



ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Katarzyna Turoń

**Model kształtowania i wdrażania systemu car-sharing z wykorzystaniem
wielokryterialnego wspomaganie decyzji**

A model of shaping and implementing car-sharing system
based on multi-criteria decision making

Promotor
prof. dr hab. inż. Piotr Czech

Promotor pomocniczy
dr hab. inż. Grzegorz Sierpiński, prof. PŚ

Streszczenie

Aktualnie na rynku miejskich systemów transportowych obserwuje się wzrost zainteresowania wdrażaniem usług krótkoterminowego wynajmu pojazdów (ang. *car-sharing*), jako alternatywy do klasycznych form mobilności. Pojawia się zatem problem decyzyjny dotyczący doboru odpowiedniego rodzaju systemu dla wybranego obszaru.

Dysertacja bazuje na opracowanej autorskiej, uniwersalnej oraz kompleksowej koncepcji modelu służącego kształtowaniu i wdrażaniu usług car-sharingu dostosowanego do potrzeb danego obszaru miejskiego oraz interesariuszy. Zaproponowana metoda bazuje na wykorzystaniu aspektów modelowania matematycznego systemów transportowych, wraz z metodami wielokryterialnego wspomagania decyzji.

Opracowany model bazuje na 7-etapowym algorytmie postępowania obejmującym:

- wykonanie wielopłaszczyznowej analizy środowiska decyzyjnego wraz z utworzeniem modelu identyfikacyjnego usług car-sharingu,
- strukturyzację problemu decyzyjnego,
- określenie metody identyfikacji wariantów decyzyjnych, ustaleniu kryteriów oceny wariantów decyzyjnych,
- wybór odpowiednich metod wielokryterialnego wspomagania decyzji,
- wykonanie eksperymentów obliczeniowych z analizą wyników i oceną funkcjonowania modelu.

Zaproponowany algorytm stanowi instrukcję postępowania podczas chęci kształtowania własnego systemu car-sharingu możliwego do wdrożenia na danym obszarze.

Wykonany w dysertacji model został zastosowany oraz zweryfikowany na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM). Zaproponowanych zostało sześć wariantów wdrożenia usług car-sharingu, które zostały ocenione z punktu widzenia zestawu sześciu kryteriów głównych oraz dwudziestu trzech subkryteriów, w procesie modelowania preferencji 4 grup interesariuszy. Eksperymenty obliczeniowe zostały wykonane za pomocą trzech metod wielokryterialnego wspomagania decyzji tj.: AHP, ELECTRE III oraz TOPSIS. Jako rezultat wykonanych eksperymentów obliczeniowych uzyskano końcowe rankingi scenariuszy wdrażania usług car-sharingu, uszeregowane od wariantu najlepszego do najgorszego, z punktu widzenia każdego z interesariuszy. W celu sprawdzenia stabilności opracowanych rozwiązań na zmiany wartości wag przeprowadzono analizę wrażliwości modelu. Analiza polegała na wykonaniu symulacji obliczeniowych z uwzględnieniem zmodyfikowanych wartości wag w zakresie od -50% do +50%.

Wynikiem końcowym przeprowadzonych analiz było opracowanie rekomendacji w zakresie wdrażania usług car-sharingu na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Otrzymane rezultaty wskazują na poprawność opracowanego modelu oraz możliwość zastosowania wybranych metod wielokryterialnego wspomagania decyzji podczas procesu kształtowania i wdrażania systemu car-sharingu w warunkach rzeczywistych.

Abstract

The increase of the interest in the implementing car-sharing services in the urban transport systems as an alternative to classic forms of mobility is currently being observed. Therefore, there is a decision problem regarding selecting the appropriate type of system for the selected location.

The dissertation is based on an original, universal and comprehensive concept of a model for shaping and implementing car-sharing services fitted to a given urban area and stakeholders' needs. The proposed method is based on using aspects of mathematical modeling of transport systems and multi-criteria decision support methods.

The developed model is based on a 7-step procedure algorithm including:

- performing a multi-faceted analysis of the decision-making environment with the creation of an identification model for car-sharing services,
- structuring of the decision problem,
- determining the method of identifying decision variants, establishing the criteria for assessing decision variants,
- selection of appropriate methods of multi-criteria decision support,
- performing computational experiments with the analysis of the results and evaluation of the model functioning.

The proposed algorithm is a user manual to shape own car-sharing system to be implemented in a given area.

The model presented in the dissertation was applied and verified in the area of the Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (GZM). Six variants of the implementation of car-sharing services were proposed, which were assessed from the point of view of a set of 6 main criteria and 23 sub-criteria, in the process of modeling the preferences of 4 groups of stakeholders. Computational experiments were performed using three multi-criteria decision support methods, i.e., AHP, ELECTRE III and TOPSIS. As a result of the computational experiments, the final rankings of the car-sharing scenarios were obtained, ranked from the best to the worst, from each stakeholder's point of view. To verify the stability of the developed final rankings to the changes in the weights of the criteria, a sensitivity analysis of the results was performed. The study consisted of performing computational simulations taking into account modified criteria weights from -50% to 50%.

The final result of the analyzes was the development of recommendations for the implementation of car-sharing services in the Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia. The obtained results indicate the correctness of the developed model and the possibility of using selected multi-criteria decision support methods during the process of shaping and implementing the car-sharing system in real conditions.

Spis treści

Wykaz skrótów i oznaczeń.....	6
1. Wstęp.....	9
2. Usługi współdzielenia samochodów w miejskich systemach transportowych – car-sharing	13
2.1. Rys historyczny usług car-sharingu	14
2.2. Zasada działania usług car-sharingu	18
2.3. Zróżnicowanie modeli systemów usług car-sharingu	21
2.4. Charakterystyka floty pojazdów wykorzystywanych w systemach car-sharingu.....	23
2.5. Opłaty za korzystanie z usług w systemach car-sharingu	24
2.6. Aktualny stan rynku car-sharingu w Polsce i na świecie	28
3. Systemy car-sharingu w świetle badań naukowych	31
4. Modelowanie matematyczne w miejskich systemach transportowych.....	34
5. Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji.....	37
5.1. Podstawowe definicje.....	37
5.2. Klasyfikacja metod.....	43
5.3. Wybrane metody wielokryterialne oparte na relacjach przewyższania	46
5.4. Wybrane metody wielokryterialne oparte na funkcji użyteczności	50
5.5. Wybrane metody wielokryterialne oparte na miarach agregatowych	53
5.6. Metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji stosowane w zagadnieniach transportowych.....	55
6. Uzasadnienie podjęcia tematu – postawienie problemu badawczego i teza pracy	56
7. Propozycja autorskiego modelu kształtowania i wdrażania systemów car-sharingu.....	59
7.1. Wielopłaszczyznowa analiza środowiska problemu decyzyjnego	60
7.2. Strukturyzacja problemu decyzyjnego	67
7.3. Określenie wariantów decyzyjnych (scenariuszy)	67
7.4. Ustalenie kryteriów oceny wariantów decyzyjnych.....	75
7.5. Wybór metod obliczeniowych	94
7.6. Eksperymenty obliczeniowe	97
7.7. Analiza wrażliwości	98
8. Zastosowanie zaproponowanej metody – studium przypadku terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii	99
8.1. Wielopłaszczyznowa analiza środowiska decyzyjnego	99
8.1.1. Charakterystyka obszaru Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii	100
8.1.2. Charakterystyka transportu na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii.....	103
8.2. Strukturyzacja problemu decyzyjnego	110
8.3. Zdefiniowanie scenariuszy decyzyjnych.....	112

8.4. Ocena scenariuszy	123
8.5. Modelowanie preferencji decydentów	124
8.6. Wybór metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji	126
8.7. Eksperymenty obliczeniowe przeprowadzone metodą AHP	126
8.7.1 Analizy dla metropolii jako inwestora	127
8.7.2. Analizy dla metropolii jako „klienta” usług car-sharingowych	129
8.7.3. Analizy dla operatora systemu car-sharingu	131
8.7.4. Analizy dla użytkownika systemu car-sharingu.....	133
8.8. Eksperymenty obliczeniowe przeprowadzone metodą ELECTRE III.....	135
8.8.1. Analizy dla metropolii jako inwestora	135
8.8.2. Analizy dla metropolii jako „klienta” usług car-sharingowych	138
8.8.3. Analizy dla operatora usług car-sharingu.....	142
8.8.4. Analizy dla użytkownika usług car-sharingu	145
8.9. Eksperymenty obliczeniowe z użyciem metody TOPSIS	148
8.9.1. Analizy dla Metropolii jako inwestora	149
8.9.2. Analizy dla metropolii jako „klienta” usług car-sharingowych	151
8.9.3. Analizy dla operatora usług car-sharingu.....	154
8.9.4. Analizy dla użytkownika systemu car-sharingu.....	156
8.10. Zestawienie uzyskanych wyników, omówienie rankingów scenariuszy	159
8.11. Podsumowanie i omówienie eksperymentów obliczeniowych	161
8.12. Analiza wrażliwości – symulacje	163
9. Podsumowanie i perspektywy dalszych badań	170
Literatura	173
Spis tabel	188
Spis rysunków	192
Załączniki	193

Wykaz skrótów i oznaczeń

- λ_{max} – największa rzeczywista wartość własna macierzy,
 β – pewna liczba rzeczywista,
 π – zagregowany indeks preferencji,
 Π_{CS} – potencjał wykonawczy systemu-car-sharingu,
 φ_n – wskaźnik przewyższania,
 ϕ_{CS} – dynamiczne procesy transportowe,
 Φ^+, Φ^- – przepływ preferencji dodatni i ujemny,
 a_{ij} – ocena przewagi i -tego elementu nad j -tym,
 a_{ji} – ocena przewagi j -tego elementu nad i -tym,
 A – macierz preferencji,
 $\hat{A}$ – znormalizowana macierz preferencji,
 C – warunek zgodności,
 C_{CS} – cel i przeznaczenie systemu car-sharingu,
 C_{CS}^O – cel operacyjny systemu car-sharingu,
 C_{CS}^S – cel strategiczny systemu car-sharingu,
 C_{CS}^T – cel taktyczny systemu car-sharingu,
 $c_{j,k}$ – wskaźnik zgodności,
 CI – indeks spójności,
 CR – współczynnik spójności,
 $d_j(S_j, S_k)$ – elementy macierzy D_j ,
 $d_v(S_j, S_k)$ – elementy macierzy D_v ,
 D_j – macierz niezgodności cząstkowych,
 D_v – macierz niezgodności,
 E_{CS} – dziedzina zbioru elementów systemu car-sharingu,
 E_I^{CS} – interesariusze systemu car-sharingu,
 E_{IS}^{CS} – infrastruktura społeczno-informatyczna systemu car-sharingu,
 E_T^{CS} – infrastruktura techniczna systemu car-sharingu,

Eks_{min} – minimalna liczba ekspertów,
 F_u – funkcja użyteczności,
 I – relacja równoważności,
 I_i – relacja równoważności ze względu na i -te kryterium,
 K – zbiór kryteriów,
 $K_1, \dots, K_n$ – kolejne kryteria,
 L – relacja przewyższania,
 l_{ECS} – liczba interesariuszy systemu car-sharingu,
 L_k – relacja przewyższania ze względu na k -te kryterium,
 l_{OWCS} – liczba elementów zbioru wewnętrznego otoczenia systemu car-sharingu,
 l_{VCSFP} – liczba elementów zbioru zasad funkcjonowania systemu w przestrzeni,
 l_{OZCS} – liczba elementów zbioru zewnętrznego otoczenia systemu car-sharingu,
 M – wymiar macierzy porównań,
 $MIDS_{CS}$ – model identyfikacyjny systemu car-sharingu,
 n – symboliczne oznaczenie dowolnej liczby naturalnej,
 O_{CS} – otoczenie systemu car-sharingu,
 OJ_{SCS} – obraz jakościowy systemu car-sharingu,
 o_p – wysokość opłaty parkingowej za 1h parkowania w badanym obszarze,
 p – próg preferencji,
 P – preferencje,
 $P.\alpha$ – problematyka wyboru,
 $P.\beta$ – problematyka sortowania,
 $P.\gamma$ – problematyka porządkowania,
 $P.\delta$ – problematyka opisu,
 pr – prawdopodobieństwo testowe,
 Q – macierz decyzyjna,
 $Q_{m,n}$ – elementy macierzy decyzyjnej,
 qr – próg równoważności,
 R – nieporównywalność,

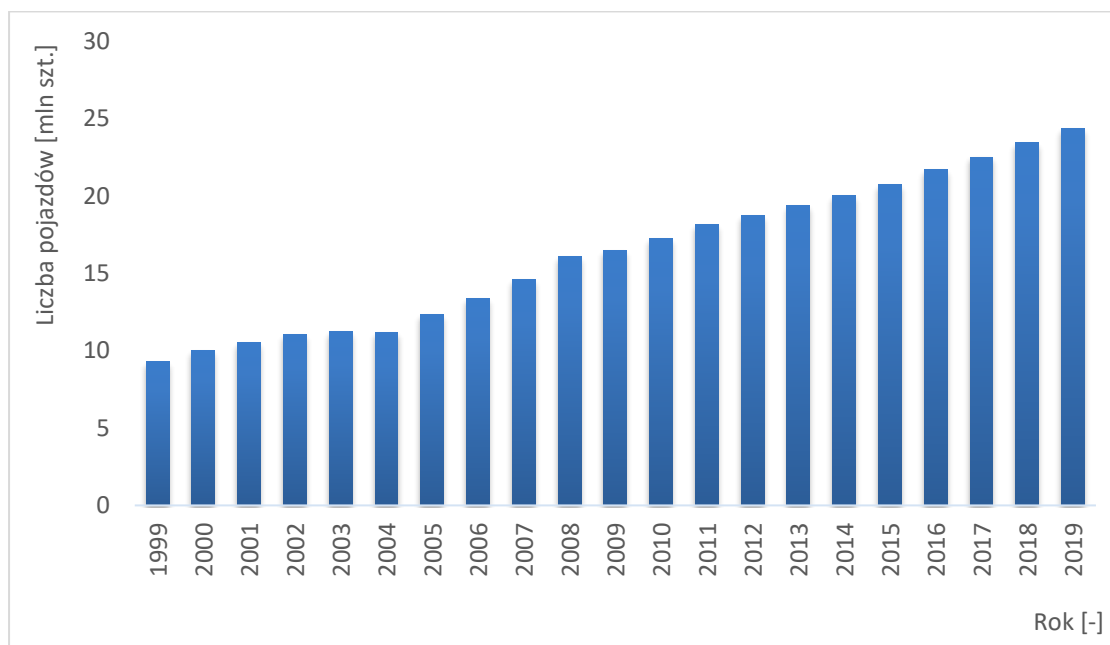
R_{CS} – zbiór relacji systemu car-sharingu,
 R_d – relacja dominacji,
 RI – indeks losowy,
 s – próg zgodności,
 S – zbiór wariantów decyzyjnych (scenariuszy),
 $S_1, \dots, S_m$ – warianty decyzyjne,
 T – współczynnik rankingowy wariantów,
 U_{S_i} – ocena syntetyczna i -tego scenariusza decyzyjnego,
 v – próg weta,
 V_{CS} – zasady funkcjonowania systemu car-sharingu,
 w – zbiór wag,
 $w_1, \dots, w_n$ – kolejne wagi,
 w_j^{mod} – zmodyfikowana waga j -tego kryterium,
 w_k^{mod} – zmodyfikowana waga k -tego kryterium,
 x^+, x^- – rozwiązanie referencyjne idealne i antyidealne,
 z^{S_m} – obraz wariantu S_m w przestrzeni kryteriów.

1. Wstęp

Współczesne miasta rozwijają się w bardzo szybkim tempie. Obecnie 55% światowej populacji stanowią mieszkańcy obszarów miejskich, a statystyki wskazują, że odsetek ten ma wzrosnąć do 68% do 2050 r. [183]. Prognozuje się, że zjawiska globalizacji i urbanizacji, a także stopniowe przesuwanie zamieszkania społeczeństwa z obszarów wiejskich, może dodać kolejne 2,5 miliarda osób do obszarów miejskich [182]. Tego rodzaju przyrost ma zostać szczególnie odczuwalny w przypadku miast o liczbie mieszkańców poniżej 1 miliona [183], co stanowi o istotności zagadnienia zarówno dla małych ośrodków zurbanizowanych jak i dużych aglomeracji.

Dynamiczny rozwój ośrodków miejskich oprócz szeregu zalet wiąże się także z wieloma problemami, w tym trudnościami z jednym z kluczowych czynników ich rozwoju gospodarczego – transportem oraz elementarną potrzebą społeczeństwa, jaką jest mobilność [207][209][247].

Zwiększenie liczby osób przebywających na terenie miast i jednocześnie sprostanie ich rosnącym potrzebom transportowym, dotyczącym jak najszybszego przemieszczania się w określonym czasie, to jedno z wyzwań z jakimi muszą zmierzyć się zarządzający miejskimi systemami transportowymi. Zmiany potrzeb transportowych mają swoje odzwierciedlenie w statystykach rozwoju motoryzacji, które to wskazują, że transport drogowy w Polsce jest w fazie ciągłej intensyfikacji. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) z dnia 23.09.2020 roku na rynku polskim zarejestrowanych jest 24 360 166 samochodów osobowych, a od 2005 roku obserwuje się ciągłą eskalację sektora [85]. Szczegółowy wzrost poziomu motoryzacji został zaprezentowany na rysunku 1.



Rys. 1. Rozwój motoryzacji w Polsce w latach 1999-2019

Źródło: opracowanie własne na podstawie [85]

Rosnąca liczba zarejestrowanych pojazdów nieuchronnie wiąże się z generowaniem coraz większego obciążenia na sieciach dróg. Wszeghobecny problem kongestii transportowej staje się jednym z głównych problemów transportowych, przed którymi rozwiązaniem stają

zarządzający systemami transportowymi obszarów zurbanizowanych. Próba ograniczenia zjawiska zwiększonego natężenia ruchu to także jeden z aspektów, do którego eliminacji prowadzić ma wdrażanie polityki zrównoważonego rozwoju transportu. Zgodnie z jej założeniami, współczesny transport powinien efektywnie spełniać potrzeby społeczeństwa, być wydajnym ekonomicznie, a jednocześnie pozytywnie wpływać na środowisko, zdrowie społeczeństwa, gospodarkę czy urbanistykę [198]. Bazując zatem na wytycznych polityki zrównoważonego transportu, do obowiązków miast należy [117][137][182][198][207][209][291]:

- dążenie do eliminowania negatywnego wpływu motoryzacji na środowisko i społeczeństwo poprzez ograniczanie emisji szkodliwych substancji, wzmożonego hałasu i drgań,
- zwiększenie dostępności transportowej,
- wprowadzanie zmian w strukturze podróży miejskich, w celu zwiększenia ich efektywności i wydajności funkcjonowania,
- dążenie do poprawy jakości życia mieszkańców,
- dążenie do poprawy wizerunku miasta z uwagi na aspekty gospodarcze, inwestycyjne czy turystyczne.

