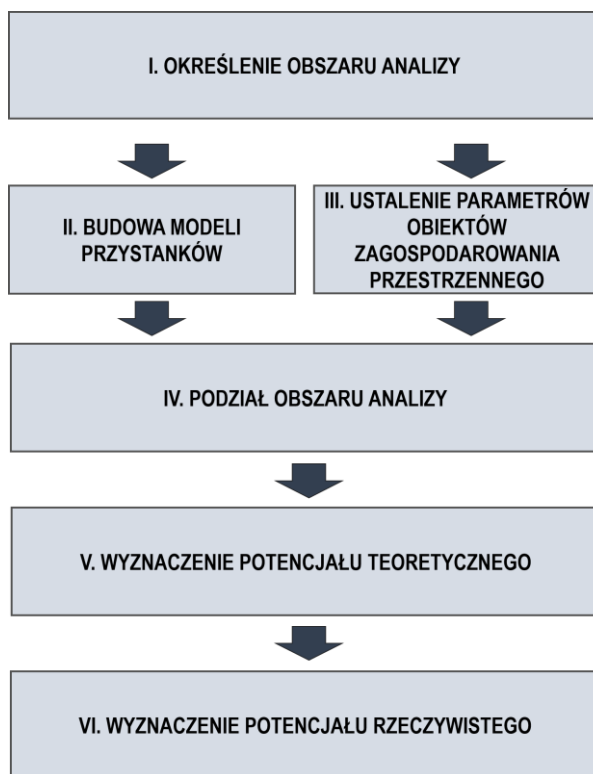
- a. czujniki laserowe,
- b. czujniki na podczerwień,
- c. czujniki wideo.

Z zastosowaniem tych systemów można prowadzić badania w całym okresie funkcjonowania transportu publicznego oraz wyeliminować potrzebę czasochłonnej pracy ludzi przy zbieraniu danych. Pozwalają uzyskać pełną informację o liczbie osób korzystających z przystanków. Jednakże, z punktu widzenia opracowanej metody, systemy te mogą być podstawą pozyskania danych o liczbie osób pod warunkiem, że wszystkie kursy realizowane

z danego przystanku były wykonywane przez pojazdy wyposażone w odpowiednie czujniki. Jeśli flota danego przewoźnika zawiera również pojazdy, które nie są wyposażone w wyżej wymienione urządzenia to istnieje ryzyko uzyskania jedynie częściowych danych. Należy jednak podkreślić, że dokładność systemów automatycznych jest zbliżona do metod klasycznych, a oszczędność czasu oraz możliwość prowadzenia badań na szeroką skalę sprawia, że dane pochodzące z pomiarów automatycznych mogą stanowić bardzo cenne źródło danych w opracowanej metodzie [4].

4.3 Ogólny schemat metody

Na rysunku 4.3 zaprezentowano ogólny schemat opracowanej metody.



Rys. 4.3 Ogólny schemat opracowanej metody

Źródło: Opracowanie własne

Opracowana metoda oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego składa się z sześciu etapów. W efekcie zastosowania metody istnieje możliwość dokonania oceny zasadności lokalizacji istniejących lub planowanych przystanków autobusowych.

W pierwszym etapie metody należy określić obszar analizy. W drugim etapie następuje budowa modeli przystanków. W trzecim etapie ustalony zostaje zbiór parametrów obiektów

zagospodarowania przestrzennego, które zostaną wykorzystane w dalszej analizie. Czwarty etap metody polega na podziale obszaru analizy na wieloboki Woronoja. W kolejnym, piątym etapie metody następuje wyznaczenie potencjału teoretycznego lokalizacji przystanku publicznego transportu zbiorowego dla każdego wieloboku Woronoja, zawierającego przystanek poddawany analizie, a etap szósty polega na wyznaczeniu potencjału rzeczywistego.

4.4 Opis formalny metody

Model oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego przedstawiono w postaci uporządkowanej szóstki:

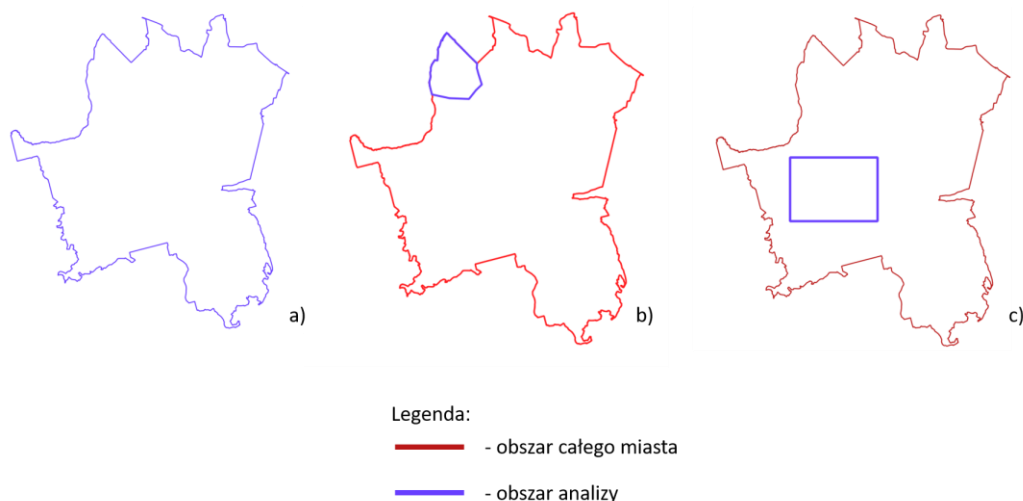
$$MOPLP = \langle A, MP, MZP, MPP, \Lambda T, \Lambda R \rangle \quad (4.1)$$

gdzie:

- A*** – model obszaru analizy,
- MP*** – model przystanków w obszarze analizy,
- MZP*** – model zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy,
- MPP*** – model podziału obszaru analizy,
- ΛT*** – zbiór wartości potencjałów teoretycznych lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego dla wszystkich wieloboków Woronoja, na które został podzielony obszar analizy,
- ΛR*** – zbiór wartości potencjałów rzeczywistych lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego dla wszystkich wieloboków Woronoja, na które został podzielony obszar analizy.

▪ ETAP 1 – określenie obszaru analizy

Pierwszym krokiem opracowanej metody jest ustalenie granic obszaru prowadzonych analiz – obszar ***A***. Obszar ten ustala się indywidualnie w każdym przypadku i może on obejmować między innymi obszar całego miasta, wybranej dzielnicy w mieście czy fragmentu miasta. Przykłady wydzielenia obszaru analizy z całego miasta pokazano na rysunku 4.4.



Rys. 4.4 Etap 1 – przykłady modeli obszaru analizy: a) obszar analizy obejmujący całe miasto, b) obszar analizy obejmujący dzielnicę miasta, c) obszar analizy obejmujący wybrany fragment miasta

Źródło: Opracowanie własne

▪ ETAP 2 – budowa modeli przystanków

Model przystanków w obszarze analizy zapisano w następującej postaci:

$$MP = \langle P, SP, FSP, SG, FSG \rangle \quad (4.2)$$

gdzie:

- P*** – zbiór numerów przystanków w obszarze analizy,
- SP*** – zbiór numerów stanowisk przystankowych w obszarze analizy,
- FSP*** – zbiór współrzędnych geograficznych stanowisk przystankowych,
- SG*** – zbiór środków geometrycznych w obszarze analizy,
- FSG*** – zbiór współrzędnych geograficznych środków geometrycznych.

Etap budowy modeli przystanków w obszarze analizy rozpoczyna się od określenia zbioru numerów wszystkich przystanków w tym obszarze. Zgodnie z przyjętymi założeniami mogą to być istniejące przystanki lub przystanki planowane, w potencjalnej lokalizacji. Na tej podstawie budowany jest zbiór ***P*** numerów przystanków w obszarze analizy:

$$P = \{1, \dots, p, \dots, |P|\} \quad (4.3)$$

gdzie:

- p*** – numer przystanku w obszarze analizy,
- |P|*** – łączna liczba przystanków w obszarze analizy.

Kolejnym krokiem jest ustalenie zbioru S_p numerów stanowisk przystankowych tworzących każdy przystanek p ze zbioru P :

$$S_p = \{1, \dots, s_p, \dots, |S_p|\}, \quad p \in P \quad (4.4)$$

gdzie:

s_p – numer stanowiska na przystanku p ,

$|S_p|$ – łączna liczba stanowisk przystankowych tworzących przystanek p .

W następnym kroku opracowanej metody określana jest lokalizacja każdego stanowiska ze zbioru S_p . Lokalizacja stanowiska określana jest poprzez podanie współrzędnych geograficznych x_{sp} oraz y_{sp} . W metodzie określono współrzędne w sposób ogólny, jednak w zależności od potrzeb możliwe jest zastosowanie współrzędnych w różnych układach odniesienia.

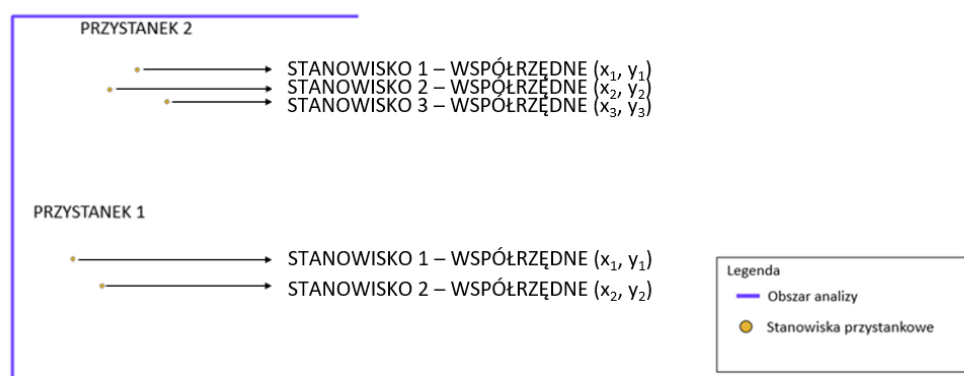
Następnie tworzony jest zbiór SP numerów stanowisk przystankowych w obszarze analizy jako:

$$SP = \{s_p : s_p \in S_p, p \in P\} \quad (4.5)$$

Kolejno budowany jest zbiór współrzędnych geograficznych stanowisk przystankowych FSP .

$$FSP = \{(x_{sp}, y_{sp}) : s_p \in S_p, p \in P\} \quad (4.6)$$

Przykład ustalenia zbioru stanowisk przystankowych dla przystanków oraz ustalenia ich lokalizacji pokazano na rysunku 4.5.



Rys. 4.5 Etap 2 – ustalenie zbioru stanowisk przystankowych - dla przykładowych przystanków

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z założeniami do opracowanej metody, lokalizacja przystanku zgodna z modelem przystanków znajduje się w środku geometrycznym figury, której wierzchołkami są punkty

odpowiadające lokalizacji stanowisk przystankowych tworzących każdy przystanek ze zbioru \mathbf{P} .

Po przeprowadzeniu obliczeń ustalany jest zbiór \mathbf{SG} środków geometrycznych przystanków, odwzorowujących lokalizacje przystanków zgodne z modelem przystanku, w obszarze analizy:

$$\mathbf{SG} = \{sg_p : p \in \mathbf{P}\}, \quad (4.7)$$

gdzie:

sg_p - środek geometryczny przystanku p .

Ustalany jest także zbiór współrzędnych geograficznych środków geometrycznych \mathbf{FSG} . Aby ustalić ten zbiór należy wyznaczyć współrzędne środka geometrycznego x_p i y_p każdego przystanku ze zbioru \mathbf{P} , korzystając z następujących zależności:

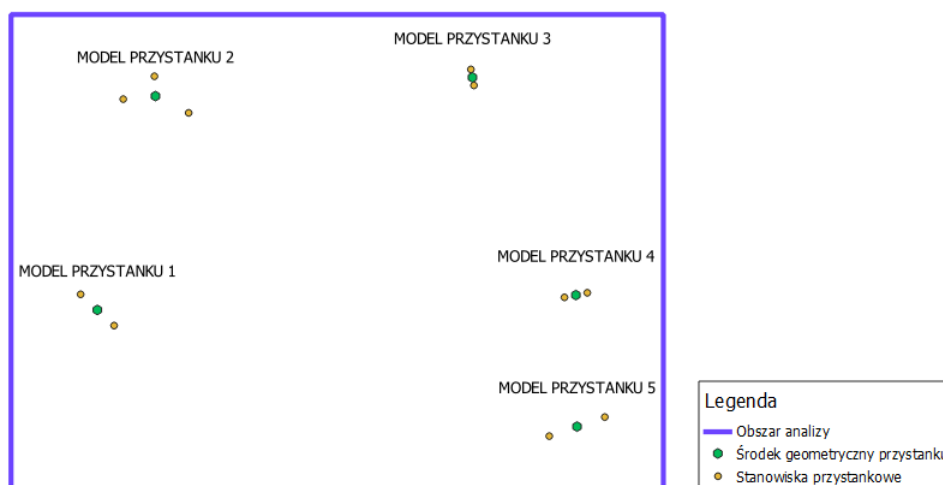
$$x_p = \sum_{sp=1}^{|S_p|} \frac{x_{sp}}{|S_p|}, \quad p \in \mathbf{P} \quad (4.8)$$

$$y_p = \sum_{sp=1}^{|S_p|} \frac{y_{sp}}{|S_p|}, \quad p \in \mathbf{P} \quad (4.9)$$

W ten sposób każdemu przystankowi $p \in \mathbf{P}$ przyporządkowywany jest środek geometryczny o współrzędnych x_p oraz y_p . Zbiór ten zawiera współrzędne geograficzne wszystkich środków geometrycznych $sg_p \in \mathbf{SG}$ i zapisywany jest jako:

$$\mathbf{FSG} = \{(x_p, y_p) : p \in \mathbf{P}\} \quad (4.10)$$

Przykład ustalania modeli przystanków w obszarze analizy pokazano na rysunku 4.6.



Rys. 4.6 Etap 2 – ustalenie modeli przystanków w obszarze analizy – dla przykładowych przystanków

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z rysunkiem 4.6 lokalizacja przystanku zgodna z modelem przystanków ustalona jest w środku geometrycznym przystanku. Zbiór środków geometrycznych przystanków stanowi podstawę podziału obszaru w czwartym etapie opracowanej metody.

▪ **ETAP 3 – ustalenie parametrów obiektów zagospodarowania przestrzennego**

Model zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy zapisano w następujący sposób:

$$MZP = \langle C, E, W, DC \rangle \quad (4.11)$$

gdzie:

C – zbiór numerów kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego,

E – zbiór numerów klas obiektów zagospodarowania przestrzennego,

W – zbiór wag kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego,

DC – zbiór wag klas obiektów zagospodarowania przestrzennego.

W trzecim etapie metody następuje ustalenie elementów i parametrów zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy istotnych dla potrzeb modelowania lokalizacji przystanków. Podczas tego etapu należy określić zbiory kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego oraz klas takich obiektów. Kategoria obiektu dotyczy jego funkcji ogólnej, natomiast klasa obiektu związana jest z funkcją szczegółową. W zależności od obszaru można uwzględnić różne kategorie i klasy, na podstawie informacji o typach obiektów występujących w obszarze analizy.

Zbiór **C** numerów kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego wyrażony jest jako:

$$C = \{1, \dots, c, \dots, |C|\} \quad (4.12)$$

gdzie:

c – numer kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego,

|C| – łączna liczba kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego.

Z kolei zbiór **E** numerów klas obiektów zagospodarowania przestrzennego zapisywany jest w następujący sposób:

$$E = \{1, \dots, e, \dots, |E|\} \quad (4.13)$$

gdzie:

e – numer klasy obiektów zagospodarowania przestrzennego,

$|E|$ – łączna liczba klas obiektów zagospodarowania przestrzennego.

Każda klasa obiektów może występować tylko w jednej, określonej kategorii. Z tego powodu określono odwzorowanie a , zadane na iloczynie kartezjańskim $E \times C$, które przyjmuje wartości 0 lub 1, w następujący sposób:

$$a: E \times C \rightarrow \{0,1\} \quad (4.14)$$

$$a(e, c) = \begin{cases} 1 & \text{jeśli klasa } e \text{ występuje w kategorii } c \\ 0 & \text{jeśli klasa } e \text{ nie występuje w kategorii } c \end{cases} \quad (4.15)$$

Zgodnie z zależnościami (4.14) i (4.15) odwzorowanie a , zadane na iloczynie kartezjańskim $E \times C$ przyjmuje wartość 1 jeśli klasa e występuje w kategorii c , a wartość 0 jeśli klasa e nie występuje w kategorii c . W ten sposób dla każdej kategorii c budowany jest zbiór E_c , zawierający klasy obiektów wyróżnione w tej kategorii:

$$E_c = \{e : a(e, c) = 1, e \in E\}, c \in C \quad (4.16)$$

gdzie:

E_c – zbiór klas w kategorii c .

Kolejno ustalany jest zbiór wag kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego oraz zbiór wag klas obiektów zagospodarowania przestrzennego. Wagi poszczególnych kategorii zostały dobrane podczas opracowywania modelu, a wagi klas obiektów zostały ustalone poprzez utworzenie obiektów referencyjnych w każdej kategorii oraz porównanie poszczególnych klas obiektów z obiektem referencyjnym. W ten sposób zbiór W wag kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego określono jako:

$$W = [w_c : c \in C] \quad (4.17)$$

gdzie:

w_c – waga kategorii c obiektów zagospodarowania przestrzennego.

Określono również zbiór DC wag klas obiektów zagospodarowania przestrzennego występujących w kategorii c jako:

$$DC = [d_{e,c} : e \in E_c, c \in C] \quad (4.18)$$

gdzie:

$d_{e,c}$ – waga klasy e , występującej w kategorii c obiektów zagospodarowania przestrzennego.

▪ ETAP 4 – podział obszaru analizy

Czwartym etapem opracowanej metody jest podział obszaru analizy A . Obszar ten dzielony jest na wieloboki Woronoja. Środki geometryczne przystanków stanowią środki wieloboków Woronoja. Po dokonaniu podziału obszaru budowany jest zbiór V numerów wieloboków Woronoja w obszarze:

$$V = \{1, \dots, v, \dots, |V|\} \quad (4.19)$$

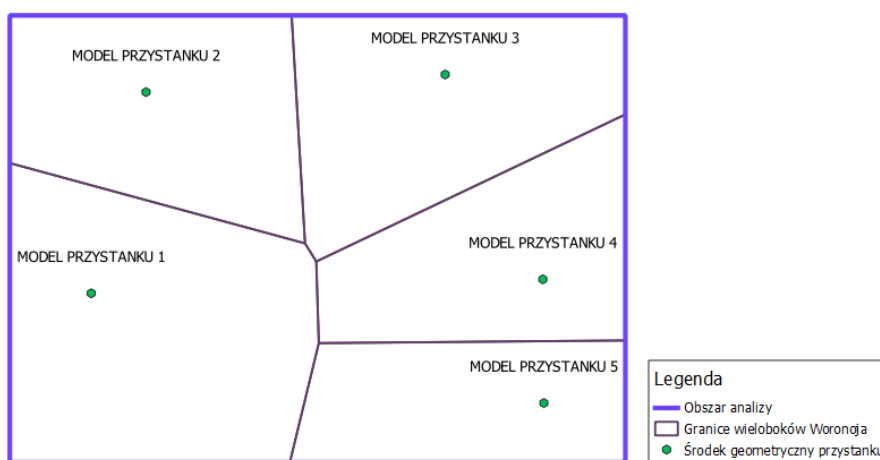
gdzie:

v – numer wieloboku Woronoja w obszarze analizy,

$|V|$ – liczba wieloboków Woronoja w obszarze analizy.

Model podziału obszaru na wieloboki Woronoja jest równoznaczny ze zbiorem V . Podział obszaru na wieloboki Woronoja został zastosowany ze względu na cechy charakterystyczne takich wieloboków. Zgodnie z definicją każdy punkt położony wewnątrz danego wieloboku leży bliżej środka tego wieloboku, niż jakiegokolwiek innego środka wieloboku. Zatem jeśli środek wieloboku znajduje się w miejscu lokalizacji przystanku zgodnej z modelem przystanków, tj. środkiem geometrycznym przystanku, to odległość w linii prostej do przystanku w danym wieloboku z każdego obiektu położonego wewnątrz danego wieloboku jest mniejsza niż do jakiegokolwiek innego przystanku. Zgodnie z założeniami, taki podział obszaru pozwala na precyzyjne określenie „otoczenia przystanku” i jednoznaczny wybór obiektów, które mogą oddziaływać na potencjał lokalizacji przystanku.

Przykład podziału obszaru na wieloboki Woronoja pokazano na rysunku 4.7. Sposób przeprowadzenia takiego podziału przedstawiono w podrozdziale 2.2.



Rys. 4.7 Etap 4 – model podziału obszaru analizy

Źródło: Opracowanie własne

▪ ETAP 5 – wyznaczenie potencjału teoretycznego

Piąty etap opracowanej metody to wyznaczenie potencjału teoretycznego lokalizacji przystanków w każdym wieloboku v ze zbioru V . W pierwszym kroku w tym etapie należy wyznaczyć liczbę obiektów zagospodarowania przestrzennego każdej klasy w każdym wieloboku. Należy zwrócić uwagę, że jeśli obiekt znajduje się jednocześnie na obszarze kilku wieloboków Woronoja, to zostanie on uwzględniony w analizach dla każdego z tych wieloboków. W ten sposób budowany jest zbiór **OZP** obiektów danej klasy w wieloboku jako:

$$\mathbf{OZP} = [O_{e,v} : e \in E, v \in V] \quad (4.20)$$

gdzie:

$O_{e,v}$ – liczba obiektów należących do klasy e , w wieloboku v .

Następnie obliczana jest ważona liczba obiektów $OW_{e,v}$ klasy e w wieloboku v jako:

$$OW_{e,v} = d_{e,c} \cdot O_{e,v} \quad (4.21)$$

Kolejno wyznaczana jest ważona liczba obiektów $OWZ_{c,v}$ w kategorii c , w wieloboku v :

$$OWZ_{c,v} = \sum_{e=1}^{|E_c|} OW_{e,v}, e \in E_c, v \in V, c \in C \quad (4.22)$$

Następnie obliczana jest unitaryzowana ważona liczba obiektów w kategorii c , w wieloboku v . W tym celu należy obliczyć maksymalną i minimalną wartość ważonej liczby obiektów w każdej kategorii dla całego zbioru wieloboków. Unitaryzowana ważona liczba obiektów $UOWZ_{c,v}$ w kategorii c , w wieloboku v obliczana jest zgodnie ze wzorem:

$$UOWZ_{c,v} = \frac{OWZ_{c,v} - \max_v\{OWZ_{c,v}\}}{\max_v\{OWZ_{c,v}\} - \min_v\{OWZ_{c,v}\}} \quad (4.23)$$

Kolejnym krokiem w piątym etapie opracowanej metody jest obliczenie ważonej wartości $UOWZ_{c,v}$, tj. $SUOWZ_{c,v}$:

$$SUOWZ_{c,v} = w_c \cdot UOWZ_{c,v}, \quad c \in C, v \in V, w_c \in W \quad (4.24)$$

Ostatnim krokiem piątego etapu jest wyznaczenie potencjału teoretycznego dla każdego wieloboku. Potencjał teoretyczny jest sumą wartości $SUOWZ_{c,v}$ we wszystkich kategoriach obiektów zagospodarowania przestrzennego. Potencjał teoretyczny AT_v lokalizacji przystanku publicznego transportu zbiorowego w wieloboku v wyznaczany jest w następujący sposób:

$$AT_v = \sum_{c=1}^{|C|} SUOWZ_{c,v} [-], \quad v \in V, c \in C \quad (4.25)$$

Zbiór wartości potencjału teoretycznego AT dla wszystkich wieloboków Woronoja, na które został podzielony obszar analizy można zatem zapisać jako:

$$AT = [AT_v : v \in V] \quad (4.26)$$

▪ ETAP 6 – wyznaczenie potencjału rzeczywistego

Szósty etap opracowanej metody obejmuje wyznaczenie potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków dla każdego wieloboku w obszarze A . Zgodnie z założeniami metody potencjał rzeczywisty wyznaczany jest poprzez uwzględnienie potencjałów teoretycznych wieloboków sąsiednich. W tym celu należy dla każdego wieloboku $v \in V$ określić wieloboki sąsiednie. Zgodnie z przyjętą definicją wieloboki sąsiednie to wszystkie wieloboki Woronoja graniczące z wielobokiem, dla którego wyznaczany jest potencjał rzeczywisty i znajdujące się w obszarze analizy. Jest to zatem sąsiedztwo na podstawie przyległości obiektów. Zbiór S_v ich numerów zapisywany jest w następujący sposób:

$$S_v = \{1_v, \dots, s_v, \dots, |S_v|\}, \quad v \in V \quad (4.27)$$

gdzie:

s_v – numer wieloboku Woronoja sąsiedniego z wielobokiem v ,

$|S_v|$ – łączna liczba wieloboków Woronoja sąsiednich z wielobokiem v .

Ze względu na to, że wieloboki Woronoja mogą charakteryzować się różną wielkością oraz środki geometryczne przystanków w wielobokach, dla których wyznaczany jest potencjał rzeczywisty mogą znajdować się w różnej odległości od granic wieloboków przyjęto dwa poziomy sąsiedztwa – poziom 1 oraz poziom 2. Jest to sposób określenia sąsiedztwa na podstawie odległości między obszarami. W opracowanej metodzie wykorzystywane są zatem dwa podejścia do ustalania sąsiedztwa obszarów:

- Poziom sąsiedztwa 1 – występuje, gdy środek geometryczny przystanku w wieloboku dla którego wyznaczany jest potencjał rzeczywisty znajduje się w odległości nie większej niż 400m od środka geometrycznego wieloboku sąsiedniego.
- Poziom sąsiedztwa 2 – ma miejsce, gdy odległość pomiędzy środkiem geometrycznym przystanku a środkiem geometrycznym wieloboku sąsiedniego wynosi ponad 400m.

Odległość pomiędzy środkiem geometrycznym przystanku a środkiem geometrycznym wieloboku sąsiedniego wyznaczana jest w linii prostej. Zgodnie z tym założeniem w dalszych analizach przyjmuje się tylko wieloboki o poziomie sąsiedztwa 1. Wynika to z faktu, że odległości pomiędzy miejscem rozpoczęcia lub zakończenia podróży a przystankiem publicznego transportu zbiorowego wynoszące ponad 400m są w przypadku transportu autobusowego rzadziej akceptowane przez pasażerów [12]. Przyjęcie tego założenia pozwala na precyzyjne określenie zbioru wieloboków sąsiednich, których potencjał należy uwzględnić przy wyznaczaniu potencjału rzeczywistego.

W celu ustalenia wieloboków sąsiednich ze zbioru \mathbf{S}_v należy ustalić środki geometryczne tych wieloboków. Zbiór $\mathbf{SG}_{\mathbf{S}_v}$ numerów środków geometrycznych wieloboków sąsiednich zapisywany jest następująco:

$$\mathbf{SG}_{\mathbf{S}_v} = \{1_{s_v}, \dots, sg_{s_v}, \dots, |SG_{s_v}|\}, \quad s_v \in \mathbf{S}_v, v \in \mathbf{V} \quad (4.28)$$

gdzie:

sg_{s_v} – środek geometryczny wieloboku sąsiedniego z wielobokiem v ,

$|SG_{s_v}|$ – łączna liczba środków geometrycznych wieloboków sąsiednich z wielobokiem v .

Następnie tworzone jest odwzorowanie l , zadane na iloczynie kartezjańskim $\mathbf{V} \times \mathbf{S}_v$, które przyjmuje wartości 0 lub 1, w następujący sposób:

$$l: \mathbf{V} \times \mathbf{S}_v \rightarrow \{0,1\} \quad (4.29)$$

Odwzorowanie $l(v, s_v)$ przyjmuje wartość 1 jeśli odległość pomiędzy środkiem wieloboku v a środkiem geometrycznym wieloboku sąsiedniego jest równa lub mniejsza 400m. W przeciwnym razie odwzorowanie przyjmuje wartość 0.

W ten sposób tworzony jest zbiór $\mathbf{S1}_v$, zawierający tylko wieloboki sąsiednie o poziomie sąsiedztwa 1 jako:

$$\mathbf{S1}_v = \{s_v: l(v, s_v) = 1, s_v \in \mathbf{S}_v\}, v \in \mathbf{V} \quad (4.30)$$

Kolejno wyznaczany jest ważony potencjał teoretyczny ΛWT_{s_v} dla każdego wieloboku sąsiedniego s_v ze zbioru $\mathbf{S1}_v$, w następujący sposób:

$$\Lambda WT_{s_v} = y \cdot \Lambda T_{s_v} [-], \quad s_v \in \mathbf{S1}_v, v \in \mathbf{V} \quad (4.31)$$

gdzie:

y – waga przypisana wielobokom o pierwszym poziomie sąsiedztwa.

Waga y jest wielkością stałą dla wszystkich wieloboków. Odpowiada ona wielkości potencjału teoretycznego wieloboku sąsiedniego o którą, zgodnie z założeniami, powiększa się potencjał teoretyczny wieloboku, dla którego wyznaczany jest potencjał rzeczywisty.