Zmieniające się potrzeby transportowe społeczeństwa oraz wymagania wobec wdrażania polityki zrównoważonego transportu w miejskich systemach transportowych, doprowadziły do konieczności poszukiwania różnego rodzaju rozwiązań transportowych, które będą w stanie wpłynąć na ich efektywność funkcjonowania. Jednym z trendów w tym zakresie jest propagowanie idei tzw. „nowej mobilności”, czyli koncepcji, która w porównaniu do mobilności klasycznej (rozumianej jako całokształt zachowań komunikacyjnych, podejmowanych w celu zaspokojenia potrzeb transportowych [26]), łączy w sobie ideę przemieszczania się z wykorzystaniem tzw. nowoczesnych technologii [38][181]. Zgodnie z jej wytycznymi, nowa mobilność spełnić ma podstawowe postulaty takie jak [16][109][276]:

- zapewnienie wszystkim obywatelom możliwości przemieszczania się, które dają dostęp do kluczowych celów podróży i usług,
- poprawa wydajności i efektywności kosztowej transportu osób i towarów,
- redukcja zanieczyszczenia powietrza i hałasu, konsumpcji energii i emisji gazów cieplarnianych,
- poprawa stanu bezpieczeństwa,
- wzrost atrakcyjności i jakości środowiska miejskiego z korzyścią dla mieszkańców, gospodarki oraz społeczności jako całości.

W ramach nowej mobilności oferowanych jest wiele różnych form transportowych. Należą do nich między innymi wszelkie usługi oferujące serwisy współdzielonej mobilności (ang. *shared mobility*) [114]. Usługi te wywodzą się od trendu ekonomii współdzielenia¹ (ang. *sharing/shared economy*), w myśl której za pomocą ogólnodostępnych platform współpracy (strony internetowe, aplikacje mobilne) możliwe jest czasowe korzystanie z danych dóbr czy usług, przez kilka różnych osób [123]. Przedsiębiorstwa oferujące usługi w ramach ekonomii współdzielenia (ang. *digital matching firms*) oprócz korzystania z systemów internetowych bazują także na trzech głównych założeniach, do których należą [248]:

- zapewnienie jak największej elastyczności czasowej pod kątem dostępności pełnej oferty usług dla użytkownika,

¹ W literaturze określana również jako „ekonomia współpracy” (ang. *collaborative economy*) [87].

- posiadanie systemu ocen dla użytkowników, mającego na celu zwiększenie zaufania do oferty użytkownika,
- bazowanie głównie na zasobach wynajmowanych, dzielonych lub wypożyczonych.

Idea została wykreowana z uwagi na potrzebę ograniczenia konsumpcjonizmu przy jednoczesnym wzroście dostępności do danych towarów czy usług [65]. Główną cechą ekonomii współdzielenia jest zapewnienie dostępności do dóbr czy usług bez konieczności posiadania ich na własność [65]. Bazując na tego rodzaju założeniach koncepcja często określana jest mianem „dostępu ponad własność” [199]. Celem gospodarki współdzielenia jest walka z nadmiernym konsumpcjonizmem, eliminacja nierówności społecznych i barier ekonomicznych, przy jednoczesnym budowaniu kapitału społecznego i poczuciu satysfakcji z możliwości skorzystania z danego dobra czy usługi, bez wymogu jego zakupu na własność [199]. Za rezultat sharing economy uznaje się zwiększenie efektywności rynkowej przy jednoczesnym ograniczeniu marnotrawstwa [199].

Pierwsze wzmianki w literaturze na temat ekonomii współdzielenia datuje się na rok 1978 [67]. Jednak pojęcie to swoją największą popularność zyskało w roku 2008, w związku z panującym kryzysem gospodarczym [296]. Koncepcja w swoich założeniach bazowała na udostępnianiu dóbr za darmo, jednak w odniesieniu do wszelkich modeli biznesowych zaczęła ona przybierać formę płatną [123]. Zwykle, udostępnianie w ramach ekonomii współdzielenia oznacza możliwość korzystania z danych usług czy dóbr, przez krótki okres [123].

Obecnie, ze względu na potrzebę zrównoważenia funkcjonowania różnego rodzaju branż biznesowych, koncepcja ekonomii współdzielonej stosowana jest w nawiązaniu do różnego rodzaju działalności. W przypadku miejskich systemów transportowych pojęcie ekonomii współdzielonej oznacza koncepcję współdzielonej mobilności, rozumianej jako możliwość [179][236][260]:

- wypożyczenia samochodów osobowych, rowerów, hulajnóg czy skuterów udostępnianych przez zorganizowanych operatorów użytkownikom do ich dyspozycji na krótki okres (potocznie określano jako „wynajem pojazdów na minuty,
- wypożyczenia własnego pojazdu samochodowego poprzez udostępnienie go za pomocą dedykowanych platform internetowych zrzeszających osoby pragnących wypożyczyć pojazd na krótki okres z właścicielami pojazdów,
- skorzystania ze współdzielenia podróży poprzez użycie aplikacji mobilnej, której zadaniem jest połączenie osób pragnących odbyć podróż wraz z dostępnymi kierowcami,
- skorzystania ze współdzielenia podróży poprzez użycie aplikacji mobilnej, której zadaniem jest połączenie osoby pragnącej odbyć podróż wraz z innymi osobami zorientowanymi na przejazd w tym samym kierunku, a dostępnymi kierowcami.

Spśród wszystkich oferowanych form współdzielonej mobilności, za jedną z najbardziej przystępnych pod kątem wygody i autonomii uznaje się usługi wynajmu „samochodów na minuty”, czyli usługi car-sharingu [111]. Serwisy car-sharingu to systemy dające możliwość wypożyczenia pojazdu samochodowego, na krótki okres za pośrednictwem strony internetowej lub aplikacji mobilnej. Z roku na rok, systemy car-sharingu zyskują coraz większą popularność. Najnowsze dane wskazują, że systemy usług współdzielenia pojazdów funkcjonują obecnie w 59 krajach na świecie [167]. Są oferowane przez 236 operatorów i dostępne w 3128 miastach [167]. Statystyki szacują, że w 2025 roku flota pojazdów wrośnie z obecnych 380 tysięcy

dostępnych samochodów do niemal 7,5 milionów sztuk [97], a światowy rynek usług car-sharingu warty będzie ponad 11 miliardów dolarów [78].

Z uwagi na to, że systemy usług współdzielonej mobilności samochodów bardzo dynamicznie rozwijają się zarówno pod kątem rosnącej liczby operatorów, pojazdów czy użytkowników, pojawia się także coraz więcej problemów związanych z ich odpowiednim, a przede wszystkim efektywnym funkcjonowaniem na terenie miast. Przeprowadzony przegląd literaturowy wskazuje na występowanie licznych problemów obejmujących bardzo szeroki zakres zagadnień. Należą do nich m.in. [15][57][93][121][129][135][136][175][177][219][283][287][301]:

- problemy ekonomiczno-techniczne (np. problem odpowiedniego dopasowania systemów do danego obszaru funkcjonowania pod kątem modelu biznesowego; problem określenia reguł funkcjonowania oraz konieczność ograniczeń lokacyjnych systemu dla danego obszaru miasta; problem nieodpowiedniej polityki cenowej),
- problemy transportowe (np. problem odpowiedniego dopasowania rodzaju floty i liczby pojazdów do danego systemu oferowanych usług; problem określenia lokalizacji obszarów działania systemów oraz lokalizacji miejsc parkingowych, czy stacji ładowania pojazdów w przypadku floty elektrycznej; problemy z obsługą pojazdów zarówno z punktu widzenia obsługi technicznej pojazdów, jak i kłopotów po stronie korzystających użytkowników),
- problemy środowiskowe (np. problemy związane z emisją spalin pojazdów z napędem konwencjonalnym stosowanych w systemach car-sharingu),
- problemy społeczne (np. problemy ze spełnieniem oczekiwań społeczeństwa wobec oferowanych usług),
- problemy prawne (np. problem identyfikacji przywilejów, które mogą promować ten sposób podróżowania, a jednocześnie nie wpływać negatywnie na inne proekologiczne rozwiązania - współdzielenie buspasów lub wjazd do stref dostępnych tylko dla transportu zbiorowego),
- i inne.

Szczegółowe problemy związane z funkcjonowaniem systemów car-sharing w miejskich systemach transportowych przedstawione zostały w rozdziale 6 niniejszej rozprawy.

Z uwagi na szereg nie w pełni rozwiązanych dotychczas wielowątkowych problemów dotyczących usług car-sharingu w miejskich systemach transportowych, niniejsza rozprawa została poświęcona kształtowaniu i wdrażaniu systemów w warunkach miejskich. Gdyż to już na etapie projektowania systemów możliwe jest wyeliminowanie wielu błędów, które mogłyby przyczynić się do obniżenia sprawności funkcjonowania usług w miejskich systemach transportowych.

Istnieje zatem realna potrzeba utworzenia modelu, który wspomógłby proces kształtowania, a następnie wdrażania systemów car-sharingu w miejskich systemach transportowych. Ponadto, ponieważ wdrażanie systemów car-sharingu wiąże się z podejmowaniem wielu decyzji przez szerokie grono osób decyzyjnych (począwszy m.in. od osób pragnących zainaugurować funkcjonowanie danego systemu na określonym obszarze, przez osoby zarządzające transportem w mieście, do potencjalnych użytkowników), w niniejszej pracy proponuje się wykorzystanie metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji do oceny różnego rodzaju scenariuszy podczas wdrażania systemów car-sharingu.

2. Usługi współdzielenia samochodów w miejskich systemach transportowych – car-sharing

Usługi współdzielenia samochodów (ang. *car-sharing*) to najstarsza i zarazem najbardziej popularna forma serwisów oferowanych w ramach ekonomii współdzielenia [220].

Zgodnie z definicją systemy car-sharingu to modele usług transportowych dające możliwość dokonania samodzielnego wynajmu pojazdu samochodowego różnym użytkownikom na krótki okres [220]. Pierwszymi z oferowanych klientom usług były serwisy tworzone przez grupy osób zainteresowanych współdzieleniem samochodów. Tego rodzaju organizacje określano mianem klubów współdzielenia pojazdów (ang. *car-sharing clubs*) [89]. Z biegiem lat i rozwoju nowych technologii informatycznych, systemy miejskich wypożyczalni samochodów przeszły swoją ewolucję bazując na możliwościach jakie stworzył Internet. Obecnie, pojazdy udostępniane są użytkownikom za pomocą aplikacji lub stron internetowych danego operatora za opłatą. Ponieważ średni czas wynajmu pojazdu wynosi, według przeprowadzonych badań, często mniej niż godzinę – systemy zostały potocznie nazwane „samochodami na minuty” [236].

Motywacją do stworzenia pierwszych systemów car-sharingu była chęć korzystania z samochodu, powiązana z jednoczesnym brakiem środków na jego zakup [220]. Stąd też przyjęcie podstawowych założeń modelu, iż ideą car-sharingu jest zapewnienie społeczeństwu dostępności do pojazdu bez konieczności ponoszenia zarówno kosztów jego utrzymania, jak i odpowiedzialności za jego posiadanie [224]. Systemy car-sharingu stały się zatem dodatkową alternatywą kierowaną do indywidualnych użytkowników miejskich systemów transportowych, stanowiąc rozwiązanie wpływające na ograniczenie barier transportowych oraz zmniejszając zjawisko wykluczenia transportowego [270]. Ponadto, idea systemów car-sharingu zakłada, że dostępność sprawnie funkcjonujących na terenie danego obszaru usług ma szansę odwieść społeczeństwo od potrzeby zakupu pierwszego lub kolejnego pojazdu na własność, na rzecz pojazdów pochodzących z miejskich wypożyczalni [224]. Systemy mają zatem szansę wpłynięcia na zmianę zachowań transportowych społeczeństwa. Warto jednak pamiętać o tym, że usługi car-sharingu stanowią integralną część miejskich systemów transportowych a nie prowadzić do dyskryminacji miejskiego transportu zbiorowego [132]. Oznacza to, że udostępniane pojazdy stanowią mają wsparcie procesu przemieszczania się na etapie pierwszej lub ostatniej mili podczas realizacji łańcucha podróży [132]. Oferowane usługi przyczyniają się w taki sposób do poprawy atrakcyjności regionu zarówno dla jego mieszkańców jak i turystów. Dlatego też jako jedną z głównych zalet systemów wymienia się ich realny wpływ na poprawę dostępności transportowej danego obszaru [132]. Co istotne, systemy car-sharingu mogą także pozytywnie wpłynąć na oszczędność przestrzeni publicznej. Z badań prowadzonych nad usługami car-sharingu w Stanach Zjednoczonych wynika, że jeden samochód z car-sharingu jest w stanie zastąpić od 7 do 13 samochodów indywidualnych użytkowników [220]. Ponadto, jeden pojazd car-sharingu może „uwolnić” ponad 150 m² przestrzeni publicznej zajętej przez parkujące samochody [220].

Inną z cech, które charakteryzują usługi car-sharingu jest jego wykorzystanie do poprawy stanu środowiska naturalnego. Tego rodzaju trend sprzyja ograniczeniu emisji dwutlenku węgla. Warto wspomnieć o tym, że pojazdy stosowane we flotach operatorów współdzielonej mobilności są samochodami nowymi, spełniającymi aktualne normy emisji spalin - często samochody elektryczne czy hybrydowe. Prognozuje się, że jeżeli 20% obecnie znajdujących się na rynku pojazdów zostałyby zastąpione samochodami pochodzącymi z systemów car-sharingu poziom emisji CO₂ zostałby obniżony o 15% [235]. Charakterystyka usług

car-sharingu doskonale wpisuje się więc w wytyczne polityki zrównoważonego rozwoju transportu i jest określana jako przykład odpowiedzialnej mobilności miejskiej [176][210][250].

2.1. Rys historyczny usług car-sharingu

Popularność systemów car-sharingu w ostatnich latach zyskuje na wartości. Pomimo, że wdrażane usługi mogą wydawać się bardzo nowoczesne, pierwsze wzmianki historyczne dotyczące car-sharingu wskazują na rok 1948 [89]. Wówczas, jedna ze spółdzielni mieszkaniowych ze szwajcarskiego Zurychu pod nazwą „Sefage” (niem. *Selbstfahrrergemeinschaft*) zaoferowała swoim klientom możliwość skorzystania z krótkoterminowego wynajmu pojazdów typu van z przestrzenią furgon, na krótki okres podczas przepraw [89]. Kolejne inicjatywy, stopniowo pojawiały się testowo w krajach Europejskich w latach 70. Zwykle jednak były to krótkotrwałe praktyki, początkowo oparte na udostępnianiu użytkownikom kilku pojazdów, powstające testowo lub z uwagi na brak wystarczającej ilości środków do zakupu pojazdu na własność. Pod koniec lat 80. w Europie zaczęło pojawiać się coraz więcej inicjatyw car-sharingowych, które funkcjonowały z sukcesem – literatura wskazuje, że około 200 car-sharingowych organizacji funkcjonowało w 450 europejskich miastach m.in. w Niemczech, Austrii, Szwajcarii, Włoszech, Wielkiej Brytanii, Holandii, Szwecji, Norwegii oraz Danii [54]. Zestawienie pierwszych, wybranych systemów car-sharingowych, funkcjonujących w Europie do końca lat 90. zostało przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wybranych systemów współdzielenia samochodów funkcjonujących na terenie Europy w latach 1948-1999

Rok założenia	Państwo	Miasto	Nazwa systemu	Wielkość floty
1948	Szwajcaria	Zurych	Sefage	bd
1971	Francja	Montpellier	Procotip	35
1973	Holandia	Amsterdam	Witkar	35
1977	Wielka Brytania	Suffolk	Share-a-Car Service	bd
1983	Szwecja	Örebro	Vivalla Bil	5
1987	Szwajcaria	bd	ATG Auto Teilet Genossenschaft	bd
1987	Szwajcaria	bd	ShareCom	bd
1988	Niemcy	Berlin	StadtAuto Berlin	300
1993	Niemcy	Monachium, Frankfurt	Lufthansa Airlines car-sharing	bd
1993	Szwajcaria	Zurych	CarShare – Swissair	bd
1997	Szwajcaria	bd	Mobility Carsharing Switzerland	1200
1997	Francja	bd	Praxitele	bd
1997	Niemcy	bd	Volkswagen car-sharing	bd
1999	Francja	La Rochelle	Liselec	50

gdzie: bd - brak danych.

*Źródło: opracowanie własne na podstawie:
[23][45][54][63][155][169][221][227][240][252][281][294]*

W przypadku rynku amerykańskiego, pierwsze z systemów car-sharingu, pojawiły się znacznie później od ich europejskich konkurentów. Pierwsze z praktyk zaobserwować można było w 1983 roku [89]. Pomimo, że początki systemów car-sharingu na terenie Ameryki Północnej rozpoczęły się 35 lat później od rynku europejskiego, systemy spotkały się z większą popularnością [89]. Zestawienie wybranych systemów car-sharingowych, funkcjonujących w Ameryce Północnej do końca lat 90. zostało przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wybranych systemów współdzielenia samochodów funkcjonujących na terenie Ameryki Północnej w latach 1983-1999

Rok założenia	Państwo	Miasto	Nazwa systemu	Wielkość floty
1983	Stany Zjednoczone	Indiana, West Lafayette	Mobility Enterprise	bd
1983	Stany Zjednoczone	California, San Francisco	Short-Term Auto Rental (STAR)	bd
1994	Kanada	Quebec City	Auto-Com	34
1995	Kanada	Montreal	CommunAuto	32
1997	Kanada	Canada, British Columbia	Cooperative Auto Network (CAN)	14
1997	Stany Zjednoczone	California, San Francisco	City CarShare	8
1997	Kanada	Victoria	Victoria Car-Share Co-Op	5
1997	Stany Zjednoczone	Missouri, Rutledge	Dancing Rabbit Vehicle Cooperative (DRVC)	3
1998	Kanada	Toronto	AutoShare–Car Sharing Network	8
1998	Stany Zjednoczone	Colorado, Boulder	CarShare Cooperative	1
1998	Stany Zjednoczone	Oregon, Portland	CarSharing Portland	11
1998	Stany Zjednoczone	Washington, Olympia	Olympia Car Coop	1
1999	Stany Zjednoczone	Oregon, Corvallis	Motor Pool Co-O	bd
1999	Stany Zjednoczone	Illinois, Chicago	ShareCarGo!	12-14

gdzie: bd - brak danych.

*Źródło: opracowanie własne na podstawie:
[23][45][54][63][155][169][221][227][240][252][281][294]*

Z historycznego punktu widzenia, car-sharing najpóźniej dotarł do krajów azjatyckich. Źródła literaturowe wskazują, że pierwsze inicjatywy car-sharingowe pojawiły się w krajach azjatyckich pod koniec lat 90. [23][45]. Zestawienie pierwszych wypożyczalni samochodów miejskich na terenie Azji zostało przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie wybranych systemów współdzielenia samochodów funkcjonujących na terenie Azji w latach 1997-1999

Rok założenia	Państwo	Miasto	Nazwa systemu	Wielkość floty
1997	Singapur	Upper Bukit Timah	NTUC INCOME Car cooperative	4
1998	Japonia	Motegi	Intelligent Community Vehicle System (ICVS)	bd
1999	Japonia	Tokio	Crayon	35
1999	Japonia	Tokio	Inagi EV-Car Sharing	50

gdzie: bd - brak danych.

*Źródło: opracowanie własne na podstawie:
[23][45][54][63][155][169][221][227][240][252][281][294]*

Pierwsze systemy car-sharingowe były często testowymi projektami, które kończyły swoją działalność po kilku latach. Znaczący, a przede wszystkim bardziej trwały rozwój car-sharingu rozpoczął się jednak z rokiem 2000, kiedy na rynku pojawili się gracze świadczący typowo biznesowe usługi krótkoterminowych wypożyczalni pojazdów. Wówczas swoją działalność rozpoczęli światowi liderzy tacy jak: Zipcar oraz Flexcar w Stanach Zjednoczonych, City Car Club (obecnie Enterprise Car Club) w Wielkiej Brytanii [227].