W kolejnym kroku następuje wyznaczenie sumy ΛWZT_v ważonych potencjałów teoretycznych lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w wielobokach o poziomie sąsiedztwa 1 dla każdego wieloboku:

$$\Lambda WZT_v = \sum_{s_v=1}^{|S1_v|} \Lambda WZT_{s_v} [-], \quad v \in V \quad (4.32)$$

W ostatnim kroku szóstego etapu opracowanej metody następuje wyznaczenie potencjałów rzeczywistych dla każdego wieloboku. W tym celu potencjał teoretyczny wieloboku, dla którego wyznaczany jest potencjał rzeczywisty ΛR_v powiększany jest o sumę ważonych potencjałów teoretycznych wieloboków sąsiednich, o poziomie sąsiedztwa 1:

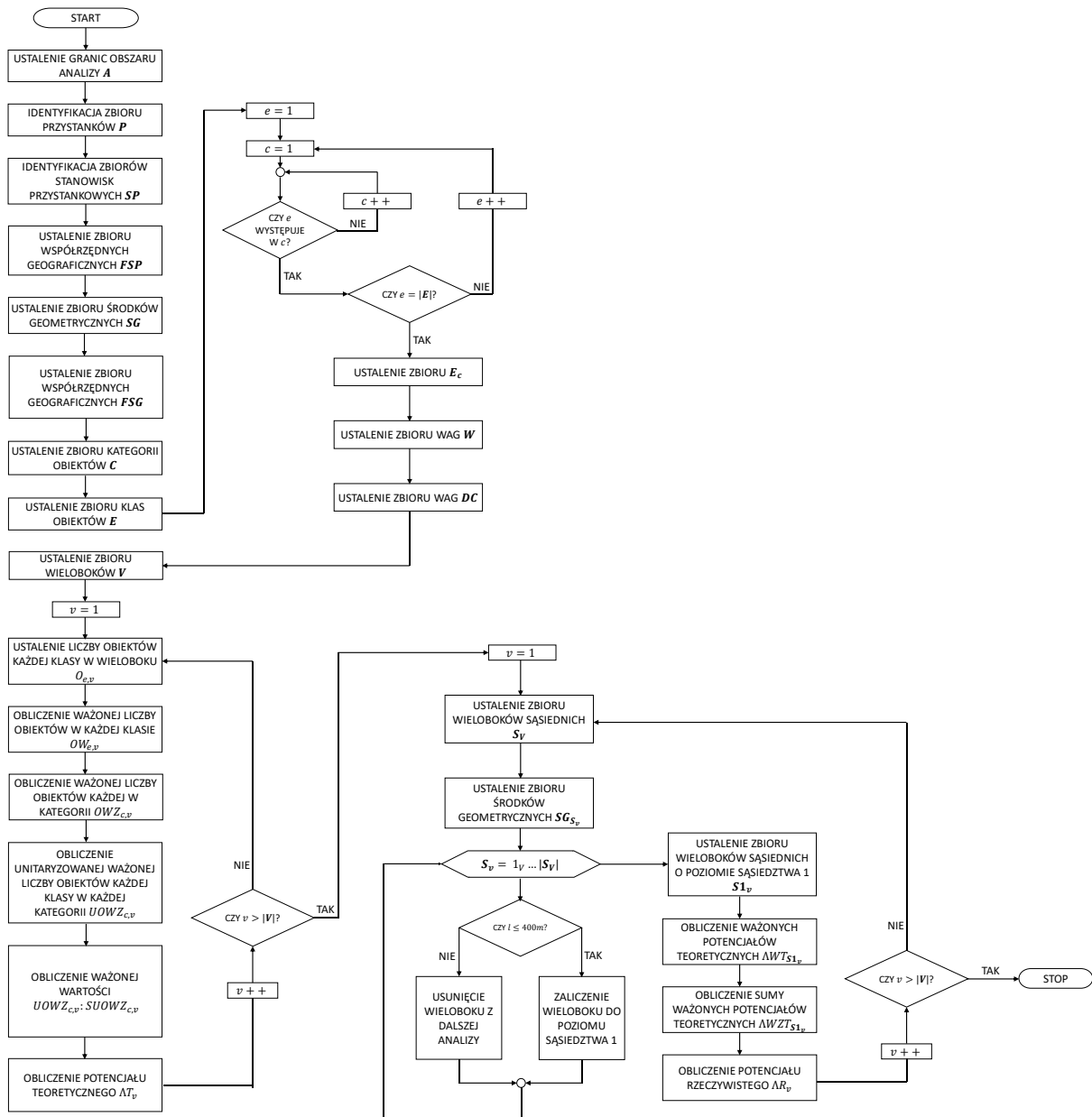
$$\Lambda R_v = \Lambda T_v + \Lambda WZT_v [-], \quad v \in V \quad (4.33)$$

Zbiór wartości potencjału teoretycznego ΛR lokalizacji przystanków we wszystkich wieloboków Woronoja, na które został podzielony obszar analizy można zatem zapisać jako:

$$\Lambda R = [\Lambda R_v : \quad v \in V] \quad (4.34)$$

4.5 Algorytm metody

Na rysunku 4.8 pokazano algorytm opracowanej metody oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. Jest to schemat blokowy pokazujący następstwo czynności realizowanych w opracowanej metodzie. Algorytm zawiera wszystkie czynności zawarte w opisie formalnym metody, wraz ze wskazaniem miejsc, gdzie obliczenia mają charakter iteracyjny. Algorytm może stanowić punkt wyjścia do opracowania dedykowanego narzędzia, umożliwiającego implementację opracowanej metody oraz wspomagającego proces obliczeniowy.



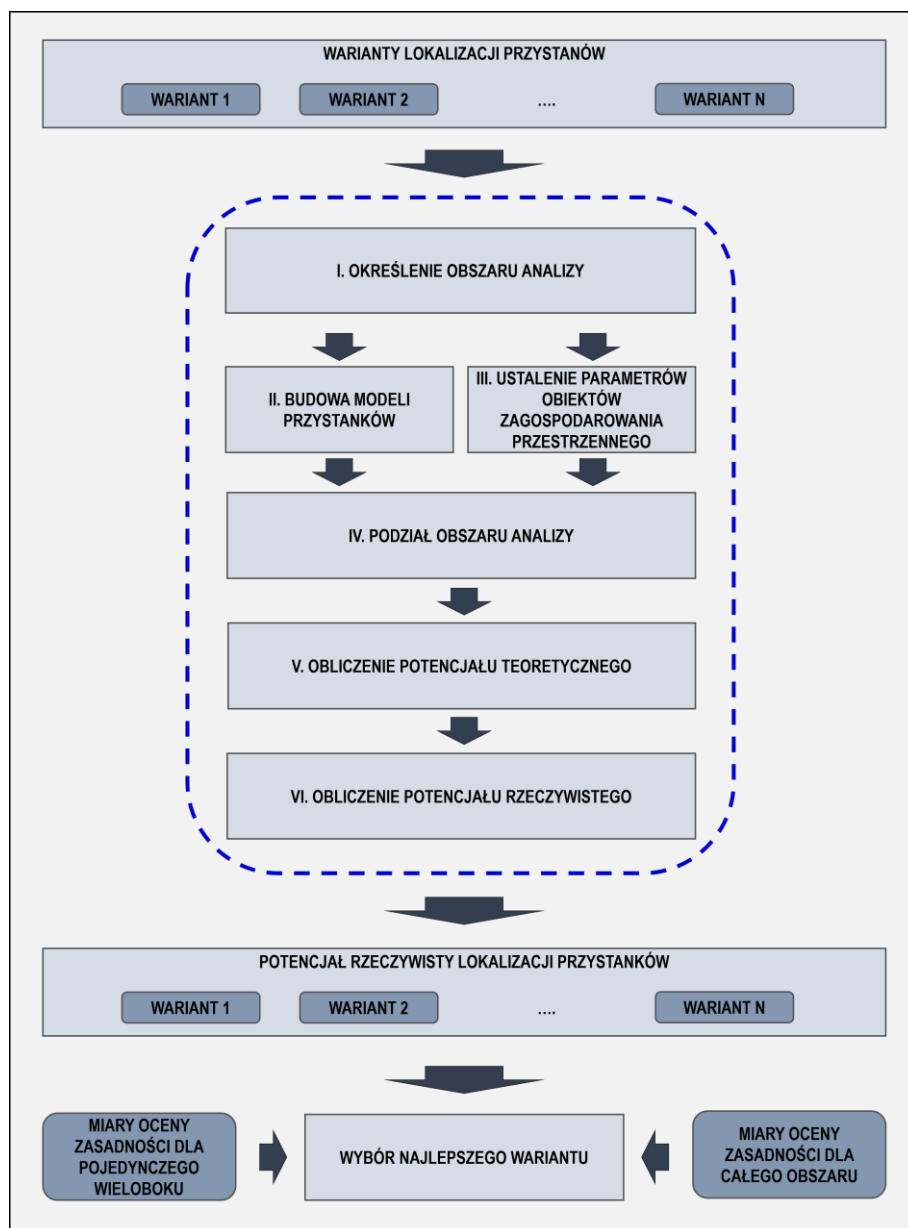
Rys. 4.8 Algorytm opracowanej metody
Źródło: Opracowanie własne

4.6 Możliwości zastosowania opracowanej metody

Opracowana metoda oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego ma szerokie spektrum zastosowań jako narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji o lokalizacji przystanków. Do przykładowych zastosowań opracowanej metody można zaliczyć:

- wyбір najkorzystniejszej lokalizacji ze zbioru wariantów lokalizacji,
- ustalenie lokalizacji przystanków w obszarze bez istniejących przystanków,
- ocenę zasadności zmiany lokalizacji przystanku.

Na rysunku 4.9 pokazano schemat postępowania przy wyborze najkorzystniejszej lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego ze zbioru wariantów lokalizacji z zastosowaniem opracowanej metody.



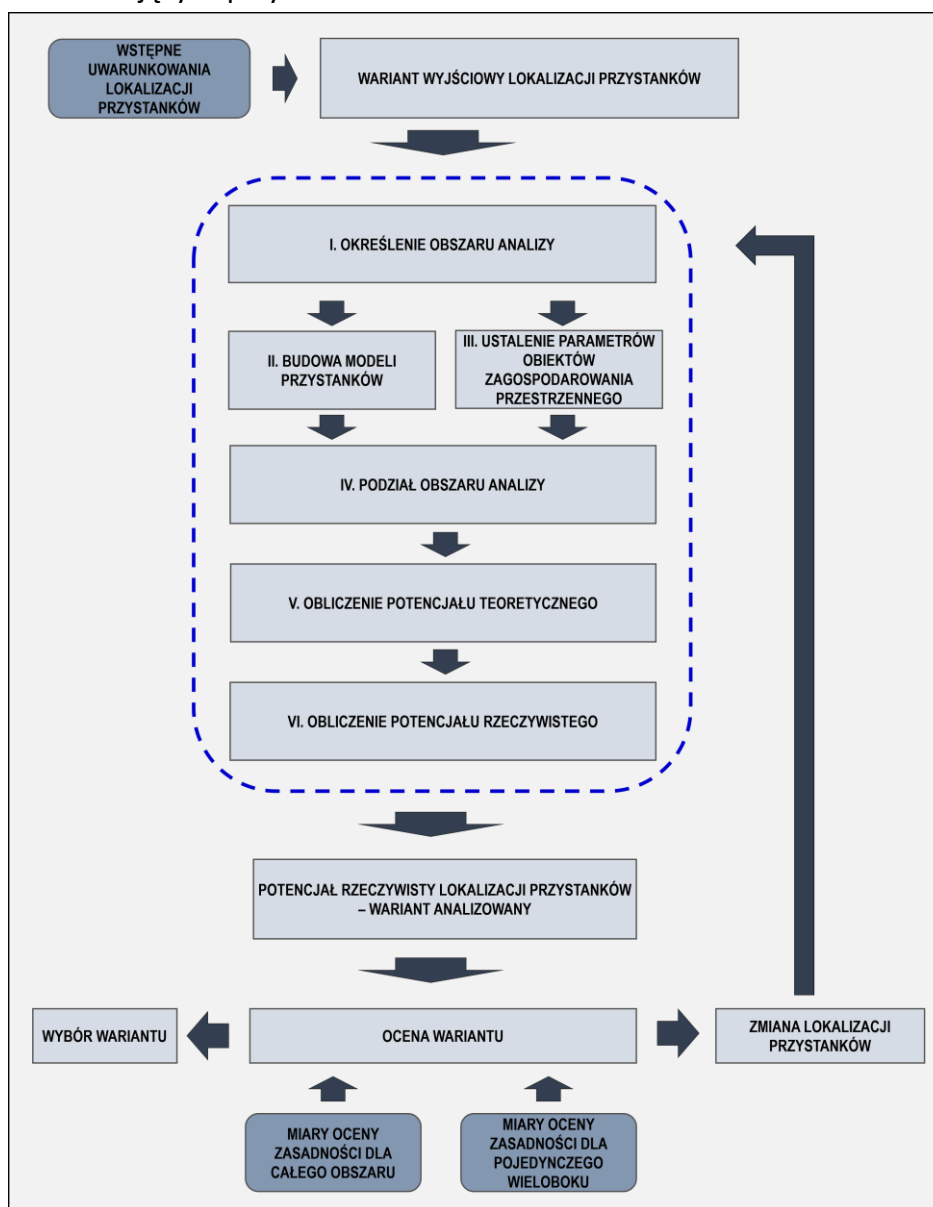
Rys. 4.9 Zastosowanie opracowanej metody przy wyborze najkorzystniejszej lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego ze zbioru wariantów lokalizacji

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z rysunkiem 4.9 wybór najkorzystniejszej lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego odbywa się ze zbioru zdefiniowanych wcześniej wariantów lokalizacji. Opracowana metoda nie służy do identyfikacji tych wariantów, pozwala jednak oszacować potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanku w każdym wariantcie, a następnie porównać warianty ze sobą. Wybór najlepszego wariantu odbywa się na podstawie przyjętych miar

oceny zasadności lokalizacji przystanków. Miary te można podzielić na miary dla pojedynczego przystanku (np. minimalną wartość potencjału rzeczywistego jaką musi charakteryzować się wielobok, aby lokalizować w nim przystanek publicznego transportu zbiorowego) oraz na miary dla całego obszaru (np. średni potencjał w obszarze analizy).

Na rysunku 4.10 pokazano schemat postępowania przy ustaleniu lokalizacji przystanków w obszarze bez istniejących przystanków.



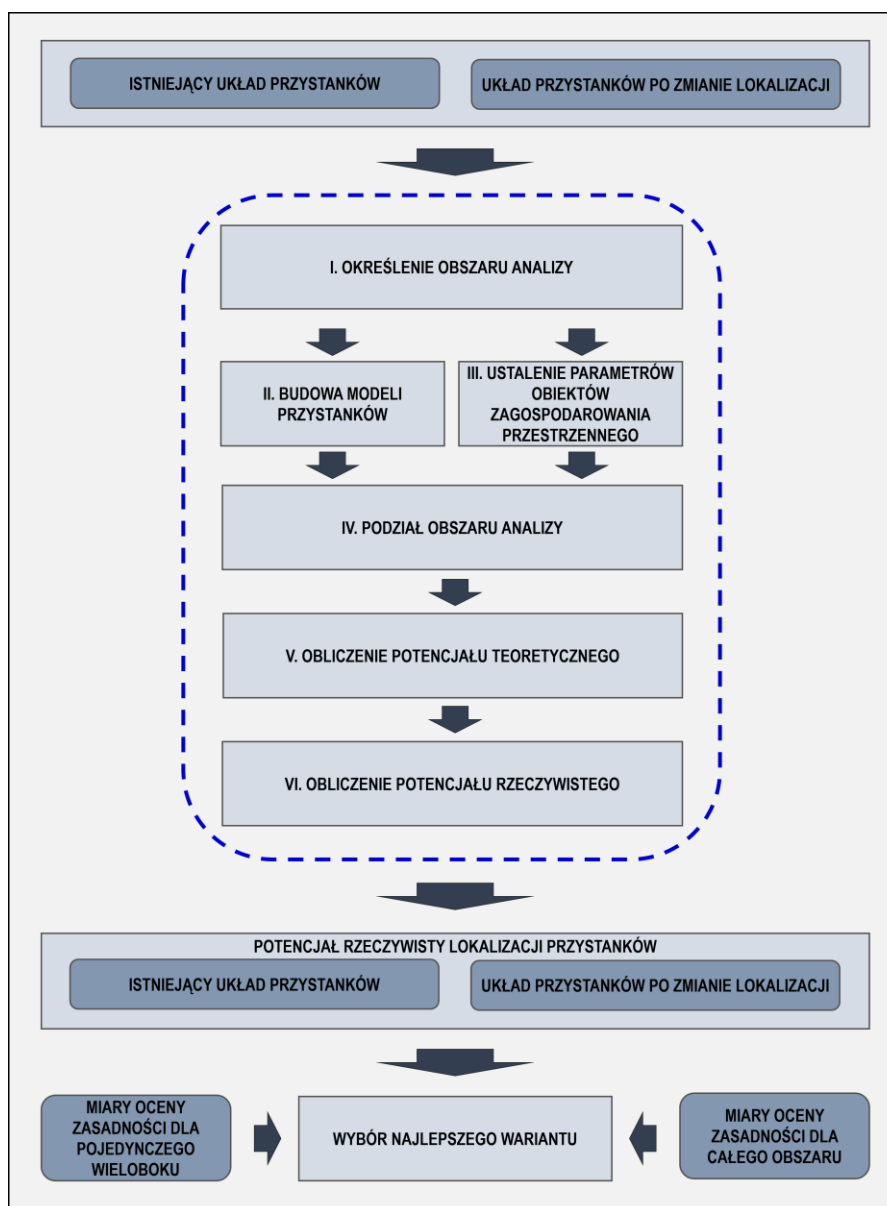
Rys. 4.10 Zastosowanie opracowanej metody przy ustaleniu lokalizacji przystanków w obszarze bez istniejących przystanków

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z rysunkiem 4.10 w przypadku braku przystanków w obszarze analizy należy ustalić wyjściowy wariant lokalizacji przystanków na podstawie przyjętych uwarunkowań lokalizacji. Następnie, zgodnie z proponowaną metodą szacowany jest potencjał rzeczywisty

lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego dla wariantu wyjściowego i dokonywana jest ocena wyników na podstawie przyjętych miar zasadności, zarówno dla pojedynczego wieloboku jak i dla całego obszaru. Jeśli wyniki zostaną uznane za satysfakcjonujące, wariant zostaje zaakceptowany, a jeśli wyniki są poniżej oczekiwanego poziomu następuje zmiana lokalizacji przystanków i ponowne wyznaczenie potencjału rzeczywistego dla skorygowanego wariantu wyjściowego.

Na rysunku 4.11 pokazano schemat postępowania przy ocenie zasadności zmiany lokalizacji przystanku.



Rys. 4.11 Zastosowanie opracowanej metody przy ocenie zasadności zmiany lokalizacji przystanku

Źródło: Opracowanie własne

W podejściu pokazanym na rysunku 4.11 proponowana metoda ma zastosowanie do oszacowania potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego dla istniejącego układu przystanków. Następnie dokonuje się obliczeń dla układu, w którym nastąpiła zmiana lokalizacji jednego przystanku. Kolejno wyniki dla obu układów są porównywane ze sobą na podstawie przyjętych miar oceny zasadności lokalizacji przystanków. Podobnie jak w poprzednich podejściach stosuje się miary dla pojedynczego wieloboku jak i dla całego obszaru.

5. WERYFIKACJA METODY OSZACOWANIA POTENCJAŁU LOKALIZACJI PUBLICZNEGO TRANSPORTU ZBIOROWEGO

5.1 Założenia i procedura weryfikacji opracowanej metody

Proces weryfikacji został przeprowadzony zgodnie z następującymi założeniami:

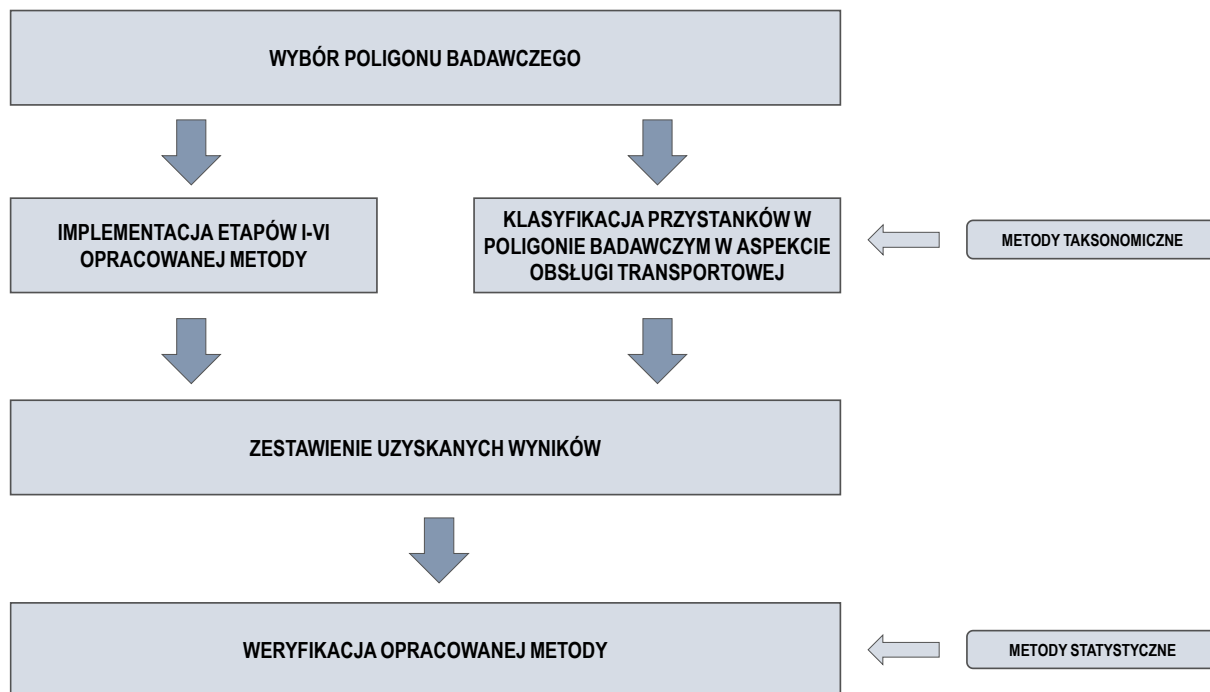
- Ocena działania metody została przeprowadzona na podstawie porównania wyznaczonych wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w wybranym obszarze z liczbą osób korzystających z przystanków w tym obszarze.
- Zgodność wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego i liczby osób korzystających z przystanku została oceniona za pomocą metod statystycznych.
- Na potrzeby weryfikacji przystanki zostały sklasyfikowane w aspekcie obsługi transportowej. Założenie to wynika z faktu, że poziom obsługi transportowej może wpływać na liczbę osób korzystających z przystanków. Przystanki zlokalizowane w wielobokach Woronoja charakteryzujących się dużym potencjałem mogą być wybierane przez niewielką liczbę pasażerów, ponieważ oferta transportowa może być niewłaściwie dostosowana do potrzeb.

W celu przeprowadzenia weryfikacji wykonano następujące kroki:

1. Wybór poligonu badawczego – obszaru, w którym znajdują się przystanki, na podstawie których przeprowadzono weryfikację.
2. Implementacja etapów I – VI opracowanej metody w wybranym obszarze (poligonie badawczym).
3. Klasyfikacja przystanków w poligonie badawczym w aspekcie obsługi transportowej z zastosowaniem metod taksonomicznych.
4. Zestawienie wyznaczonych wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego dla wieloboków w poligonie badawczym, z uwzględnieniem klas obsługi transportowej.
5. Weryfikacja działania opracowanej metody, z wykorzystaniem metod statystycznych, na podstawie porównania wyznaczonych wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji

przystanków publicznego transportu zbiorowego w wybranym obszarze z liczbą osób korzystających z przystanków w tym obszarze.

Schemat postępowania został przedstawiony na rysunku 5.1:



Rys. 5.1 Schemat postępowania podczas weryfikacji opracowanej metody

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z rysunkiem 5.1 proces weryfikacji składa się z pięciu etapów. Po wyborze poligonu badawczego, kolejne dwa etapy: implementacja sześciu etapów opracowanej metody oraz klasyfikacja przystanków w aspekcie obsługi transportowej były realizowane jednocześnie. Następnie dokonano zestawienia uzyskanych wartości potencjału lokalizacji przystanków z wynikami klasyfikacji przystanków. Kolejno przeprowadzono weryfikację metody, z zastosowaniem analizy korelacji.

5.2 Opis poligonu badawczego

5.2.1 Ogólna charakterystyka obszaru

Możliwość aplikacji proponowanej metody oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego została zweryfikowana na przykładzie kilkudziesięciu przystanków zlokalizowanych w trzech miastach poddanych analizie:

- a. Będzinie,
- b. Dąbrowie Górniczej,

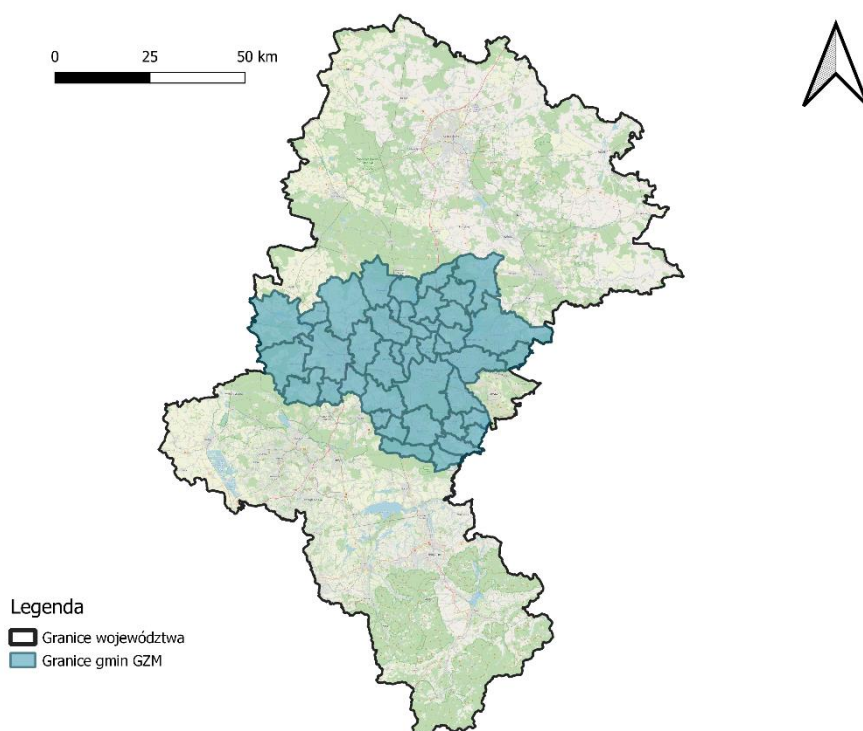
c. Sosnowcu.

Kluczowym czynnikiem decydującym o wyborze poligonu badawczego była dostępność danych o napełnieniach pojazdów realizujących kursy w tych miastach. W okresie analizy wybrane przystanki były w pełni obsługiwane taborem wyposażonym w automatyczne systemy zliczania pasażerów.

Miasta, w których zlokalizowane były analizowane przystanki, znajdują się w centralnej części województwa śląskiego i jednocześnie należą do Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM). GZM to związek metropolitalny znajdujący się w całości na terenie województwa śląskiego. Został utworzony w dniu 1 lipca 2017 roku rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 26 czerwca 2017 roku w sprawie utworzenia w województwie śląskim związku metropolitalnego pod nazwą „Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia” i na podstawie ustawy z dnia 9 marca 2017 r. o związku metropolitalnym w województwie śląskim [117], [155]. Obecnie Górnośląsko-Zagłębiowską Metropolię tworzy 41 gmin: 26 gmin miejskich (miast), 13 gmin wiejskich oraz 2 gminy miejsko-wiejskie. GZM zajmuje powierzchnię ponad 2500km², a cały obszar zamieszkuje ponad 2 300 000 mieszkańców [135]. Największe miasta Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii pod względem liczby mieszkańców to Katowice, Sosnowiec, Gliwice, Zabrze i Bytom [135].

Należy zauważyć, że GZM charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem pod względem wielkości i liczby ludności poszczególnych gmin. W największym mieście, Katowicach, mieszka ponad 280 000 mieszkańców, podczas gdy w najmniejszej miejscowości – gminie Kobiór – mieszka ok. 5 000 osób [135]. Metropolię cechuje także wysoki poziom zróżnicowania poszczególnych gmin w aspekcie zagospodarowania przestrzennego – np. w mieście Chorzów udział obszarów zabudowanych i zurbanizowanych stanowi ok. 70% całej powierzchni miasta, a w przypadku gmin Sośnicowice czy Kobiór jedynie ok. 5% [135]. Tak zróżnicowana charakterystyka obszaru Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii stanowi wyzwanie w kontekście planowania oraz organizacji publicznego transportu zbiorowego na jej obszarze.

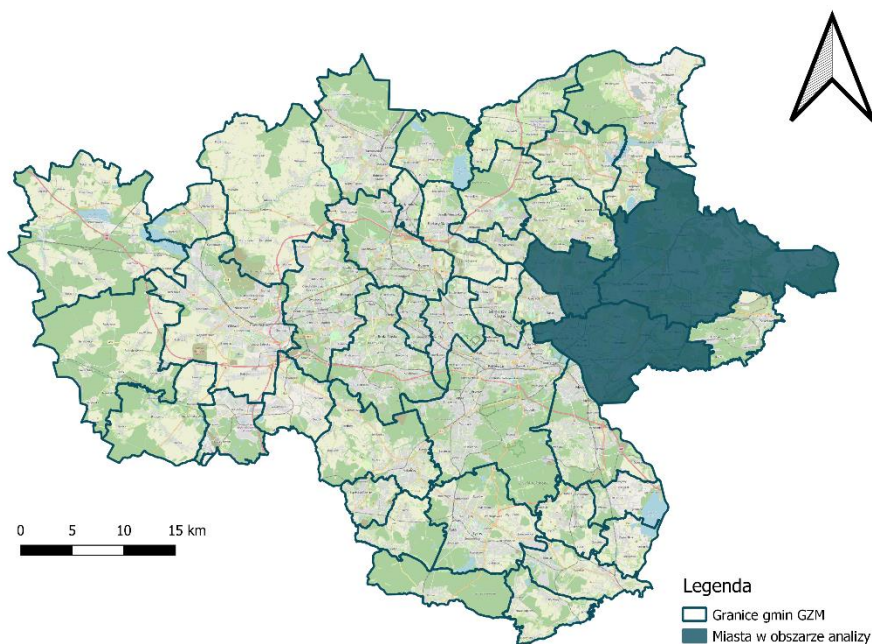
Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia znajduje się w centralnej części województwa i rozciąga się od granicy z województwem opolskim na zachodzie do granicy z województwem małopolskim na wschodzie. Powierzchnia GZM stanowi około 20% powierzchni całego województwa śląskiego [135]. Obszar GZM na tle województwa śląskiego został pokazany na rysunku 5.2.



Rys. 5.2 Obszar GZM na tle województwa śląskiego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Miasta, w których zlokalizowane zostały badane przystanki, znajdują się we wschodniej części GZM. Ich lokalizacja na tle całego obszaru Metropolii została pokazana na rysunku 5.3.



Rys. 5.3 Miasta poddane analizie na tle GZM

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Wszystkie miasta, w których zlokalizowane są analizowane przystanki, znajdują się na terenie Zagłębia Dąbrowskiego. Co więcej, pod względem liczby ludności są to trzy największe miasta zagłębiowskiej części Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii.

W tabeli 5.1 pokazano podstawowe dane o miastach, w których znajdują się analizowane przystanki.

Tabela 5.1: Podstawowe dane o miastach, w których znajdują się analizowane przystanki

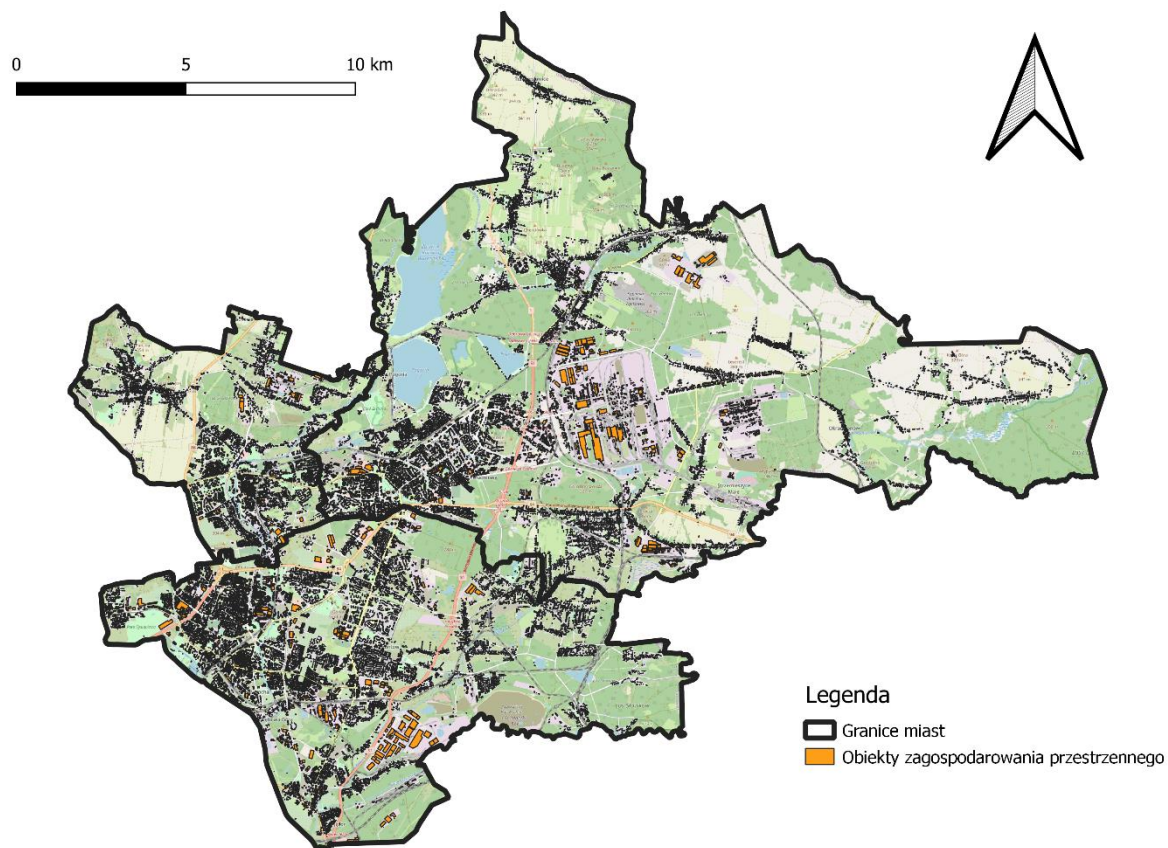
Cecha	Będzin	Dąbrowa Górnicza	Sosnowiec
1	2	3	4
Liczba ludności [tys. osób]	55,1	115,9	191,7
Powierzchnia [km ²]	37	189	91
Gęstość zaludnienia [osób/ km ²]	1489	613	2106

Źródło: [135]

Zgodnie z danymi w tabeli 5.1 najwięcej osób mieszka w Sosnowcu – prawie 200 000. W Dąbrowie Górniczej liczba mieszkańców również wynosi ponad 100 000, a w Będzinie ok. 55 tysięcy. Będzin jest również najmniejszym miastem pod względem powierzchni. Powierzchnia tego miasta jest ponad pięciokrotnie mniejsza niż powierzchnia Dąbrowy Górniczej i prawie 2,5 razy mniejsza niż powierzchnia Sosnowca. Z kolei Sosnowiec jest miastem charakteryzującym się największą gęstością zaludnienia. Natomiast Dąbrowę Górniczą cechuje najniższy poziom tej miary [135].

Wszystkie miejscowości tworzące obszar analizy charakteryzują się zróżnicowaną charakterystyką przestrzenną, co zostało pokazane na rysunku 5.4. W przypadku Dąbrowy Górniczej najgęściej zabudowana część miasta znajduje się w zachodniej części, przy granicy z Będzinem oraz Sosnowcem. W tej części miasta znajdują się także obiekty administracji publicznej oraz duże osiedla mieszkaniowe z wysoką zabudową. W północnej części miasta zlokalizowana jest zabudowa mieszkalna, a także zbiorniki wodne Pogoria, stanowiące atrakcję turystyczną. W centralnej części miasta zlokalizowany jest duży kombinat metalurgiczny ArcelorMittal Poland Oddział w Dąbrowie Górniczej, będący ważnym miejscem pracy. Wschodnia część miasta charakteryzuje się mniej gęstą zabudową mieszkalną, występują także tereny leśne oraz użytki rolne. Również w Sosnowcu najgęstsza zabudowa znajduje się w zachodniej części miasta. W centralnej części zlokalizowane są z kolei duże osiedla mieszkaniowe z wysoką zabudową. Część wschodnia charakteryzuje się głównie niską

zabudową jednorodziną, występują tu także obszary leśne oraz użytki rolne. Miasto Będzin cechuje się o wiele mniejszą powierzchnią w porównaniu do dwóch pozostałych miast. Centrum tego miasta znajduje się w jego południowo-wschodniej części, tam też zlokalizowane są budynki administracji publicznej oraz główny dworzec kolejowy.



Rys. 5.4 Granice administracyjne Będzina, Dąbrowy Górniczej oraz Sosnowca
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

5.2.2 Charakterystyka systemu publicznego transportu zbiorowego

Organizatorem publicznego transportu zbiorowego w gminach tworzących Górnośląsko-Zagłębiowską Metropolię jest Zarząd Transportu Metropolitalnego (ZTM). Jednostka ta została powołana do życia uchwałą Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii w 2017 roku. Z kolei w 2019 roku ZTM przejął obowiązki organizatora transportu publicznego na obszarze Metropolii od dotychczasowych organizatorów: KZK GOP, MZKP w Tarnowskich Górach oraz PKM Tychy [138].

W Będzinie, Dąbrowie Górniczej i Sosnowcu przewozy publicznym transportem zbiorowym realizowane są z wykorzystaniem autobusów, tramwajów oraz pociągów. Na obszarze miasta Będzin zlokalizowano 121 przystanków publicznego transportu zbiorowego oraz 3 stacje kolejowe i przystanki osobowe. W Dąbrowie Górniczej takich obiektów jest odpowiednio 202 i 7, a w Sosnowcu 194 i 6 [138].

W tabeli 5.2 pokazano linie publicznego transportu zbiorowego obsługujące przystanki w analizowanych miastach.

Tabela 5.2: Linie publicznego transportu zbiorowego w analizowanych miastach

Miasto	Linie publicznego transportu zbiorowego
1	2
Będzin	16, T21, T22, 24, T24, 25, 26, 27, 28, T35, 40, 42, 43, 61, 67, 79, 84, 88, 90, 97, 99, 100, 104, 107, 116, 124, 125, 133, 150, 188, 200, 235, 242, 243, 260, 269, 299, 612, 616, 625, 638, 641, 721, 722, 800, 805, 807, 813, 814, 817, 901, 916, 921, 928, 902N, 904N, M103, M19, M23
Dąbrowa Górnicza	16, 18, T21, T22, 25, 27, 28, 34, 49, 55, 84, 116, 182, 237, 242, 243, 260, 603, 604, 606, 609, 612, 637, 638, 639, 640, 641, 644, 645, 656, 690, 716, 807, 808, 814, 928, 979, 984, 902N, 903N, 904N, M103, M109, M2, T-21
Sosnowiec	11, 18, T21, T24, 26, T27, 28, 34, T35, 40, 49, 55, 61, 88, 90, 91, 100, 106, 116, 150, 154, 160, 160S, 182, 188, 220, 235, 260, 299, 612, 616, 622, 690, 723, 800, 805, 807, 808, 813, 814, 817, 835, 911, 928, 935, 902N, 903N, 904N, 911N, M13, M15, M17, M19, M2, M23, M4, T-15, T-26, Z-26

Źródło: [138]

Zgodnie z danymi w tabeli 5.2 najwięcej linii publicznego transportu zbiorowego, 60, przebiega przez Będzin. Na obszarze Dąbrowy Górniczej wyznaczono trasy 45 linii, a na obszarze Sosnowca 59.

5.3 Struktura danych wykorzystywanych w badaniach

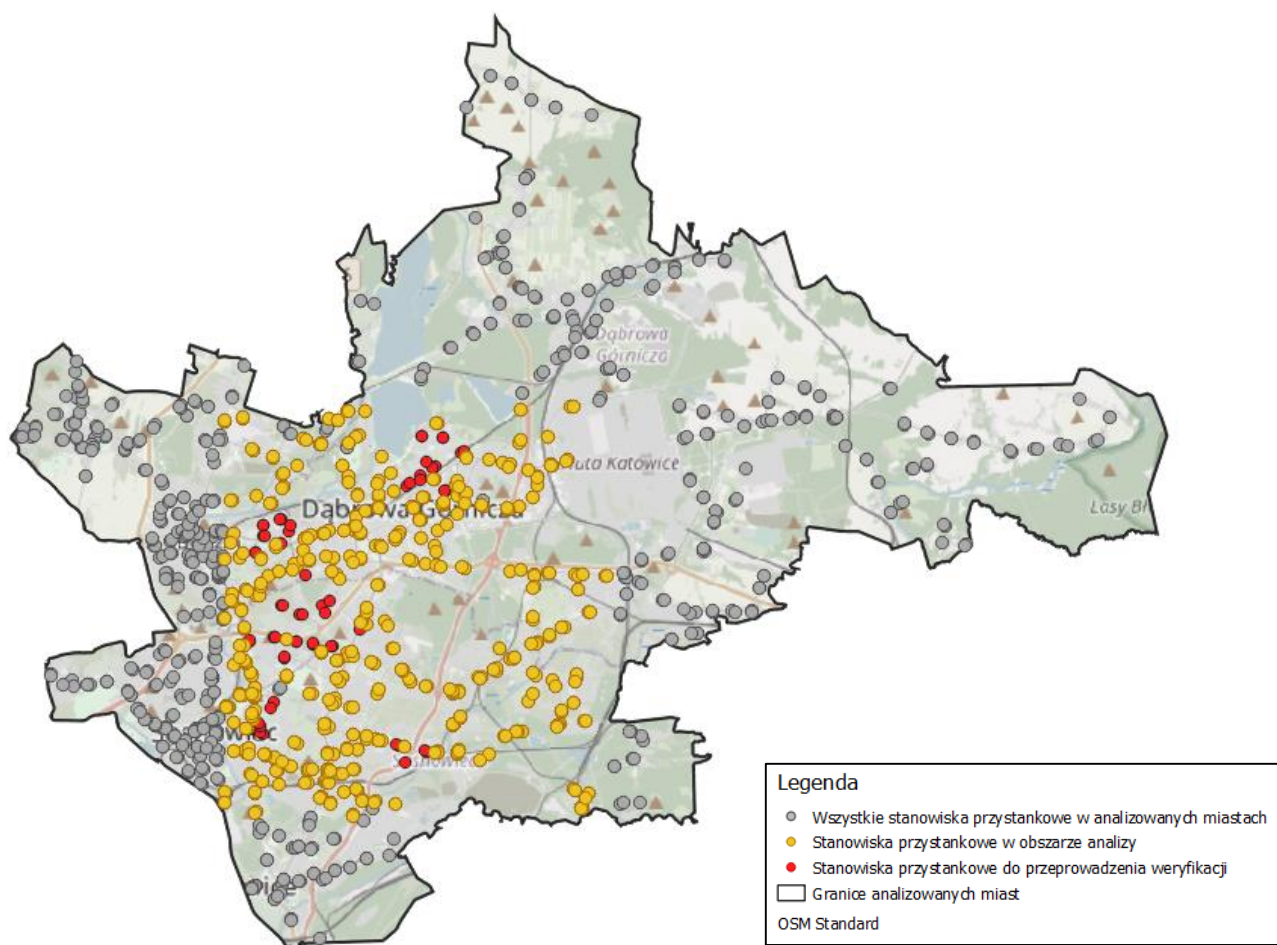
W celu przeprowadzenia procesu weryfikacji opracowanej metody należało pozyskać dane o obsłudze obszaru poddanego analizie publicznym transportem zbiorowym, dane o obiektach zagospodarowania przestrzennego oraz dane o liczbie osób korzystających z przystanków publicznego transportu zbiorowego w obszarze analizy.

5.3.1 Dane o obsłudze obszaru analizy publicznym transportem zbiorowym

Dane o obsłudze obszaru analizy publicznym transportem zbiorowym zostały pozyskane ze strony internetowej Zarządu Transportu Metropolitalnego [138]. Aby precyzyjnie określić obszar analizy zidentyfikowano zbiór przystanków, które zostały poddane badaniom. We wszystkich miastach poddanych analizie zidentyfikowano łącznie 517 przystanków, składających się z 1129 stanowisk przystankowych. Zbiór ten został ograniczony do wybranych 245 przystanków, składających się z 479 stanowisk przystankowych. Na podstawie lokalizacji tych przystanków określono granice obszaru analizy.

Weryfikacja metody mogła zostać przeprowadzona jedynie dla przystanków, w przypadku których dla wszystkich stanowisk przystankowych dostępne były kompletne i spójne dane o liczbie osób rozpoczynających i kończących podróż publicznym transportem zbiorowym na tych stanowiskach. Mając na uwadze to ograniczenie spośród 245 przystanków wybrano 35 obiektów, składających się z 61 stanowisk przystankowych, dla których pozyskano kompletne dane o liczbie osób korzystających z tych przystanków. Na podstawie tego zbioru przystanków przeprowadzono weryfikację metody. Pozostałe 210 przystanków posłużyło do budowy wieloboków Woronoja, które z kolei były uwzględnione w dalszych analizach jako wieloboki sąsiednie.

Na rysunku 5.5 zaprezentowano wszystkie stanowiska przystankowe w miastach poddanych analizie, z podziałem na przystanki uwzględnione w obszarze analizy oraz przystanki na podstawie których przeprowadzono weryfikację.



Rys. 5.5 Wszystkie stanowiska przystankowe w miastach poddanych analizie

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

W tabeli 5.3 przedstawiono listę przystanków do przeprowadzenia weryfikacji, wraz z podstawowymi charakterystykami:

Tabela 5.3: Lista przystanków do przeprowadzenia weryfikacji

Lp.	Nazwa przystanku	Miasto	Liczba stanowisk	Liczba linii	Liczba kursów w dobie
1	2	3	4	5	6
1.	Dąbrowa Górnicza Dziewiąty	Dąbrowa Górnicza	2	2	49
2.	Dąbrowa Górnicza Trzydziesty	Dąbrowa Górnicza	2	2	49
3.	Gołonóg Liceum	Dąbrowa Górnicza	2	3	78

Lp.	Nazwa przystanku	Miasto	Liczba stanowisk	Liczba linii	Liczba kursów w dobie
1	2	3	4	5	6
4.	Gołonóg Wczasowa	Dąbrowa Górnicza	2	3	78
5.	Józefów Auchan	Sosnowiec	2	2	63
6.	Józefów Komuny Paryskiej	Sosnowiec	1	2	30
7.	Józefów Makro	Sosnowiec	1	1	30
8.	Józefów Sokolska	Sosnowiec	1	2	33
9.	Klimontów Hospicjum	Sosnowiec	2	3	76
10.	Klimontów Kleeberga	Sosnowiec	1	1	45
11.	Klimontów Ośrodki Działkowe	Sosnowiec	2	3	74
12.	Koszelew Kościół	Będzin	2	3	104
13.	Ksawera Kościół	Będzin	2	3	104
14.	Ksawera Siemońska	Będzin	2	3	104
15.	Ksawera Staszica	Będzin	2	3	104
16.	Ksawera Szymborskiej	Będzin	2	3	48
17.	Łęknice Niemcewicz	Dąbrowa Górnicza	1	1	7
18.	Łęknice Osiedle	Dąbrowa Górnicza	2	3	78
19.	Łęknice Parkowa	Dąbrowa Górnicza	2	3	78
20.	Osiedle Mydlice Szkoła	Dąbrowa Górnicza	1	1	16
21.	Podłęknice	Dąbrowa Górnicza	2	2	49
22.	Sielec Droga do Środuli	Sosnowiec	2	1	45
23.	Sielec Jaskótek	Sosnowiec	2	1	45
24.	Sielec Klimontowska	Sosnowiec	2	1	16

Lp.	Nazwa przystanku	Miasto	Liczba stanowisk	Liczba linii	Liczba kursów w dobie
1	2	3	4	5	6
25.	Sielec Kombajnistów	Sosnowiec	2	1	45
26.	Sielec Narutowicza	Sosnowiec	2	1	27
27.	Środula Cmentarz	Sosnowiec	2	1	27
28.	Środula Dolna	Sosnowiec	2	2	63
29.	Środula Kolonia Zuzanna	Sosnowiec	2	1	33
30.	Środula Północna	Sosnowiec	2	2	69
31.	Środula Prusa	Sosnowiec	2	1	36
32.	Środula Wapienna	Sosnowiec	2	2	69
33.	Warpie 1 Maja	Będzin	2	3	22
34.	Zagórze Mec Osiedle	Sosnowiec	2	1	27
35.	Zagórze Technikum	Sosnowiec	1	2	47

Źródło: opracowanie własne na podstawie [138]

Zgodnie z danymi w tabeli 5.3 20 przystanków zlokalizowanych jest w Sosnowcu, 9 znajduje się w Dąbrowie Górniczej, a 6 w Będzinie.

5.3.2 Klasyfikacja przystanków w aspekcie obsługi transportowej

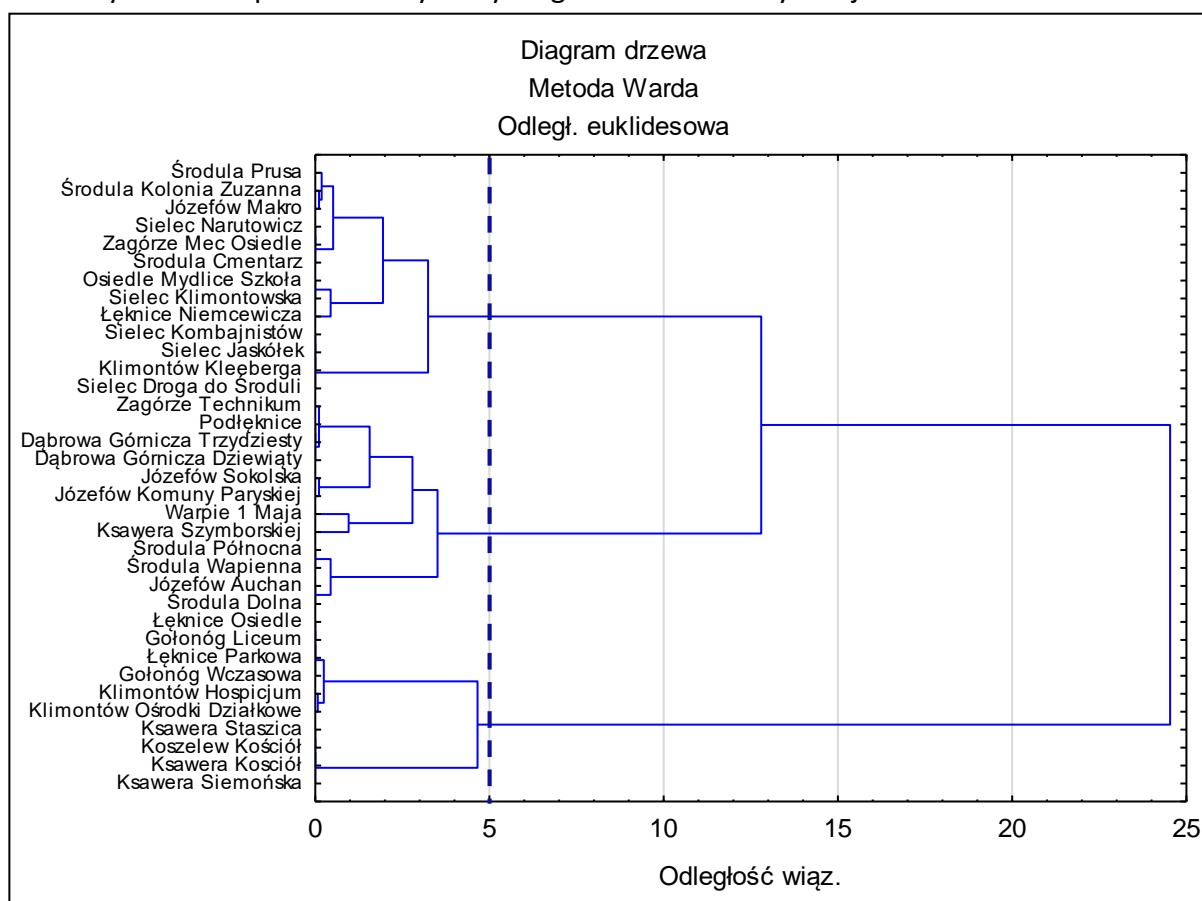
Klasyfikacja przystanków nie stanowi etapu opracowanej metody, niemniej jednak została przeprowadzona na potrzeby weryfikacji. Przyjęto założenie, że nie należy porównywać uzyskanych wyników potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków z liczbą osób korzystających z przystanków, bez uwzględnienia obsługi transportowej. Założenie to wynika z faktu, że nawet przystanki zlokalizowane w wielobokach, które charakteryzują się wysokim potencjałem lokalizacji przystanków mogą być wybierane przez niewielką liczbę pasażerów, np. wtedy gdy poziom obsługi transportowej jest niedostosowany do istniejących potrzeb przewozowych pasażerów.

W wyniku przeprowadzonej klasyfikacji uzyskano klasy przystanków, charakteryzujące poziom obsługi transportowej tych przystanków. Weryfikacja opracowanej metody została przeprowadzona odrębnie dla przystanków każdej klasy, co oznacza, że zbiór przystanków, dla

których przeprowadzono weryfikację został w wyniku klasyfikacji podzielony na trzy podzbiory. W każdym z tych podzbiorów oddzielnie porównano uzyskane wyniki oszacowania potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego z liczbą osób korzystających z przystanków, uzyskaną na podstawie pomiarów.

Klasyfikacja przystanków została wykonana za pomocą metod taksonomicznych, przy zastosowaniu oprogramowania Statistica. Do przeprowadzenia klasyfikacji zastosowano jedną z metod aglomeracyjnych, Metodą Warda, na podstawie odległości euklidesowej. Jako zmienne do klasyfikacji przyjęto charakterystyki związane z obsługą transportową, tj. liczbę linii oraz liczbę kursów w dobie z każdego przystanku.

Na rysunku 5.6 pokazano uzyskany diagram drzewa klasyfikacji.

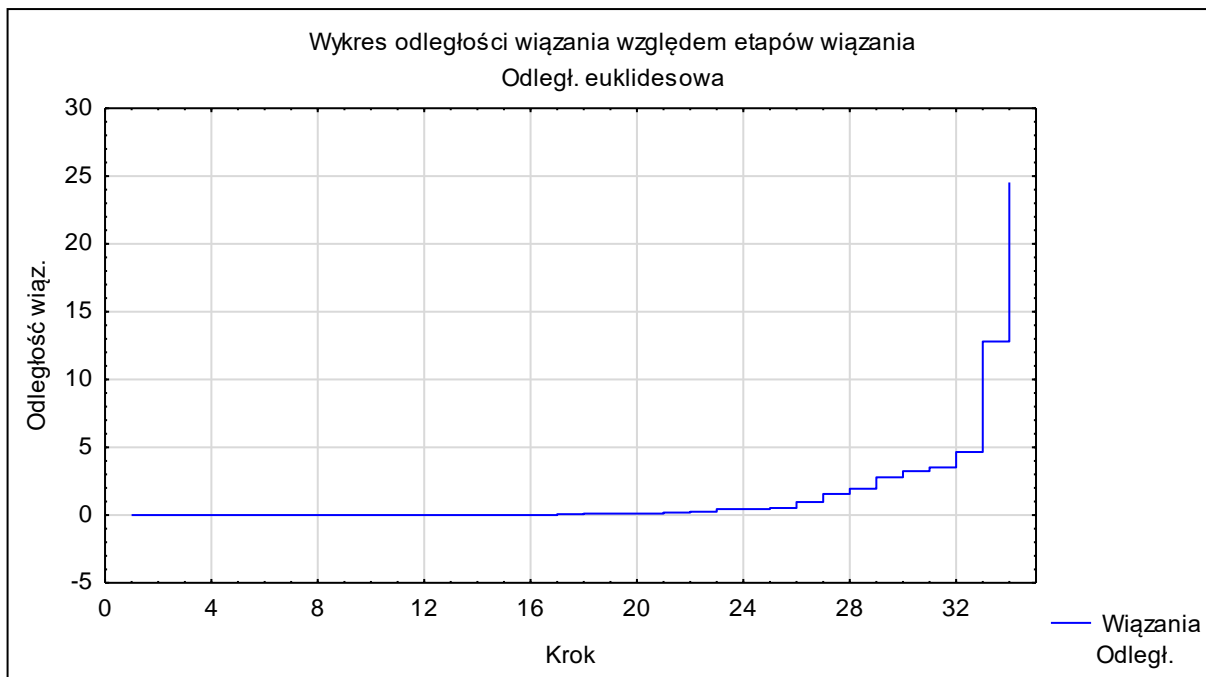


Rys. 5.6 Diagram drzewa klasyfikacji przystanków, na podstawie których przeprowadzono weryfikację

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z rysunkiem 5.6 zbiór klasyfikowanych przystanków można podzielić na trzy podstawowe klasy, przy odległości pomiędzy klasami równej 5.

Na rysunku 5.7 pokazano odległość wiązania poszczególnych skupień w kolejnych krokach klasyfikacji.



Rys. 5.7 Odległość wiązania w kolejnych krokach klasyfikacji

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z rysunkiem 5.7 przez ponad trzydzieści kroków procesu klasyfikacji odległości wiązania kolejnych skupień były niewielkie i dopiero po trzydziestym drugim kroku przekroczyły wartość 5. Oznacza to, że większość klasyfikowanych przystanków charakteryzowała się dość dużym podobieństwem. Z tego powodu uzasadnione wydaje się również przyjęcie podziału zbioru przystanków na trzy klasy.