W kolejnych latach car-sharing stawał się coraz szerzej stosowanym pomysłem. W 2008 roku w Europie, usługi zaczęły być oferowane przez operatorów świadczących dotąd serwisy klasycznych wypożyczalni samochodowych, jak m.in. Hertz [45]. W gronie graczy oferujących usługi car-sharingu pojawili się także znani producenci pojazdów samochodowych. Swoje usługi zainaugurował na przykład system Car2Go założony przez koncern Daimler [45].

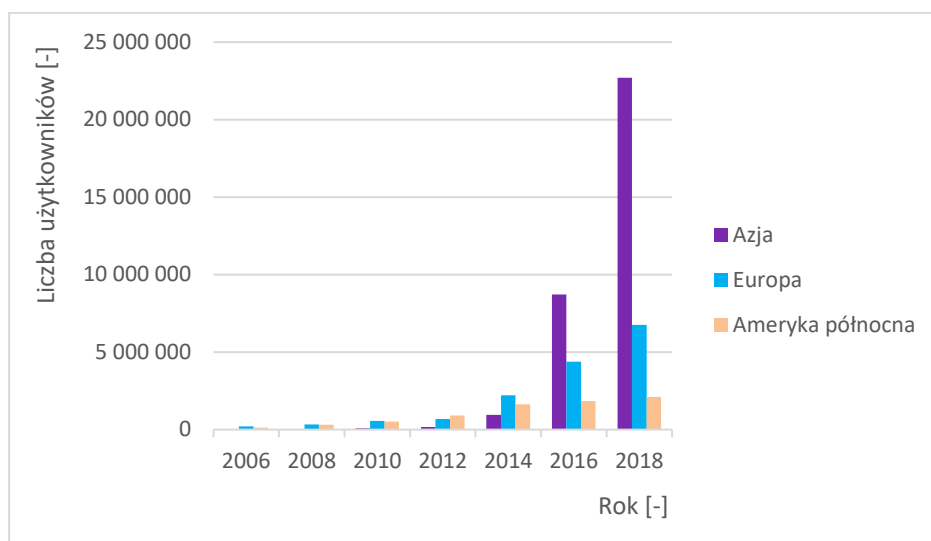
W 2009 roku, systemy usług typu car-sharing dostępne były dla użytkowników 14 krajów Europy [45]. Kolejne lata rozwoju systemów car-sharingu to znaczny wzrost zainteresowania systemami na obszarze Azji czy Ameryki Północnej. Z przedstawionych w raporcie „Innovative Mobility Carsharing Outlook: Carsharing Market Overview, Analysis and Trends, Winter 2016” danych dotyczących rozwoju systemów jednokierunkowego car-sharingu wynika, że w 2014 roku systemy car-sharingu funkcjonowały w 33 krajach na świecie obejmując swoim zasięgiem około 4,8 miliona użytkowników oraz 104 000 dostępnej floty samochodowej [222].

Zdecydowany rozwój rynku car-sharingu jest widoczny w latach 2014-2018 [222-223]. Pomimo wcześniejszej dominacji popularności systemów na rynku Europy² zaobserwowano najbardziej intensywny wzrost liczby zarejestrowanych użytkowników systemów car-sharingu oraz liczby wypożyczonych pojazdów został odnotowany na rynku azjatyckim³ [223]. W porównaniu do lat 2009-2014 liczba zarejestrowanych użytkowników na terenie Azji wzrosła o 2275%. Z kolei liczba dostępnych pojazdów wzrosła o 431%. Szczegółowe dane dotyczące liczby zarejestrowanych w systemach użytkowników oraz liczby dostępnych

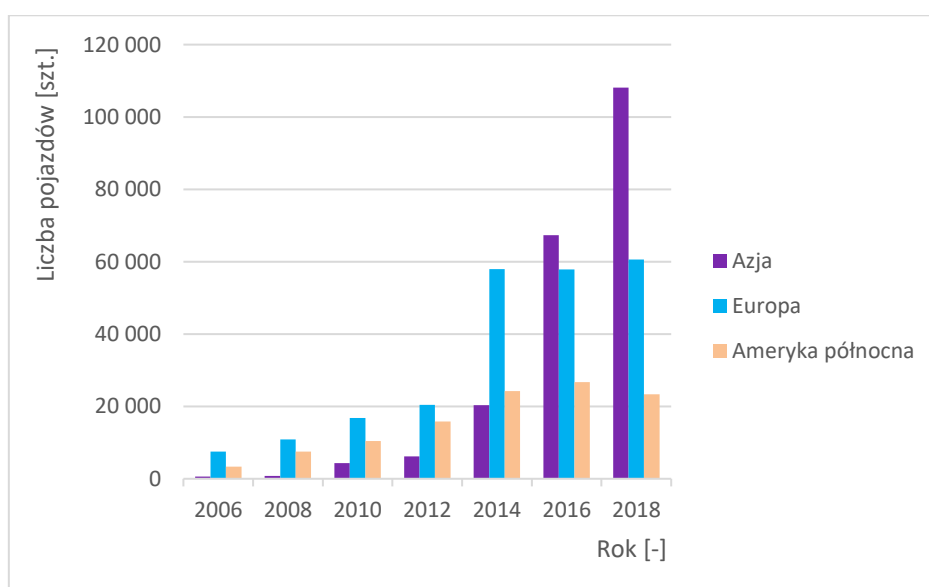
² Bazując na danych z krajów takich jak: Austria, Belgia, Czechy, Dania, Finlandia, Francja, Grecja, Hiszpania, Holandia, Irlandia, Niemcy, Norwegia, Portugalia, Rosja, Szwajcaria, Szwecja, Turcja, Węgry, Wielka Brytania, Włochy [222].

³ Bazując na danych z krajów takich jak: Chiny, Japonia, Korea Południowa, Malezja, Singapur [222].

w systemach pojazdów na terenie Europy, Azji i Ameryki Północnej zostały przedstawione na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Liczba użytkowników korzystających z systemów car-sharingu w Europie, Azji i Ameryce Północnej w latach 2006-2018
Źródło: opracowanie własne na podstawie [222-223]



Rys. 3. Liczba dostępnych do wypożyczenia pojazdów w ramach usług car-sharingu w Europie, Azji i Ameryce Północnej w latach 2006-2018
Źródło: opracowanie własne na podstawie [222-223]

2.2. Zasada działania usług car-sharingu

Pojazdy w ramach funkcjonowania usług car-sharingu udostępniane są do dyspozycji użytkowników indywidualnych – zwykle osób, od 18 do 21 roku życia – przez operatorów w obrębie danego miejskiego systemu transportowego. Korzystanie z pojazdów możliwe jest za opłatą.

Wynajmu pojazdu dokonać można indywidualnie, za pośrednictwem stron internetowych oraz/lub za pomocą aplikacji mobilnych. Proces wynajmu pojazdu jest zautomatyzowany, niewymagający konieczności kontaktu z biurem obsługi klienta, co między innymi stanowi o znacznie niższych kosztach prowadzenia tego rodzaju działalności w porównaniu do klasycznych wypożyczalni samochodowych [225]. Ponadto systemy dostępne są dla potencjalnych użytkowników całodobowo [225]. Zestawienie cech charakterystycznych dla systemów car-sharingu w stosunku do tradycyjnych wypożyczalni samochodowych zostało zaprezentowane w tabeli 4.

Tabela 4. Porównanie klasycznej wypożyczalni pojazdów z wypożyczalnią typu car-sharing

Cecha	Wypożyczalnia typu car-sharing	Klasyczna wypożyczalnia pojazdów
Czas wynajmu	dowolny	dzienny, miesięczny, roczny itp.
Dostępność	całodobowo	w godzinach pracy biura obsługi klienta
Proces wynajmu pojazdu	w pełni zautomatyzowany	wymaga kontaktu np. celem pobrania kluczyków do pojazdu
Zróżnicowanie pojazdów	niewielkie – zwykle jeden, maksymalnie kilka modeli	duże – zwykle pełna gama klas pojazdów
Komfort parkowania	wydzielone dedykowane miejsca parkingowe w centrach miast	przeważnie brak

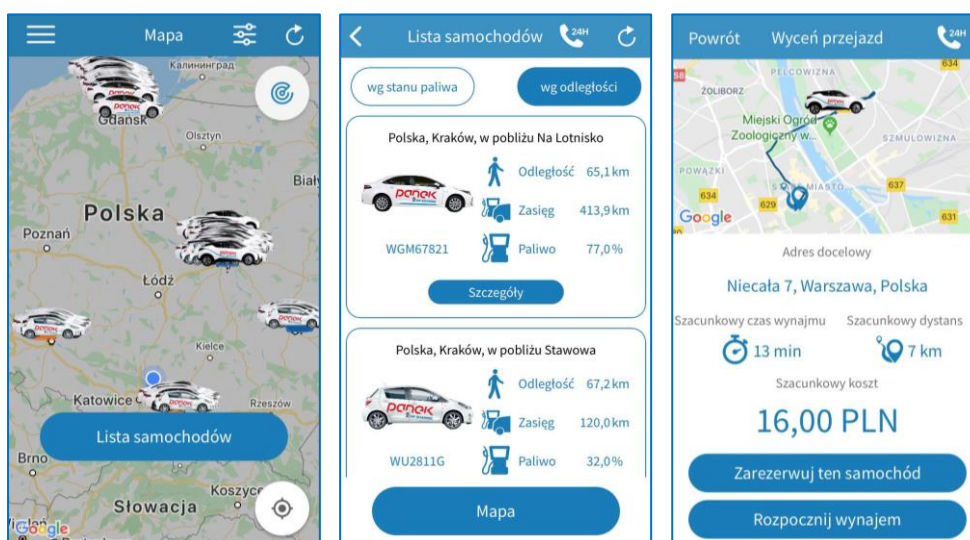
Źródło: opracowanie własne

Aby móc wypożyczyć samochód konieczne jest spełnienie kilku, następujących po sobie kroków, które obejmują:

- wybór danego operatora usługi car-sharingu,
- pobranie aplikacji mobilnej operatora świadczącego usługi car-sharingu w danym mieście na smartfon potencjalnego użytkownika lub znalezienie strony internetowej wybranego operatora,
- rejestracja w systemie danego operatora wraz z dokonaniem opłaty startowej lub wpłacenie depozytu zależnie od regulaminu operatora,
- znalezienie na mapie w systemie operatora, pojazdu który użytkownik chciałby wypożyczyć,
- sprawdzenie czy stan pojazdu np. poziom paliwa, poziom naładowania baterii w przypadku pojazdu elektrycznego lub odległość do pojazdu odpowiada oczekiwaniom użytkownika,

- rezerwacja pojazdu wybranego przez użytkownika,
- dotarcie użytkownika do pojazdu,
- otwarcie pojazdu za pomocą kodu QR, kodu lub funkcji połączenia aplikacji z pojazdem poprzez bluetooth,
- rozpoczęcie wynajmu pojazdu – wraz z nim następuje określony czas wolny od opłat na dokonanie sprawdzenia stanu wizualnego oraz pobieżnego sprawdzenia stanu technicznego pojazdu, jak i wyposażenia pod kątem bezpieczeństwa (dostępność trójkąta ostrzegawczego, gaśnicy)⁴ i poinformowanie operatora o ewentualnie pojawiających się problemach,
- wykonanie przejazdu,
- dojazd do punktu pośredniego lub miejsca docelowego,
- zaparkowanie pojazdu – w zależności od aplikacji może wystąpić konieczność zmiany miejsca parkowania, jeśli pojazd znajdzie się w strefie, gdzie pozostawienie samochodu nie jest możliwe (np. parkingi wyznaczone wyłącznie dla TAXI, strefy parkowania pod dworcami itp.),
- zamknięcie pojazdu i wykorzystanie funkcji „stop over”⁵ lub zwrot pojazdu,
- dokonanie opłaty za przejazd za pośrednictwem płatności elektronicznej.

Przykład aplikacji mobilnej do korzystania z usług car-sharing został zaprezentowany na rysunku 4.



Rys. 4. Przykład aplikacji mobilnej car-sharingu
Źródło: aplikacja mobilna Panek Car-sharing [185]

W praktyce, w zależności od preferencji użytkownika oraz typu systemu schemat korzystania z usług współdzielenia pojazdów może być o wiele bardziej rozbudowany niż przedstawiony na rysunku 4. Na rysunku 5. zaprezentowany został schemat blokowy procesu wypożyczenia pojazdu w systemie car-sharing z punktu widzenia użytkownika.

⁴ Użytkownik nie jest w stanie samodzielnie dokonać pełnego sprawdzenia stanu technicznego pojazdu (tzw. obsługi codziennej pojazdu), ponieważ np. otwarcie maski celem sprawdzenia poziomu oleju w silniku, nie jest dopuszczalne przez wielu operatorów i wysoce karane według ich regulaminów [131][257][267].

⁵ Funkcja „stop over” wiąże się z dodatkową opłatą – użytkownik uiszcza ją w momencie, gdy pragnie opuścić pojazd nie kończąc przy tym wynajmu.

2.3. Zróżnicowanie modeli systemów usług car-sharingu

Z biegiem rozwoju dostępności rynkowej systemów car-sharingu, serwisy doczekały się wielu rozwiązań biznesowych. Z organizacyjnego punktu widzenia wyróżnia się trzy główne rodzaje usług car-sharingu [201]:

- car-sharing zorganizowany – usługi oferowane przez zorganizowane przedsiębiorstwa pełniące rolę operatorów systemów,
- peer-to-peer car-sharing – usługi car-sharingu oferowane za pośrednictwem zorganizowanych platform, gdzie indywidualni właściciele pojazdów mogą udostępnić innym użytkownikom swój pojazd za opłatą,
- car-sharing własny/sąsiedzki – usługi oferowane przez indywidualnych właścicieli pojazdów we własnym zakresie, najczęściej na obszarze własnego miejsca zamieszkania.

Z punktu widzenia car-sharingu zorganizowanego, pierwsze z pojazdów wzorem klasycznych wypożyczalni samochodowych, dostępne były dla klientów wyłącznie w określonych miejscach np. specjalnych strefach czy parkingach [226]. Również ich zwrotu należało dokonywać w tej samej lokalizacji [226]. Tego rodzaju rozwiązanie wiązało się jednak z koniecznością dotarcia zawsze do jednego punktu wypożyczenia oraz dokładnie do tego samego punktu chcąc dokonać zwrotu pojazdu – co stanowiło duże ograniczenie dla korzystającego, ponieważ ingerowało w jego swobodę przemieszczania się.

Kolejno, wraz z rozwojem technologii i wzrostem popularności tworzone systemy zaczęły być coraz bardziej dostępne dla klientów. Obecnie, wyróżnić można cztery główne typy systemów zorganizowanego car-sharingu. Stanowią one główne rodzaje modeli biznesowych. Należą do nich [40][68][178][201][225]:

- stacjonarny/klasyczny (ang. *round-trip car-sharing*, *roundtrip station-based*, *back to base car-sharing*) – gdy pojazd jest wypożyczany i zwracany zawsze w jednej i tej samej lokalizacji – dedykowanym miejscu parkingowym,
- car-sharing strefowy (ang. *roundtrip home zone-based*) – gdy pojazd jest wypożyczany i zwracany w konkretnych strefach funkcjonowania operatora danego systemu w mieście,
- car-sharing jednokierunkowy - bazowy (ang. *one-way*, *station based car-sharing*) – gdy pojazd jest wypożyczany np. w punkcie A, a zwracany jest w innym punkcie np. w punkcie B, ograniczając się przy tym jednak tylko do punktów wypożyczeń ustanowionych przez operatora systemu,
- car-sharing swobodny (ang. *free-floating car-sharing*) – gdy pojazd jest wypożyczany i zwracany w dowolnym miejscu na terenie miasta, w obrębie całego obszaru funkcjonowania systemu car-sharingu.

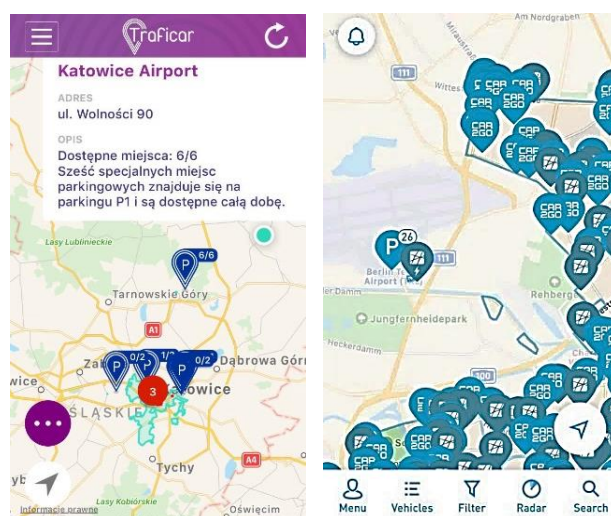
Pomiędzy modelami systemów występują duże różnice w funkcjonowaniu na terenie miast, co scharakteryzowano w tabeli 5.

Tabela 5. Charakterystyka modeli systemów car-sharingu

Model systemu car-sharingu	Cechy charakterystyczne
Car-sharing stacjonarny/klasyczny	- nie daje możliwości swobodnego przemieszczania się, - przeznaczony jest zwykle dla klientów, którzy chcą skorzystać z car-sharingu w przypadku dłuższych tras, jak w klasycznych wypożyczalniach samochodowych,
Car-sharing strefowy	- większy stopień elastyczności niż w przypadku systemu klasycznego, - brak wydzielonych miejsc parkingowych, - pojazd można zaparkować w dowolnym miejscu na terenie strefy, z której go wypożyczono,
Car-sharing jednokierunkowy	- ogranicza stopień swobody przemieszczania się, - daje możliwość zwrotu pojazdu w strefie operatora na przykład na obszarze innego miasta,
Car-sharing swobodny (ang. free-floating)	- brak wyznaczonych miejsc parkingowych, - zwykle obszar działania systemu obejmuje teren całego miasta lub jego głównych dzielnic, - daje największą elastyczność użytkownikowi, - sprawdza się głównie w przypadku użytkowników odbywających krótkie przejazdy na terenie miasta.

Źródło: opracowanie własne [40][68][178][201][225]

W praktyce rynkowej istnieją także modele hybrydowe łączące w sobie cechy car-sharingu swobodnego z możliwością zwrotu pojazdu na terenie określonej strefy funkcjonowania poza głównym obszarem miasta, gdzie dany operator świadczy swoje usługi. Dzieje się tak na przykład w przypadku stref zlokalizowanych w punktach strategicznych takich jak dworce czy lotniska, które położone są poza obszarami miasta. Przykłady usług car-sharingowych funkcjonujących według modelu swobodnego z dodatkowymi bazami operacyjnymi zostały zaprezentowane na rysunku 6.



Rys. 6. Przykład systemów swobodnych z dodatkowymi bazami operacyjnymi punktach strategicznych, funkcjonujących na obszarach wokół Katowic oraz Berlina

Źródło: aplikacja mobilna Traficar oraz Car2Go [31][254]

2.4. Charakterystyka floty pojazdów wykorzystywanych w systemach car-sharingu

W ramach usług car-sharingu stosowane są różnego rodzaju floty pojazdów. W literaturze przedstawiany jest podział na dwie główne grupy pojazdów, tj. [68]:

- flotę klasyczną (ang. *classic fleet*),
- „zieloną flotę” (ang. *green fleet*).