Przyporządkowanie przystanków do klas zostało zaprezentowane w tabeli 5.4:

Tabela 5.4: Klasy przystanków w aspekcie obsługi transportowej

Lp.	Nazwa	Liczba linii	Liczba kursów w dobie
1	2	3	4
KLASA 1			
1.	Środuła Prusa	1	36
2.	Sielec Kombajnistów	1	45
3.	Środuła Kolonia Zuzanna	1	33
4.	Sielec Jaskótek	1	45
5.	Osiedle Mydlice Szkoła	1	16

Lp.	Nazwa	Liczba linii	Liczba kursów w dobie
1	2	3	4
6.	Klimontów Kleeberga	1	45
7.	Sielec Droga do Środuli	1	45
8.	Sielec Klimontowska	1	16
9.	Sielec Narutowicz	1	27
10.	Zagórze Mec Osiedle	1	27
11.	Środula Cmentarz	1	27
12.	Józefów Makro	1	30
13.	Łęknice Niemcewicz	1	7
KLASA 2			
14.	Zagórze Technikum	2	47
15.	Podłęknice	2	49
16.	Dąbrowa Górnicza Trzydziesty	2	49
17.	Dąbrowa Górnicza Dziewiąty	2	49
18.	Józefów Sokolska	2	33
19.	Józefów Komuny Paryskiej	2	30
20.	Środula Północna	2	69
21.	Środula Wapienna	2	69
22.	Józefów Auchan	2	63
23.	Środula Dolna	2	63
24.	Warpie 1 Maja	3	22
25.	Ksawera Szymborskiej	3	48
KLASA 3			
26.	Łęknice Osiedle	3	78
27.	Gołonóg Liceum	3	78
28.	Łęknice Parkowa	3	78

Lp.	Nazwa	Liczba linii	Liczba kursów w dobie
1	2	3	4
29.	Gołonóg Wczasowa	3	78
30.	Ksawera Staszica	3	104
31.	Koszelew Kościół	3	104
32.	Ksawera Kosciół	3	104
33.	Ksawera Siemońska	3	104
34.	Klimontów Hospicjum	3	76
35.	Klimontów Ośrodki Działkowe	3	74

Źródło: opracowanie własne

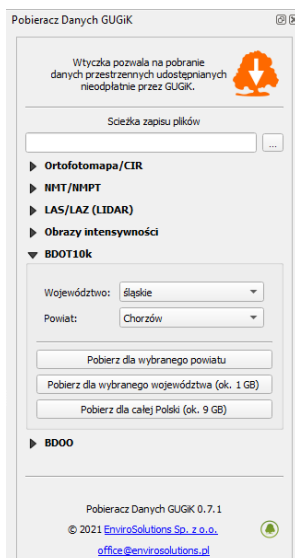
Zgodnie z tabelą 5.4 klasa 1 zawiera przystanki o najniższym poziomie obsługi. Są to wyłącznie przystanki obsługiwane przez jedną linię komunikacyjną oraz o najmniejszej liczbie kursów w dobie. Średnia liczba kursów realizowanych z przystanków należących do tej klasy to 30,7 kursu w ciągu doby.

Klasa 2 zawiera przystanki charakteryzujące się wyższym poziomem obsługi transportowej. Są to przystanki obsługiwane przez dwie lub trzy linie autobusowe oraz o większej liczbie kursów niż w przypadku klasy 1. Średnia liczba kursów realizowanych z przystanków należących do klasy 2 to 49,3.

W klasie 3 znalazły się przystanki o największym poziomie obsługi w zbiorze przystanków, na podstawie których przeprowadzono weryfikację. Były to przystanki obsługiwane przez trzy linie autobusowe, a średnia liczba kursów realizowanych z tych przystanków w ciągu doby to 87,8.

5.3.3 Dane o obiektach zagospodarowania przestrzennego w obszarze

W opracowanej metodzie rekomenduje się pozyskanie danych o obiektach zagospodarowania przestrzennego z Bazy Danych Obiektów Topograficznych BDOT10k. Istnieje wiele możliwości pozyskania danych z bazy BDOT10k. W przypadku opracowanej metody skorzystano z wtyczki „Pobieracz Danych GUGiK” oraz oprogramowania QGIS w wersji 3.10.14. Na rysunku 5.8 pokazano widok wtyczki w programie QGIS.



Rys. 5.8 Widok wtyczki Pobieracz Danych GUGiK

Źródło: Opracowanie własne

Przy zastosowaniu tej wtyczki istnieje możliwość pobrania danych z bazy BDOT10k, z wybranego powiatu, w postaci warstwy wektorowej. Taka warstwa może być w łatwy sposób odczytana za pomocą oprogramowania QGIS. Na rysunku 5.9 pokazano mapę przygotowaną w programie QGIS, z obiektami zagospodarowania przestrzennego w mieście Sosnowiec, pobranymi z bazy BDOT10k.



Rys. 5.9 Obiekty zagospodarowania przestrzennego w mieście Sosnowiec

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Na rysunku 5.9 obiekty zagospodarowania przestrzennego zostały przedstawione w postaci figur geometrycznych w kolorze pomarańczowym, odpowiadających rzeczywistej lokalizacji obiektów oraz ich geometrii.

Dodatkowo, warstwa z obiektami zagospodarowania przestrzennego pozyskana z bazy BDOT10k, zawiera dane w formie tabelarycznej. Przykład tabeli w programie QGIS dla warstwy obiektów topograficznych w mieście Sosnowiec pokazano na rysunku 5.10.

gml_id	lokalnyId	strzenn	wersjaId	ObiektBD	x_kod	skrKar	DokKl	oklGe	dGeom	dloDan	odloDany	atlstnie	ajRepi	aktualnosc	aktualnoscA	Wersj	tlbwo	kodKarto10	x_kodKarto25k	dKartc	Kartc	Kartc	Kartc	unOgolna	Budynk	egolowaB	liczbaKondygnacji	
1	PLPZGL...	31DEA845-AF4...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-09-17	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_2	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
2	PLPZGL...	31DEA845-CC8...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-11-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_1	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
3	PLPZGL...	31DEA845-F77A...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-09-17	2021-11-15	202...	201...	0010_318_1	0025_318_2	005...	NUL...	NUL...	NUL...	NUL...	1110	1110.Dj	2	
4	PLPZGL...	31DEA845-FB3D...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-09-17	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_2	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
5	PLPZGL...	31DEA845-DCD...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-09-17	2021-11-15	202...	201...	0010_318_1	0025_318_2	005...	NUL...	NUL...	NUL...	NUL...	1110	1110.Dj	2	
6	PLPZGL...	31DEA845-CDA...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-09-17	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_1	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	2	
7	PLPZGL...	31DEA845-AD8...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-09-17	2021-11-15	202...	201...	0010_318_1	0025_318_2	005...	NUL...	NUL...	NUL...	NUL...	1110	1110.Dj	2	
8	PLPZGL...	31DEA845-C663...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-09-17	2021-11-15	202...	201...	0010_318_1	0025_318_2	005...	NUL...	NUL...	NUL...	NUL...	1110	1110.Dj	2	
9	PLPZGL...	31DEA845-BC91...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-09-17	2021-11-15	202...	201...	0010_318_1	0025_318_2	005...	NUL...	NUL...	NUL...	NUL...	1110	1110.Dj	2	
10	PLPZGL...	31DEA845-AFC...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_1	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
11	PLPZGL...	31DEA845-B382...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_2	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
12	PLPZGL...	31DEA845-B078...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_1	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
13	PLPZGL...	31DEA845-C746...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-11-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_1	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
14	PLPZGL...	31DEA845-EAC...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_2	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
15	PLPZGL...	31DEA845-ES01...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	EGIB	Tim	Eks	ZP	2021-11-15	2021-11-15	202...	201...	0010_323_1	0025_323_1	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1251	1251.Pr	1	
16	PLPZGL...	31DEA845-B767...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_2	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
17	PLPZGL...	31DEA845-9A11...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Bud	ZP	2021-11-15	2021-10-15	202...	201...	0010_318_1	0025_318_2	005...	NUL...	NUL...	NUL...	NUL...	1110	1110.Dj	1	
18	PLPZGL...	31DEA845-C55F...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_2	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
19	PLPZGL...	31DEA845-9963...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-10-15	202...	201...	0010_317_1	0025_317_1	005...	NUL...	NUL...	NUL...	NUL...	1122	1122.Dw	1	
20	PLPZGL...	31DEA845-F4D8...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_2	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
21	PLPZGL...	31DEA845-C6A...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_1	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
22	PLPZGL...	31DEA845-CC3...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	gar.	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_1	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1242	1242.Gr	1
23	PLPZGL...	31DEA845-9D15...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_2	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
24	PLPZGL...	31DEA845-BB87...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2021-11-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_2	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	
25	PLPZGL...	31DEA845-F7D...	PLP...	2021-11-15T00...	falsz	BU...	NUL...	Dok	1 m	Ort	Tim	Eks	ZP	2012-10-15	2021-11-15	202...	201...	0010_325_1	0025_325_1	005...	010...	NUL...	NUL...	NUL...	1271	1271.Bg	1	

Rys. 5.10 Przykład tabeli w programie QGIS z informacjami o obiektach topograficznych w mieście Sosnowiec
Źródło: Opracowanie własne

Jak można zauważyć na rysunku 5.10, tabela atrybutów warstwy pochodzącej z bazy BDOT10k zawiera informacje m.in. o funkcji ogólnej obiektu, funkcji szczegółowej oraz liczbie kondygnacji. Tabela atrybutów nie zawiera informacji o powierzchni budynku, jednak ponieważ budynki oraz budowle odwzorowane są jako obiekty warstwy wektorowej taka powierzchnia może być w łatwy sposób obliczona dla wszystkich obiektów w programie QGIS.

W poszczególnych miastach poddanych analizie zidentyfikowano łącznie następującą liczbę obiektów zagospodarowania przestrzennego:

- Sosnowiec: 27677 obiektów,
 - Dąbrowa Górnicza: 27369 obiektów,
 - Będzin: 10939 obiektów,
- łącznie: 65985 obiektów.

5.3.3. Dane o liczbie osób korzystających z przystanków publicznego transportu zbiorowego w obszarze analizy

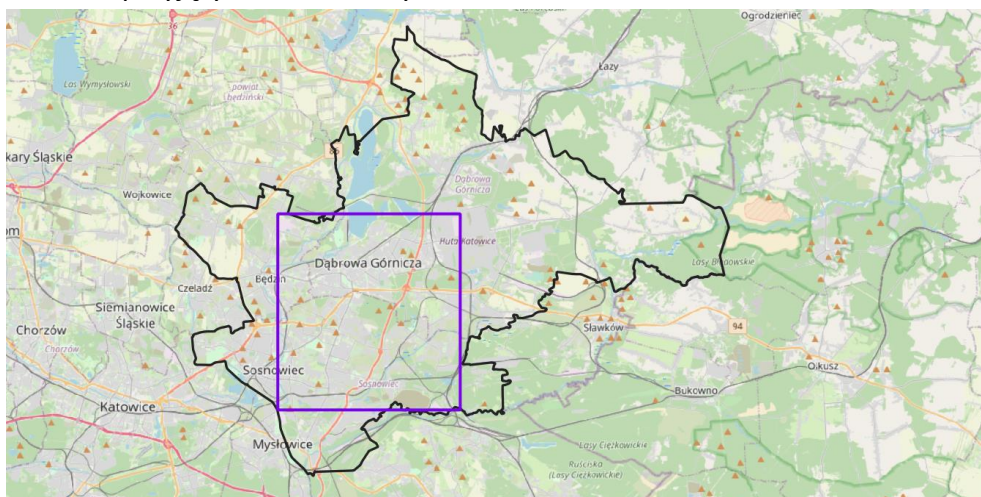
W przypadku opracowanej metody wykorzystane zostały dane o liczbie osób korzystających z przystanków pochodzące z pomiarów automatycznych. Wykorzystane dane zostały udostępnione przez Zarząd Transportu Metropolitalnego dla potrzeb analiz prowadzonych w dysertacji. Zostały zebrane przez bramki liczące pasażerów zamontowane w pojazdach PKM Sosnowiec. W badaniach wykorzystano jedynie dane dla przystanków, które były przez cały okres badań obsługiwane przez pojazdy wyposażone w czujniki. W ten sposób dla tych przystanków uzyskano pełne dane o liczbie pasażerów, którzy na tych przystankach rozpoczynali lub kończyli podróż.

5.4 Weryfikacja opracowanej metody

Zgodnie z przyjętą procedurą weryfikacji, przedstawioną na rysunku 5.1, po określeniu poligonu badawczego należało dokonać implementacji wszystkich sześciu etapów opracowanej metody.

5.4.1 Określenie obszaru analizy

Granice obszaru analizy zostały określone na podstawie lokalizacji wybranych 245 przystanków w Będzinie, Dąbrowie Górniczej i Sosnowcu. Na rysunku 5.11 zaprezentowano przyjęty obszar analizy **A**:



Legenda:

■ granice analizowanych miast ■ granice obszaru analizy

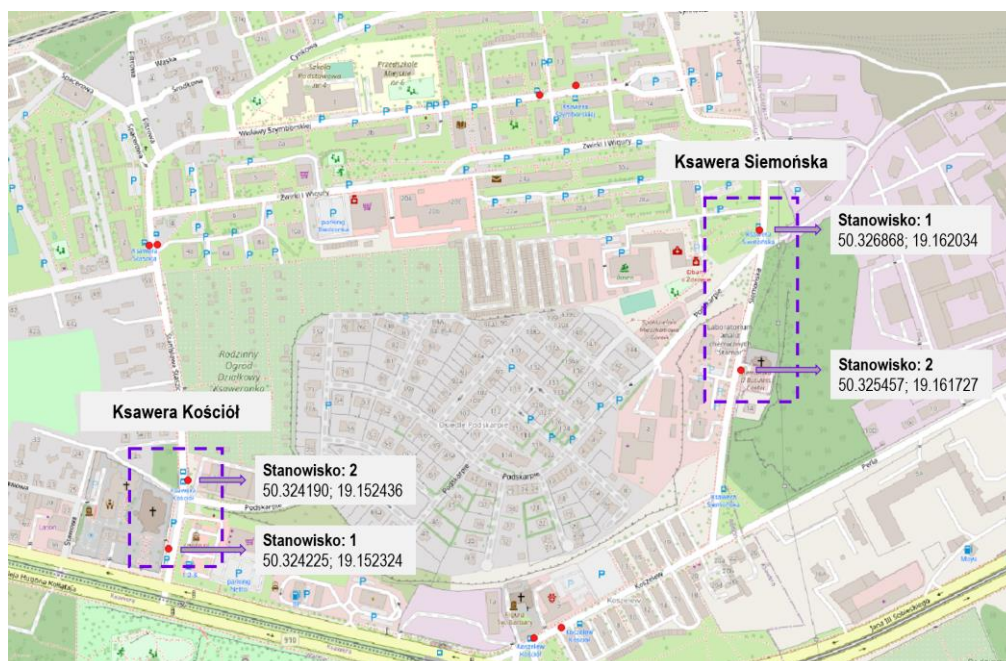
Rys. 5.11 Obszar analizy na tle analizowanych miast

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Część granic obszaru analizy znajduje się poza granicami analizowanych miast, jednakże w tych obszarach nie znajdowały się żadne obiekty zagospodarowania przestrzennego, które zostały uwzględnione w dalszych etapach metody.

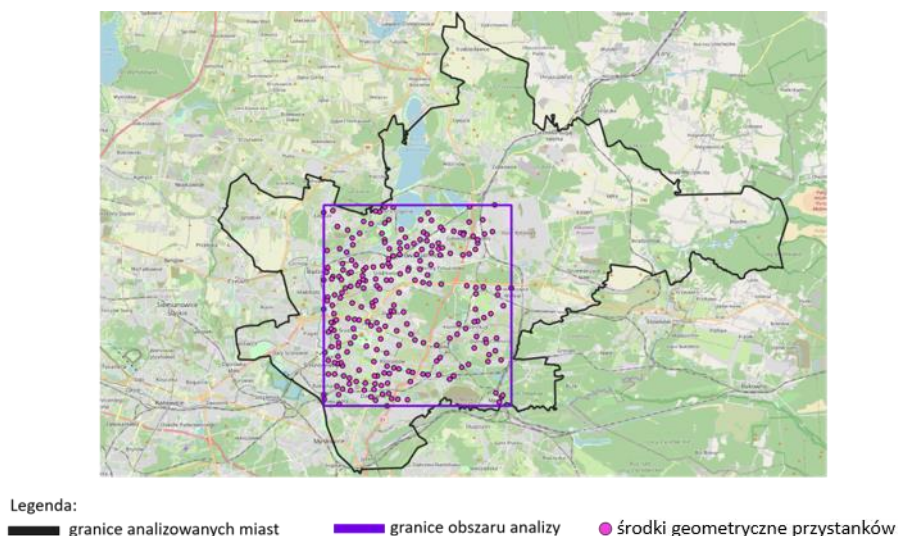
5.4.2 Budowa modeli przystanków

Zgodnie z drugim etapem opracowanej metody, budowa modeli przystanków rozpoczyna się od określenia zbioru wszystkich przystanków P w obszarze analizy oraz określenia zbiorów stanowisk przystankowych S_p tworzących każdy przystanek. W przypadku obszaru przyjętego na potrzeby weryfikacji metody zbiór przystanków P zawierał łącznie 245 przystanków w Będzinie, Dąbrowie Górniczej i Sosnowcu. Dla każdego z tych przystanków określono zbiór stanowisk przystankowych S_p , wraz z dokładną lokalizacją na podstawie współrzędnych geograficznych. Określono również zbiór współrzędnych geograficznych stanowisk przystankowych FSP . Przykłady identyfikacji zbioru stanowisk przystankowych S_p dla dwóch wybranych przystanków pokazano na rysunku 5.12.



Rys. 5.12 Przykład identyfikacji zbioru stanowisk przystankowych dla wybranych przystanków w obszarze analizy
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Bazując na lokalizacji stanowisk przystankowych tworzących każdy przystanek, określonej za pomocą współrzędnych geograficznych, wyznaczona została lokalizacja środka geometrycznego każdego przystanku. Zbiór tych punktów, będący zbiorem środków geometrycznych przystanków w obszarze analizy SG , został pokazany na rysunku 5.13.



Rys. 5.13 Zbiór środków geometrycznych przystanków w obszarze analizy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Zgodnie z rysunkiem 5.13 środki geometryczne przystanków są rozłożone równomiernie w obszarze analizy. Jedynie w środkowej oraz południowej części tego obszaru występują większe rejony, w których nie są zlokalizowane żadne istniejące przystanki. Określony został również zbiór współrzędnych geograficznych środków geometrycznych **FSG**.

5.4.3 Ustalenie parametrów obiektów zagospodarowania przestrzennego

Pierwszy krok tego etapu to ustalenie zbioru kategorii C obiektów zagospodarowania przestrzennego oraz zbioru klas E_c obiektów zagospodarowania przestrzennego w każdej kategorii c . Na potrzeby weryfikacji ustalono, że zbiór kategorii C będzie zawierał cztery kategorie obiektów z bazy BDOT10k. W nawiasach podano kody oznaczające funkcje ogólne obiektów w tych kategoriach, zgodnie z BDOT10k:

- a. budynki mieszkalne (1110, 1122),
- b. obiekty handlowo-usługowe (1230),
- c. obiekty edukacyjne i naukowe (1263),
- d. obiekty służby zdrowia (1264).

Kolejno określono zbiór klas E_c dla każdej kategorii. W nawiasach podano kody oznaczające funkcję szczegółową każdej kategorii, zgodnie z BDOT10k:

- a. kategoria budynki mieszkalne:
 - budynki jednorodzinne (1110.Dj),
 - budynki wielorodzinne o 5 lub mniej kondygnacjach (1122.Dw ≤5),
 - budynki wielorodzinne o więcej niż 5 kondygnacjach (1122.Dw >5).

b. kategoria obiekty handlowo-usługowe:

- pawilony handlowo-usługowe (1230.Ph),
- hipermarkety lub supermarkety (1230.Hm),
- centra handlowe (1230.Ch),
- domy handlowe lub towarowe (1230.Dh).

c. kategoria obiekty edukacyjne i naukowe:

- szkoły podstawowe (1263.Sp),
- szkoły ponadpodstawowe (1263.Sd),
- szkoły wyższe (1263.Sw).

d. obiekty służby zdrowia:

- szpitale (1264.Sz).

Kolejnym krokiem opracowanej metody jest ustalenie zbioru wag kategorii **W** oraz wag klas **DC**. Wagi poszczególnych kategorii zostały dobrane w wyniku eksperymentów. Na tej podstawie ustalono wagi poszczególnych kategorii, które przedstawiono w tabeli 5.5:

Tabela 5.5: Wagi kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego

Kategoria	Waga w_c kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego
1	2
budynki mieszkalne	5
obiekty handlowo-usługowe	1
obiekty edukacyjne i naukowe	1
obiekty służby zdrowia	0,8

Źródło: opracowanie własne

Wagi klas obiektów zagospodarowania przestrzennego zostały dobrane w wyniku eksperymentów podczas procesu budowy modelu oraz w wyniku porównania powierzchni wybranych obiektów z kategorii (obiektów referencyjnych) z powierzchnią pozostałych obiektów w tej kategorii. Przyjęto założenie, że waga klas obiektów powinna odzwierciedlać różnicę w powierzchni tych obiektów.

W ten sposób ustalono m.in. wagi klas obiektów w kategorii „budynki mieszkalne”. Obliczono średnią powierzchnię wszystkich obiektów poszczególnych klas znajdujących się w miastach poddanych analizie, a następnie porównano uzyskane wyniki. Jako obiekt referencyjny w kategorii „budynki mieszkalne” przyjęto budynki jednorodzinne. Należy

podkreślić, że uzyskane w ten sposób wagi były również korygowane w toku prowadzonych badań. W tabeli 5.6 pokazano wyniki obliczeń:

Tabela 5.6: Ustalenie wag klas obiektów zagospodarowania przestrzennego w kategorii „budynki mieszkalne”

Klasa	Liczba obiektów	Całkowita powierzchnia [m ²]	Średnia powierzchnia [m ²]
1	2	3	4
Obiekty referencyjne - budynki jednorodzinne (1110.Dj)	28581	5169667	180,87
budynki wielorodzinne o 5 lub mniej kondygnacjach (1122.Dw ≤5)	4145	6139562	1481,20
budynki wielorodzinne o więcej niż 5 kondygnacjach (1122.Dw >5)	628	4226115	6729,48

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wartości pokazanych w tabeli 5.6 można zauważyć, że średnia powierzchnia budynków wielorodzinnych o 5 lub mniej kondygnacjach jest około 8 razy większa niż średnia powierzchnia obiektów referencyjnych – budynków jednorodzinnych. Z kolei średnia powierzchnia budynków wielorodzinnych o więcej niż 5 kondygnacjach jest około 37 razy większa niż średnia powierzchnia budynków jednorodzinnych. Na podstawie tych zależności ustalono wagi klas obiektów w tej kategorii. Wagi te, wraz z wagami wszystkich pozostałych klas obiektów zagospodarowania przestrzennego, pokazano w tabeli 5.7:

Tabela 5.7: Wagi klas obiektów zagospodarowania przestrzennego

Kategoria	Klasa	Waga $d_{e,c}$ klas obiektów zagospodarowania przestrzennego
1	2	3
budynki mieszkalne	budynki jednorodzinne (1110.Dj)	10

	budynki wielorodzinne o 5 lub mniej kondygnacjach (1122.Dw)	80
	budynki wielorodzinne o więcej niż 5 kondygnacjach (1122.Dw)	300
obiekty handlowo-usługowe	pawilony handlowo-usługowe (1230.Ph)	10
	hipermarkety lub supermarkety (1230.Hm)	300
	centra handlowe (1230.Ch)	600
	domy handlowe lub towarowe (1230.Dh)	250
obiekty edukacyjne i naukowe	szkoły podstawowe (1263.Sp)	50
	szkoły ponadpodstawowe (1263.Sd)	200
	szkoły wyższe (1263.Sw)	1000
obiekty służby zdrowia	szpitale (1264.Sz)	500

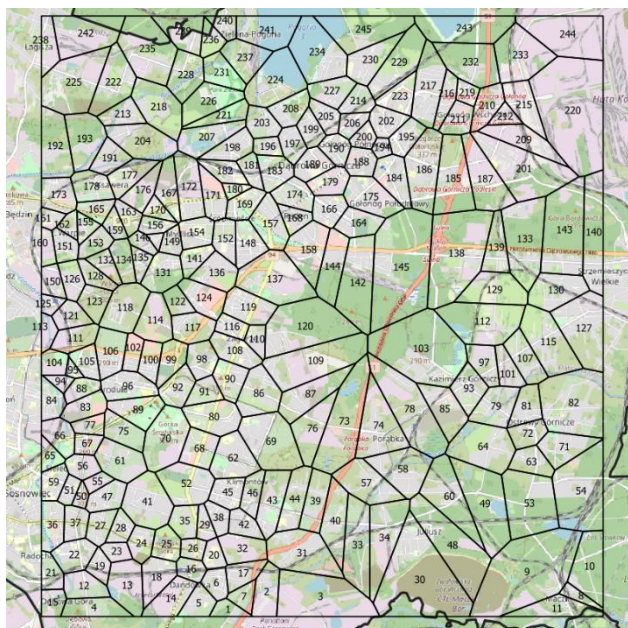
Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z tabelą 5.7 największa waga w kategorii „budynki mieszkalne” została przypisana budynkom wielorodzinnym o więcej niż 5 kondygnacjach. Wynika to bezpośrednio ze znacznie większej średniej powierzchni takich budynków w porównaniu do pozostałych obiektów w tej kategorii. W przypadku kategorii „obiekty handlowo-usługowe” największą wagą charakteryzują się centra handlowe. Ta waga także wynika z uwzględnienia średniej powierzchni tych obiektów. W kategorii „obiekty edukacyjne i naukowe” największa waga została przypisana szkołom wyższym, a najniższa szkołom podstawowym.

5.4.4 Podział obszaru analizy

W kolejnym kroku opracowanej metody wykonano podział przestrzeni w obszarze analizy. Przestrzeń obszaru została podzielona na wieloboki Woronoja. Centrami tych wieloboków były środki geometryczne przystanków w obszarze analizy. W wyniku tego podziału uzyskano zbiór wieloboków Woronoja V .

Na rysunku 5.14 pokazano obszar analizy z podziałem na wieloboki Woronoja.



Rys. 5.14 Zbiór wieloboków Woronoja w obszarze analizy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Liczby wewnątrz poszczególnych wieloboków oznaczają numer wieloboku. W tabeli 5.8 zaprezentowano zbiór wieloboków Woronoja V , w których znajdują się przystanki, na podstawie których wykonano weryfikację opracowanej metody.

Tabela 5.8: Zbiór wieloboków Woronoja z przypisaniem przystanków

Lp.	Numer wieloboku (v)	Przystanek
1	2	3
1.	199	Dąbrowa Górnicza Dziewiąty
2.	205	Dąbrowa Górnicza Trzydziesty
3.	200	Gołonóg Liceum
4.	229	Gołonóg Wczasowa
5.	114	Józefów Auchan
6.	122	Józefów Komuny Paryskiej
7.	124	Józefów Makro
8.	117	Józefów Sokolska
9.	40	Klimontów Hospicjum
10.	31	Klimontów Kleeberga

Lp.	Numer wieloboku (v)	Przystanek
1	2	3
11.	44	Klimontów Ogródki Działkowe
12.	163	Koszelew Kościół
13.	165	Ksawera Kościół
14.	176	Ksawera Siemońska
15.	178	Ksawera Staszica
16.	177	Ksawera Szymborskiej
17.	227	Łęknice Niemcewicza
18.	234	Łęknice Osiedle
19.	230	Łęknice Parkowa
20.	131	Osiedle Mydlice Szkoła
21.	214	Podłęknice
22.	75	Sielec Droga do Środuli
23.	61	Sielec Jaskótek
24.	47	Sielec Klimontowska
25.	55	Sielec Kombajnistów
26.	50	Sielec Narutowicza
27.	99	Środula Cmentarz
28.	118	Środula Dolna
29.	100	Środula Kolonia Zuzanna
30.	106	Środula Północna
31.	96	Środula Prusa
32.	105	Środula Wapienna
33.	155	Warpie 1 Maja
34.	98	Zagórze Mec Osiedle
35.	108	Zagórze Technikum

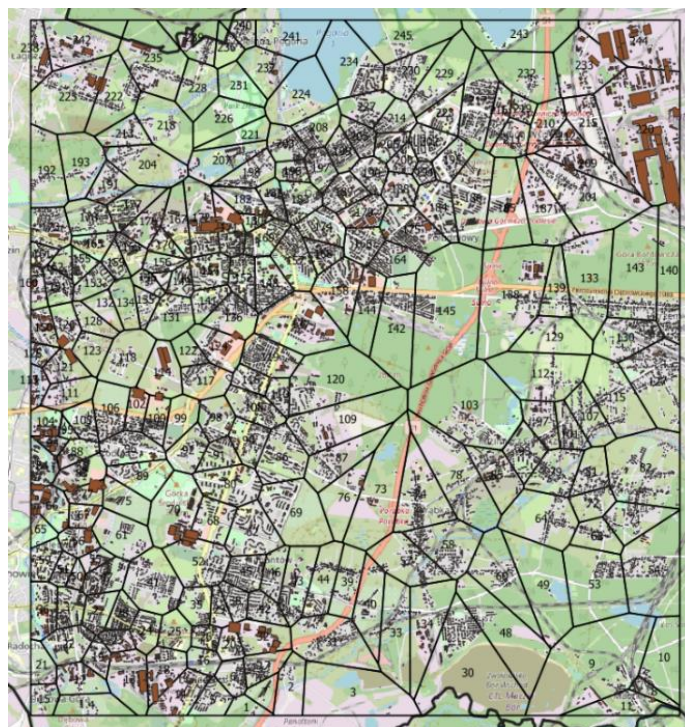
Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z rysunkiem 5.14 oraz tabelą 5.8 wieloboki, w których zlokalizowane są przystanki, na podstawie których przeprowadzono weryfikację rozmieszczone są głównie w północnej, zachodniej i południowej części obszaru analizy.

5.4.5 Wyznaczenie potencjału teoretycznego

W celu wyznaczenia potencjału teoretycznego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego zidentyfikowano wszystkie obiekty zagospodarowania przestrzennego w analizowanych miastach, które znajdują się w bazie BDOT10k. Łącznie w miastach poddanych analizie, tj. Będzinie, Dąbrowie Górniczej i Sosnowcu, zidentyfikowano 65 985 obiektów zagospodarowania przestrzennego. Zbiór ten został następnie ograniczony do obiektów, znajdujących się w granicach obszaru analizy – takich obiektów zidentyfikowano 32 069, co stanowi 48,6% wszystkich obiektów zagospodarowania przestrzennego w analizowanych miastach.

Na rysunku 5.15 pokazano wszystkie zidentyfikowane obiekty zagospodarowania przestrzennego w poszczególnych wielobokach obszaru analizy.



Rys. 5.15 Obiekty zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Kolejno, w każdym wieloboku Woronoja zidentyfikowano obiekty zagospodarowania przestrzennego należące do przyjętych kategorii oraz klas. Identyfikacja tych obiektów została

przeprowadzona dla 35 wieloboków, na podstawie których przeprowadzono weryfikację, a także dla pozostałych 210 wieloboków z obszaru analizy – te wieloboki mogą należeć do zbioru wieloboków sąsiednich w kolejnym etapie metody i wpływać na potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w wielobokach Woronoja, na podstawie których przeprowadzono weryfikację metody.

W tabeli 5.9 pokazano liczbę obiektów poszczególnych klas zagospodarowania przestrzennego $O_{e,v}$ w 35 wielobokach Woronoja, na podstawie których przeprowadzono weryfikację metody.

Tabela 5.9: Liczba obiektów zagospodarowania przestrzennego w poszczególnych klasach w wielobokach Woronoja, na podstawie których przeprowadzono weryfikację

Numer wieloboku (v)	Oznaczenia obiektów zagospodarowania przestrzennego z BDOT10k										
	1110.Dj	1122.Dw <=5	1122.Dw >5	1230.Ch	1230.Dh	1230.Hm	1230.Ph	1263.Sd	1263.Sp	1263.Sw	1264.Sz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
199	198	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
205	189	2	0	0	0	0	8	0	0	0	0
200	2	15	7	0	0	0	30	0	1	0	0
229	52	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
114	2	0	0	0	0	3	6	0	0	0	0
122	43	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
124	62	1	0	0	3	2	13	0	0	0	0
117	84	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0
40	68	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0
31	144	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0
44	64	16	0	0	0	0	4	0	0	0	1
163	108	16	0	0	0	0	6	0	0	1	0
165	52	3	0	0	2	0	14	0	0	0	0
176	29	1	0	0	1	0	8	0	0	0	0
178	59	25	0	0	2	1	4	0	1	0	0
177	10	34	0	0	1	1	4	0	1	0	0

Numer wieloboku (v)	Oznaczenia obiektów zagospodarowania przestrzennego z BDOT10k										
	1110.Dj	1122.Dw <=5	1122.Dw >5	1230.Ch	1230.Dh	1230.Hm	1230.Ph	1263.Sd	1263.Sp	1263.Sw	1264.Sz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
227	112	5	1	0	0	0	3	0	0	0	0
234	109	13	4	0	0	0	3	0	1	0	0
230	160	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
131	66	2	5	0	0	0	10	0	1	0	0
214	66	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
75	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
61	53	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	148	17	1	0	0	1	14	0	0	0	0
55	28	5	0	0	0	0	10	0	0	0	0
50	1	7	2	0	0	0	3	0	0	0	0
99	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
118	37	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
100	106	0	0	0	0	1	5	0	0	0	0
106	59	4	10	0	0	0	13	1	1	0	0
96	61	13	21	0	0	1	19	0	1	0	0
105	55	4	5	0	0	0	7	0	0	0	0
155	34	16	3	0	0	0	4	0	1	0	0
98	45	17	0	0	0	0	3	0	0	0	1
108	94	11	1	0	1	1	12	2	2	0	0

Źródło: opracowanie własne

Bazując na liczbie obiektów zagospodarowania przestrzennego w każdym wieloboku oszacowano wartości potencjału teoretycznego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego dla każdego z 245 wieloboków w obszarze analizy. W tabeli 5.10 pokazano wartości potencjału teoretycznego dla wieloboków, na podstawie których przeprowadzono weryfikację opracowanej metody. Zgodnie z przyjętym założeniem analiza została przeprowadzona osobno dla każdej klasy przystanków.

Tabela 5.10: Wartości potencjału teoretycznego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego

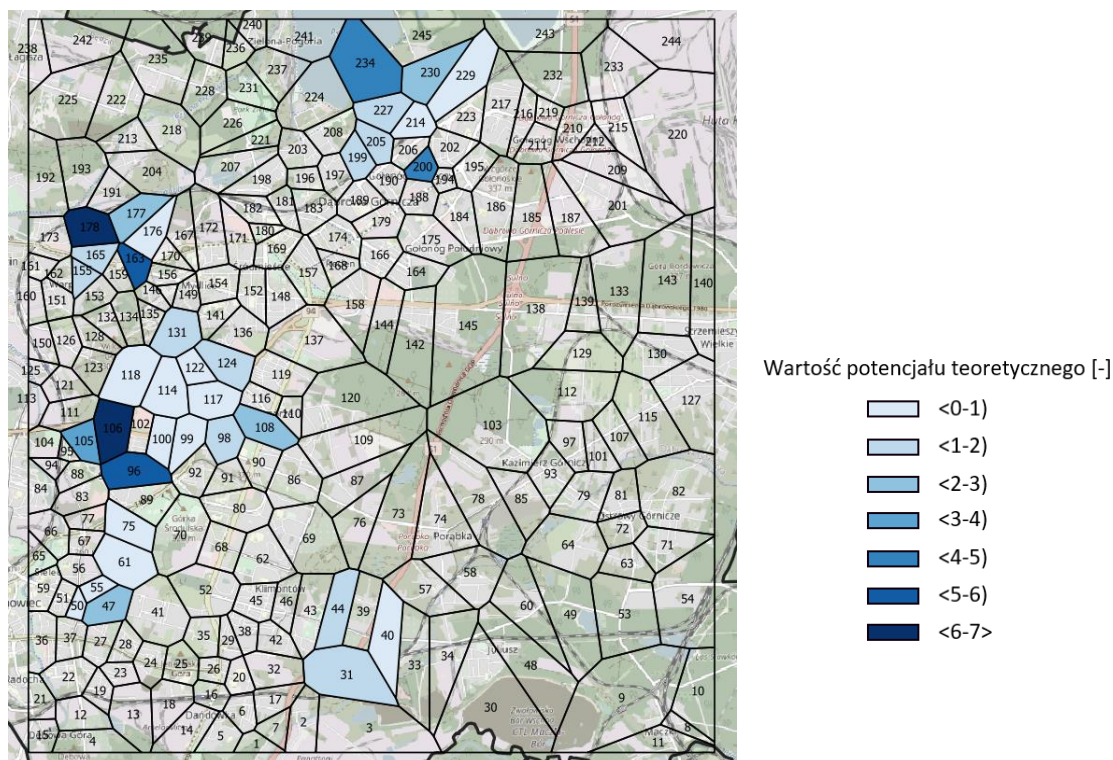
Lp.	Numer wieloboku (v)	Przystanek	Potencjał teoretyczny lokalizacji przystanków ΔT_v [-]
1	2	3	4
KLASA 1			
1.	96	Środula Prusa	5,50
2.	55	Sielec Kombajnistów	0,51
3.	100	Środula Kolonia Zuzanna	0,95
4.	61	Sielec Jaskótek	0,53
5.	131	Osiedle Mydlice Szkoła	1,57
6.	31	Klimontów Kleeberga	1,26
7.	75	Sielec Droga do Środuli	0,15
8.	47	Sielec Klimontowska	2,22
9.	50	Sielec Narutowicz	0,74
10.	98	Zagórze Mec Osiedle	1,93
11.	99	Środula Cmentarz	0,04
12.	124	Józefów Makro	1,43
13.	227	Łęknice Niemcewicz	1,13
KLASA 2			
14.	108	Zagórze Technikum	2,88
15.	214	Podłęknice	0,42
16.	205	Dąbrowa Górnicza	1,35
17.	199	Dąbrowa Górnicza Dziewiąty	1,28
18.	117	Józefów Sokolska	0,88
19.	122	Józefów Komuny Paryskiej	0,27
20.	106	Środula Północna	6,13
21.	105	Środula Wapienna	3,08
22.	114	Józefów Auchan	1,00
23.	118	Środula Dolna	0,47
24.	155	Warpie 1 Maja	1,62

Lp.	Numer wieloboku (v)	Przystanek	Potencjał teoretyczny lokalizacji przystanków ΔT_v [-]
1	2	3	4
25.	177	Ksawera Szymborskiej	2,17
KLASA 3			
26.	234	Łęknice Osiedle	4,48
27.	200	Gołonóg Liceum	4,75
28.	230	Łęknice Parkowa	2,23
29.	229	Gołonóg Wczasowa	0,64
30.	178	Ksawera Staszica	6,05
31.	163	Koszelew Kościół	5,48
32.	165	Ksawera Kościół	1,62
33.	176	Ksawera Siemońska	0,35
34.	40	Klimontów Hospicjum	0,58
35.	44	Klimontów Ośrodki	2,00

Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z wynikami pokazanymi w tabeli 5.10 w klasie 1 najwyższa wartość potencjału teoretycznego lokalizacji przystanków została uzyskana dla wieloboku o numerze $v = 96$, w którym znajduje się przystanek Środula Prusa. W przypadku klasy 2 najwyższa wartość potencjału została wyznaczona dla wieloboku o numerze $v = 106$, w którym zlokalizowany jest przystanek Środula Północna. W klasie 3 największą wartość potencjału teoretycznego uzyskano dla wieloboku o numerze $v = 178$ (przystanek Ksawera Staszica). Te trzy wieloboki znajdują się na obszarze m.in. dużych osiedli mieszkaniowych. Zlokalizowane są w nich liczne budynki wielorodzinne (w tym budynki o ponad 5 kondygnacjach), a także budynki jednorodzinne. Na wartość potencjału mają wpływ także znajdujące się w tych wielobokach obiekty handlowo-usługowe.

Na rysunku 5.16 zaprezentowano wartości potencjału teoretycznego ΔT_v dla wieloboków $v \in V$, na podstawie których przeprowadzono weryfikację.



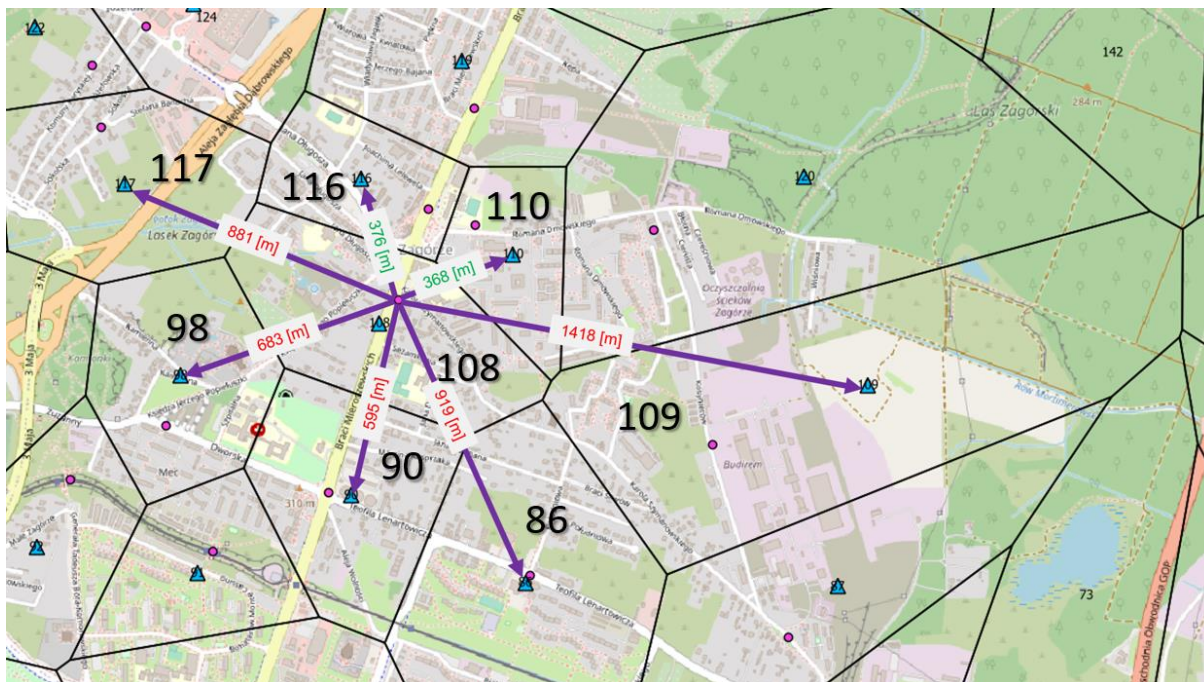
Rys. 5.16 Wartości potencjału teoretycznego wieloboków
Źródło: Opracowanie własne

Wartość potencjału ΔT_v została przedstawiona za pomocą odpowiedniego koloru wypełnienia powierzchni wieloboku. Należy podkreślić, że potencjał teoretyczny oszacowano także dla pozostałych 210 wieloboków z obszaru analizy.

5.4.6 Wyznaczenie potencjału rzeczywistego

W celu oszacowania potencjału rzeczywistego ΔR_v lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w wielobokach, na podstawie których przeprowadzono weryfikację dla każdego takiego wieloboku ustalono zbiór wieloboków sąsiednich S_v .

Kolejno w zbiorach wieloboków sąsiednich S_v wyróżniono podzbiory wieloboków o pierwszym i drugim stopniu sąsiedztwa. Podziału tego dokonano na podstawie odległości pomiędzy środkiem geometrycznym przystanku w wieloboku ze zbioru wieloboków, na podstawie których przeprowadzono weryfikację, a środkami geometrycznymi wieloboków ze zbioru wieloboków sąsiednich. Przyjęto, że pierwszy poziom sąsiedztwa występuje, jeśli ta odległość wynosi nie więcej niż 400m, a drugi poziom sąsiedztwa jeśli ta odległość jest większa niż 400m. Przykład wyznaczania poziomów sąsiedztwa pokazano na rysunku 5.17.



Rys. 5.17 Przykład ustalania poziomów sąsiedztwa wieloboków sąsiednich
 Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z rysunkiem 5.17 w przypadku wieloboku o numerze $v = 108$ zidentyfikowano zbiór zawierający siedem wieloboków sąsiednich. W przypadku pięciu z nich odległość pomiędzy modelem przystanku w wieloboku numerze $v = 108$, a środkami geometrycznymi tych wieloboków jest większa niż 400m, a w przypadku wieloboków o numerach $v = 116$ i $v = 110$ jest mniejsza niż 400m i wynosi odpowiednio 376m i 368m. Zgodnie z przyjętymi założeniami dotyczącymi oszacowania potencjału rzeczywistego, potencjał teoretyczny wieloboku o numerze $v = 108$ zostanie powiększony o pewną część potencjałów teoretycznych wieloboków o numerach $v = 116$ i $v = 110$. W opracowanej metodzie przyjęto, na podstawie eksperymentów z modelem oszacowania potencjału lokalizacji przystanków, że udział potencjału teoretycznego wieloboków o pierwszym poziomie sąsiedztwa, o który należy powiększyć potencjał teoretyczny badanego wieloboku wynosi 20%, tj. $y = 0,2$.

Zgodnie z przyjętą procedurą oszacowania potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego uzyskano wartości tego potencjału dla wszystkich wieloboków, na podstawie których przeprowadzono weryfikację opracowanej metody. Wyniki zostały zaprezentowane w tabeli 5.11.

Tabela 5.11: Wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego

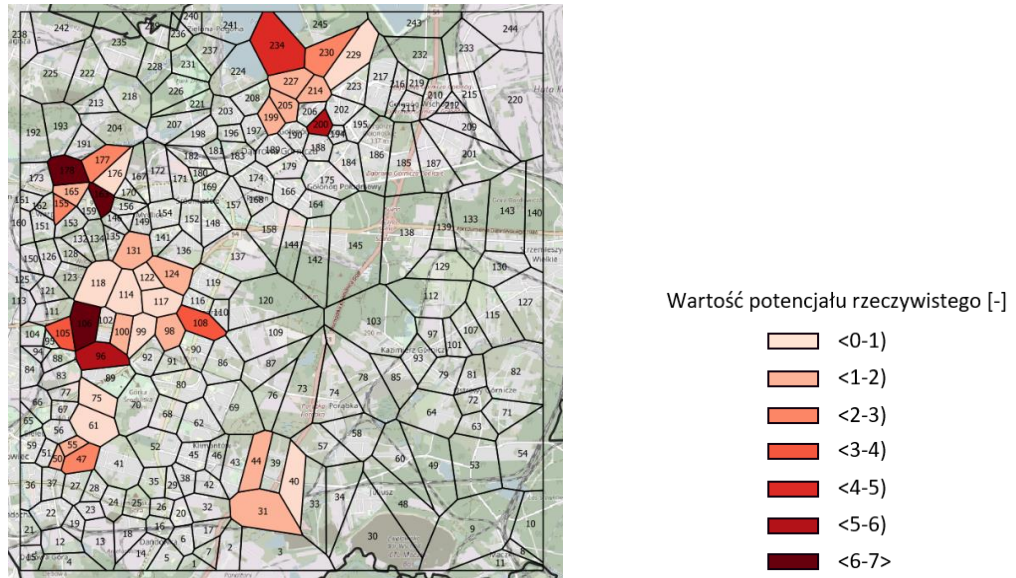
Lp.	Numer wieloboku (v)	Nazwa przystanku	Potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków $\Delta R_v [-]$
1	2	3	4
KLASA 1			
1.	96	Środula Prusa	5,50
2.	55	Sielec Kombajnistów	1,10
3.	100	Środula Kolonia Zuzanna	1,17
4.	61	Sielec Jaskótek	0,53
5.	131	Osiedle Mydlice Szkoła	1,81
6.	31	Klimontów Kleeberga	1,26
7.	75	Sielec Droga do Środuli	0,15
8.	47	Sielec Klimontowska	2,46
9.	50	Sielec Narutowicz	1,59
10.	98	Zagórze Mec Osiedle	1,93
11.	99	Środula Cmentarz	0,92
12.	124	Józefów Makro	1,71
13.	227	Łęknice Niemcewicz	1,54
KLASA 2			
14.	108	Zagórze Technikum	3,54
15.	214	Podłęknice	1,21
16.	205	Dąbrowa Górnicza	1,60
17.	199	Dąbrowa Górnicza	1,54
18.	117	Józefów Sokolska	0,94
19.	122	Józefów Komuny Paryskiej	0,73
20.	106	Środula Północna	6,34
21.	105	Środula Wapienna	3,15
22.	114	Józefów Auchan	1,00
23.	118	Środula Dolna	0,47
24.	155	Warpie 1 Maja	2,08

Lp.	Numer wieloboku (v)	Nazwa przystanku	Potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków ΔR_v [-]
1	2	3	4
25.	177	Ksawera Szymborskiej	2,62
KLASA 3			
26.	234	Łęknice Osiedle	4,48
27.	200	Gołonóg Liceum	5,69
28.	230	Łęknice Parkowa	2,23
29.	229	Gołonóg Wczasowa	0,64
30.	178	Ksawera Staszica	6,23
31.	163	Koszelew Kościół	6,55
32.	165	Ksawera Kosciół	1,62
33.	176	Ksawera Siemońska	0,74
34.	40	Klimontów Hospicjum	0,58
35.	44	Klimontów Ośrodki	2,00

Źródło: opracowanie własne

Wartości potencjału rzeczywistego dla zbioru wieloboków, na podstawie których przeprowadzono weryfikację zostały także zaprezentowane w formie graficznej na rysunku 5.18.

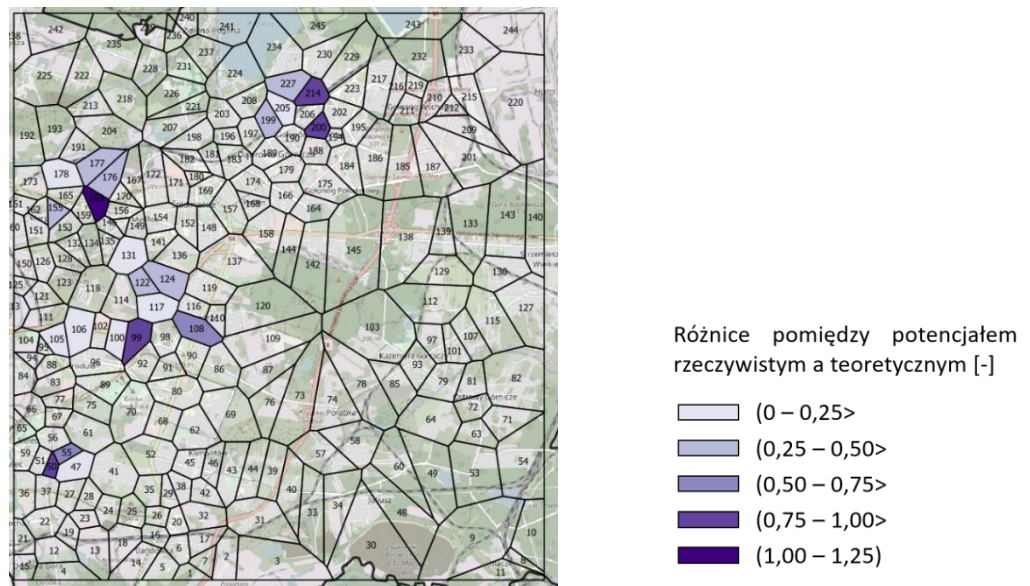
Zgodnie z tabelą 5.11 oraz rysunkiem 5.18 wartości potencjału rzeczywistego ΔR_v różnią się od wartości potencjału teoretycznego ΔT_v w przypadku 22 spośród 35 wieloboków. Średnia różnica pomiędzy tymi wartościami w całym zbiorze wieloboków wynosi 0,28 [-]. W przypadku wieloboków zawierających przystanki należące do klasy 1 w aspekcie obsługi transportowej średnia różnica wynosi 0,29 [-], w przypadku klasy 2 ta różnica to 0,31 [-], a dla klasy 3 – 0,26 [-]. Największa zmiana pomiędzy potencjałem teoretycznym a rzeczywistym nastąpiła w przypadku wieloboku o numerze $v = 163$. Z wielobokiem tym graniczy inny wielobok, na obszarze którego znajduje się duże osiedle z wysoką zabudową mieszkalną. Bliskość tej zabudowy przyczyniła się do znaczącego wzrostu potencjału rzeczywistego wieloboku o numerze $v = 163$.



Rys. 5.18 Wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w wielobokach, dla których przeprowadzono weryfikację

Źródło: Opracowanie własne

Różnice pomiędzy potencjałem rzeczywistym a teoretycznym zostały pokazane na rysunku 5.19.



Rys. 5.19 Różnice pomiędzy potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego a potencjałem teoretycznym lokalizacji przystanków publicznego transportu w wielobokach, dla których przeprowadzono weryfikację

Źródło: Opracowanie własne

Wieloboki, w których wartości potencjału rzeczywistego różnią się od wartości potencjału teoretycznego znajdują się głównie w północnej i zachodniej części obszaru analizy. W większości wieloboków znajdujących się w południowej części obszaru nie nastąpiła zmiana wartości potencjału teoretycznego. Wynika to z faktu, że odległości pomiędzy przystankami w tej części obszaru analizy są większe niż w pozostałych fragmentach obszaru.

5.4.7 Analiza statystyczna uzyskanych wyników

W celu weryfikacji opracowanej metody uzyskane wartości potencjału teoretycznego oraz potencjału rzeczywistego wieloboków zostały zestawione z wynikami badań liczby osób korzystających z przystanków w tych wielobokach. Otrzymane wyniki zostały porównane z zastosowaniem analizy korelacji.

W tabeli 5.12 zaprezentowano zestawienie wartości potencjału teoretycznego oraz potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego, w wielobokach, dla których przeprowadzono weryfikację i wyników badań liczby osób korzystających z przystanków, z uwzględnieniem klasy obsługi transportowej przystanku w wieloboku.

Tabela 5.12: Zestawienie wartości potencjału i liczby osób korzystających z przystanków

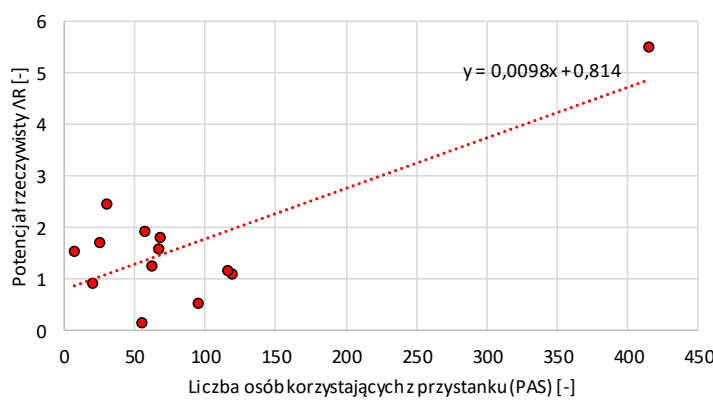
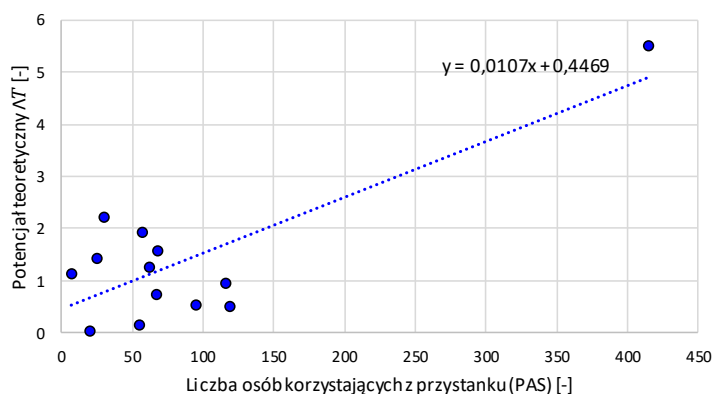
Lp.	Numer wieloboku (v)	Liczba pasażerów korzystających z przystanku w wieloboku	Potencjał teoretyczny lokalizacji przystanku $\Delta T_v [-]$	Potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanku $\Delta R_v [-]$
1	2	3	4	5
KLASA 1				
1.	96	415	5,50	5,50
2.	55	119	0,51	1,10
3.	100	116	0,95	1,17
4.	61	95	0,53	0,53
5.	131	68	1,57	1,81
6.	31	62	1,26	1,26
7.	75	55	0,15	0,15
8.	47	30	2,22	2,46
9.	50	67	0,74	1,59
10.	98	57	1,93	1,93
11.	99	20	0,04	0,92
12.	124	25	1,43	1,71
13.	227	7	1,13	1,54

Lp.	Numer wieloboku (v)	Liczba pasażerów korzystających z przystanku w wieloboku	Potencjał teoretyczny lokalizacji przystanku $\Delta T_v [-]$	Potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanku $\Delta R_v [-]$
1	2	3	4	5
		ŚREDNIA:	1,38	1,67
KLASA 2				
14.	108	284	2,88	3,54
15.	214	131	0,42	1,21
16.	205	128	1,35	1,60
17.	199	74	1,28	1,54
18.	117	21	0,88	0,94
19.	122	18	0,27	0,73
20.	106	640	6,13	6,34
21.	105	172	3,08	3,15
22.	114	168	1,00	1,00
23.	118	5	0,47	0,47
24.	155	41	1,62	2,08
25.	177	420	2,17	2,62
		ŚREDNIA:	1,80	2,10
KLASA 3				
26.	234	780	4,48	4,48
27.	200	277	4,75	5,69
28.	230	104	2,23	2,23
29.	229	27	0,64	0,64
30.	178	604	6,05	6,23
31.	163	326	5,48	6,55
32.	165	131	1,62	1,62
33.	176	105	0,35	0,74
34.	40	114	0,58	0,58

Lp.	Numer wieloboku (v)	Liczba pasażerów korzystających z przystanku w wieloboku	Potencjał teoretyczny lokalizacji przystanku $\Delta T_v [-]$	Potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanku $\Delta R_v [-]$
1	2	3	4	5
35.	44	251	2,00	2,00
		ŚREDNIA:	2,82	3,08

Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z tabelą 5.12 wartości potencjału teoretycznego oraz potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego wzrastają wraz ze wzrostem poziomu obsługi transportowej przystanku w danym wieloboku. Na rysunku 5.20 zaprezentowano wykresy punktowe prezentujące zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku a potencjałem teoretycznym i rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach zawierających przystanki należące do klasy 1 obsługi transportowej.

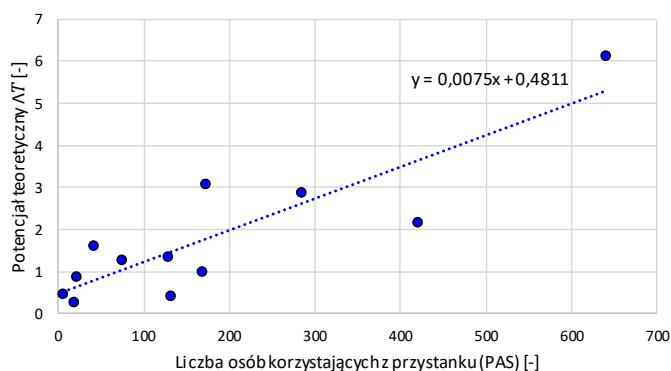


Rys. 5.20 Zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku oraz: a) potencjałem teoretycznym i b) potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach, dla klasy 1 obsługi transportowej

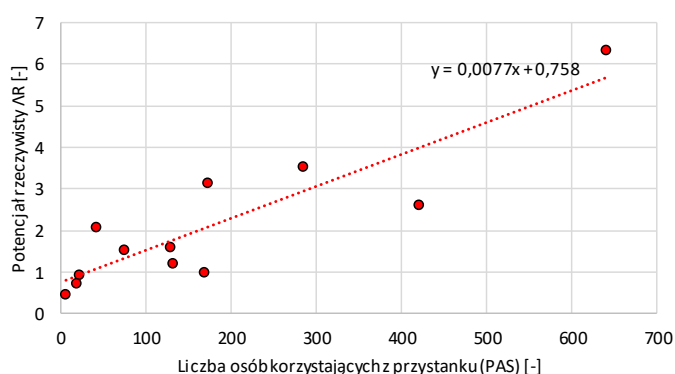
Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z rysunkiem 5.20 zarówno w przypadku potencjału teoretycznego jak i rzeczywistego istnieje dodatnia zależność pomiędzy wartością potencjału a liczbą osób korzystających z przystanku, w wielobokach zawierających przystanki należące do klasy 1. Jednocześnie należy zauważyć, że znaczny wpływ na kształt prostej aproksymującej ma położenie jednego punktu na wykresie.