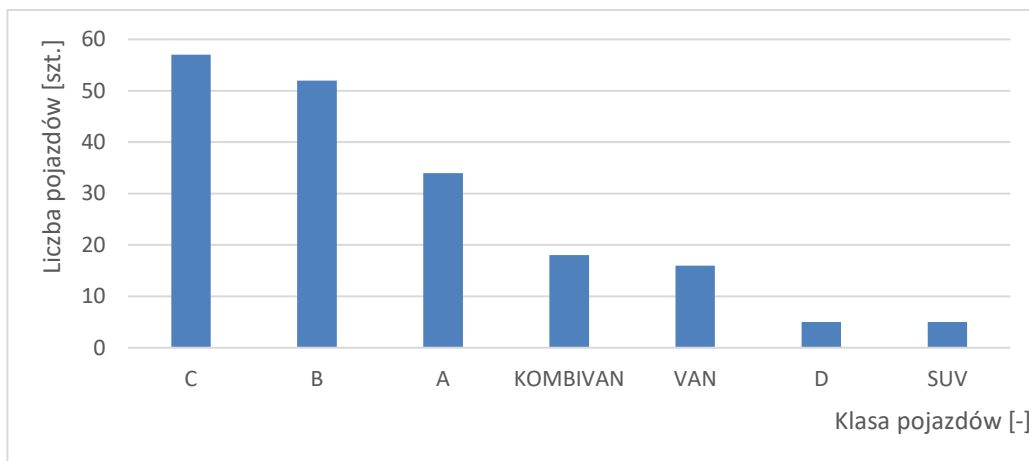
Jako flotę klasyczną rozumie się pojazdy z napędem konwencjonalnym o zapłonie iskrowym lub samoczynnym [68]. Z kolei „zielona flota” określa pojazdy wyposażone w napęd elektryczny lub hybrydowy [68]. Przykładowe pojazdy stosowane w różnego rodzaju systemach car-sharingu na świecie zostały zaprezentowane na rysunku 7.



Rys. 7. Przykładowe pojazdy stosowane w systemach car-sharingu: a) Fiat 500, system Ubeeq, Bruksela – Belgia; b) Renault Clio, system GetRound, Paryż – Francja; c) Bolloré Bluecar, system Blue SG, Singapur; d) Mercedes CLA, system Free Now, Berlin – Niemcy

Źródło: materiały własne

Analizując flotę pojazdów stosowanych w systemach światowego car-sharingu warto także zwrócić uwagę na klasy stosowanych pojazdów. Pierwotne założenia dotyczące car-sharingu, bazowały na tym, aby w systemach stosowane były małe, miejskie samochody, które z łatwością będą mogły zostać zaparkowane w warunkach coraz bardziej ograniczającej się przestrzeni parkingowej [215][224]. Autorskie badania, przeprowadzone na flocie 187 pojazdów z 40 systemów car-sharingu funkcjonujących w 25 krajach Europy, wskazują jednak, że pojazdami najczęściej stosowanymi w systemach car-sharingu są samochody reprezentujące auto-segment C pojazdów [267]. Zróżnicowanie pojazdów car-sharingowych stosowanych w systemach europejskich zostało zaprezentowane na rysunku 8.



Rys. 8. Zróznicowanie pojazdów wykorzystywanych w systemach car-sharingu w Europie
Źródło: opracowanie własne na podstawie [267]

2.5. Opłaty za korzystanie z usług w systemach car-sharingu

W zależności od operatorów, w systemach stosowane są różnego rodzaju formy opłat za korzystanie z usług. Najbardziej popularną taryfą opłat na świecie jest tak zwany system kilometrowy, gdzie użytkownik systemu ponosi opłatę jedynie za przebyte kilometry [224]. Tego rodzaju rozwiązanie jest cenione przez użytkowników zwłaszcza podczas przemieszczania się po mieście w godzinach szczytu, ponieważ nie są oni zmuszeni do ponoszenia opłat za czas, który spędzają w pojeździe nie przemieszczając się przez występujące zjawisko kongestii. W systemie „kilometrowym” wysokość wynajmu zależy od pokonanego przez użytkownika dystansu, w zależności od stawki za kilometr podróży, wyznaczonej w cenniku danego operatora.

Istnieje jednak wiele systemów, w których operatorzy stosują system „minutowy” lub „minutowo-kilometrowy”. Zwykle tego rodzaju rozwiązania pojawiają się wśród operatorów rozpoczynających działalność na danym rynku oraz w rozwiązaniach pilotażowych [170]. Wówczas niezależnie od przebytych kilometrów, naliczana jest także opłata za każdą kolejną minutę wypożyczenia pojazdu, zgodnie z cennikiem danego operatora.

Oprócz opłaty za przejazd pobierana jest także opłata postojowa tzw. „stop over”. Użytkownik uiszcza ją w momencie, gdy pragnie opuścić pojazd nie kończąc przy tym wynajmu. Usługę „stop over” stosuje się zwykle po to, aby chwilowo przerwać swoją podróż (np. po dojechaniu do punktu pośredniego, po czym wrócić do samochodu) i dalej kontynuować wynajem. Tego rodzaju rozwiązanie daje użytkownikowi pewność, że pojazd będzie dla niego dostępny bez konieczności dokonywania kolejnego wynajmu.

Ponadto, na rynku istnieją także systemy usług car-sharingu, które oferują możliwość wykupienia usług abonamentowych, pakietowych czy posiadające taryfę zmienną w zależności od liczby pokonanych kilometrów.

Zestawienie rodzajów opłat najczęściej stosowanych w systemach car-sharingu zostało zaprezentowane w tabeli 6.

Tabela 6. Główne rodzaje opłat stosowanych w systemach car-sharingu na świecie

Lp.	Rodzaj opłaty	Opis
1.	Depozyt	Jednorazowa opłata ponoszona przy rejestracji w systemie użytkownika
2.	Opłata startowa ⁶	Stała opłata startowa ponoszona jednorazowo podczas rozpoczęcia wynajmu w systemie kilometrowym
2.	Opłata czasowa	Opłata ponoszona za minutę przejazdu samochodem z car-sharingu
3.	Opłata kilometrowa	Opłata ponoszona za kilometr pokonany pojazdem z car-sharingu
4.	Opłata parkingowa "stop over"	Opłata ponoszona za czas postoju, kiedy użytkownik opuszcza pojazd, ale nie kończy jego wynajmu

Źródło: opracowanie własne

Wysokości opłat w systemach car-sharingu różnią się w zależności od operatorów, ale także kontynentów oraz krajów, gdzie systemy funkcjonują. Ponadto opłaty są także zróżnicowane w zależności od klasy wypożyczanego pojazdu. Zróżnicowanie opłat za usługi car-sharingu (na dzień 2 lutego 2019 roku) wśród operatorów funkcjonujących na polskim rynku, oferujących wynajem pojazdów osobowych, zostało zaprezentowane w tabeli 7. W celu możliwości dokonania wysokości kosztów usług z serwisami dostępnymi zagranicą posłużono się przedstawieniem kosztów w dwóch walutach – złotych [zł] oraz Euro [€]⁷.

Tabela 7. Koszty usług car-sharingu na terenie Polski

Lp.	Operator	Klasa pojazdu	Opłata startowa		Opłata czasowa		Opłata kilometrowa		Opłata parkingowa	
			[zł]	[€]	[zł/min]	[€/min]	[zł/km]	[€/min]	[zł/min]	[€/min]
1.	4Mobility	klasa B	-	-	0,50	0,12	0,80	0,19	0,20	0,05
		klasa C	-	-	0,75	0,18	0,90	0,21	0,18	0,04
2.	Click2Go	klasa B	-	-	0,50	0,12	0,80	0,19	0,10	0,02
3.	Easysshare	klasa B	-	-	0,10	0,02	0,80	0,19	0,01-0,10 ⁸	0,00-0,02
4.	eCar (Tauron)	klasa B	-	-	1,00	0,23	-	-	0,25	0,06
		klasa C	-	-	1,00	0,23	-	-	0,25	0,06
5.	GreenGoo	klasa B	-	-	0,99	0,23	-	-	0,29	0,07
6.	Innogy Go!	Klasa B	-	-	1,19	0,28	-	-	0,19	0,04
7.	MiiMove	klasa C	-	-	0,57	0,13	0,80	0,19	0,01-0,19 ⁹	0,00-0,04

⁶ Opłata startowa jest opłatą opcjonalną, zależną od regulaminu danego operatora usług car-sharingu.

⁷ Wartość kursu Euro według tabeli kursów średnich NBP nr 24/A/NBP/2019 z dnia 04-02-2019, gdzie 1 PLN = 0,2336 €.

⁸ 0,01 zł – w godzinach 22:00-7:00; 0,10 zł – w godzinach 7:00-22:00,

⁹ 0,01 zł – w godzinach 22:00-7:00; 0,19 zł – w godzinach 7:00-22:00,

8.	Panek car-sharing	klasa B	-	-	0,50	0,12	0,80	0,19	0,20	0,05
		klasa C	-	-	0,60-0,95 ¹⁰	0,14-0,22	0,80	0,19	0,20	0,05
9.	Traficar	klasa B	2,99	0,70	-	-	1,50	0,35	0,10-0,15 ¹¹	0,02-0,04
10.	Vozilla	klasa C	-	-	1,10-1,30 ¹²	0,26-0,30	-	-	0,10	0,02

Źródło: [29][46][61][62][83][98][157][185][254][280]

Dla lepszego zobrazowania kosztów usług car-sharingu zaprezentowano także zestawienie kosztów usług car-sharingu w wybranych systemach na świecie (tabela 8). W celu możliwości dokonania wysokości kosztów usług z serwisami dostępnymi zagranicą posłużono się przedstawieniem kosztów w dwóch walutach – złotych [zł] oraz Euro [€]¹³.

Tabela 8. Koszty usług car-sharingu w wybranych systemach na świecie

Lp.	Kraj	Operator	Klasa pojazdu	Opłata czasowa		Opłata kilometrowa		Opłata parkingowa	
				[zł/min]	[€/min]	[zł/min]	[€/min]	[zł/min]	[€/min]
1.	Niemcy	Drive Now	klasa C	1,07	0,25	-	-	1,07	0,25
2.	Francja	Moov'in.	klasa B	1,67	0,39	-	-	0,80	0,19
3.	Dania	Green Mobility	klasa B	2,31	0,54	-	-	1,11	0,26
4.	Chiny	EvCard	klasa A	0,30	0,07	-	-	0,30	0,07
5.	Malezja	SoCar	klasa B	0,13	0,03	-	-	0,13	0,03
6.	Kazachstan	Doscar Club	klasa C	0,30	0,07	-	-	0,04	0,01
7.	Brazylia	Urbano	klasa A	1,28	0,30	-	-	0,64	0,15
8.	Argentyna	Mykeego	klasa B	0,64	0,15	-	-	0,64	0,15
9.	Chile	Awto	klasa B	1,03	0,24	-	-	0,51	0,12
10.	USA	Car2Go	klasa A	1,58	0,37	-	-	1,58	0,37
11.	Kanada	Commun-auto	klasa B	1,16	0,27	-	-	1,16	0,27
12.	Meksyk	Carrot	klasa B	0,30	0,07	-	-	0,30	0,07
13.	Australia	Maven	klasa B	0,34	0,08	-	-	0,34	0,08

¹⁰ w zależności od modelu pojazdu.

¹¹ 0,10 zł – w godzinach 23:00-7:00; 0,15 zł – w godzinach 07:00-23:00.

¹² w zależności od wyznaczonej na terenie miasta strefy funkcjonowania operatora.

¹³ Wartość kursu Euro według tabela kursów średnich NBP nr 24/A/NBP/2019 z dnia 04-02-2019, gdzie 1 PLN = 0,2336 €.

14.	Nowa Zelandia	Mevo	klasa C	1,50	0,35	-	-	1,50	0,35
15.	Nowa Zelandia	Yoogo Share	klasa B	1,16	0,27	-	-	1,16	0,27
16.	RPA	Locomute	klasa B	0,47	0,11	-	-	0,47	0,11
17.	Maroko	Carmine	klasa A	0,21	0,05	-	-	0,21	0,05
18.	Rwanda	Move	klasa A	0,21	0,05	-	-	0,21	0,05

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12][31-33][56][58][66][142][149][152][165-166][172][234] [274][293]

Wybrane dane statystyczne dotyczące opłat usług car-sharingu w wybranych systemach na świecie zamieszczono w tabeli 9. W celu możliwości dokonania wysokości kosztów usług z serwisami dostępnymi zagranicą posłużono się przedstawieniem kosztów w dwóch walutach – złotych [zł] oraz Euro [€]¹⁴.

Tabela 9. Wybrane dane statystyczne analizowanych kosztów systemów car-sharingu z punktu widzenia czasu przejazdu

Lp.	Kontynent	Średnia wartość		Odchylenie standardowe	
		[zł]	[€]	[zł]	[€]
1.	Europa	1,75	0,39	0,67	0,15
2.	Azja	0,27	0,06	0,09	0,02
3.	Ameryka Południowa	1,03	0,23	0,36	0,08
4.	Ameryka Północna	1,08	0,24	0,67	0,15
5.	Australnia i Oceania	1,03	0,23	0,63	0,14
6.	Afryka	0,31	0,07	0,13	0,03

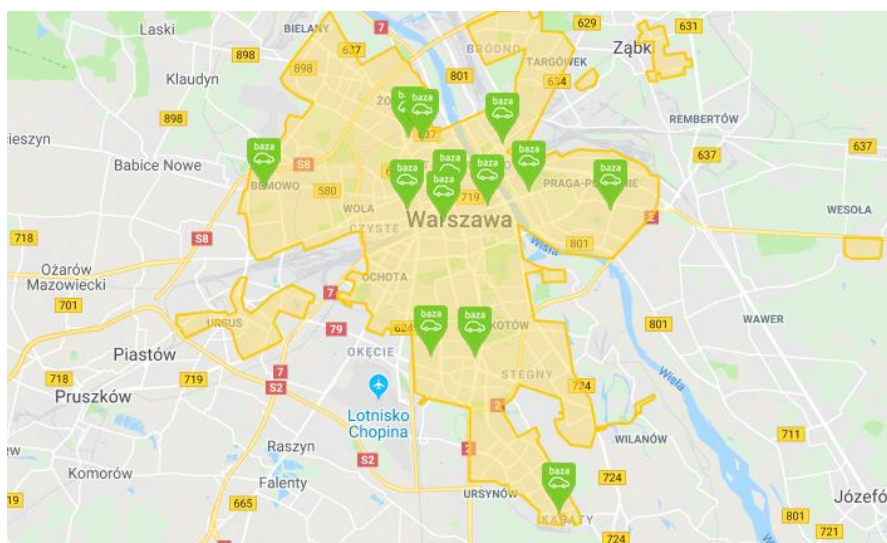
Źródło: opracowanie własne na podstawie [256]

Przeprowadzona analiza wskazuje na znaczne zróżnicowanie opłat za korzystanie z usług typu car-sharing, w zależności od kontynentu. Najniższe opłaty występują na rynku afrykańskim oraz azjatyckim, z kolei najwyższe odnotowano w Europie.

¹⁴ Wartość kursu Euro według tabela kursów średnich NBP nr 24/A/NBP/2019 z dnia 04-02-2019, gdzie 1 PLN = 0,2336 €.

2.6. Aktualny stan rynku car-sharingu w Polsce i na świecie

Usługi współdzielenia pojazdów typu car-sharing na rynku polskim dostępne są od października 2016 roku. Wówczas swoją działalność rozpoczęło dwóch operatorów usług – system Traficar funkcjonujący na terenie Krakowa oraz system 4Mobility funkcjonujący na terenie Warszawy [258]. W przypadku pierwszego z operatorów, oferowane usługi były pierwszymi na polskim rynku serwisami działającymi w trybie swobodnym [258]. Z kolei w przypadku drugiego z operatorów użytkownicy mogli skorzystać z systemu bazowego i pozostawić pojazd w konkretnych lokalizacjach na terenie Warszawy [258]. Przykład rozmieszczenia stacji bazowych systemu 4Mobility na terenie Warszawy w 2016 roku został zaprezentowany na rysunku 9.



Rys. 9. Stacje bazowe systemu 4Mobility funkcjonującego na terenie Warszawy
Źródło: [29]

W listopadzie 2017 roku swoją działalność rozpoczął nowy operator usług – Vozilla. Był to pierwszy na polskim rynku usługodawca świadczący serwis car-sharingu z wykorzystaniem w pełni elektrycznych pojazdów [280]. We flocie pojazdów znalazły się elektryczne pojazdy klasy C – Nissan Leaf oraz elektryczne samochody typu VAN – eNV200 [280]. Warto wspomnieć o tym, że Vozilla była pierwszym systemem usług współdzielenia samochodów, który powstał przy współpracy z miastem.

W latach 2017-2019 można było zauważyć znaczny wzrost zainteresowania wdrażaniem nowego rodzaju systemów przez operatorów. Na rynku pojawili się tacy operatorzy jak m.in. Click2Go, EasyShare, eCar Tauron, GreenGo, PGE Mobility, Panek car-sharing, MiMoove, czy Innogy Go! [258].

Ponadto, na polskim rynku uruchamiane były także systemy funkcjonujące pilotażowo między innymi takie jak Drive Omni i Innogy na terenie Warszawy, czy City Car na terenie Lublina [258].

Zestawienie wszystkich operatorów funkcjonujących na terenie Polski (luty 2020) wraz z liczbą oferowanych pojazdów zostało przedstawione w tabeli 10.

Tabela 10. Zestawienie systemów car-sharingu funkcjonujących na polskim rynku

Lp.	Operator	Miasto	Liczba pojazdów [szt.]
1.	4Mobility	Warszawa	300
		Poznań	30
2.	Click2Go	Wrocław	100
3.	Easyshare	Wrocław	200
4.	eCAR (Tauron)	Katowice	10
5.	GreenGoo	Katowice - Sosnowiec - Rybnik	13
6.	Innogy Go!	Warszawa	500
7.	MiiMove	Gdańsk - Gdynia - Sopot	400
8.	Panek car-sharing	Gdańsk - Gdynia - Sopot	851
		Lublin	
		Warszawa	
9.	Traficar	Katowice	1287
		Kraków	
		Poznań	
		Wrocław	
		Warszawa	
10.	Vozilla	Wrocław	300

Źródło: [29][46][61][62][83][98][157][185][254][280]

Z punktu widzenia światowego rynku systemu usług współdzielenia pojazdów, niezależnie od kontynentu zaobserwować można znaczny wzrost popularności usług. Od maja 2019 roku usługi car-sharingu oferowane są w 3128 miastach, w 59 krajach, co stanowi 30% całego świata [167]. Na świecie funkcjonuje obecnie 236 operatorów, a systemy dostępne są w 3128 miastach [167]. Najbardziej popularnym modelem funkcjonowania usług jest car-sharing bazowy funkcjonujący obecnie w 51 krajach [167]. Car-sharing swobodny (ang. *free-floating*) funkcjonuje z kolei w 36 krajach świata [167].

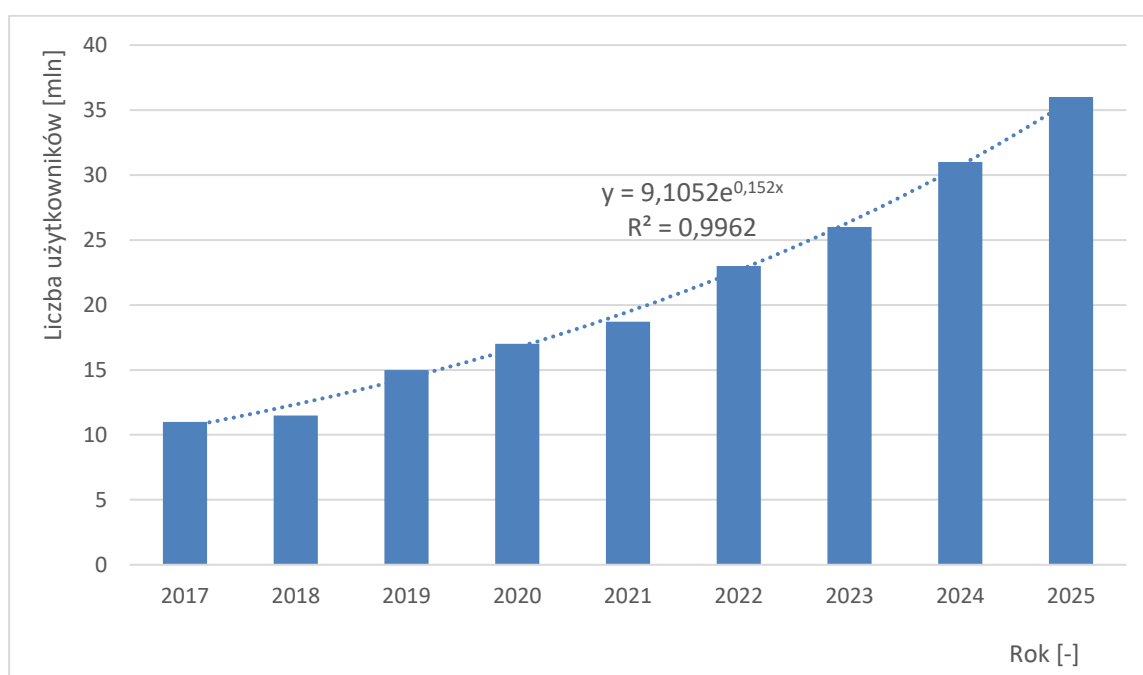
Na rynku europejskim pionierem usług car-sharingu są Niemcy. Z początkiem 2018 roku systemy car-sharingu funkcjonowały w 677 niemieckich miastach, a w roku 2019 było to już 740 [30]. Z kolei liczba zarejestrowanych użytkowników wszystkich systemów funkcjonujących na terenie Niemiec od 2018 roku wzrosła z 2 milionów do 2,46 miliona użytkowników [30]. W stosunku do 2018 roku liczba pojazdów dostępnych w systemach car-sharingu wzrosła o 2250 sztuk i na koniec 2019 roku wynosiła 20200 sztuk pojazdów [30].

W przypadku rynku azjatyckiego warto wspomnieć, że sama liczba użytkowników systemu funkcjonującego w Shanghaju wynosiła w 2017 roku 1,2 miliony zarejestrowanych użytkowników [17]. Z kolei szacowana ogólna liczba dostępnych pojazdów w miastach takich jak: Beijing, Shanghai, Hangzhou, Shenzhen, Changsha, Wuhan etc. przekroczyła w 2017 roku liczbę 26000 [17]. Statystyki wskazują, że pojazdy w regionie Azji i Pacyfiku wykorzystywane są ok. 52 minuty dziennie [146].

Rynek Ameryki Północnej w 2017 roku obejmował ponad 500 000 użytkowników pojazdów w Kanadzie, którzy dzielili ponad 7 tysięcy pojazdów, z kolei w USA 1 505 447 użytkowników dzieliło ponad 17 tysięcy pojazdów. W Meksyku natomiast wartości te wynosiły 101 27 użytkowników i 39 pojazdów [222].

Warto także wspomnieć o rozwoju car-sharingu na tzw. rynkach wschodzących. Do tych zaliczane są m.in. Afryka Południowa, Brazylia, Chiny, Indie, Malesja, Meksyk, Turcja [146].

Wiele przedsiębiorstw consultingowych poddaje analizie potencjalny rozwój systemów car-sharingu na świecie. Z raportu opublikowanego przez agencję Frost & Sullivan wynika, że w 2017 roku z usług systemów car-sharingu na świecie skorzystało ok. 10 milionów użytkowników, a ich liczba w 2025 roku osiągnąć ma 36 milionów, przy rocznej stopie wzrostu na poziomie 16,4% [72]. Prognoza liczby użytkowników do 2025 roku została zaprezentowana na rysunku 10.



Rys. 10. Liczba zarejestrowanych użytkowników w systemach car-sharingu z prognozą do roku 2025

Źródło: opracowanie własne na podstawie [72]

Według agencji Global Market Insights wartość światowego rynku usług car-sharingu w 2017 roku wynosiła 1,5 miliarda dolarów, a do roku 2024 osiągnąć ma 12 miliardów dolarów [78]. Z kolei statystyki dla Azji i Pacyfiku wskazują, że do 2024 roku lokalny rynek warty będzie ponad 2 miliardy dolarów [80]. Prognozuje się także, że do 2030 roku, dzięki rozwojowi branży współdzielonej mobilności europejski sektor transportowy będzie wymagał o 80 milionów pojazdów mniej niż obecnie (zmniejszenie z 280 milionów do 200 milionów pojazdów), a ponadto 1/3 pokonanych przejazdów wykonana będzie z użyciem pojazdów pochodzących z usług shared mobility [132].

3. Systemy car-sharingu w świetle badań naukowych

Usługi współdzielonej mobilności jako alternatywna forma transportu indywidualnego na obszarach miejskich, stały się zagadnieniem interesującym dla naukowców na całym świecie. Bazując na wykonanym przeglądzie literaturowym (m.in. [14-15][26-27][36][68][70][116][119][134][136][197][216]) wyszczególnić można siedem głównych obszarów badawczych poświęcony usługom współdzielenia pojazdów. Należą do nich:

- 1) geneza i historia usług,
- 2) analiza funkcjonowania rynku usług i kryteria wpływające na rozwój systemów,
- 3) zarządzanie systemami i lokalizacją pojazdów,
- 4) kwestie związane ze zrównoważonym rozwojem transportu,
- 5) systemy informatyczne,
- 6) „elektryczny car-sharing”,
- 7) optymalizacja usług i modelowanie.

Pierwsze wzmianki na temat systemów car-sharingu odnaleźć można w publikacjach z lat 80. Poruszana wówczas przez naukowców tematyka skupiała się wokół **genezy systemów**, wyjaśnienia zasad ich działalności czy przedstawienia ich funkcjonalności na przykładzie różnego rodzaju ośrodków miejskich [54].

Kolejnym z szeroko rozpatrywanych przez naukowców obszarem jest **analiza rynku usług** car-sharingu. Na jej podstawie można zapoznać się z wieloma czynnikami, które wpływają na rozwój lub recesję systemów car-sharingu. Na przykład autorzy Shaheen i Cohen bazując na badaniach eksperckich wykazali główne grupy kryteriów wpływające na międzynarodowy rozwój usług car-sharingu wyszczególniając kryteria ekonomiczne, techniczne, prawne czy transportowe [221]. Ponadto wskazali także główne motywacje do korzystania przez użytkowników z usług, do których zaliczono redukcję ponoszonych za przejazdy kosztów, dogodnie lokalizacje pojazdów oraz dedykowane miejsca parkingowe [224]. Badania nad kryteriami, które mogą wpływać na usługi car-sharingu szeroko podejmowane były także przez wielu innych autorów m.in. [14-15][26-27][36][68][70][116][119][134][136][197][216]. W swoich pracach wykazali oni, m.in., że:

- czynniki atmosferyczne oraz prognozy pogody wpływają na zwiększenie zapotrzebowania na usługi car-sharingu w mieście o ok. 10% w stosunku do wszystkich wynajmów [216],
- pojazdy z systemów car-sharing typu round-trip wykorzystywane są zwykle na krótkie podróże lub w celach rozrywkowych, sporadycznie na zakupy i wycieczki [14],
- użytkownikami systemów swobodnych (free-floatingu) są głównie osoby młode i bezdzietne [216],
- użytkownicy free-floatingu dzięki dużej dostępności pojazdów chętniej rezygnują z podróżowania własnym samochodem, od użytkowników korzystających z innych form car-sharingu lub komunikacji zbiorowej [136],
- zwykle użytkownikami systemów car-sharingu są osoby o średnim lub wyższym wykształceniu, ponadprzeciętnych zarobkach oraz pochodzą z małych rodzin [26-27][134],
- najdogodniejsza odległość, w jakiej powinien znajdować się pojazd od osoby pragnącej dokonać jego wynajmu jest dystans od 400 do 500 metrów, najlepiej jednak, aby odległość ta nie przekraczała 1 kilometra [216],
- dniem charakteryzującym się najmniejszą liczbą wypożyczeń jest poniedziałek [216],

- modernizowanie floty pojazdów przez operatorów wpływa pozytywnie na zwiększenie korzystania z usług systemów [68],
- z usług car-sharingu w większości korzystają mężczyźni [214],
- usługi cieszą się większym zainteresowaniem na obszarach o gęstej zabudowie, a także wśród osób, które w znacznym stopniu korzystają na co dzień z miejskiego transportu zbiorowego [214],
- pojazdy z napędem elektrycznym wybierane są przez użytkowników na dystanse do 24 kilometrów [287],
- podróżowanie pojazdami z napędem elektrycznym jest skupione głównie wokół centrów miast – z kolei podróże pojazdami z silnikami hybrydowymi wykazuje większe rozproszenie na terenie całego miasta [287],
- usługi car-sharingu bazowego są formą najczęściej wykorzystywaną przy podróżach „w jedną stronę” na lotnisko, czy w obszary dworców lub podczas podróży do pracy [15],
- usługi car-sharingu wypełniają lukę w miejscach o zmniejszonej dostępności transportu zbiorowego [15],
- podczas wdrażania usług car-sharingu szczególnie istotne jest partnerstwo publiczno-prywatne i opracowanie lokalnych polityk rozwoju systemów [57] oraz zapewnienie pakietów wspólnych usług np. rabatów dla osób korzystających z transportu zbiorowego co może realnie wpłynąć na zwiększenie popularności systemów [119].

Usługom car-sharingu poświęcane były także międzynarodowe granty badawcze. Wśród nich znajdują się np. projekt MOMO car-sharing (ang. *More Options for Energy Efficient Mobility through Car-Sharing*) realizowany w latach 2008-2011 [162]. Celem projektu było zwiększenie świadomości w zakresie korzystania z usług car-sharingu. W wyniku projektu wykazane zostały kluczowe bariery, z jakimi mogą zmierzyć się osoby pragnące wdrażać usługi w miastach oraz czynniki sukcesu [163] – nawiązano do nich podczas konstruowania zestawienia kryteriów wpływających na kształtowanie usług car-sharingu w rozdziale 7.4. Ponadto, w projekcie zaproponowano także wytyczne do tworzenia business-planów dla potencjalnych operatorów car-sharingu. Nie wskazano jednak konkretnych kosztów, jakie mogą ponieść operatorzy, a rozwiązania, które proponowano w ramach wytycznych nie są zgodne z aktualnymi trendami rynkowymi (z uwagi na znaczący rozwój nowych technologii od 2011 roku) [164]. Najnowszym z projektów realizowanych w ramach Programu HORYZONT2020 jest projekt STARS (ang. *Shared mobility opportunities And challenges foR European citieS*) realizowany w latach 2017-2020. W ramach projektu analizowane były modele biznesowe usług car-sharingu świadczonych na terenie Europy [240]. Celem projektu było opracowanie rekomendacji dla miast, dotyczących wdrażania opłacalnych systemów usług [240]. Wśród głównych zaleceń znalazły się takie aspekty, jak [241]:

- konieczność dostosowywania rodzaju systemu do wymagań danego obszaru,
- tworzenie lokalnych polityk rozwoju usług współdzielonej mobilności,
- inwestowanie w miejskie systemy MaaS, czy konieczność opracowywania lokalnych polityk parkingowych.

W literaturze można znaleźć także wiele opracowań poświęconych odpowiedniemu **zarządzaniu systemami** car-sharingu. W większości prace te ukierunkowane były na tematykę zarządzania flotą pojazdów i ich odpowiednią **lokalizacją** oraz kwestie parkingowe. Na przykład z artykułu Millard-Ball wynika, że każdy pojazd z car-sharingu zastępuje 14,9 samochodów prywatnych [156]. Z kolei autorzy Shaheen, Sperling i Wagner zauważyli,

że większość samochodów przewozi jedną osobę i jest używana przez mniej niż 1 godzinę dziennie [227].

Innym z obszarów badań nad usługami car-sharingu są kwestie **zrównoważonego rozwoju** i wpływu usług na społeczeństwo, gospodarkę i środowisko. W pracach naukowych podejmowano próby dokonania oceny wpływu car-sharingu na zmianę zachowań i przyzwyczajęń komunikacyjnych użytkowników [116][151]. Zauważono wówczas, że należy dążyć do odpowiedniego organizowania grup korzystających z pojazdów użytkowników [151] a także do poprawy jakości usług poprzez zmniejszanie konieczności dokonywanych podczas wynajmu formalności i dążenia do automatyzacji usług poprzez odpowiednie wykorzystanie możliwości jakie niosą za sobą **systemy informatyczne** [116][151].

Z punktu widzenia **modelowania systemów** transportowych, usługi car-sharingu poddawane były także analizom wykorzystującym wielokryterialne wspomaganie decyzji. Na przykład w artykule [140] autorzy zastosowali metodę AHP oraz dane pochodzące z systemu informacji geograficznej (GIS), otrzymane od operatora systemu do określenia potencjalnych przyszłych stacji bazowych systemu car-sharingu funkcjonującego na terenie Szanghaju. Autorzy bazowali na 4 głównych kryteriach, do których wliczono [140]:

- potencjalnych użytkowników,
- zapotrzebowanie na przejazdy,
- cele podróży,
- dystans.

Bazowano na 15 zaproponowanych wskaźnikach oceny. Wynikiem badań było określenie rodzaju stacji wraz z liczbą 3 do 5 miejsc parkingowych w zależności od lokalizacji na terenie miasta. W innej z prac, autorzy bazując na metodzie AHP określali opłacalność utworzenia i utrzymania stacji car-sharingu na terenie dwóch dzielnic Szanghaju [292]. Bazowali oni wówczas na 13 kryteriach. Otrzymane wyniki pozwoliły na określenie, na jakich działaniach powinien skupić się operator EVCARD, aby zapewnić sprawniejsze funkcjonowanie systemu. Podobne badania, także bazujące na wykorzystaniu metody AHP, prowadzone były dla francuskiego miasta La Rochelle [11]. Poza wskazanymi przykładami, nie zidentyfikowano prac badawczych, które odnosiłyby się do zastosowania innego rodzaju metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji na etapie planowania i wdrażania usług car-sharingu. Ponadto, zwrócono uwagę, że większość prac dotyczących kwestii lokalizacji stacji ładowania, czy odpowiedniej relokacji pojazdów wiąże się z **optymalizacją** istniejących już na rynku systemów car-sharingu, a nie aspektów ich wdrażania.

Zauważono także, że prace odnoszące się do modelowania systemów, w rzeczywistości bazują głównie na wykonaniu symulacji dla różnego rodzaju danych otrzymanych od operatorów lub pomiarów ruchu. Dane te w większości przypadków symulowane są komputerowo. Autorzy Pagany, Camargo oraz Dorne w swojej pracy [184] podkreślają, iż istnieje konieczność wykonywania studiów przypadku poprzedzonych wnikliwymi badaniami charakteryzującymi szczegółowe dane czy wzorce zachowań dla konkretnego obszaru. Ponadto, warto wspomnieć, że w pracach uwzględniana jest zwykle niewielka liczba kryteriów, które mogą wpływać na kształtowane systemy. Literatura poświęcona usługom car-sharingu wskazuje jednak na to, że sprawne funkcjonowanie systemów zależy od bardzo szerokiego spektrum czynników (tabela 17). Z uwagi na fakt wieloaspektowości obszarów, z którymi związane są usługi car-sharingu oraz niewielką liczbę prac poświęconych planowaniu i wdrażaniu systemów, istnieje realna potrzeba tworzenia modeli matematycznych w celu kształtowania i implementacji usług.

4. Modelowanie matematyczne w miejskich systemach transportowych

System transportowy to pojęcie odnoszące się do układu środków technicznych, organizacyjnych i ludzkich powiązanych ze sobą w taki sposób, aby mógł on sprawnie realizować przemieszczanie osób i (lub) ładunków w czasie oraz przestrzeni [100]. Z uwagi na jego złożoność, względy ekonomiczne lub etap koncepcyjny projektowania danego systemu do wdrożenia na określonym obszarze, często nie jest możliwym wykonanie badań w warunkach rzeczywistych [100]. Wówczas, stosownym jest przeprowadzenie badań przy zastosowaniu modelu. Za model uznaje się odwzorowanie rzeczywistości lub jej fragmentu. Stanowi to ilościową i jakościową reprezentację badanego systemu na bazie materialnej, utrzymując te cechy systemu, które są istotne z punktu widzenia prowadzonych badań [100].

Modelowanie systemów transportowych oraz ich otoczenia to tematyka szeroko prezentowana w literaturze krajowej oraz zagranicznej m.in. [100-105][138][193][285][298]. Istnieje wiele różnych klasyfikacji modelowania w zakresie aspektów związanych z transportem. Do jednej z najpopularniejszych należy klasyfikacja modeli w zakresie poziomu odwzorowania rzeczywistości. Wówczas wyróżnia się modele takie jak [101][209]:

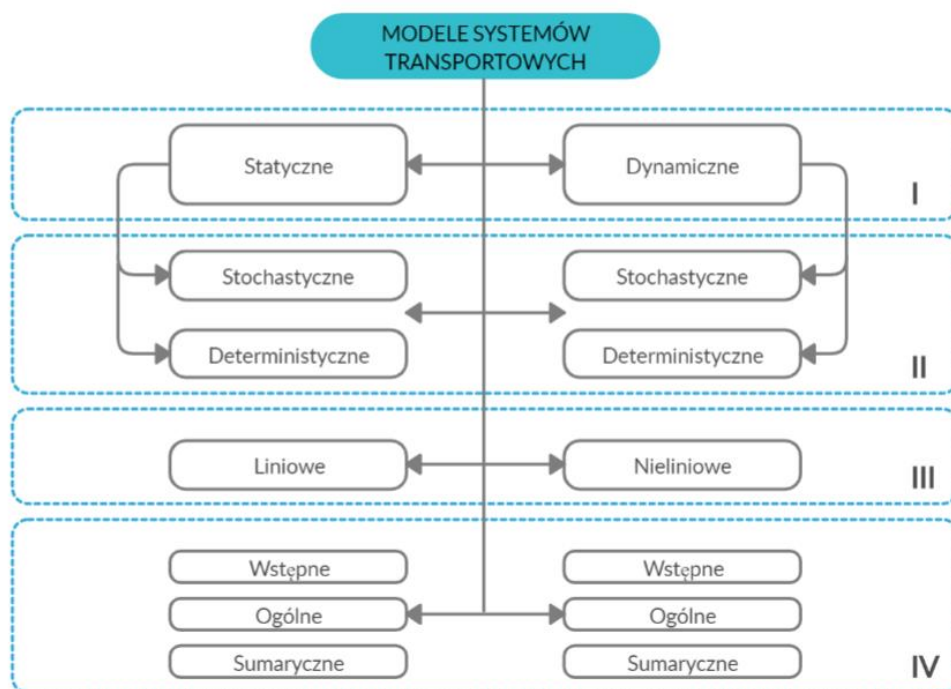
- modele opisowe – polegają na przedstawieniu w sposób werbalny właściwości charakteryzujących dany system,
- modele fizyczne – polegają na odwzorowaniu danego obiektu dzięki skorelowaniu z danymi zjawiskami fizycznymi i wyrażeniu w postaci wielkości fizycznych,
- modele analogowe – dają możliwość zaprezentowania jednych właściwości danej zmiennej poprzez użycie informacji o zachowaniu innej zmiennej, której zmiany w czasie są zbliżone, ale nie równoczesne,
- modele matematyczne (symboliczne) – dają możliwość przedstawienia zjawisk zachodzących w danych systemach w postaci relacji matematyczno-logicznych.