Na rysunku 5.21 zaprezentowano wykresy punktowe prezentujące zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku, a potencjałem teoretycznym i rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach zawierających przystanki należące do klasy 2 obsługi transportowej.



a)



b)

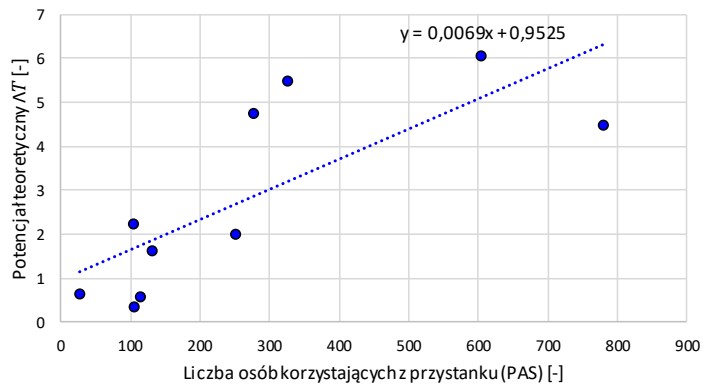
Rys. 5.21 Zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku oraz: a) potencjałem teoretycznym i b) potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach, dla klasy 2 obsługi transportowej

Źródło: Opracowanie własne

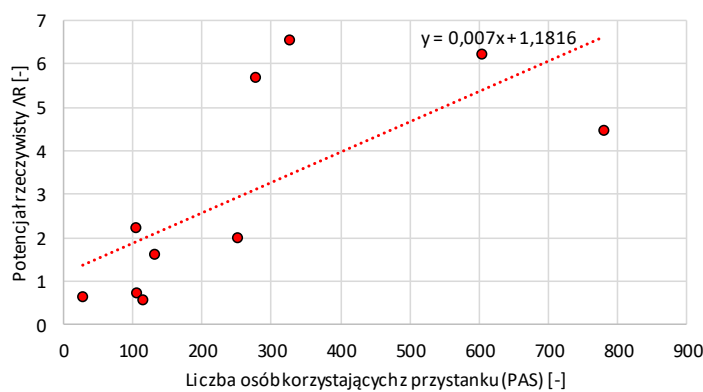
Jak pokazuje rysunek 5.21 w przypadku wieloboków, w których znajdują się przystanki należące do klasy 2 obsługi transportowej także istnieje wyraźna dodatnia zależność pomiędzy wartością potencjału a liczbą osób korzystających z przystanku. W przeciwieństwie do klasy 1 obsługi, w przypadku klasy 2 zależność – zarówno dla potencjału teoretycznego jak i rzeczywistego – nie jest w znaczący sposób spowodowana położeniem jednego punktu na wykresie.

Na rysunku 5.22 zaprezentowano wykresy punktowe prezentujące zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku a potencjałem teoretycznym i rzeczywistym lokalizacji

przystanków w wielobokach zawierających przystanki należące do klasy 3 obsługi transportowej.



a)



b)

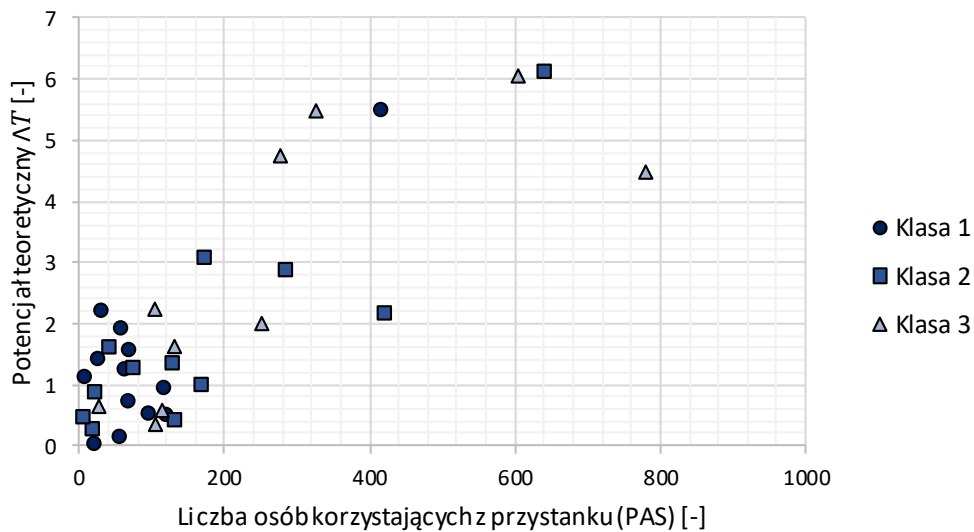
Rys. 5.22 Zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku oraz: a) potencjałem teoretycznym i b) potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach, dla klasy 3 obsługi transportowej

Źródło: Opracowanie własne

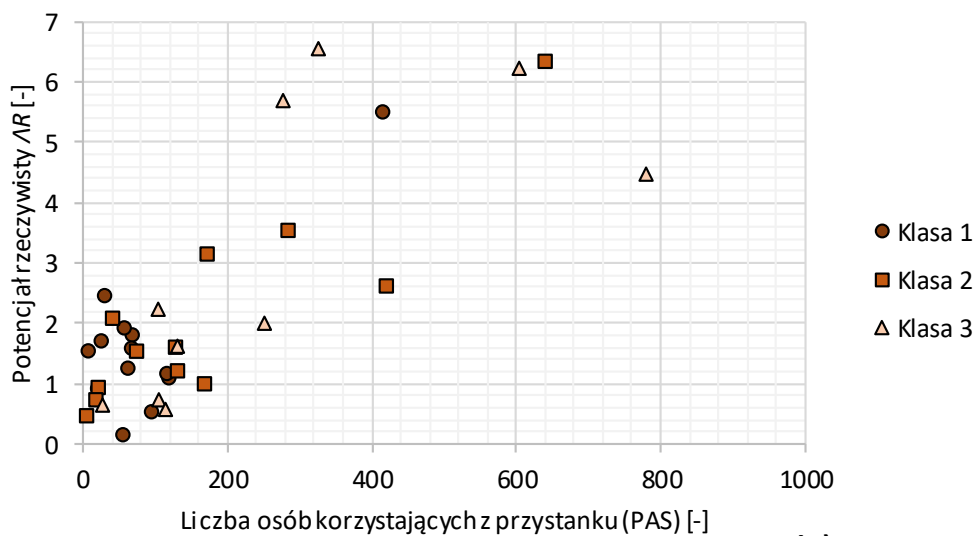
W przypadku wieloboków zawierających przystanki należące do klasy 3 obsługi transportowej także występuje wyraźna, dodatnia zależność pomiędzy potencjałem lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego (zarówno teoretycznym jak i rzeczywistym) a liczbą osób korzystających z przystanku.

Niemniej jednak w przypadku kilku przystanków uzyskane wyniki wymagają pogłębionej analizy. Uzyskane wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków w wielobokach o numerach $v = 178$ i $v = 163$ są bardzo zbliżone i wynoszą odpowiednio 6,23 [-] i 6,55 [-] mimo że liczba osób korzystających z przystanku w wieloboku o $v = 178$ jest prawie dwukrotnie większa. Oba wieloboki zlokalizowane są blisko siebie i obejmują obszar m.in. dużego osiedla mieszkaniowego. To sugeruje konieczność przeprowadzenia dodatkowych analiz uwzględniających wzajemny wpływ wieloboków Woronoja, które nie sąsiadują ze sobą, ale których potencjał lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego wynika w dużej mierze z występowaniem w nich tych samych obiektów zagospodarowania przestrzennego.

Na rysunku 5.23 zaprezentowano zbiorcze wykresy punktowe prezentujące zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku a potencjałem teoretycznym i rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach, dla wszystkich klas obsługi transportowej.



a)



b)

Rys. 5.23 Zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku oraz: a) potencjałem teoretycznym i b) potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach, dla wszystkich klas obsługi transportowej
Źródło: Opracowanie własne

Wykresy zaprezentowane na rysunku 5.23 również pokazują dodatnią zależność pomiędzy potencjałem teoretycznym i potencjałem rzeczywistym, a liczbą osób korzystających z przystanków w wielobokach.

Siła zależności pomiędzy potencjałem teoretycznym ΔT , potencjałem rzeczywistym ΔR i liczbą osób korzystających z przystanków (PAS) została oszacowana za pomocą

współczynnika korelacji Pearsona R . Wyznaczono również współczynniki determinacji R^2 . Wyniki obliczeń dla każdej klasy obsługi zostały zaprezentowane w tabeli 5.13.

Tabela 5.13: Wyniki obliczeń współczynników korelacji i determinacji

	Wartości współczynników KLASA 1	Wartości współczynników KLASA 2	Wartości współczynników KLASA 3
1	2	3	4
R (PAS; ΔT)	0,80	0,87	0,77
R^2 (PAS; ΔT)	0,64	0,76	0,59
R (PAS; ΔR)	0,78	0,89	0,70
R^2 (PAS; ΔR)	0,61	0,78	0,49

Źródło: opracowanie własne

Wyniki obliczeń, pokazane w tabeli 5.13 potwierdzają istnienie silnej, dodatniej zależności pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanków a potencjałem teoretycznym lokalizacji przystanków oraz pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanków a potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków. Dla każdej z trzech klas uzyskano wartości współczynnika korelacji wynoszące co najmniej 0,70.

W przypadku klasy 1 współczynnik korelacji pomiędzy liczbą pasażerów korzystających z przystanku, a potencjałem teoretycznym wynosi 0,80, a współczynnik determinacji 0,64. Oznacza to, że 64% zmienności wartości potencjału teoretycznego zostało wyjaśnione poprzez zmienność liczby pasażerów. Współczynnik korelacji pomiędzy liczbą pasażerów korzystających z przystanku a potencjałem rzeczywistym w klasie jest niższy i wynosi 0,78. Współczynnik determinacji wynoszący 0,61 oznacza, że 61% zmienności wartości potencjału rzeczywistego zostało wyjaśnione poprzez zmienność liczby pasażerów korzystających z przystanków.

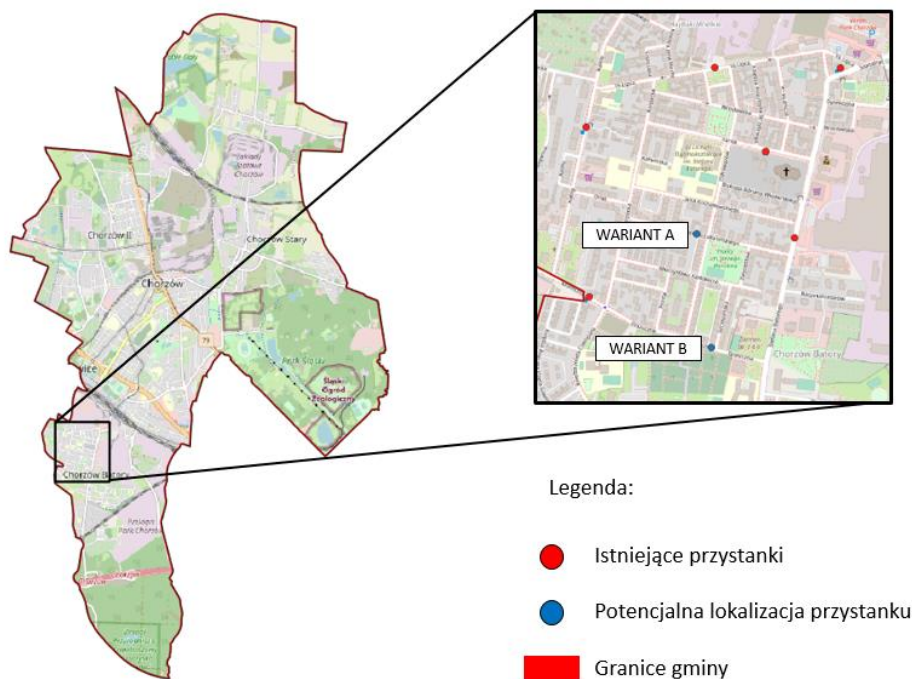
W przypadku klasy 2 obliczone współczynniki korelacji wskazują na jeszcze silniejszą zależność. Współczynnik korelacji pomiędzy liczbą pasażerów korzystających z przystanków a potencjałem teoretycznym wynosi 0,87. Z kolei pomiędzy liczbą pasażerów a potencjałem rzeczywistym występuje współczynnik korelacji równy 0,89. Obie wartości wskazują na bardzo silną, dodatnią zależność. Współczynniki determinacji wynoszą odpowiednio 0,76 i 0,78, co

oznacza, że zarówno w przypadku potencjału teoretycznego jak i potencjału rzeczywistego ponad 75% zmienności wartości tych miar jest wyjaśnione przez zmienność liczby pasażerów korzystających z przystanku.

Najniższe wartości współczynników korelacji zostały uzyskane w przypadku klasy 3. Współczynnik korelacji pomiędzy potencjałem teoretycznym a liczbą osób korzystających z przystanku wynosi 0,77, ale pomiędzy potencjałem rzeczywistym a liczbą osób korzystających z przystanku już 0,70 – to wciąż silna zależność, ale siła zależności jest niższa niż w przypadku obliczeń wykonanych dla klas 1 i 2. Co za tym idzie, również zmienność wartości potencjału teoretycznego i potencjału rzeczywistego została dla tej klasy w mniejszym stopniu wyjaśniona poprzez zmienność liczby pasażerów korzystających z przystanków.

Zgodnie z przyjętymi założeniami weryfikacja metody została przeprowadzona poprzez porównanie oszacowanych wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego oraz liczby osób korzystających z przystanków. Zgodnie z zależnością pokazaną na rysunku 5.23 oraz wynikami obliczeń pokazanymi w tabeli 5.13 istnieje silna, dodatnia zależność pomiędzy potencjałem rzeczywistym a liczbą osób, które korzystały z przystanków, dla każdej klasy obsługi transportowej. Oznacza to, że weryfikacja metody przebiegła pomyślnie, a opracowana metoda pozwala na oszacowanie potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego.

Na rysunku 6.2 pokazano obszar analizy, z zaznaczeniem istniejących przystanków oraz potencjalnych lokalizacji nowego przystanku (warianty A i B).



Rys. 6.2 Obszar analizy z lokalizacją potencjalnych przystanków

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Obszar analizy zlokalizowany jest w południowej części miasta. W obszarze tym znajduje się sześć przystanków publicznego transportu zbiorowego. Podstawowe informacje o istniejących przystankach zostały przedstawione w tabeli 6.1.

Tabela 6.1: Podstawowe informacje o przystankach w obszarze analizy

Nazwa przystanku	Liczba stanowisk tworzących przystanek	Linie komunikacyjne obsługujące przystanek
1	2	3
Chorzów Batory 16	3	22, 48, 74, 98, 139, 144, 165, 632,
Chorzów Batory Plac	1	165, 632, 974
Chorzów Batory Farna	1	165, 632, 974
Chorzów Batory Kościół	2	22, 48, 74, 98, 139, 144, 663

Nazwa przystanku	Liczba stanowisk tworzących przystanek	Linie komunikacyjne obsługujące przystanek
1	2	3
Chorzów Batory	2	165, 201, 632, 974
Chorzów Batory Kaliny	2	165, 632, 974

Źródło: opracowanie własne na podstawie [138]

Zgodnie z informacjami pokazanymi w tabeli 6.1 istniejące przystanki są zróżnicowane pod względem obsługi transportowej oraz liczby stanowisk.

W omawianym przykładzie założono następujące kategorie oraz klasy obiektów zagospodarowania przestrzennego:

- a. kategoria „budynki mieszkalne”:
 - budynki jednorodzinne (1110.Dj),
 - budynki wielorodzinne o 5 lub mniej kondygnacjach (1122.Dw \leq 5),
 - budynki wielorodzinne o więcej niż 5 kondygnacjach (1122.Dw $>$ 5).
- b. kategoria „obiekty handlowo-usługowe”:
 - a. pawilony handlowo-usługowe (1230.Ph),
 - b. hipermarkety lub supermarkety (1230.Hm),
 - c. centra handlowe (1230.Ch),
 - d. domy handlowe lub towarowe (1230.Dh).
- c. kategoria „obiekty edukacyjne i naukowe”:
 - a. szkoły podstawowe (1263.Sp),
 - b. szkoły ponadpodstawowe (1263.Sd),
 - c. szkoły wyższe (1263.Sw).
- d. kategoria „obiekty służby zdrowia”:
 - a. szpitale (1264.Sz).

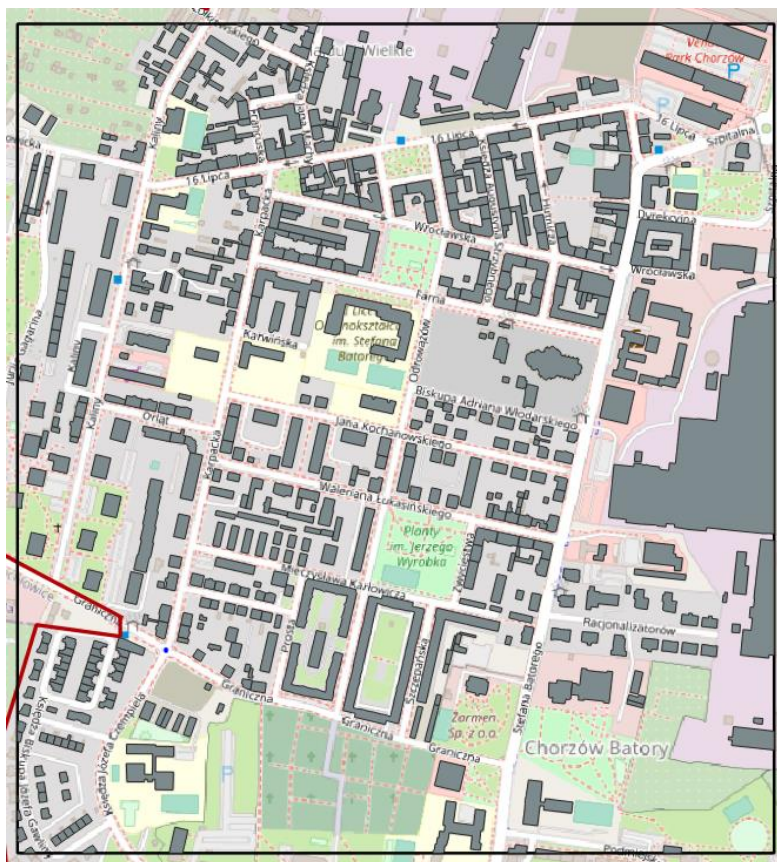
Ustalono także zbiory numerów kategorii **C** oraz numerów klas obiektów zagospodarowania przestrzennego **E**.

W przykładzie przyjęto również takie same wagi kategorii oraz klas, jak podczas weryfikacji opracowanej metody. Wynika to z faktu, że zarówno Chorzów, jak i miasta na podstawie

których przeprowadzono weryfikację (Będzin, Dąbrowa Górnicza oraz Sosnowiec) położone są blisko siebie, w obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii, cechują się także podobieństwami w aspekcie zagospodarowania przestrzennego. W związku z tym założono, że wagi, których wartości wynikają z charakterystyk obiektów zagospodarowania przestrzennego i które zostały uzyskane dzięki analizie obiektów w Będzinie, Dąbrowie Górniczej i Sosnowcu (podrozdział 5.4.3), mogą być analogicznie zastosowane również w Chorzowie. Wartości wag dla poszczególnych klas obiektów zagospodarowania przestrzennego są więc takie same jak w tabeli 5.7.

W przykładzie oszacowano wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków, osobno dla każdego wariantu. Decyzja o lokalizacji nowego przystanku została podjęta na podstawie wartości potencjału rzeczywistego w wielobokach, w których znajdują się proponowane przystanki oraz na podstawie średniej wartości potencjału rzeczywistego w całym obszarze analizy, w obu wariantach.

Wszystkie obiekty zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy zostały pokazane na rysunku 6.3.



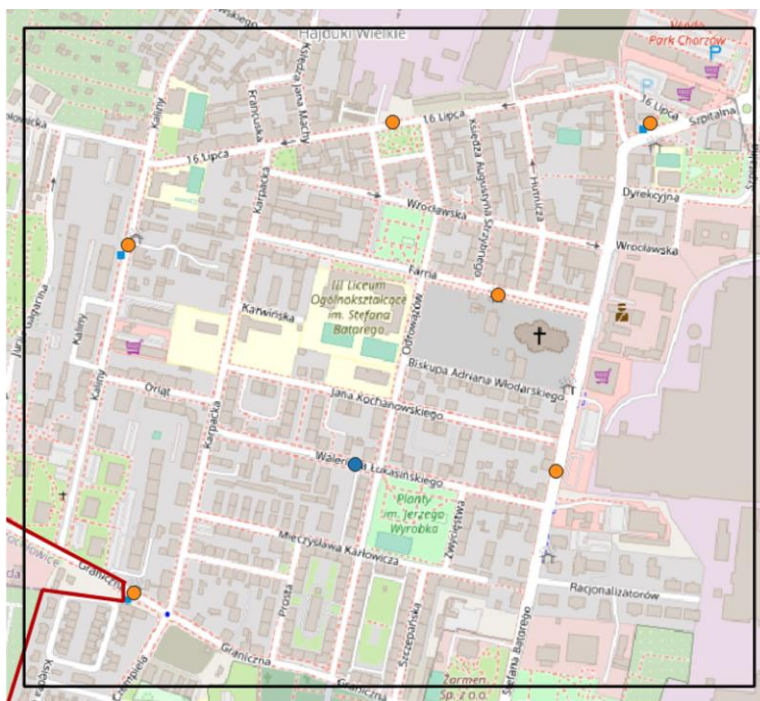
Rys. 6.3 Obiekty zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [136]

Zgodnie z rysunkiem 6.3 zabudowa w obszarze analizy jest zwarta i gęsta. W większości występują obiekty mieszkalne oraz handlowo-usługowe. W zachodniej części obszaru zlokalizowane są obiekty przemysłowe.

6.2 Oszacowanie potencjału rzeczowego – wariant A

Zgodnie z procedurą postępowania w opracowanej metodzie określono obszar analizy dla wariantu A, a następnie zidentyfikowano przystanki w obszarze analizy, aby utworzyć zbiór P oraz współrzędne geograficzne wszystkich stanowisk przystankowych tworzących przystanki w celu utworzenia zbiorów S_p oraz FSP . Na tej podstawie wyznaczono współrzędne środków geometrycznych każdego przystanku, aby zbudować modele przystanków w wariantcie A. Lokalizacja środków geometrycznych przystanków ze zbioru P w wariantcie 1 została pokazana na rysunku 6.4.



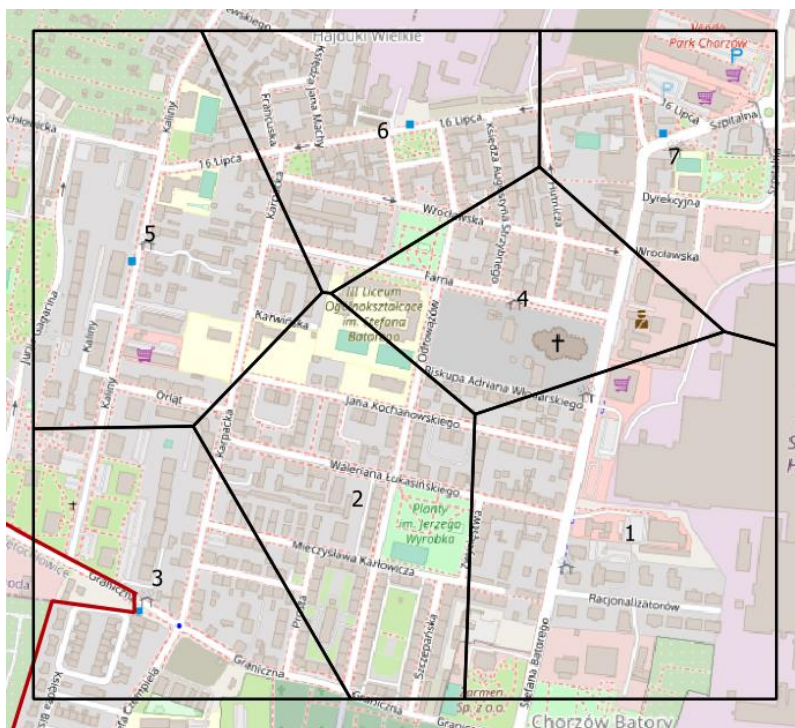
Legenda:

- | | | | |
|---|-------------------------|---|---------------------------------|
|  | granice obszaru analizy |  | modele istniejących przystanków |
|  | granice miasta |  | model potencjalnego przystanku |

Rys. 6.4 Lokalizacja przystanków – wariant A

Źródło: Opracowanie własne

Lokalizacja środków geometrycznych przystanków posłużyła do utworzenia zbioru wieloboków Woronoja V . Obszar analizy, podzielony na wieloboki Woronoja, na podstawie zbioru V , został zaprezentowany na rysunku 6.5.



Rys. 6.5 Wieloboki Woronoja – wariant A

Źródło: Opracowanie własne

Kolejno zidentyfikowano wszystkie obiekty zagospodarowania przestrzennego w każdym wieloboku w obszarze analizy oraz ustalono liczbę obiektów należących do poszczególnych kategorii ze zbioru C oraz należących do klas zagospodarowania przestrzennego E . Liczba tych obiektów została pokazana w tabeli 6.2.

Tabela 6.2: Liczba obiektów zagospodarowania przestrzennego w poszczególnych klasach w wielobokach Woronoja, wariant A

Numer wieloboku (v)	Oznaczenia obiektów zagospodarowania przestrzennego z BDOT10k										
	1110.Dj	1122.Dw <=5	1122.Dw >5	1230.Ch	1230.Dh	1230.Hm	1230.Ph	1263.Sd	1263.Sp	1263.Sw	1264.Sz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	39	0	0	2	0	9	0	0	0	0
2	0	57	0	0	0	0	9	1	0	0	0
3	30	32	6	0	0	0	6	0	0	0	0
4	0	35	0	0	1	0	3	1	0	0	0
5	1	56	4	0	0	0	9	0	2	0	0
6	0	66	0	0	0	0	7	1	0	0	0

Numer wieloboku (v)	Oznaczenia obiektów zagospodarowania przestrzennego z BDOT10k										
	1110.Dj	1122.Dw <=5	1122.Dw >5	1230.Ch	1230.Dh	1230.Hm	1230.Ph	1263.Sd	1263.Sp	1263.Sw	1264.Sz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	0	20	0	0	0	0	11	1	1	0	0

Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z danymi zaprezentowanymi w tabeli 6.2 w poszczególnych wielobokach występują głównie budynki wielorodzinne, przede wszystkim niskie, o nie więcej niż pięciu kondygnacjach. Budynki jednorodzinne znajdują się w trzech wielobokach, a budynki wielorodzinne o więcej niż pięciu kondygnacjach w dwóch. Występują liczne pawilony handlowe oraz pojedyncze domy handlowe. W pięciu z siedmiu wieloboków zlokalizowane są także szkoły podstawowe lub ponadpodstawowe.