W niniejszej rozprawie doktorskiej utworzony został model matematyczny systemu usług car-sharingu. Dlatego też kolejne rozważania dotyczyć będą wyłącznie tego rodzaju modelu.

Dokonując klasyfikacji modeli matematycznych, wyróżnić można modele, które [100][150]:

- skupiają się na przedstawieniu zmian i procesów zachodzących w danym systemie transportowym z uwzględnieniem (lub też nie) upływu czasu,
- stanowią odwzorowanie pewności lub niepewności o danych właściwościach analizowanego systemu,
- służą możliwości przedstawienia zależności pomiędzy wyznaczanymi wielkościami,
- dają możliwość opisu zachodzących w badanym systemie zjawisk i relacji,
- określają ograniczenia oraz cel rozwiązania problemu.

Modele matematyczne mogą zostać klasyfikowane także według różnych kryteriów. Schemat klasyfikacji modeli matematycznych w odniesieniu do systemów transportowych został zaprezentowany na rysunku 11.



Rys. 11. Schemat podziału modeli matematycznych systemów transportowych
Źródło: opracowanie własne na podstawie [100][295]

Z punktu widzenia poziomu I przedstawionego na schemacie (rys. 11) modele systemów transportowych można podzielić na statyczne lub dynamiczne. Modele statyczne to grupa modeli, w których nie uwzględnia się zmian ani procesów, zachodzących pod wpływem czasu w danych obiektach [101]. Odnoszą się one do modelu danego systemu i otoczenia w określonym i ustalonym stanie [100]. Z kolei modele dynamiczne uwzględniają funkcjonowanie danego systemu w czasie, który jest wartością wejściową [100][295].

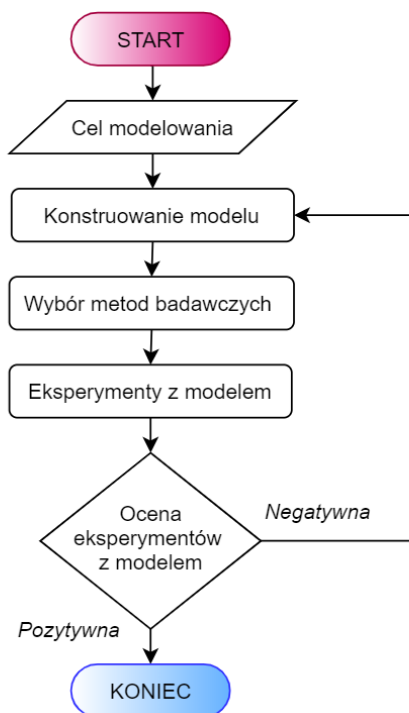
Modele mogą zostać sklasyfikowane także ze względu na znajomość charakterystyk odwzorowywanych elementów danego systemu (poziom II na rys. 11). Jeżeli wszystkie informacje o modelu są pewne, uznaje się go za model deterministyczny [100]. W opisie matematycznym nie stosuje się wówczas zmiennych losowych. Jeżeli jednak wybrane elementy mają charakter niepewny, uwzględnia się ich ryzyko lub nie posiada się dokładnej informacji na temat ich odwzorowań – modele przyjmują charakter stochastyczny (probabilistyczny) [101][138][295].

Inna z klasyfikacji (poziom III na rys. 11) uwzględnia podział modeli z punktu widzenia zapisu ograniczeń i warunków. Jeżeli kryteria te przyjmują formy liniowe względem zmiennych decyzyjnych, wówczas model przyjmuje nazwę liniowego modelu systemu transportowego [100]. Z kolei, jeśli przynajmniej jedno z ograniczeń lub funkcji kryterium jest funkcją nieliniową lub stanowi iloczyn zmiennych decyzyjnych – wówczas mówi się o nieliniowym modelu systemu transportowego [100].

Modele mogą być także sklasyfikowane ze względu na etap ich tworzenia (poziom IV na rys. 11). Wówczas wyróżnić można model wstępny, który tworzony jest wówczas, gdy wykonujący analizę nie zna jeszcze wszystkich mechanizmów, jakie zachodzą w danym systemie transportowym [138][295]. Celem modelu jest wykazanie danych jakie należy pozyskać [138][295]. Kolejnym z rodzajów jest model ogólny. Opiera się on o znane zależności

w danym systemie, w praktyce jednak jego stosowanie jest skomplikowane [138][295]. Jeżeli natomiast opracowany model jest gotowy do zastosowania praktycznego i stanowi on formę ostateczną, wówczas mówi się o modelu sumarycznym [138][295].

Proces modelowania wymaga wyznaczenia konkretnego celu. Celem modelowania jest pozyskanie informacji na temat analizowanego, rzeczywistego stanu systemu transportowego i zachodzących w nim zależności [102]. Kolejno eksperymenty prowadzone na skonstruowanym modelu, przy wyborze odpowiednich metod badawczych dają szansę na ocenę modelu i poznanie zależności zachodzącym w obiekcie rzeczywistym. Schemat modelu został przedstawiony na rysunku 12.



Rys. 12. Schemat procesu modelowania systemu transportowego
Źródło: opracowanie własne na podstawie [101]

Z punktu widzenia modelowania systemów transportowych prowadzonych było wiele różnego rodzaju badań naukowych. Dotyczyły one m.in. identyfikacji i optymalizacji systemów transportowych [69], kwestii doboru do potrzeb uczestników ruchu odpowiednich tras przejazdu [302-303], kształtowania ruchu w miejskich systemach transportowych [115], modelowania ruchu strumieni pojazdów w sieciach drogowych [128], wspomaganie decyzji w procesie organizacji przewozów [41-42], modelowania przemieszczeń, rozmieszczenia stacji ładowania pojazdów elektrycznych [229-230] i wiele innych. Wiele z opracowywanych modeli wymagało uwzględnienia dużej liczby kryteriów jako składowych poszczególnych systemów transportowych podczas podejmowania danych decyzji transportowych. Dlatego też zasadnym było rozpoczęcie stosowania metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji jako metod badawczych prowadzących do osiągnięcia celu modelowania danego systemu.

5. Metody wielokryterialnego wspomagania decyzji

Podejmowanie decyzji stanowi trudne zadanie dla osoby za to odpowiedzialnej. Zwykle wraz z pytaniem o wybór pojawiają się przemyślenia dotyczące innych możliwych alternatyw czy sposobów, z zastosowaniem których można sprawdzić, czy dana decyzja wpłynie korzystnie na analizowane zagadnienie, czy też nie. Problem staje się tym bardziej skomplikowany, jeżeli okazuje się, że istnieje wiele różnych czynników, które mogą wpłynąć na trafność danej decyzji. Wówczas z pomocą przychodzą wszelkiego rodzaju metody służące wykonaniu analizy decyzyjnej. Należą do nich m.in. metody wielokryterialnego wspomagania decyzji.

Metody wielokryterialnego wspomagania decyzji (ang. *Multiple-Criteria Decision-Making* – MCDM lub ang. *Multiple-Criteria Decision Analysis* – MCDA) stanowią poddyscyplinę badań operacyjnych [202]. Ich zadaniem jest dostarczenie narzędzi, które w sytuacji istnienia wielu, często sprzecznych ze sobą, kryteriów, posłużą ocenie i tworzeniu rankingu wariantów decyzji, w celu ułatwienia procesu podejmowania decyzji [122][173][202][227-228]. Metody bazują na elementach wiedzy z takich dziedzin, jak teoria decyzji, matematyka, ekonomia, informatyka czy systemy informacyjne [75].

Pierwsze wzmianki na temat wielokryterialnego wspomagania decyzji znaleźć można w publikacjach z 1951 roku dotyczących koncepcji rozwiązania niezdominowanego¹⁵, które uważa się za podwalinę MCDA [125]. Zastosowanie metod wielokryterialnego wspomagania decyzji to aktywny obszar badawczy, dynamicznie rozwijający się od lat siedemdziesiątych zarówno przez naukowców, jak i przez organizacje dedykowane MCDA – np. International Society on Multi-criteria Decision Making, Euro Working Group on MCDA oraz INFORMS Section on MCDM [211]. Powszechne zainteresowanie tymi metodami związane jest z ich utylitaryzmem. Są one powszechnie wykorzystywane podczas rozwiązywania problemów decyzyjnych w różnorodnych dziedzinach naukowych – m.in. w naukach inżynierskich, naukach o zarządzaniu, naukach humanistycznych i społecznych, naukach o środowisku. Ponadto, metody wykorzystywane są w podejmowaniu decyzji zarówno przez osoby indywidualne, przedsiębiorstwa jak i na poziomie rządowym [211-212].

5.1. Podstawowe definicje

Metody wielokryterialnego wspomagania decyzji związane są z wieloma elementarnymi definicjami.

Za decyzję w procesie analitycznym uznaje się sformalizowany lub niesformalizowany akt, na podstawie którego w sposób świadomy dokonywany lub niedokonywany jest wybór jednej z dostępnych alternatyw (wariantów) [173]. Z kolei wybór określonego wariantu, dla którego wektor wartości kryteriów jest najbardziej preferowany, przy jednoczesnym założeniu pewności otoczenia decyzyjnego problemu traktowany jest jako problem decyzyjny

¹⁵ Rozwiązanie niezdominowane to takie, którego nie jesteśmy w stanie polepszyć ze względu na żadne z obowiązujących kryteriów bez równoczesnego pogarszania wartości któregośkolwiek z pozostałych kryteriów [125].

[113]. Warunkiem rozwiązania problemu decyzyjnego jest istnienie danych, do których zalicza się [173]:

- zbiór rozpatrywanych podczas analizy scenariuszy decyzyjnych,
- zbiór opracowanych kryteriów decyzyjnych,
- zbiór wag przyporządkowany kryteriom decyzyjnym,
- macierz decyzyjna, która zawiera wartości otrzymane podczas rozpatrywania danego wariantu w świetle danego kryterium.

Warianty decyzyjne nazywane także scenariuszami, alternatywami lub możliwościami, stanowią skończony zbiór rozwiązań, który poddawany jest analizie podczas procesu decyzyjnego [122]. Zbiór scenariuszy decyzyjnych definiowany jest jako:

$$S = \{S_1, \dots, S_m\} \quad (1)$$

gdzie:

S – zbiór wariantów decyzyjnych,

$S_{1,\dots,m}$ – kolejne warianty.

W zależności od rozpatrywanego problemu decyzyjnego zbiór wariantów może być stały, co oznacza jego niezmiennosć w trakcie całego procesu analitycznego. Może także przyjąć charakter zmienny podczas wykonywania analizy [255][279]. Poszczególne scenariusze konstruowane są przez osobę wykonującą analizę dla danego zjawiska. Literatura sugeruje określenie „niewielkiej” liczby wariantów, co w praktyce oznacza, że zwykle nie przekracza ona 10- scenariuszy [18][118][153][236-237]. Opracowanych zostało kilka głównych założeń, na których należy się skupić podczas opracowywania scenariuszy. Zgodnie z nimi, scenariusze [25][59][90]:

- muszą obejmować więcej niż jedną wizję przyszłości danego produktu czy usługi,
- muszą być zgodne z zasadami działania wdrażanego rozwiązania, czyli być wewnętrznie spójne,
- muszą być wykonalne w praktyce,
- muszą być obiektywne,
- muszą zawierać te aspekty, które są istotne dla decydentów,
- muszą przedstawiać dane zagadnienie wyczerpująco, a także prowokować decydenta do konstruowania swoich planów działania i budowania strategii rozwoju produktu czy usługi,
- powinny być skonstruowane w taki sposób, aby możliwe było dokonanie zmian w ich założeniach np. dotyczących wartości zakładanych aspektów,
- muszą wskazywać nowatorskie możliwości rozwiązania danego problemu decyzyjnego w nawiązaniu do problemów decydentów,
- muszą być możliwymi rozwiązaniami – „historiami”, które nie dostarczają szczegółowych danych, a wymagają uzupełnienia ich o kryteria dopasowane do danego otoczenia i celu decyzyjnego,
- powinny być opracowywane do kompleksowych i wysoce niepewnych problemów decyzyjnych, w których działają jakościowe siły np. kryteriów technologicznych, społecznych, przepisów prawnych itp.

Scenariusze oceniane są z punktu widzenia różnorodnych kryteriów. Za kryteria uznaje się zbiór wielkości i miar charakteryzujących dane zjawisko i stanowiących podstawę danego wyboru [143-145].

Zbiór kryteriów definiowany jest jako [122]:

$$K = \{K_1, \dots, K_n\} \quad (2)$$

gdzie:

K – zbiór kryteriów,

$K_1, \dots, K_n$ – kolejne kryteria.

Poszczególne kryteria uwzględniane w analizie oceniane są w zależności od istotności dla danego interesariusza poprzez nadanie im odpowiedniej wagi. Dlatego też wyróżnia się zbiór wag w definiowany jako [122]:

$$w = \{w_1, \dots, w_n\} \quad (3)$$

gdzie:

w – zbiór wag,

$w_1, \dots, w_n$ – kolejne wagi.

Warto wspomnieć, że w zależności od metody wielokryterialnej stosowanej do wykonania danej analizy oferowane są różnego rodzaju algorytmy służące określeniu wartości wag przez interesariuszy.

Aby mieć do czynienia z poprawną reprezentacją kryteriów podczas podejmowania decyzji, zarówno pojedyncze kryteria, jak i ich grupy, muszą spełnić szereg określonych założeń, do których należą [144][202-203]:

- każde z pojedynczych kryteriów musi być wyczerpujące i mierzalne (wprost lub za pomocą skali standaryzowanej),
- zbiór podanych kryteriów powinien być kompletny, co oznacza, że powinien on odzwierciedlać obszary problemu decyzyjnego,
- zbiór podanych kryteriów powinien być operacyjny, co oznacza, że wartości poszczególnych kryteriów powinny być możliwe do wyznaczenia podczas kompletowania danych, aby mogły zostać wykorzystane w analizach,
- zbiór podanych kryteriów powinien być określony w taki sposób, aby możliwa była jego dekompozycja w razie zbyt skomplikowanej analizy,
- zbiór podanych kryteriów powinien być nieredundantny, oznacza to, że kryteria nie powinny się powtarzać podczas analizy, aby uniknąć kilkukrotnego rozpatrywania tego samego aspektu,
- zbiór podanych kryteriów ostatecznie wziętych pod uwagę w analizie powinien być minimalny, oznacza to, że dąży się do określenia jak najmniejszej liczby analizowanych aspektów.

Kryteria mogą być wyrażane w formie explicite lub implicite [37][144][277]. Kryteria typu explicite są wyrażane w postaci konkretnych danych, parametrów, wielkości, kształtu

itp. [24][39]. Z kolei kryteria typu *implicite* zawierają w sobie wszelkie atrybuty, które wymagają przeprowadzenia dodatkowych badań i analiz poznawczych [144].

Kryteria mogą być także charakteryzowane jako „twarde”, które stanowią ograniczenia wyboru [91]. Stanowią one logiczną alternatywę (sumę zdarzeń) lub koniunkcję (iloczyn zdarzeń) [122]. Mogą być nimi np. kryteria wykluczające lokalizacje budowy dróg w określonych miejscach, czy też kryteria narzucające określone zachowania np. przestrzeganie konkretnych przepisów prawa w określonych miejscach (teren zabudowany itp.). Kryteria „twarde” nazywane są kryteriami dyskretnymi i wyrażane są za pomocą stanów logicznych typu: TAK/NIE lub 1/0 (gdzie 1 - występuje, 0 - nie występuje) [120].

Z kolei kryteria „miękkie” stosuje się w celu otrzymania informacji na temat stopnia przydatności danego obszaru dla określonego w trakcie analizy celu [91]. Kryteria „miękkie” nazywane są gradientowymi [120]. Za ich pomocą nadaje się wielostopniową ocenę wartościującą ich przydatność na przykład przyznając skalę punktową typu: 1 punkt za określoną wartość itp. [120].

Kryteria wykorzystywane w procesach decyzyjnych są bardzo zróżnicowane. W zależności od typu problemu można je sklasyfikować z uwagi na kwestie środowiskowe, techniczne, społeczne, ekonomiczne itp. Nie istnieją jednoznaczne wzory i standardy określające, jakie kryteria powinny zostać wzięte pod uwagę podczas rozpatrywania konkretnych zagadnień decyzyjnych [122].

Podawanie jednej, skończonej i określonej grupy kryteriów dla analizowania np. problemów transportowych jest błędne, z uwagi na to, że każdy proces decyzyjny wymaga wykonania odrębnych analiz, określenia celu i uwarunkowań [122][173]. Słusznym jest natomiast posługiwanie się zestawem kryteriów charakterystycznych dla danego zagadnienia, uwzględniając wszelkie dodatkowe kryteria, które są wynikami prowadzonych dociekań [122]. Istotnym jest zatem, aby zachowana była zasada dowolności i swobody wyboru kryteriów, a także, aby kryteria wybrane zostały w sposób merytoryczny [122].

W ujęciu praktycznym, większość występujących problemów decyzyjnych ma charakter wielokryterialny, co oznacza, iż podjęcie decyzji niesie za sobą znalezienie kompromisów pomiędzy różnego rodzaju punktami widzenia [122]. Wówczas, często znalezienie rozwiązania związane jest z poszukiwaniem kompromisu pomiędzy określonymi preferencjami osób podejmujących decyzję, a także rachunkiem zysków i strat (korzyści i kosztów) [122].

Podczas określania liczby kryteriów warto pamiętać o tym, że ich liczba powinna zostać ograniczona z uwagi na możliwości percepcji osób dokonujących wyboru. Warto zatem zgrupować odpowiednio liczbę kryteriów, aby zapewniona była maksymalna efektywność procesu oceny. Liczba kryteriów analizowanych wobec danej grupy kryteriów powinna spełniać warunek: (7 ± 2) [122][255].

Wyraźnie sformułowane kryteria, dostarczyć mają wskazówki na temat skuteczności rozwiązań alternatywnych w odniesieniu do założonego celu analizy [75]. Kryteria powinny zostać wyrażone w konkretnych jednostkach miar lub zostać ustandaryzowane [75].

Kolejnym z terminów związanych z podejmowaniem decyzji jest określenie celu decyzyjnego. Cel definiowany jest jako pożądaný stan analizowanego systemu [144]. Służy on określeniu dogodnego kierunku zmian wartości jednego lub większej liczby kryteriów. Określenie pożądanego kierunku zmian może być definiowane jako [144]:

- stymulanta – im wyższa wartość atrybutu tym lepiej,
- destymulanta – im niższa wartość atrybutu tym lepiej,
- nominanta – zdefiniowana najlepsza wartość lub przedział wartości.

Stymulanta służy do porządkowania rozpatrywanych kryteriów pod kątem potencjalnych korzyści lub zysków [122]. Zgodnie z jej zasadą wyższe wartości danego atrybutu uznawane są za lepsze, przynoszące większe korzyści [122].

Z kolei destymulanta służy uporządkowaniu analizowanych kryteriów pod kątem potencjalnych kosztów lub strat. W związku z tym wyższe wartości przyznawane są wariantom o niższych kosztach [122].

Warto pamiętać o tym, że w zależności od rozpatrywanego problemu i preferencji w danej sytuacji decyzyjnej, ten sam atrybut może być postrzegany jako stymulanta lub destymulanta [122]. Określenie charakteru danego kryterium należy do grupy interesariuszy oceniających dany wariant z uwagi na dane kryterium. Mówi się wówczas o kierunku preferencji – minimalizacji lub maksymalizacji danego kryterium [122].

Podstawową strukturę w analizie wielokryterialnej stanowi tzw. macierz decyzyjna Q .

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{1,1} & Q_{1,2} & \cdots & Q_{1,n} \\ Q_{2,1} & Q_{2,2} & \cdots & Q_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{m,1} & Q_{m,2} & \cdots & Q_{m,n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

gdzie:

Q – macierz decyzyjna,

$Q_{m,n}$ – elementy macierzy decyzyjnej.

Macierz decyzyjna zawiera dane konieczne do porównania wariantów decyzyjnych [122]. Elementy macierzy stanowią oceny poszczególnych kryteriów w świetle danego wariantu decyzyjnego [122]. Warianty decyzyjne (scenariusze) wyrażone są w wierszach macierzy, natomiast kryteria w jej kolumnach. Przecięcie się kolumny i wiersza stanowi wynik, czyli ocenę danego scenariusza z uwagi na dane kryterium [122]. Macierz decyzyjna Q może być także wyrażona w formie tabelarycznej. Została ona zaprezentowana w tabeli 11.

Tabela 11. Przykład macierzy decyzyjnej w formie tabelarycznej

Kryterium Scenariusz	Kryterium 1 (waga w_1)	Kryterium 2 (waga w_2)	Kryterium 3 (waga w_3)
Scenariusz 1 – S_1	Q_{S_1,w_1}	Q_{S_1,w_2}	Q_{S_1,w_3}
Scenariusz 2 – S_2	Q_{S_2,w_1}	Q_{S_2,w_2}	Q_{S_2,w_3}
Scenariusz 3 – S_3	Q_{S_3,w_1}	Q_{S_3,w_2}	Q_{S_3,w_3}

Źródło: opracowanie własne

Aby możliwe było podjęcie decyzji, niezbędne jest także występowanie osoby lub grupy osób, które odpowiadać będą za dokonanie wyboru. Tego rodzaju podmiot określany jest mianem decydenta. W skomplikowanym i noszącym za sobą konsekwencje procesie podejmowania decyzji spierają się ze sobą przekonania różnych osób, prowadząc do uzyskania stronników, jak i oponentów danej decyzji. O stronnikach danego pomysłu, którym przyświecają wspólny cel czy preferencje, mówi się jako o grupie interesu [144]. Ta z kolei w odniesieniu do metod wielokryterialnych jest określana jako spójna grupa decydentów lub jako decydent zbiorowy [144]. Zatem decydemtem może być zarówno pojedynczy człowiek, grupa osób, czy struktura organizacyjna [255].

Biorąc pod uwagę problematykę usług transportowych, za decydentów uznaje się zwykle odbiorców usługi, użytkowników środków transportowych, operatorów danych systemów, przedsiębiorstw transportowych [103]. Ponadto jako decydentów podczas wdrażania usług transportowych traktuje się władze miasta lub obszaru, na którym dany system ma funkcjonować [6][289-290][298-300].

Warto pamiętać o tym, że w przypadku stosowania metod wielokryterialnych o liczbie decydentów indywidualnych, czy grupach podejmujących decyzje nie świadczy konkretna liczba uczestników, a spójność celów, danych preferencji, czy opinii [95].

Praktycznie wszystkie złożone metody wielokryterialne wymagają podczas procesu podejmowania decyzji udziału ekspertów [192]. Za ekspertów uważa się osoby, które charakteryzuje posiadanie merytorycznej wiedzy oraz doświadczenia [192.]. Minimalną liczbę ekspertów niezbędnych do przeprowadzenia analizy w zakresie danego problemu decyzyjnego określa się zgodnie ze wzorem [160]:

$$Eks_{min} = 0,5 * \left(\frac{3}{pr} + 5 \right) \quad (5)$$

gdzie:

Eks_{min} – minimalna liczba ekspertów,

pr – prawdopodobieństwo testowe (wartość $pr = 0,05$ (5%)) pozwala stwierdzić, że wyniki są istotne statystycznie.

Wszystkie z przedstawionych w rozdziale pojęć stosowane są na różnych etapach procesu podejmowania decyzji z użyciem metod wielokryterialnych. W literaturze znaleźć można różnego rodzaju podejścia do metodyki rozwiązywania problemów decyzyjnych. Na przykład autorzy Guitouni i Martel zakładają cztery główne etapy procesu, do którego należą [86]:

- 1) strukturyzacja problemu decyzyjnego,
- 2) opis werbalny i modelowanie preferencji decydenta,
- 3) agregacja wielokryterialna preferencji,
- 4) rekomendacje.

Żak proponuje natomiast podejście bazujące na sześciu etapach, do których należą [299]:

- 1) identyfikacja i opis problemu decyzyjnego,
- 2) konstrukcja matematyczna modelu decyzyjnego,
- 3) analiza oraz wybór odpowiednich metod i algorytmów, które umożliwią rozwiązanie problemu decyzyjnego,
- 4) dokonanie opracowania komputerowej implementacji wybranych metod i algorytmów,

- 5) przeprowadzenie komputerowych eksperymentów obliczeniowych,
- 6) dokonanie analizy wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór najbardziej satysfakcjonującego rozwiązania.

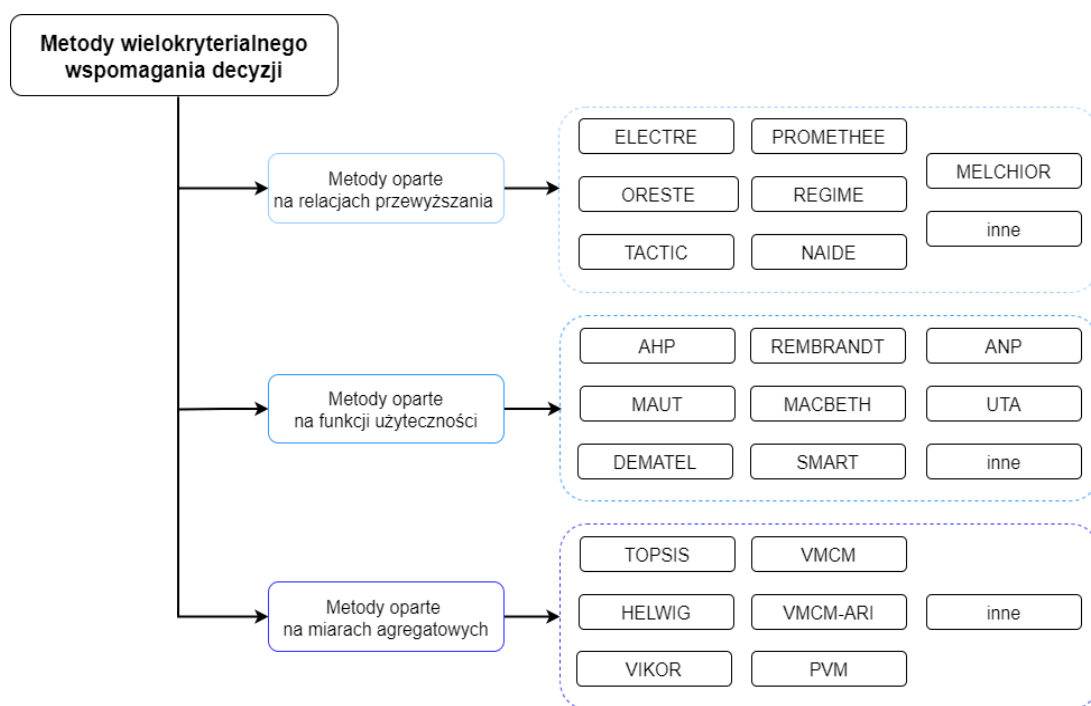
Z kolei w pracach [7][127][139][173] autorzy etap strukturyzacji problemu decyzyjnego dzielą na:

- analizę środowiska problemu decyzyjnego,
- sformułowanie problemu decyzyjnego,
- określenie wariantów decyzyjnych,
- ustalenie kryteriów oceny wariantów decyzyjnych.

Szczegółowa propozycja procesu postępowania w przypadku doboru usług car-sharingu została przedstawiona w rozdziale 7.

5.2. Klasyfikacja metod

Metody wielokryterialne klasyfikowane są według różnego rodzaju założeń. Na rys. 13 przedstawiona została ogólna klasyfikacja metod z uwagi na kategorie takie jak relacje przewyższania, funkcja użyteczności oraz miary agregatowe.



Rys. 13. Podział metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [173]

Pierwszą grupę metod stanowią metody oparte na relacjach przewyższania (ang. *outranking relation*). Ich cechą charakterystyczną jest modelowanie preferencji za pomocą określenia relacji wyższości jednego kryterium nad drugim [122]. W metodach bazujących na relacjach przewyższania dokonuje się syntetycznego porównania parami wariantów decyzyjnych uwzględniając przy tym wszystkie przyjęte kryteria [173]. Dopuszczalne jest występowanie

nieporównywalności R pomiędzy analizowanymi scenariuszami. Taka sytuacja jest możliwa wówczas, gdy decydent nie jest w stanie wskazać, który z rozważanych dwóch wariantów jest lepszy, ani nie dostrzega fundamentalnych różnic pomiędzy nimi [202]. Za relację przewyższania L uznaje się binarną relację określoną na zbiorze wariantów decyzyjnych S , taką, że wariant pierwszy przeważa nad wariantem drugim ($S_1 L S_2$) – jeżeli dane dotyczące preferencji decydenta dostarczają na tyle dużo argumentów, aby móc stwierdzić, że wariant S_1 jest co najmniej tak samo dobry jak wariant S_2 przy braku jasno zdefiniowanych powodów, aby to założenie zostało odrzucone [279].

Relacja przewyższania L stanowiąca sumę relacji równoważności I oraz preferencji P , tak, że:

$$L = I \cup P \quad (6)$$

gdzie:

L – relacja przewyższania,

I – relacja równoważności,

P – preferencje,

daje możliwość określenia preferencji decydenta jako:

- $S_j P S_k \Rightarrow \neg S_k P S_j$ oznacza, że preferencja P jest asymetryczna,
- $S_j I S_j$ – oznacza, że relacja równoważności I jest zwrotna,
- $S_j I S_k \Rightarrow S_k I S_j$ oznacza, że relacja równoważności I jest symetryczna,

gdzie:

S_j, S_k – warianty decyzyjne.

Z kolei relacja przewyższania charakteryzuje się następującymi własnościami:

- $S_j L S_j$ oznacza, że relacja przewyższania L jest zwrotna,
- $S_j L S_k \wedge S_k R_d S_l \Rightarrow S_j L S_l$,
- $S_j R_d S_k \wedge S_k L S_l \Rightarrow S_j L S_l$,
- $S_j I_i S_k \forall j \neq k \Rightarrow S_j L S_l \Leftrightarrow S_j L_k S_k$

gdzie:

R_d – relacja dominacji,

I_i – relacja równoważności ze względu na i -te kryterium,

L_k – relacja przewyższania ze względu na k -te kryterium,

S_j, S_k, S_l – warianty decyzyjne.

Do głównych zalet grupy metod opartych o relacje przewyższania należy fakt uniknięcia łączenia różnego rodzaju kryteriów. Do wad metody należy natomiast możliwość otrzymania częściowego uporządkowania scenariuszy. Najpopularniejszymi metodami grupy metod opartych na relacjach przewyższania są ELECTRE, PROMETHEE oraz ORESTE.

Drugą z grup metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji stanowią metody oparte na funkcji użyteczności [122]. Polegają one na agregowaniu różnego rodzaju kryteriów do postaci jednej optymalizowanej funkcji użyteczności, wówczas wielokryterialna funkcja celu przedstawiana jest w postaci funkcji użyteczności U jako:

$$F_u = F_u(k) = F_u(K_1, K_2, \dots, K_n) \quad (7)$$

gdzie:

F_u – funkcja użyteczności.

Metody bazują na założeniu, że analizowane warianty są między sobą porównywalne. Oznacza to, że dla każdej porównywanej pary wariantów decydent wskaże, które kryterium jest lepsze lub uzna je za równoważne. Preferencje te określane są matematycznie jako:

- S_jPS_k – oznacza, że wariant S_j jest preferowany nad wariantem S_k ,
- S_kPS_j – oznacza, że wariant S_k jest preferowany nad wariantem S_j ,
- S_jIS_k – oznacza, że wariant S_j jest równoważny z wariantem S_k .

Relacje preferencji decydenta, jak również relację równoważności, określa się jako:

- $S_jPS_k \Leftrightarrow U(z^{S_j}) > U(z^{S_k})$,
- $S_jIS_k \Leftrightarrow U(z^{S_j}) = U(z^{S_k})$,
- $S_jPS_k \wedge S_kPS_l \Rightarrow S_jPS_l$ – oznacza, że relacja preferencji P jest przechodnia,
- $S_jIS_k \wedge S_kIS_l \Rightarrow S_jIS_l$ – oznacza, że relacja równoważności I jest przechodnia.

gdzie:

z^{S_j} – obraz wariantu S_j w przestrzeni kryteriów,

z^{S_k} – obraz wariantu S_k w przestrzeni kryteriów.

Najpopularniejszymi metodami grupy bazującej na funkcji użyteczności są UTA, SMART, AHP oraz ANP.

Trzecią z grup stanowią metody oparte na miarach agregatowych, czyli na unormowanych wartościach danych cech, które stanowią podstawę do wyliczenia konkretnej miary [173]. Do tej grupy tej należą metody, które stosowane są do klasyfikacji i porządkowania obiektów złożonych i wielowymiarowych [173]. Ich głównym przeznaczeniem jest tworzenie rankingów, często bazujących na przyjętych wzorcach. Do najpopularniejszych metod grupy należą: TOPSIS, VIKOR oraz HELWIG.

Metody wielokryterialne klasyfikowane są także z uwagi na cel ich zastosowania, charakter problematyki danego zagadnienia oraz potrzeby informacyjne wykonującego analizy [86]. Wyróżnia się cztery główne problematyki wzorcowe zastosowania tych metod [173][203]:

- 1) problematyka wyboru (optymalizacji) $P.\alpha$ – dotyczy wyboru jednego, najlepszego wariantu decyzyjnego dla określonego problemu decyzyjnego tzw. optimum względem danego zbioru kryteriów,
- 2) problematyka sortowania (klasyfikacji) $P.\beta$ – dotyczy sytuacji, w której decydent dokonuje podziału wariantów decyzyjnych na podzbiory – wcześniej przyjęte klasy lub kategorie z zachowaniem zasady, że każdej kategorii przypisany jest tylko jeden wariant decyzyjny,

- 3) problematyka porządkowania (szeregowania) $P.\gamma$ – polega na utworzeniu rankingu rozwiązań, czyli wariantów decyzyjnych w kolejności od najlepszego do najgorszego, zgodnie z preferencjami decydent,
- 4) problematyka opisu $P.\delta$ związana jest z dokonaniem opisu wariantów decyzyjnych w celu ich lepszego zrozumienia i poznania szczegółów przez decydentów, aby mogli w bardziej świadomy sposób dokonać ich oceny.

W zależności od charakteru analiz i rodzaju problemu decyzyjnego dokonać można wyboru jednej lub kombinacji różnych problematyk wzorcowych [202-203].

Ze względu na tematykę niniejszej rozprawy doktorskiej i problem przedstawienia odpowiedniego zbioru rozwiązań decyzyjnych w zakresie wdrażania usługi car-sharingu na danym terenie, w dalszych rozważaniach zastosowana zostanie problematyka porządkowania (szeregowania) wariantów decyzyjnych $P.\gamma$ z uwagi na rozważane kryteria, które dodatkowo szczegółowo zaprezentowane zostaną z wykorzystaniem problematyki opisu $P.\delta$. Tego rodzaju postępowanie da możliwość zobrazowania decydentom scenariuszy decyzyjnych, a następnie pozwoli na dokonanie uszeregowania wariantów od najlepszego do najgorszego ze względu na rozważane preferencje. Porządkowanie wariantów pozwala na wskazanie kierunku możliwego postępowania i stanowi wsparcie podczas podejmowania decyzji ostatecznej związanej z wyborem odpowiedniego scenariusza dla konkretnego obszaru [236-237]. Dodatkowo, polecane jest przy problemach uwzględniających zróżnicowane kryteria i grupy decydentów o sprzecznych interesach [203].

5.3. Wybrane metody wielokryterialne oparte na relacjach przewyższania

Najpopularniejszą metodą reprezentującą grupę metod opartych na relacjach przewyższania jest rodzina ELECTRE (fr. *ELimination Et Choix Traduisant la REalité*). Pierwsze z metod grupy ELECTRE opracowane zostały przez Roya w latach 60. XX w. [202]. Z biegiem lat rodzina metod ELECTRE doczekała się wielu modyfikacji. Obecnie wyróżnić można metody: ELECTRE I-IV, ELECTRE IV, ELECTRE IS oraz ELECTRE TRI. W zależności od metody, stosowane są do rozwiązywania problemów o charakterze wyboru, porządkowania lub sortowania [122]. Charakterystyka rodziny metod ELECTRE została przedstawiona w tabeli 12.

Tabela 12. Charakterystyka metod grupy ELECTRE

Metoda	Problematyka	Parametry metody		
		Wagi dla kryteriów	Progi równoważności i preferencji	Próg weta
ELECTRE I	wyboru	X	-	-
ELECTRE IV		X	-	X
ELECTRE IS		X	X	X
ELECTRE II	porządkowania	X	-	X
ELECTRE III		X	X	X
ELECTRE IV		-	X	X
ELECTRE TRI	sortowania	X	X	X

Źródło: opracowanie własne na podstawie [122][173]

Metody z rodziny ELECTRE charakteryzują dwa etapy postępowania, do których należą [122]:

- utworzenie relacji przewyższania pomiędzy poszczególnymi wariantami,
- opracowanie rekomendacji rozpatrywanych wariantów decyzyjnych.

Narzędziami pomagającymi ustalić relację przewyższania są parametry takie jak próg równoważności, próg preferencji oraz próg weta, które odnoszą się do różnicy ocen dwóch wariantów względem danego kryterium. Dla progu równoważności qr , jeżeli różnica ocen nie przekroczy tego progu, warianty uznaje się za równoważne. Próg preferencji p – oznacza minimalną różnicę w ocenie dwóch wariantów. Próg preferencji jest nie mniejszy niż wartość progu równoważności, jego wartość wskazuje na granicę pomiędzy silną i słabą preferencją. Jeżeli różnica ocen mieści się pomiędzy p i qr wówczas mówi się o występowaniu słabej preferencji. Z kolei, jeśli różnica jest większa niż p mówi się o występowaniu silnej preferencji jednego wariantu nad drugim. Próg weta v definiowany jest dla każdego kryterium oddzielnie. Określa on maksymalną różnicę w ocenach wariantów. Daje on możliwość określenia wielkości, o jaką mogą różnić się wartości kryteriów pomiędzy porównywanymi wariantami [122].

Z uwagi na wybraną do zastosowania w niniejszej rozprawie problematykę wzorcową bazującą na porządkowaniu, a także na konieczność wyznaczenia wag poszczególnych kryteriów, ich progi równoważności, preferencji oraz próg weta szczegółowo scharakteryzowana została metoda ELECTRE III.