Na podstawie zidentyfikowanych liczb obiektów dokonano wyznaczenia potencjału teoretycznego, a następnie – po ustaleniu zbioru wieloboków sąsiednich dla każdego wieloboku – wyznaczono potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków w każdym wieloboku w wariantcie A. Wyniki zostały zaprezentowane w tabeli 6.3

Tabela 6.3: Zestawienie wartości potencjału teoretycznego i potencjału rzeczywistego – wariant A

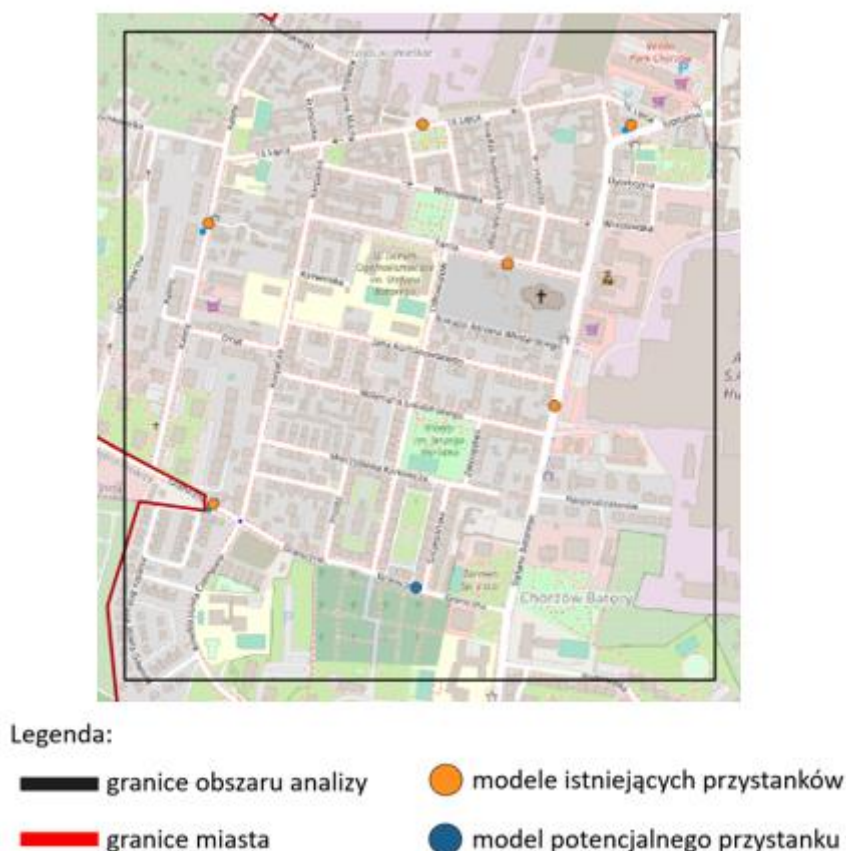
Lp.	Numer wieloboku (v)	Potencjał teoretyczny lokalizacji przystanków ΔT_v [-]	Potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków ΔR_v [-]
1	2	3	4
1.	1	2,76	4,13
2.	2	4,24	7,20
3.	3	3,98	4,83
4.	4	2,59	5,21
5.	5	5,46	8,11
6.	6	5,03	6,86
7.	7	1,09	2,62
		ŚREDNIA:	5,57

Źródło: opracowanie własne

W przypadku wariantu A potencjalny przystanek znajduje się w wieloboku o numerze $v = 2$. Wielobok ten charakteryzuje się wysokim potencjałem lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. Spośród wszystkich wieloboków w obszarze analizy większą wartość potencjału rzeczywistego uzyskano tylko w przypadku wieloboku o numerze $v = 5$. Średnia wartość potencjału rzeczywistego w obszarze analizy wynosi 5.57 [-].

6.3 Oszacowanie potencjału rzeczywistego – wariant B

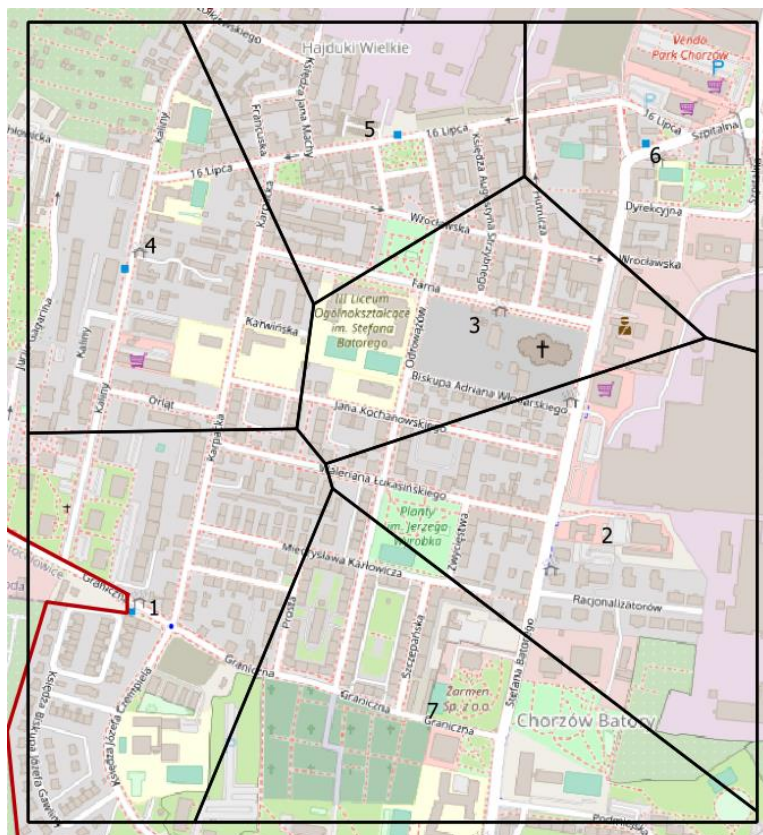
W przypadku wariantu B wykonano analogiczne kroki, aby wyznaczyć wartość potencjału rzeczywistego dla wieloboków, tworzących obszar analizy. Rozpoczęto od określenia obszaru analizy, a następnie zidentyfikowano przystanki i tworzące je stanowiska przystankowe, aby ustalić zbiór P oraz zbiory S_p oraz FSP . Kolejno, na podstawie współrzędnych geograficznych stanowisk przystankowych zbudowano modele przystanków i ustalono lokalizację środków geometrycznych dla każdego przystanku. Lokalizacja przystanków w wariacie B została zaprezentowana w formie graficznej na rysunku 6.6.



Rys. 6.6 Lokalizacja przystanków – wariant B

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie lokalizacji modeli przystanków ustalono zbiór wieloboków Woronoja w wariancie B. Obszar analizy, podzielony na wieloboki, został zaprezentowany na rysunku 6.7.



Rys. 6.7 Wieloboki Woronoja – wariant B
 Źródło: Opracowanie własne

Następnie ustalona została liczba obiektów zagospodarowania przestrzennego w poszczególnych kategoriach oraz klasach. Liczba obiektów w każdym wieloboku została zaprezentowana w tabeli 6.4.

Tabela 6.4: Liczba obiektów zagospodarowania przestrzennego w poszczególnych klasach w wielobokach Woronoja, wariant B

Numer wieloboku (v)	Oznaczenia obiektów zagospodarowania przestrzennego z BDOT10k										
	1110.Dj	1122.Dw <=5	1122.Dw >5	1230.Ch	1230.Dh	1230.Him	1230.Ph	1263.Sd	1263.Sp	1263.Sw	1264.Sz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	54	54	7	0	0	0	9	0	1	0	0
2	2	50	0	0	2	0	11	0	0	0	0

Oznaczenia obiektów zagospodarowania przestrzennego z BDOT10k											
Numer wieloboku (v)	1110.Dj	1122.Dw <=5	1122.Dw >5	1230.Ch	1230.Dh	1230.Hm	1230.Ph	1263.Sd	1263.Sp	1263.Sw	1264.Sz
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	0	47	0	0	1	0	6	1	0	0	0
4	1	62	4	0	0	0	9	0	2	0	0
5	0	69	0	0	0	0	7	1	0	0	0
6	0	20	0	0	0	0	12	1	1	0	0
7	0	11	0	0	1	0	3	1	1	0	0

Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z tabelą 6.4, podobnie jak w przypadku wariantu A w obszarze analizy przeważa niska zabudowa wielorodzinna. Obiekty zabudowy jednorodzinnej występują w zdecydowanej większości w jednym wieloboku.

Na podstawie danych z tabeli 6.4 dokonano oszacowania potencjału teoretycznego oraz potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków dla każdego wieloboku w wariantcie B. Wyniki zostały zaprezentowane w tabeli 6.5

Tabela 6.5: Zestawienie wyników obliczeń potencjału teoretycznego i potencjału rzeczywistego – wariant B

Lp.	Id	Potencjał teoretyczny lokalizacji przystanków ΔT_v [-]	Potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków ΔR_v [-]
1	2	3	4
1.	1	5,24	5,51
2.	2	3,39	4,35
3.	3	3,44	5,31
4.	4	4,68	5,54
5.	5	4,33	6,28
6.	6	1,64	3,19
7.	7	1,39	3,11
		ŚREDNIA:	4,76

Źródło: opracowanie własne

W przypadku wariantu B potencjalny przystanek znajduje się w wieloboku o numerze $v = 7$. Jest to wielobok o najniższym potencjale rzeczywistym spośród wszystkich wieloboków w wariancie B. Średnia wartość potencjału rzeczywistego w obszarze analizy wynosi 4,76 [-].

6.4 Analiza porównawcza – warianty A i B

Dla potrzeb analizy porównawczej wariantów wyznaczono również wartość średniego potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w obszarze dla każdego wariantu. Wartość ta jest średnią arytmetyczną potencjałów rzeczywistych we wszystkich wielobokach w danym wariancie. W tabeli 6.6 zaprezentowano porównanie uzyskanych wyników w obu wariantach.

Tabela 6.6: Porównanie wyników w obu wariantach

	Potencjał teoretyczny lokalizacji przystanków	Potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków
	ΔT_v [-]	ΔR_v [-]
1	2	3
Potencjał wieloboku z proponowaną lokalizacją przystanku – WARIANT A	4,24	7,20
Potencjał wieloboku z proponowaną lokalizacją przystanku – WARIANT B	1,39	3,11
Średni potencjał w obszarze – WARIANT A		5,57
Średni potencjał w obszarze – WARIANT B		4,76

Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z wynikami zaprezentowanymi w tabeli 6.6 większym potencjałem lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego cechuje się lokalizacja przystanku w wariancie A. Również średni potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków jest większy w przypadku wariantu 1.

Bazując na przyjętych miarach oceny – tj. wartości potencjału rzeczywistego w wieloboku, w którym zlokalizowany jest potencjalny przystanek oraz średniej wartości potencjału rzeczywistego w wielobokach w obszarze analizy w obu wariantach – należy stwierdzić, że bardziej korzystna jest lokalizacja przystanku zgodnie z propozycją zawartą w wariancie A.

Jednocześnie należy podkreślić, że opracowana metoda jest narzędziem wspomagającym decyzję o lokalizacji przystanku. Oznacza to, że osoby podejmujące taką decyzję mogą korzystać ze zróżnicowanych miar oceny, a potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego może być jedną ze stosowanych miar. W zaprezentowanym przykładzie założono, że w obszarze analizy zlokalizowany może być tylko jeden nowy przystanek, a decyzja o tym który wariant należy wybrać jest podejmowana na podstawie porównania dwóch wariantów jego lokalizacji. Niemniej jednak decydenci mogą również przyjąć inne miary, np. założyć minimalną wartość potencjału rzeczywistego, którą musi się charakteryzować wielobok. Gdyby taka wartość nie została osiągnięta w żadnym z wariantów wtedy nowy przystanek nie zostałby rekomendowany do ustanowienia w analizowanym obszarze. Stosując inne kryterium można również podjąć decyzję o lokalizacji obu potencjalnych przystanków, m.in. przy założeniu, że zachowana zostanie korzystna odległość między przystankami. Należy podkreślić, że w metodzie uwzględnia się jedynie lokalizację przystanku, a odrębnym problemem, wymagającym dokładniejszych analiz przestrzennych jest lokalizacja stanowisk przystankowych.

Potencjał rzeczywisty lokalizacji przystanków nie jest zatem miarą, która w sposób jednoznaczny określa czy w danej lokalizacji należy umiejscowić przystanek publicznego transportu zbiorowego. Jest to miara, która ma za zadanie wspomagać decydentów w podejmowaniu tej decyzji, przy założonych kryteriach oceny.

7. PODSUMOWANIE I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Obecnie w dużych obszarach miejskich powszechne jest występowanie problemów spowodowanych dominacją samochodu osobowego w podziale modalnym podróży, m.in. kongestii, zanieczyszczenia powietrza, hałasu oraz kolizji i wypadków drogowych. Z tego powodu podejmowane są liczne działania mające na celu zmianę zachowań komunikacyjnych. Do działań tych można zaliczyć kształtowanie systemu publicznego transportu zbiorowego w taki sposób, aby w jak największym stopniu spełniał potrzeby użytkowników.

Funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego powinno być analizowane w sposób wieloaspektowy. Oczekiwania pasażerów związane są zarówno z punktualnością czy częstością kursowania środków publicznego transportu zbiorowego, jak i z odpowiednim planowaniem tras komunikacyjnych, taryfą, informacją pasażerską czy komfortem podróżowania. Niewątpliwie jednak jednym z najważniejszych aspektów funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego jest lokalizacja przystanków.

Przystanek jest dla użytkowników publicznego transportu zbiorowego miejscem szczególnym. Każdy przejazd środkami tego rodzaju transportu rozpoczyna się i kończy na przystanku. Pasażerowie oczekują, że przystanki będą zlokalizowane wystarczająco blisko źródeł i celów ich podróży, tak aby uciążliwości związane z koniecznością pokonania trasy do i z przystanków były jak najmniejsze. Oczywiście nie jest możliwe zlokalizowanie przystanku w pobliżu każdego generatora ruchu. Zbyt gęsta sieć przystanków w negatywny sposób wpłynęłaby na prędkość komunikacyjną środków transportu i na czas podróży pasażerów. Z tego powodu istnieje problem decyzyjny związany z ustaleniem najbardziej korzystnych lokalizacji przystanków, a badania związane z opracowywaniem metod lokalizowania przystanków są niezwykle istotne.

Zgodnie z przeglądem literatury wykonanym na potrzeby przygotowanej rozprawy istnieje wiele podejść do modelowania lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. W części stosowanych metod lokalizacja ustalana jest na podstawie wybranego aspektu funkcjonowania przystanków lub systemu publicznego transportu zbiorowego, np. bezpieczeństwa pasażerów, kosztu podróży czy minimalizacji odległości do przystanku. Istnieją także modele pozwalające na oszacowanie liczby pasażerów, która może skorzystać z określonego przystanku. Modele te bazują jednak na dużej liczbie zmiennych, których pozyskanie może być utrudnione.

Wykonany przegląd literatury uzasadnił potrzebę opracowania metody oszacowania potencjału lokalizacji przystanków, która pozwoli oszacować potencjał przy zastosowaniu niewielkiej liczby, łatwo dostępnych zmiennych. Ponadto, w opinii autora zasadne było wykorzystanie w prowadzonych analizach podziału przestrzeni zgodnego z teselacją Woronoja, aby w precyzyjny sposób ustalić granice otoczenia przystanku.

Przeprowadzone badania pozwoliły na udzielenie odpowiedzi na pytania badawcze, postawione w pierwszym rozdziale rozprawy. Potwierdzone zostały także hipotezy badawcze. W toku analiz ustalony został zbiór zmiennych związanych z zagospodarowaniem przestrzennym, które pozwalają na oszacowanie potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego oraz opracowano formalne odwzorowanie wpływu poszczególnych obiektów, z zastosowaniem modelowania matematycznego.

Opracowana metoda bazuje na wykorzystaniu danych przestrzennych, pochodzących między innymi z bazy obiektów zagospodarowania przestrzennego BDOT10k. W toku prowadzonych badań zastosowano metody i narzędzia analizy przestrzennej, umożliwiające wygodną pracę z danymi przestrzennymi, między innymi narzędzia wizualizacji obiektów zagospodarowania przestrzennego na mapie, metody podziału przestrzeni w obszarze, metody ustalania sąsiedztwa obszarów, metody taksonomiczne na potrzeby klasyfikacji przystanków czy metody odwzorowania lokalizacji obiektów w przestrzeni. Większość analiz została przeprowadzona w programie QGIS oraz w programie Statistica. Należy podkreślić, że są to przykładowe narzędzia, w których można prowadzić niezbędne analizy.

Weryfikacja metody została wykonana na podstawie zbioru przystanków zlokalizowanych w trzech miastach Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii: Będzinie, Dąbrowie Górniczej oraz Sosnowcu. W czasie weryfikacji opracowana metoda została zaimplementowana w przyjętym obszarze analizy, a uzyskane wyniki potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego zostały porównane z danymi o liczbie osób korzystających z przystanków. Weryfikacja została przeprowadzona z zastosowaniem metod statystycznych, między innymi analizy korelacji. Uzyskane wyniki pokazały występowanie silnej, dodatniej zależności pomiędzy potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków a liczbą osób korzystających z przystanku. Na podstawie weryfikacji stwierdzono zatem, że opracowana metoda w dużym stopniu pozwala oszacować rzeczywisty potencjał lokalizacji przystanków. Jednocześnie udowodniono postawioną w pierwszym rozdziale rozprawy tezę pracy, zgodnie z którą istnieje możliwość oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu

zbiorowego na podstawie czynników związanych z obiektami zagospodarowania przestrzennego z zastosowaniem metod analizy przestrzennej.

Wyniki przeprowadzonych analiz potwierdzają także, że podział przestrzeni na wieloboki Woronoja może być efektywnie stosowany w problematyce lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego. Dzięki takiemu sposobowi podziału przestrzeni w jednoznaczny sposób zdefiniowano obszar oddziaływania przystanku i wyznaczono obiekty zagospodarowania przestrzennego, które powinny wpływać na wykorzystanie przystanku w danym wieloboku Woronoja.

Opracowana metoda jako narzędzie wspomagające proces podejmowania decyzji o lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego ma szereg potencjalnych zastosowań. Przykładowe zastosowane metody to między innymi porównanie potencjalnych lokalizacji nowego przystanku w obszarze z istniejącymi przystankami czy poszukiwanie lokalizacji przystanków w korytarzu transportowym bez istniejących przystanków. W rozprawie zaprezentowano przykład zastosowania metody, w którym porównano dwie potencjalne lokalizacje przystanków w obszarze, a następnie na podstawie przyjętych miar oceny wskazano lokalizację, która jest bardziej korzystna.

Zdaniem autora opracowana metoda oszacowania potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego stanowi ważne narzędzie, wspomagające podmioty podejmujące decyzje o lokalizacji przystanków. Metoda bazuje na niewielkiej liczbie łatwo dostępnych charakterystyk, a zatem jej zastosowanie nie wymaga pozyskania dużego zbioru danych, w przeciwieństwie do metod opartych na modelach typu DRM. Metoda nie odzwierciedla stopnia wykorzystania przystanku poprzez obliczenie dokładnej liczby osób, która może z przystanku skorzystać. Pozwala jednak na oszacowanie potencjału lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego, który jest wielkością bezwymiarową.

Opracowana metoda ma również pewne ograniczenia, które należy uwzględnić w kierunkach dalszych badań. Ograniczenia te dotyczą przede wszystkim zakresu zastosowania metody.

Obecnie metoda ma zastosowanie dla przystanków autobusowych, z wyłączeniem dużych dworców czy centrów przesiadkowych. Ograniczenie to wynika z faktu, że inne podsystemy publicznego transportu zbiorowego charakteryzują się pewnymi unikalnymi cechami, np. inną odległością dojścia do przystanku, która jest akceptowana przez pasażerów, przez co w opinii autora należy wykonać szczegółowe analizy oceniające możliwość zastosowania tej metody

np. dla przystanków tramwajowych czy kolejowych. Z kolei lokalizacja dużych zespołów stanowisk przystankowych, np. znajdujących się w obrębie dworca autobusowego wymaga z kolei innego podejścia do problematyki podziału przestrzeni w obszarze. Dworce autobusowe zwykle zajmują duży obszar, w związku z czym otoczenie przystanku zlokalizowanego w obszarze oddziaływania takiego obiektu może być rozumiane inaczej niż w opracowanej metodzie. Lokalizacja centrów przesiadkowych natomiast związana jest przede wszystkim z ustaleniem właściwego miejsca w pobliżu dróg dojazdu do miast, a zatem wymaga przyjęcia innych założeń decydujących o lokalizacji.

W opracowanej metodzie zasadnicze znaczenie ma charakterystyka zagospodarowania przestrzennego w obszarze, w którym prowadzona jest analiza. Z tego powodu w dalszych badaniach należy skupić się na ponownej weryfikacji metody w innych obszarach miejskich, zróżnicowanych pod względem zagospodarowania przestrzennego. Należy także prowadzić badania z zastosowaniem innych zbiorów zmiennych, aby zweryfikować czy zbiór charakterystyk przyjęty w tej pracy może być rozszerzony o dodatkowe zmienne, np. występujące w innych obszarach miejskich.

Innym kierunkiem badań jest opracowanie dedykowanego narzędzia informatycznego, które umożliwi realizację poszczególnych etapów opracowanej metody, w szczególności identyfikację przystanków w obszarze analizy, podział przestrzeni w obszarze na wieloboki Woronoja, pozyskanie danych o zagospodarowaniu przestrzennym, oszacowanie potencjału teoretycznego oraz rzeczywistego oraz ocenę zasadności lokalizacji przystanków, zgodnie z przyjętymi założeniami. Dedykowane oprogramowanie pozwoli na przyśpieszenie procesu obliczeniowego, a co za tym idzie umożliwi dodatkowe eksperymenty z metodą oraz dalszą jej weryfikację.

“Transit serves the community at its stops and stations” – ” (tj. „publiczny transport zbiorowy służy społeczeństwu na przystankach i stacjach”) - to zdanie pochodzące z książki Jarretta Walkera [158], które pokazuje, że problematyka lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego wymaga szczegółowych i dedykowanych analiz. To poprzez odpowiednią lokalizację przystanków system publicznego transportu zbiorowego może realizować swoje podstawowe zadania i służyć społeczeństwu. Prowadząc analizy związane z modelowaniem lokalizacji przystanków należy zatem uwzględnić to, że nadrzędnym ich celem jest kształtowanie systemu w taki sposób, aby jak najbardziej wyjść naprzeciw oczekiwaniom i potrzebom ludzi, którzy z niego korzystają.

Literatura

- [1] Abdul Hamid, A.H., Nuh, N.A.M.: Factors Affecting Bus Ridership With Respect to Passenger Demography: A Case Study of Seberang Perai, Pulau Pinang, Malaysia. Conference: EASTS 2015 Conference, Cebu. 2015
- [2] Adebola, O., Enosko, O.: Analysis of Bus-stops locations using Geographic Information System in Ibadan North L.G.A Nigeria. *Industrial Engineering Letters*. 2012, (2)
- [3] Albacete, X., Olaru, D., Paul, V., Biermann, S.: Measuring the Accessibility of Public Transport: A Critical Comparison Between Methods in Helsinki. *Applied Spatial Analysis and Policy*. 2017, (10), 161-188
- [4] Aleksandrowicz, J., Starowicz, W.: Automatyczne systemy zliczania pasażerów w miejskim transporcie zbiorowym. *Transport Miejski i Regionalny*. 2020, (6), 5-10
- [5] Aurenhammer, F., Klein, R., Lee, D-T.: *Voronoi Diagrams and Delaunay Triangulations*. World Scientific Publishing. 2013
- [6] Banister, D.: The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*. 2008, (15), 73-80
- [7] Baran Ulak, M., Kocatepe, A., Yazici, A., Ozguven, E.E., Kumar, A.: A stop safety index to address pedestrian safety around bus stops. *Safety Science*. 2021, (133)
- [8] Bassett, B.R., Owen, J.M., Meshless discretization of the discrete-ordinates transport equation with integration based on Voronoi cells. *Journal of Computational Physics*. 2022, (449)
- [9] Bock, M., Taygi, A.K., Kreft, J.U., Alt, W.: Generalized Voronoi Tessellation as a Model of Two-dimensional Cell Tissue Dynamics. *Bulletin of Mathematical Biology*. 2010, (72), 1696-1731
- [10] Bostan, B., Kusbeci, M., Cetin, M., Kirca, M.: Buckling performance of fuselage panels reinforced with Voronoi-type stiffeners. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2023, (240)
- [11] Brdulak, J., Pawlak, P., Krysiuk, C., Zakrzewski, B.: Podstawowe teorie lokalizacji działalności gospodarczej oraz znaczenie czynnika transportu. *Logistyka*. 2014, (6), 2254-2260
- [12] Burian, J., Zajickova, L., Ivan, I., Macku, K.: Attitudes and Motivation to Use Public or Individual Transport: A Case Study of Two Middle-Sized Cities. *Social Sciences*. 2018, (7)
- [13] Cao, B., Yin, Y., Zhao, Y., Qian, F.: A novel drift eliminator enhanced by Voronoi-based porous foam applied to liquid desiccant system: Separation performance and preliminary design. *Building and Environment*. 2022, (216)
- [14] Cascetta, E.: *Transportation systems engineering: Theory and methods*. Springer, New York, 2001
- [15] Ceder, A.: *Public transit planning and operation. Modeling, practice and behavior*. CRC Press, Boca Raton, 2016
- [16] Cervero, R., Kockelman, K.: Travel demand and the 3Ds: density, diversity and design. *Transportation Research. Part D*. 1997, (2), 199-219

- [17] Cervero, R., Murakami, J., Miller, M.: Direct Ridership Model of Bus Rapid Transit in Los Angeles County. University of California. 2009
- [18] Chamier-Gliszczyński, N.: Modelowanie mobilności w aspekcie planowania transportu miejskiego. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2017
- [19] Chamier-Gliszczyński, N.: Problematyka monitorowania i oceny w planowaniu zrównoważonej mobilności miejskiej. *Transport Miejski i Regionalny*. 2018, (7), 5-11
- [20] Chen, B-Y., Teng, W., Jia, T., Chen, H-P., Liu, X.: Transit Voronoi diagrams in multi-mode public transport networks. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2022, (96)
- [21] Chi, W., Ding, Z., Wang, J., Chen, G., Sun, L.: A Generalized Voronoi Diagram-Based Efficient Heuristic Path Planning Method for RRTs in Mobile Robots. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2022, (69)
- [22] Chorus, P., Bertolini, L.: An application of the node place model to explore the spatial development dynamics of station areas in Tokyo. *Journal of Transport and Land Use*. 2011, 4(1), 45-58
- [23] Chudak, M.: Lokalizacja przedsiębiorstw a miejscowe planowanie przestrzenne. Wyższa Szkoła Zawodowa im. Jana Amosa Komeńskiego w Lesznie, Leszno, 2009
- [24] Churski, P.: Pojęcie, funkcje i rozwój transportu publicznego. *Rozwój Regionalny I Polityka Regionalna*. 2018, (13), 17–28
- [25] Ciastoń-Ciulkin, A.: Nowa kultura mobilności - istota i ujęcie definicyjne. *Transport Miejski i Regionalny*. 2016 (1), 3-10
- [26] Combs, T.S.: Relationships among access to bus rapid transit, urban form, and household transportation outcomes: evidence from a quasi-longitudinal study in Bogota, Colombia. A dissertation submitted to the faculty of the University of North Carolina at Chapel Hill. 2013
- [27] Corazza, M.V., Favareto, N.: A Methodology to Evaluate Accessibility to Bus Stops as a Contribution to Improve Sustainability in Urban Mobility. *Sustainability*. 2019, (11)
- [28] Cordera, R., Ibeas, A., dell'Ollio L., Alonso, B.: *Land Use - Transport Interaction Models*. CRC Press, Boca Raton, 2018
- [29] Currie, G., Delbosc, A.: Exploring Comparative Ridership Drivers of Bus Rapid Transit and Light Rail Transit Routes. *Journal of Public Transportation*. 2013, (16), 47-65
- [30] dell'Ollio, L., Moura, J.L., Ibeas, A.: A model of cost optimization for the location of bus-stop. *Advanced OR and AI Methods in Transportation*.
- [31] Dill, J., Schlossbers, M., Ma, L., Meyer, C.: Predicting transit ridership at the stop level: the role of service and urban form. 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board. 2013.
- [32] Dobrin, A.: A review of properties and variations of voronoi diagrams. 2005
- [33] Domański, R.: *Geografia ekonomiczna*. PWN, Warszawa - Poznań, 1982
- [34] Du, H., Sun, T., Lv, M., Junhui, M., Zhang, Z.: Dynamic coverage performance of wind-assisted balloons mesh based on Voronoi partition and energy constraint. *Advances in Space Research*. 2022, (70)

- [35] Ducret, R., Lemarie, B., Roset, A.: Cluster Analysis and Spatial Modeling for Urban Freight. Identifying Homogeneous Urban Zones Based on Urban Form and Logistics Characteristics. *Transportation Research Procedia*. 2016, (12), 301-313
- [36] Durning, M., Townsend, C.: Direct Ridership Model of Rail Rapid Transit Systems in Canada. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. 2015, 2537(1), 96-102
- [37] Chorus, P., Bertolini, L.: An application of the node place model to explore the spatial development dynamics of station areas in Tokyo. *Journal of Transport and Land Use*. 2011, 4(1), 45-58
- [38] Estupinan, N., Rodriguez, D.A.: The relationship between urban form and station boardings for Bogota's BRT. *Transportation Research Part A*. 2008, (42), 296-306
- [39] Everitt, B., Landau, S., Leese, M., Stahl, D.: Cluster analysis. Wiley, London, 2011
- [40] Feinstein, J., Shi, W., Ramanujam, J., Brylinski, M.: Bionoi: A Voronoi Diagram-Based Representation of Ligand-Binding Sites in Proteins for Machine Learning Applications. 2021
- [41] Flanagan, E., Malmqvist, E., Oudin, A., Persson, K.S., Ohlsson, J.A., Mattisson, K.: Health impact assessment of road traffic noise exposure based on different densification scenarios in Malmö, Sweden. *Environment International*. 2023, (174)
- [42] Gadziński, J.: Rozwój transportu drogowego jako zagrożenie dla środowiska przyrodniczego – przykład aglomeracji poznańskiej. *Journal of Ecology and Health*. 2011, (15), 165-175
- [43] Gałka, P., Grzelec, K., Hebel, K., Judge, E., Wyszomirski, O.: Urban public transport as a tool of sustainable mobility policy - the example of Poland. *Ekonomia Międzynarodowa*. 2020, (31), 154-184
- [44] Garrido, S., Moreno, L., Abderrahim, M., Martin, F.: Path Planning for Mobile Robot Navigation using Voronoi Diagram and Fast Marching. 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2006
- [45] Gehrke, S. R., Welch, T.F. : A bikeshare station area typology to forecast the station-level ridership of system expansion. *Journal of Transport and Land Use*. 2019, 12(1)
- [46] Godlewska, H.: Lokalizacja działalności gospodarczej. Wybrane zagadnienia. WSHiFM, Warszawa, 2001
- [47] Górna, K.: Analiza konwergencji gospodarczej regionów Unii Europejskiej z wykorzystaniem metod ekonometrii przestrzennej. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń, 2019
- [48] Griffith, D.A.: Some guidelines for specifying the geographic weights matrix contained in spatial statistical models. *Practical handbook of spatial analysis*. Boca Raton, 1996
- [49] Grzelec, K., Miloch, M.: Modelowanie podróży z przesiadkami w transporcie miejskim. *Transport Miejski i Regionalny*. 2017, (1), 6-12
- [50] Guidelines for the Location and Design of Bus Stops. Transportation Research Board. National Research Council. Washington, 1996.

- [51] Gutierrez, J., Cardozo, O.S, Garcia-Palomares, J.C.: Transit ridership forecasting at station level: an approach based on distance-decay weighted regression. *Journal of Transport Geography*. 2011, (19), 1081-1092
- [52] Hafezi, M., Ismail, A.: Interaction between Bus Stops Location and Traffic on Bus Operation. *Applied Mechanics and Materials*. 2011, (97-98), 1185-1188
- [53] Haining, R.: *Spatial data analysis. Theory and practice*. Cambridge, New York, 2009
- [54] Haining, R.: The Nature of Georeferenced Data. *Handbook of Applied Spatial Analysis. Software Tools, Methods and Applications*. Springer, Berlin, 2010
- [55] Hao, G., Zuo, L., Xiong, P., Chen, L., Liang, X., Jing, C.: Associations of PM2.5 and road traffic noise with mental health: Evidence from UK Biobank. *Environmental Research*. 2022, (207)
- [56] Hasninea, M.S., Graovac, A., Camargob, F., Nurul Habiba, K.: A random utility maximization (RUM) based measure of accessibility to transit: Accurate capturing of the first-mile issue in urban transit. *Journal of Transport Geography*. 2019, (74), 313–320
- [57] Hennessy, D.A., Wiesenthal, D.L., Kohn, P.M.: The Influence of Traffic Congestion, Daily Hassles, and Trait Stress Susceptibility on State Driver Stress: An Interactive Perspective. *Journal of Applied Biobehavioral Research*. 2000, (5), 162-179
- [58] Hua, W., Rongguo, M.: Bus-Stop Location Selection Model Based on Voronoi Diagrams. *ICTE 2013: Safety, Speediness, Intelligence, Low-Carbon, Innovation*. 2013
- [59] Ibraeva, A., de Sousa, J.F.: Marketing of public transport and public transport information provision. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014, (162), 121-128
- [60] Islam, M.R., Brussel, M., Grigolon, A., Munshi, T.: Ridership and the Built-Form Indicators: A Study from Ahmedabad Janmarg Bus Rapid Transit System (BRTS). *Urban Science*. 2018, (2)
- [61] Jachimowski, R., Kłodawski, M., Pyza, D., Żak, J.: The application of the genetic algorithm to multi-criteria warehouses location problems on the logistics network. *Transport*. 2018, (33), 741-750
- [62] Jacyna, M., Wasiak, M., Lewczuk, K., Chamier-Gliszczyński, N., Dąbrowski, T.: Decision problems in developing proecological transport. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2018, (20)
- [63] Jacyna, M.: *Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009
- [64] Jacyna-Gołda, I., Gołębiowski, P., Izdebski, M., Kłodawski, M., Jachimowski, R., Szczepański, E.: The evaluation of the sustainable transport system development with the scenario analyses procedure. *Journal of Vibroengineering*. 2017, (19), 5627-5638
- [65] Jamroz, K., Michalski, L., Oskarbski, J.: Zarządzanie bezpieczeństwem ruchu drogowego w miastach. *Transport Miejski i Regionalny*. 2013, (10), 10-16
- [66] Janecki, R.: Nowa kultura mobilności jako kierunek rozwoju transportu miejskiego i regionalnego w województwie śląskim. *Studia ekonomiczne*, 2013, (143), 133-150
- [67] Jariwala, H.J., Syed, H.S., Pandya, M.J., Gajera, Y.M.: Noise Pollution & Human Health: A Review. *Noise and Air Pollution: Challenges and Opportunities*. 2007

- [68] Johar, A., Jain, S.S., Garg, P.k.: A Conceptual Approach for Optimising Bus Stop Spacing. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*. 2017
- [69] Kansky, K., Danscoine, P.: Measures of network structure. *Flux*, numéro special. 1989, 89-121
- [70] Karoń, G., Żochowska, R., Sobota, A., Soczówka, P.: Kształtowanie zrównoważonej mobilności w obszarach miejskich w ujęciu procesowym. *Annały inżynierii ruchu i badań transportowych*. 2019, (3), 77-96
- [71] Karoń, G.: Kształtowanie ruchu w miejskich sieciach transportowych z wykorzystaniem inżynierii systemów. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2019
- [72] Katoshevski, R., Katoshevski, D., Arentze, T., Timmermans, H.: A multi-agent planning support system for assessing the role of transportation and environmental objectives in urban planning. *Journal of Transport and Land Use*. 2014, 7(1)
- [73] Kerkman, K., Martens, K., Meurs, H. Factors influencing bus-stop level ridership in the Arnhem Nijmegen City Region. TRAIL Research School. 2014
- [74] Khomenko, S., et al.: Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities: A health impact assessment. *Environment International*. 2022, (162)
- [75] Kim, S.H., Pyun, C.W., Ryu, J.Y., Kim, Y.H., Kang, J.Y.: Method of Selecting the Optimal Location of Barrier-Free Bus Stops Using Clustering. *Emotional Artificial Intelligence and Metaverse. Studies in Computational Intelligence*. 2023, (1067)
- [76] Kisiała, M., Rudkiewicz, M.: Zastosowanie diagramu Woronoja w badaniu przestrzennych wzorców rozmieszczenia i dostępności sklepów dyskontowych. *Przegląd Geograficzny*. 2017, 89(2), 187-212
- [77] Kolenda, M.: Taksonomia numeryczna. Klasyfikacja, porządkowanie i analiza obiektów wielocechowych. Wydawnictwo AE we Wrocławiu, Wrocław, 2006
- [78] Konstantinovskiy, D., Yan, E.C.Y., Hammes-Schiffer, S.: Characterizing Interfaces by Voronoi Tessellation. *The Journal of Physical Chemistry Letters*. 2023, 14(23)
- [79] Kruszyna, M.: Wyzwania dla Polityk Mobilności, czyli dokumentów rozwijających dotychczasowe Polityki Transportowe. *Transport Miejski i Regionalny*. 2014, (8), 19-24
- [80] Kuciński, K.: Ryzyko lokalizacji przedsiębiorstw w Polsce. CeDeWu, Warszawa, 2014
- [81] Levinson, D. M., Giacomini, D., Badsey-Ellis, A.: Accessibility and the choice of network investments in the London Underground. *Journal of Transport and Land Use*. 2015, 9(1)
- [82] Lloyd, C.D.: *Spatial data analysis. An introduction for GIS users*. Oxford, New York, 2010
- [83] Lo, H. K., Tang, S., Wang, D.Z.: Managing the Accessibility on Mass Public Transit: the Case of Hong Kong. *Journal of Transport and Land Use*. 2008, 1(2)
- [84] Lopez, C., Zhao, C-L., Magniol, S., Chiabaut, N., Leclercq, L.: Microscopic Simulation of Cruising for Parking of Trucks as a Measure to Manage Freight Loading Zone. *Sustainability*, 2019, 11(5)
- [85] Lösch, A.: *Gospodarka przestrzenna. Teoria lokalizacji*. PWE, Warszawa, 1961

- [86] Luo, X., Fan, W., Jiang, W., Zhang, J.: Optimal Design of Bus Stop Locations Integrating Continuum Approximation and Discrete Models. *Traffic Safety in Intelligent and Connected Environment*. 2020
- [87] Ma, J., Shen, Z., Xie, Y., Liang, P., Yu, B., Chen, L.: Node-place model extended by system support: Evaluation and classification of metro station areas in Tianfu new area of Chengdu. *Frontiers in Environmental Science*. 2022, 10.
- [88] Majewski, T., Kisielewicz, G., Kamuda, W.: Badania napętnień pojazdów publicznego transportu zbiorowego przy użyciu monitoringu wewnątrzpojazdowego. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej*. 2017, (119), 29-39
- [89] Mallett, W.J.: Trends in Public Transportation Ridership: Implications for Federal Policy. *Congersional Research Service*. 2018, 1-19
- [90] Märki, F., Charypar, D., Axhausen, K.: Location choice for a continuous simulation of long periods under changing conditions. *Journal of Transport and Land Use*. 2014, 7(2)
- [91] Mavrin, V., Magdin, K., Shepelev, V., Danilov, I.: Reduction of environmental impact from road transport using analysis and simulation methods. *Transportation Research Procedia*. 2020, (50), 451–457
- [92] Menes, M.: Rozwój motoryzacji indywidualnej w Polsce w latach 1990-2015. *Przegląd komunikacyjny*. 2018, (4), 14-25
- [93] Mercier, F., Baujard, O.: Voronoi diagrams to model forest dynamics in French Guiana. *Second Annual Conference of GeoComputation SIRC 97*. 1997
- [94] Merkisz-Guranowski, A., Stańko, K.: Proekologiczne zachowania mieszkańców Poznania związane z transportem miejskim. *Autobusy*. 2014, (5), 87-90
- [95] Mohajeri, N., Amin, G.R., Railway station site selection using analytical hierarchy process and data envelopment analysis. *Computers & Industrial Engineering*. 2010, 59(1), 107-114
- [96] Moura, J.L., Alonso, B., Ibeas, A., Ruisanchez, F.J.: A Two-Stage Urban Bus Stop Location Model. *Networks and Spatial Economics*. 2011
- [97] Mugion, R.G., Toni, M., Raharjo, H., Di Pietro, L., Sebathu, S.P.: Does the service quality of urban public transport enhance sustainable mobility? *Journal of Cleaner Production*. 2018, (174), 1566-1587
- [98] Nishioka, S.: Traffic pollution: control policy and research trend. *Transportation Reserach*. Part A: General. 1989, (23), 73-81
- [99] Nosal, K., Pawłowska, A.: Zmiany w podejściu do zrównoważonej mobilności w miastach. *Transport Miejski i Regionalny*. 2016, (9), 19-25
- [100] Ozbil, A., Peponis, J., Stone, B.: Understanding the link between street connectivity, land use and pedestrian flows. *Urban Design International*. 2011, (16), 125-141
- [101] Pavlyuk, D.: Spatial allocation of bus stops: advanced econometric modelling. *Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability*. 2015
- [102] Phillips, R.O., Hagen, O.H., Berge, S.H.: Bus stop design and traffic safety: An explorative analysis. *Accident Analysis & Prevention*. 2021, (153)

- [103] Ponsard, C.: *Ekonomiczna analiza przestrzenna*. Wydawnictwo AE w Poznaniu, Poznań, 1992
- [104] Potrykowski, M., Taylor, Z.: *Geografia transportu. Zarys problemów, modeli i metod badawczych*. PWN, Warszawa, 1982
- [105] Pulugurtha, S.S., Agurla, M.: Assessment of Models to Estimate Bus-Stop Level Transit Ridership using Spatial Modeling Methods. *Journal of Public Transportation*. 2012, (15), 33-52
- [106] Ramos-Santiago, L.E.: Does walkability around feeder bus-stops influence rapid-transit station boardings? *Journal of Public Transportation*. 2022, (24)
- [107] Rao, M., Rao, K.: Measuring Urban Traffic Congestion – A Review. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. 2012, (2), 286-305
- [108] Reem, D.: The Geometric Stability of Voronoi Diagrams with Respect to Small Changes of the Sites. *SoCG '11: Proceedings of the twenty-seventh annual symposium on Computational geometry*. 2011
- [109] Report of the World Commission on Environment and Development: *Our Common Future*. Oxford University Press. 1987
- [110] Rezuhanul Islam, M., Rahman, T., Das, S., Sinan, S., Zannat, K., Rabiul Islam, M.: Determining suitable bus stop location using geographic information system in Kaptai Road, Chittagong. *Proceedings of the 2nd International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD-2014)*. 2014
- [111] *Ridership Models at the Stop Level*. National Center for Transit Research. State of Florida Department of Transportation. 2004.
- [112] Rodrigue, J.P.: *The Geography of Transport Systems*. Routledge, London, 2016
- [113] Rodriguez-Gonzalez, M.B., Aguero-Valverde, J.: Walking distances from home to bus stops in San José, Costa Rica: Real, perceived, and stated-preference distances. *Advances in Transportation Studies*. 2017, (43), 63-74
- [114] Rokicki, T.: *Teorie lokalizacji działalności gospodarczej*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2018
- [115] Rozkwitalska, C.: *Komunikacja miejska. Organizacja, zarządzanie i finansowanie*. Warszawa, IGPIK, 1994.
- [116] Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych. *Dz.U.* 2021 poz. 1412. 2021 Dostęp: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20210001390>
- [117] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 26 czerwca 2017 r. w sprawie utworzenia w województwie śląskim związku metropolitalnego pod nazwą "Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia". *Dz.U.* 2017 poz. 1290. 2017. Dostęp: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20170001290>
- [118] Rudnicki, A.: *Jakość komunikacji miejskiej*. Wydawnictwo SITK, Kraków, 1999
- [119] Ryan, S., Frank, L.F.: Pedestrian environments and transit ridership. *Journal of Public Transportation*. 2009, (12), 39–57

- [120] Rydzikowski, W., Wojewódzka-Król, K.: Transport. PWN, Warszawa, 1997
- [121] Selecting School Bus Stop Locations: A Guide for School Transportation Professionals. Prepared by the National Center for Safe Routes to School and the Pedestrian and Bicycle. 2010
- [122] Shatnawi, N., Al.-Omari, A.A., Al.-Qudah, H.: Optimization of Bus Stops Locations Using GIS Techniques and Artificial Intelligence. *Procedia Manufacturing*. 2020, (44), 52-59
- [123] Shearston, J.A., Rowland, S.T., Butt, T., Chillrud, S.N., Casey, J.A., Edmondson, D., Hilpert, M., Kioumourtzoglou, M.A.: Can traffic-related air pollution trigger myocardial infarction within a few hours of exposure? Identifying hourly hazard periods. *Environment International*. 2023
- [124] Snellen, D.: The relationship between urban form and activity patterns multi-variate analysis of frequently made trips. *Proceedings of the ETC Conference, Seminar B "Transportation Planning, Policy and Practice"*. 1999, (P430), 429-439
- [125] Soczówka, P., Żochowska, R., Karoń, G.: Method of the Analysis of the Connectivity of Road and Street Network in Terms of Division of the City Area. *Computation*. 2020, (8)
- [126] Soczówka, P., Żochowska, R., Sobota, A., Kłós, M.J.: The Effect of Delimitation of the Area on the Assessment of the Density of the Road Network Structure. *Modern Traffic Engineering in the System Approach to the Development of Traffic Networks*. 2020
- [127] Soczówka, P., Żochowska, R.: Interactions between tram passengers and road vehicles at tram stops – a pilot study. *Transactions on Transport Sciences*. 2020, (11), 64-76
- [128] Soczówka, P., Żochowska, R.: Metoda wyboru wskaźników topologicznych do oceny struktury sieci drogowo-ulicznej. *WUT Journal of Transportation Engineering*. 2018, (120), 373-383
- [129] Soczówka, P.: Method of classification of spatial units for transit - related analyses. *Transport Problems*. 2021, (16), 17-28
- [130] Sołtysiak, A., Migawa, K., Sołtysiak, R., Maćkowiak, P.: Analiza czasu wymiany potoków pasażerskich na przystankach autobusowych w Bydgoszczy. 2017, (6), 1078-1083
- [131] Sorensen, M.: Air pollution, road traffic noise and lack of greenness and risk of type 2 diabetes: A multi-exposure prospective study covering Denmark. *Environment International*. 2022, (170)
- [132] Stadler, T., Hofmeister, S., Dunnweber, J.: A Method for the Optimized Placement of Bus Stops Based on Voronoi Diagrams. *Proceedings of the 55th Hawaii International Conference on System Sciences*. 2022
- [133] Starowicz, W.: Jakość przewozów w miejskim transporcie zbiorowym. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2007
- [134] Stec, M.: Taksonomiczna analiza poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego województw Polski. Studium przypadku - województwo podkarpackie. Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów, 2017
- [135] Strona internetowa Banku Danych Lokalnych. Dostęp: <https://www.bdl.stat.gov.pl/bdl/start> (dostęp: 21.05.2023r.)

- [136] Strona internetowa OpenStreetMap. Dostęp: <https://www.openstreetmap.org> (dostęp: 21.05.2023r.)
- [137] Strona internetowa Statista. Dostęp: <https://www.statista.com/statistics/> (dostęp: 20.06.2023r.)
- [138] Strona internetowa Zarządu Transportu Metropolitalnego. Dostęp: <https://www.metropoliatm.pl> (dostęp: 20.06.2023r.)
- [139] Su, J., et al: 5G multi-tier radio access network planning based on voronoi diagram. Measurement. 2022, (192)
- [140] Suchecka, J.: Statystyka przestrzenna. C.H. Beck, Warszawa, 2014.
- [141] Suchecki, B.: Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych. C.H. Beck, Warszawa, 2010
- [142] Supangat, K., Soelistio, Y.E.: Bus Stops Location and Bus Route Planning Using Mean Shift Clustering and Ant Colony in West Jakarta. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017, (185)
- [143] Szarata, A.: Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej. Politechnika Krakowska, Kraków, 2013
- [144] Szczepański, E., Jachimowski, R., Izdebski, M., Jacyna-Gołda, I.: Warehouse location problem in supply chain designing: a simulation analysis. Archives of Transport. 2019, (50)2, 101-110
- [145] Tahilyani, S., Saxena, S., Karras, D.A., Gupta, S.K., Dixit, C.K., Haralayaa, B.: Deployment of Autonomous Vehicles in Agricultural and using Voronoi Partitioning. International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKES). 2022
- [146] Talagala, P.D., Kalukottege, C.J.P.: Factors affecting to public bus transport ridership: a case of capital Colombo. Conference: International Forum for Mathematical Modeling. 2014
- [147] Taylor, B.D., Fink, C.N.Y.: The Factors Influencing Transit Ridership: A Review and Analysis of the Ridership Literature. UCLA Department of Urban Planning. 2003
- [148] Teknomo, K., Hokao, K., Iamtrakul, P.: Evaluation of Public Park Location Using Voronoi Diagram. Conference: 9th International Student Seminar on Transport Research. 2003
- [149] Transport – wyniki działalności w 2021 r. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa, 2022
- [150] Transport drogowy w Polsce w latach 2020 i 2021. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa, Szczecin, 2023
- [151] Troncoso Parady, G., Takami, K., Harata, N.: Built environment and travel behavior: Validation and application of a continuous-treatment propensity score stratification method. Journal of Transport and Land Use. 2017, 10(1)
- [152] Uniwersalny słownik języka polskiego PWN. Warszawa, 2008
- [153] Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym. Dz.U. 2011 nr 5 poz. 13. Dostęp: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20110050013>
- [154] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. - Prawo o ruchu drogowym. Dz.U. 1997 nr 98 poz. 602. Dostęp: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19970980602>

- [155] Ustawa z dnia 9 marca 2017 r. o związku metropolitalnym w województwie śląskim. Dz.U. 2017 poz. 730. 2017. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20170000730>
- [156] van Lieshout, M.N.M.: Theory of spatial statistics. A concise introduction. CRC Press, Boca Raton, 2019
- [157] Vencataya, L., Pudaruth, S., Dirpal, G., Narain, V.: Assessing the causes & impacts of traffic congestion on the society, economy and individual: a case of Mauritius as an emerging economy. *Studies in Business and Economics*. 2018, (13), 230-242
- [158] Walker, J.: Human Transit. Washington D.C., Island Press, 2012.
- [159] Wang, F., Ye, M., Zhu, H., Gu, D.: Optimization Method for Conventional Bus Stop Placement and the Bus Line Network Based on the Voronoi Diagram. *Sustainability*. 2022, (14)
- [160] Wibowo, S.S., Olszewski, P.: Modeling walking accessibility to public transport terminals: case study of Singapore mass rapid transit. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005, (6), 147-156
- [161] Wojtal, R.: Zanieczyszczenie powietrza w miastach w aspekcie ruchu samochodowego. *Transport Miejski i Regionalny*. 2018, (1) 12-17
- [162] Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2021, z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej. Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego. Warszawa, 2022
- [163] Wysocki, F.: Metody taksonomiczne w rozpoznawaniu typów ekonomicznych rolnictwa i obszarów wiejskich. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań, 2010
- [164] Xuebin, W.: Optimizing bus stop locations in Wuhan, China. Master's Thesis submitted to the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation. Enschede, 2010
- [165] Xue-Cheng, S., Xin-Gang, L., Dong-Fan, X., Bin, J., Rui, J.: Two-lane traffic flow model based on regular hexagonal cells with realistic lane changing behavior. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2020, 560
- [166] Yong-Sheng, Q., Xiao, F., Jun-Wei, Z.: A cellular automata traffic flow model for three-phase theory. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2017, (479)
- [167] Zamanian, M.H., Pieravian, F.: Multi-Step Heuristic Method for Bus Terminal Location Problem. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2019, (2763)
- [168] Zhang, K., Liu, F., Xia, K., Xu, Y., Dong, P., Yu, C.: On the calibration and verification of Voronoi-based discontinuous deformation analysis for modeling rock fracture. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2023
- [169] Zhang, Y., Marshall, S., Manley, E.: Network Criticality and the Node-Place-Design Model: Classifying metro station areas in Greater London. *Journal of Transport Geography*. 2019, 79, 1-18.
- [170] Żak, J., Gołębiowski, P., Jachimowski, R.: Wybrane aspekty modelowania rozwoju systemu transportowego z uwzględnieniem aspektu środowiskowego. *Gospodarka Materiałowa*. 2019, (5), 2-7

- [171] Żak, J.: Modelowanie procesów transportowych metodą sieci faz. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2013.
- [172] Żochowska, R.: Wielokryterialne wspomaganie podejmowania decyzji w zastosowaniu do planowania tymczasowej organizacji ruchu w sieciach miejskich. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2015

Spis tabel

Tabela 2.1: Zastosowanie teselacji regularnej w analizach transportowych

Tabela 2.2: Zastosowanie teselacji Woronoja w wybranych dziedzinach nauki

Tabela 3.1: Wybrane metody modelowania i oceny zasadności lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego

Tabela 3.2: Przykłady zmiennych objaśniających stosowanych w wybranych modelach DRM

Tabela 4.1: Szczegółowe założenia opracowanej metody

Tabela 5.1: Podstawowe dane o miastach, w których znajdują się analizowane przystanki

Tabela 5.2: Linie publicznego transportu zbiorowego w analizowanych miastach

Tabela 5.3: Lista przystanków do przeprowadzenia weryfikacji

Tabela 5.4: Klasy przystanków w aspekcie obsługi transportowej

Tabela 5.5: Wagi kategorii obiektów zagospodarowania przestrzennego

Tabela 5.6: Ustalenie wag klas obiektów zagospodarowania przestrzennego w kategorii „budynki mieszkalne”

Tabela 5.7: Wagi klas obiektów zagospodarowania przestrzennego

Tabela 5.8: Zbiór wieloboków Woronoja z przypisaniem przystanków

Tabela 5.9: Liczba obiektów zagospodarowania przestrzennego w poszczególnych klasach w wielobokach Woronoja, na podstawie których przeprowadzono weryfikację

Tabela 5.10: Wartości potencjału teoretycznego przystanków publicznego transportu zbiorowego

Tabela 5.11: Wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego

Tabela 5.12: Zestawienie wartości potencjału i liczby osób korzystających z przystanków

Tabela 5.13: Wyniki obliczeń współczynników korelacji i determinacji

Tabela 6.1: Podstawowe informacje o przystankach w obszarze analizy

Tabela 6.2: Liczba obiektów zagospodarowania przestrzennego w poszczególnych klasach w wielobokach Woronoja, wariant A

Tabela 6.3: Zestawienie wartości potencjału teoretycznego i potencjału rzeczywistego – wariant A

Tabela 6.4: Liczba obiektów zagospodarowania przestrzennego w poszczególnych klasach w wielobokach Woronoja, wariant B

Tabela 6.5: Zestawienie wyników obliczeń potencjału teoretycznego i potencjału rzeczywistego – wariant B

Tabela 6.6: Porównanie wyników w obu wariantach

Spis rysunków

- Rys. 1.1 Przykłady rozmieszczenia stanowisk przystankowych tworzących przystanek
- Rys. 2.1 Wyznaczanie pierścieni von Thünera
- Rys. 2.2 System ośrodków centralnych
- Rys. 2.3 Przykład danych rastrowych
- Rys. 2.4 Przykład danych wektorowych: a) punkty, b) linie, c) poligony
- Rys. 2.5 Przykład teselacji regularnych: a) pola podstawowe w kształcie sześciokątów, b) pola podstawowe w kształcie trójkątów równobocznych, c) pola podstawowe w kształcie kwadratów
- Rys. 2.6 Przykład teselacji Woronoja
- Rys. 2.7 Konstrukcja wieloboków Woronoja
- Rys. 2.8 Podział metod taksonomicznych
- Rys. 2.9 Przykład drzewa klasyfikacji
- Rys. 3.1 Zależności pomiędzy lokalizacją przystanków i postulatami przewozowymi
- Rys. 4.1 Modele przystanków złożonych z: a) jednego stanowiska, b) dwóch stanowisk, c) trzech i więcej stanowisk
- Rys. 4.2 Przykłady lokalizacji obiektów zagospodarowania przestrzennego przy granicy obszaru analizy: a) 100% powierzchni obiektu w obszarze analizy, b) ok. 95% powierzchni obiektu w obszarze analizy, c) ok. 50% powierzchni obiektu w obszarze analizy, d) ok. 25% powierzchni obiektu w obszarze analizy
- Rys. 4.3 Ogólny schemat opracowanej metody
- Rys. 4.4 Etap 1 – przykłady modeli obszaru analizy: a) obszar analizy obejmujący całe miasto, b) obszar analizy obejmujący dzielnicę miasta, c) obszar analizy obejmujący wybrany fragment miasta
- Rys. 4.5 Etap 2 – ustalenie zbioru stanowisk przystankowych - dla przykładowych przystanków
- Rys. 4.6 Etap 2 – ustalenie modeli przystanków w obszarze analizy – dla przykładowych przystanków
- Rys. 4.7 Etap 4 – model podziału obszaru analizy
- Rys. 4.8 Algorytm opracowanej metody
- Rys. 4.9 Zastosowanie opracowanej metody przy wyborze najkorzystniejszej lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego ze zbioru wariantów lokalizacji
- Rys. 4.10 Zastosowanie opracowanej metody przy ustaleniu lokalizacji przystanków w obszarze bez istniejących przystanków
- Rys. 4.11 Zastosowanie opracowanej metody przy ocenie zasadności zmiany lokalizacji przystanku
- Rys. 5.1 Schemat postępowania podczas weryfikacji opracowanej metody
- Rys. 5.2 Obszar GZM na tle województwa śląskiego

Rys. 5.3 Miasta poddane analizie na tle GZM

Rys. 5.4 Granice administracyjne Będzina, Dąbrowy Górniczej oraz Sosnowca

Rys. 5.5 Wszystkie stanowiska przystankowe w miastach poddanych analizie

Rys. 5.6 Diagram drzewa klasyfikacji przystanków, na podstawie których przeprowadzono weryfikację

Rys. 5.7 Odległość wiązania w kolejnych krokach klasyfikacji

Rys. 5.8 Widok wtyczki Pobieracz Danych GUGiK

Rys. 5.9 Obiekty zagospodarowania przestrzennego w mieście Sosnowiec

Rys. 5.10 Przykład tabeli w programie QGIS z informacjami o obiektach topograficznych w mieście Sosnowiec

Rys. 5.11 Obszar analizy na tle analizowanych miast

Rys. 5.12 Przykład identyfikacji zbioru stanowisk przystankowych dla wybranych przystanków w obszarze analizy

Rys. 5.13 Zbiór środków geometrycznych przystanków w obszarze analizy

Rys. 5.14 Zbiór wieloboków Woronoja w obszarze analizy

Rys. 5.15 Obiekty zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy

Rys. 5.16 Wartości potencjału teoretycznego wieloboków

Rys. 5.17 Przykład ustalania poziomów sąsiedztwa wieloboków sąsiednich

Rys. 5.18 Wartości potencjału rzeczywistego lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego w wielobokach, dla których przeprowadzono weryfikację

Rys. 5.19 Różnice pomiędzy potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków publicznego transportu zbiorowego a potencjałem teoretycznym lokalizacji przystanków publicznego transportu w wielobokach, dla których przeprowadzono weryfikację

Rys. 5.20 Zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku oraz: a) potencjałem teoretycznym i b) potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach, dla klasy 1 obsługi transportowej

Rys. 5.21 Zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku oraz: a) potencjałem teoretycznym i b) potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach, dla klasy 2 obsługi transportowej

Rys. 5.22 Zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku oraz: a) potencjałem teoretycznym i b) potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach, dla klasy 3 obsługi transportowej

Rys. 5.23 Zależność pomiędzy liczbą osób korzystających z przystanku oraz: a) potencjałem teoretycznym i b) potencjałem rzeczywistym lokalizacji przystanków w wielobokach, dla wszystkich klas obsługi transportowej

Rys. 6.1 Obszar miasta Chorzów na tle gmin GZM

Rys. 6.2 Obszar analizy z lokalizacją potencjalnych przystanków

Rys. 6.3 Obiekty zagospodarowania przestrzennego w obszarze analizy

Rys. 6.4 Lokalizacja przystanków – wariant A

Rys. 6.5 Wieloboki Woronoja – wariant A

Rys. 6.6 Lokalizacja przystanków – wariant B

Rys. 6.7 Wieloboki Woronoja – wariant B