Metoda ELECTRE III stanowi najpopularniejszą z metod rodziny ELECTRE [173]. Metoda wprowadza dwupoziomową preferencję danych kryteriów. Oznacza to, że mogą się one silnie lub słabo przewyższać, co oznacza sytuacje, kiedy warianty decyzyjne bardzo lub niewiele różnią się od siebie [173]. Algorytm postępowania w metodzie ELECTRE III obejmuje 3 etapy postępowania, do których należą [299]:

- 1) konstruowanie macierzy ocen oraz definiowanie preferencji decydentów,
- 2) budowa relacji przewyższania,
- 3) użycie relacji przewyższania do wygenerowania uszeregowanego rankingu wariantów decyzyjnych.

Etap pierwszy analizy rozpoczyna się od zdefiniowania zbioru kryteriów K , który posłuży do oceny zbioru wariantów decyzyjnych S . Każdemu z kryterium ze zbioru K przyporządkowana jest odpowiednia waga w . Zakłada się, że wagi sumują się do wartości jedności. Kolejno, porównując ze sobą dwa warianty decyzyjne S_j oraz S_k oblicza się wskaźnik przewyższania jako [173]:

$$\varphi_n(S_j, S_k) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } K_n(S_j) \geq K_n(S_k) \\ 0, & \text{gdy } K_n(S_j) < K_n(S_k) \end{cases} \quad (8)$$

gdzie:

φ_n – wskaźnik przewyższania.

W etapie drugim, bazując na wskaźniku przewyższania, otrzymuje się odpowiedź, czy ze względu na dane kryterium wariant S_j nie jest gorszy od wariantu S_k . Kolejno, dokonuje się obliczenia wskaźnika zgodności $c_{j,k}$, aby móc otrzymać odpowiedź o przewadze wariantu S_j nad S_k w świetle wszystkich kryteriów. Wskaźnik zgodności stanowi sumę wag kryteriów,

dla których wartość oceny wariantu S_j jest większa lub równa wartości oceny wariantu S_k według wzoru [173]:

$$c_{j,k}(S_j, S_k) = \sum_{n=1}^m w_n \varphi_n \quad (9)$$

gdzie:

$c_{j,k}$ – wskaźnik zgodności,

w_n – waga n -tego kryterium.

Wskaźniki zgodności wyznaczone są odpowiednio dla każdej z par analizowanych wariantów decyzyjnych i kolejno porównywane z zadaniem przez decydenta progiem zgodności s , którego wartość powinna być równa co najmniej połowie sumy wag kryteriów (0,5), tj. [173]:

$$c_{j,k}(S_j, S_k) \geq s \wedge s \in [0,5; 1] \quad (10)$$

gdzie:

s – próg zgodności.

Zbiór par wariantów decyzyjnych, który spełnia warunek zgodności oznaczany jest jako C [122]. Kolejno, dla zbioru C należy sprawdzić warunek braku niezgodności. Pozwala to na eliminację sytuacji, gdzie porównanie wartości ocen wariantów decyzyjnych byłoby niekorzystne ze względu na przynajmniej jedno kryterium. Należy więc wprowadzić progi weta v , gdzie $v_j[k_j(S_j)]$ [122]. Warunek braku niezgodności jest spełniony, gdy dla każdego $j = 1, \dots, k$ [122]:

$$k_j(S_j) + v_j[k_j(S_j)] \geq k_j(S_k) \quad (11)$$

Jeżeli różnica między wartościami ocen wariantów decyzyjnych S_j i S_k dla przynajmniej jednego z kryteriów jest większa od wartości progu weta $v_j[k_j(S_j)]$ jest to wskazanie do odrzucenia wartości przewyższania $L_{j,k}$ pomiędzy tymi wariantami [173].

Następnie należy sprawdzić warunek braku niezgodności d_j poprzez określenie czy pary wariantów są niezgodne ze względu na poszczególne kryteria [173]. Aby utworzyć macierz niezgodności cząstkowych D_j , należy wykorzystać następujący wzór [173]:

$$d_j(S_j, S_k) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } k_j(S_k) > k_j(S_j) + v_j \\ 0, & \text{gdy } k_j(S_k) \leq k_j(S_j) + v_j \end{cases} \quad (12)$$

gdzie:

$d_j(S_j, S_k)$ – elementy macierzy D_j .

Na podstawie macierzy niezgodności cząstkowych należy utworzyć macierz niezgodności D_v . Aby wyznaczyć elementy macierzy należy skorzystać z formuły [173]:

$$d_v(S_j, S_k) = \begin{cases} 1 - \text{brak niezgodności,} & \text{gdy } \sum_{j=1}^n d_j(S_j, S_k) = 0 \\ 0 - \text{niezgodność,} & \text{gdy } \sum_{j=1}^n d_j(S_j, S_k) > 0 \end{cases} \quad (13)$$

gdzie:

$d_v(S_j, S_k)$ – elementy macierzy D_v .

Etap trzeci bazuje na stworzeniu macierzy relacji przewyższenia. Relacja przewyższenia występuje, jeżeli spełniony jest warunek zgodności oraz warunek braku niezgodności. Taką relację można zapisać w postaci macierzy L o elementach [173]:

$$L_{j,k}(S_j, S_k) = \begin{cases} 1, & \text{gdy } c_s(S_j, S_k) \cdot d_v(S_j, S_k) = 1 \\ 0, & \text{gdy } c_s(S_j, S_k) \cdot d_v(S_j, S_k) = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Etap czwarty obejmuje uszeregowanie scenariuszy, które rozpoczyna się od ich wstępnego uporządkowania za pomocą procedur klasyfikowania: destylacji zstępującej i destylacji wstępującej [173]. Obie destylacje polegają na uszeregowaniu scenariuszy od najlepszego do najgorszego [173].

Destylacja zstępująca to proces szeregowania, który rozpoczyna się od dokonania wyboru najlepszego scenariusza i umieszczenia go na szczycie klasyfikacji [173]. W dalszej kolejności spośród pozostałych scenariuszy ponownie wybierany jest najlepszy scenariusz i umieszczany na kolejnym miejscu w klasyfikacji. Procedura ta jest powtarzana do wyczerpania zbioru D_v [173].

W przypadku destylacji wstępującej proces szeregowania rozpoczyna się od wyboru najgorszego scenariusza i umieszczeniu go na końcu uszeregowania. Kolejno postępuje się jak w procedurze destylacji zstępującej, z różnicą, że w kolejnych iteracjach z pozostających do rozważenia scenariuszy wybierany jest zawsze najgorszy i umieszczany na kolejnych pozycjach uszeregowania „od dołu” [173].

Następnie należy utworzyć ranking końcowy na podstawie porządkowania: zstępującego i wstępującego, zgodnie z następującymi zasadami [173]:

- – scenariusza a jest uważany za lepszy od scenariusza b (aPb), jeżeli w co najmniej jednym uporządkowaniu a jest umieszczony przed b , a w drugim a jest co najmniej tak dobrze sklasyfikowany jak b ;
- – scenariusz a jest oceniany równorzędnie względem b (aIb), jeżeli oba scenariusze należą do tej samej klasy w każdym z dwóch uszeregowowań;
- – scenariusze a i b są nieporównywalne (aRb), jeżeli w jednym z dwóch uszeregowowań scenariusz a jest na lepszej pozycji niż b , zaś scenariusz b jest na lepszej pozycji od a w drugim uszeregowaniu.

W rezultacie powstaje końcowe uszeregowanie scenariuszy.

5.4. Wybrane metody wielokryterialne oparte na funkcji użyteczności

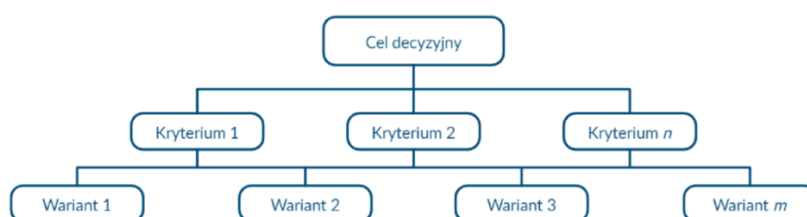
Do najpopularniejszej z metod reprezentujących podejście wielokryterialne oparte na funkcji użyteczności należy metoda hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*). Twórcą metody jest Saaty [211]. Została opracowana 1980 roku. Metoda bazuje na trzech głównych zasadach [73][211-213]:

- 1) struktura problemu decyzyjnego wyrażona jest jako hierarchia celów, kryteriów oraz wariantów decyzyjnych,
- 2) modelowanie preferencji decydenta bazuje na porównywaniu parami elementów występujących na każdym z poziomów hierarchii,
- 3) uporządkowanie wariantów jest wynikiem syntezy ocen preferencji decydentów ze wszystkich poziomów hierarchii.

Algorytm postępowania w metodzie AHP obejmuje 4 główne kroki, do których należą [211]:

I. Utworzenie modelu hierarchicznego.

Obejmuje on utworzenie modelu hierarchii funkcjonalnej w zależności od postawionego celu decyzyjnego. Przykładowy schemat hierarchii został zaprezentowany na rysunku 14.



Rys. 14. Hierarchia funkcjonalna w metodzie AHP

Źródło: opracowanie własne na podstawie [211]

II. Ocena porównawcza kryteriów parami oraz wariantów decyzyjnych w celu zebrania ocen porównania na podstawie przyjętej skali dominacji.

Polega ona na określeniu preferencji poszczególnych decydentów. Jest wyrażana za pomocą porównania parami poszczególnych kryteriów, subkryteriów (jeśli występują) lub wariantów decyzyjnych przez decydentów i nadanie im odpowiednich wag według tzw. skali ocen Saaty'ego (ang. *Saaty's fundamental scale*) [211]. Zadaniem decydentów jest przyporządkowanie odpowiednim parom wartości od 1 do 9. Opis stopnia przewagi został zaprezentowany w tabeli 13.

Tabela 13. Charakterystyka skali Saaty’ego

Intensywność dominacji	Definicja
1	takie samo znaczenie
2	bardzo słaba przewaga
3	słaba przewaga
4	więcej niż słaba przewaga, mniej niż mocna
5	mocna przewaga
6	więcej niż mocna przewaga, mniej niż bardzo mocna
7	bardzo mocna przewaga
8	więcej niż bardzo mocna przewaga, mniej niż ekstremalna
9	ekstremalna, całkowita przewaga

Źródło: opracowanie własne na podstawie [211]

Podczas dokonywania oceny zalecanym jest, aby korzystać z wartości 1, 3, 6, 9 [211]. Wartości parzyste (2, 4, 6, 8) nazywane są wartościami pośrednimi i stosuje się je wówczas, gdy dany decydent nie jest w stanie dokonać oceny korzystając z wartości nieparzystych [211]. Wartości wag mają charakter kompensacyjny związany z tzw. spójnością parami. Oznacza to, że wartość wagi dla elementu i o mniejszej przewadze od drugiego elementu j w danej parze stanowi odwrotność wartości przypisanej elementowi o wyższej przewadze tj.:

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (15)$$

gdzie:

a_{ji} – ocena przewagi j -tego elementu nad i -tym,

a_{ij} – ocena przewagi i -tego elementu nad j -tym.

Na podstawie określonych przez decydentów ocen poszczególnych elementów, na każdym z poziomów hierarchii tworzone są macierze preferencji A . Przykładowa macierz preferencji ocen wariantów względem danego kryterium została zaprezentowana poniżej:

$$A = [a_{ij}]_{q \times q} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \text{ dla } i, j = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Kolejno należy poddać normalizacji elementy macierzy A zgodnie ze wzorem:

$$A = \hat{A} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (17)$$

Wartości te stanowią podstawę do obliczenia wag kryteriów decyzyjnych, co zapisuje się zgodnie ze wzorem:

$$w_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (18)$$

III. Określenie preferencji globalnych, a także wyznaczenie istotności kryteriów i wariantów decyzyjnych.

Na początku należy wyznaczyć wartość indeksu spójności *CI* (ang. *Consistency Index*). Indeks spójności określa dopuszczalne odstępstwa od teoretycznej wartości macierzy *P*. Definiuje się go wzorem [190][211]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - M}{M - 1} \quad (19)$$

gdzie:

λ_{max} – największa rzeczywista wartość własna macierzy *P*,

M – wymiar macierzy porównań.

Następnie należy wyznaczyć wartość współczynnika spójności *CR* (ang. *Consistency Ratio*) odzwierciedlający zgodność ocen otrzymanych podczas porównań parami [3-4]. Współczynnik spójności *CR* wyznaczany jest za pomocą wzoru:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \begin{cases} CR \leq 0,10 - \text{spójność} \\ CR > 0,10 - \text{brak spójności} \end{cases} \quad (20)$$

gdzie:

RI – losowy indeks będący odzwierciedleniem współczynnika niezgodności ocen; stabilizowana wielkość zależna od liczby porównywalnych elementów. Wielkość losowego indeksu *RI* zależna jest od liczby porównywanych elementów, czyli wymiarów macierzy porównań *M*. Im większa jest liczba porównywanych elementów, tym wyższy jest jego wskaźnik. Wartość wskaźnika wyznaczana jest z tabeli 14 [3-4].

Tabela 14. Wartości losowego indeksu *RI* w zależności od wymiaru macierzy porównań *M*

<i>M</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>RI</i>	0,00	0,52	0,89	1,11	1,15	1,35	1,40	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,58

Źródło: [3-4]

Wartość współczynnika *CR* wynosząca powyżej 0,10 oznacza brak spójności ocen otrzymanych w wyniku dokonywania porównań parami, co być to wynikiem błędów

czy niedopatrzeń podczas procesu ustalania wag [3-4]. W przypadku wystąpienia braku spójności macierz należy odrzucić i ponownie przeprowadzić proces ustalenia istotności kryteriów decyzyjnych.

IV. Uporządkowanie wariantów decyzyjnych.

Ostatnim krokiem analizy jest obliczenie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych, na podstawie których możliwe jest utworzenie rankingu końcowego rozpatrywanych wariantów decyzyjnych. Należy posłużyć się wzorem:

$$U_{S_i} = \sum_n w_{S_i, k_n} k_n \quad (21)$$

gdzie:

U_{S_i} – ocena syntetyczna i -tego scenariusza decyzyjnego,

w_{S_i, k_n} – wartość n -tego kryterium i -tego scenariusza decyzyjnego.

5.5. Wybrane metody wielokryterialne oparte na miarach agregatowych

Najpopularniejszą metodą spośród metod opartych na miarach agregatowych jest TOPSIS (ang. *Technique for Order Preference by Similitarity to Ideal Solution*). Bazuje ona na szeregowaniu wariantów decyzyjnych poprzez wyznaczenie odległości każdego wariantu decyzyjnego od wzorca, czyli wariantu idealnego (rozwiązania referencyjnego), oraz antywzorca – wariantu antyidealnego (rozwiązania referencyjnego antyidealnego) [122][173]. Pomiedzy każdym wariantem decyzyjnym, a rozwiązaniem referencyjnym i antyidealnym, wyznaczane są odległości, na podstawie których określana jest wartość miary, która pozwala na utworzenie rankingu końcowego [122][173].

Metoda TOPSIS bazuje na 7 głównych krokach postępowania, które obejmują [122][173]:

- utworzenie macierzy decyzyjnej,
- znormalizowanie macierzy decyzyjnej,
- przyjęcie wag dla znormalizowanej macierzy decyzyjnej,
- wyznaczenie rozwiązania referencyjnego oraz rozwiązania referencyjnego antyidealnego,
- obliczenie odległości każdego wariantu decyzyjnego od rozwiązania referencyjnego oraz rozwiązania referencyjnego antyidealnego,
- obliczenie wskaźników podobieństwa poszczególnych wariantów do rozwiązania referencyjnego,
- utworzenie końcowego rankingu wariantów.

Pierwszym krokiem postępowania jest utworzenie znormalizowanej macierzy decyzyjnej poprzez znormalizowanie wartości kryteriów macierzy decyzyjnej. Znormalizowanie oceny wartości poszczególnych wariantów decyzyjnych oblicza się ze wzoru [122][173]:

$$n(i, j) = \frac{k_i(S_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m k_i(S_j)^2}} \quad (22)$$

gdzie:

$k_i(S_j)$ – wartość i -tego kryterium j -tego scenariusza.

Kolejno należy wyznaczyć oceny skorygowane o wartość wag przypisanych danym kryteriom zgodnie ze wzorem [122][173]:

$$w(i, j) = n(i, j) \cdot w_n \quad (23)$$

Uzyskane wartości ocen skorygowanych pozwalają wyznaczyć rozwiązanie referencyjne idealne [122][173]:

$$x_i^+ = [(\max_j x_{i,j} \mid j \in K_{stym}), (\min_j x_{i,j} \mid K_{dest})] \quad (24)$$

Natomiast, dla rozwiązania referencyjnego antyidealnego [122][173]:

$$x_i^- = [(\min_j x_{i,j} \mid j \in K_{stym}), (\max_j x_{i,j} \mid K_{dest})] \quad (25)$$

Następnie należy wyznaczyć odległość pomiędzy wariantami decyzyjnymi od rozwiązania referencyjnego idealnego zgodnie ze wzorem [122][173]:

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{i,j} - x_i^+)^2} \quad (26)$$

Ponadto obliczana jest także odległość od rozwiązania referencyjnego antyidealnego za pomocą wzoru [122][173]:

$$d_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{i,j} - x_i^-)^2} \quad (27)$$

Na podstawie odległości d_j^+ oraz d_j^- wyznaczany jest współczynnik rankingowy wariantów, który opisany jest wzorem [122][173]:

$$T_j = \frac{d_j^-}{d_j^+ + d_j^-} \wedge T_j \in < 0; 1 > \quad (28)$$

gdzie:

$$T_j = \begin{cases} 1 - \text{wariant najlepszy} \\ 0 - \text{wariant najgorszy} \end{cases}.$$

5.6. Metody wielokryterialnego wspomagania decyzji stosowane w zagadnieniach transportowych

Bazując na przeglądzie literaturowym wskazać można przykłady zagranicznych, jak i krajowych publikacji naukowych zadedykowanych metodom wielokryterialnym w odniesieniu do zagadnień transportowych.

Na przykład metoda ELECTRE IV zastosowana została przez Roy i Hungonnard [202] w pracy dotyczącej wyboru projektów budowy paryskiego metra. Wówczas wziętych pod uwagę zostało 12 wariantów decyzyjnych.

Z kolei metoda AHP wykorzystana została przez Saaty podczas rozwiązywania problemu dotyczącego wyboru najlepszego połączenia transportowego pomiędzy miastem Pittsburgh, a międzynarodowym lotniskiem. Przeanalizowanych zostało 12 głównych kryteriów i rozważono 4 warianty decyzyjne [213].

Ergun i inni zaproponowali zastosowanie metod wielokryterialnych do oceny rozwiązań transportowych dla metropolitalnego obszaru Istambułu, konstruując 9 scenariuszy bazujących na utworzeniu linii metra, kolei podmiejskiej, czy budowie mostów [99].

Z punktu widzenia usług car-sharingu autorzy Li i inni [140] wykorzystali metodę AHP do określenia lokalizacji stacji bazowych operatora systemu car-sharingu EVCARD funkcjonującego na obszarze Szanghaju. Podobne badania prowadzili autorzy Awasthi i inni wykorzystując metodę AHP do wyznaczenia lokalizacji stacji na terenie francuskiego miasta La Rochelle [11].

Metody wielokryterialnego wspomagania decyzji to tematyka popularna także wśród polskich naukowców. Na przykład Jacyna poświęciła jedną ze swoich prac naukowych modelowaniu wielokryterialnemu w zastosowaniu do oceny systemów transportowych [100]. Autorka powołała się na przykłady wykorzystania metod podczas badania związków w czasie między realizowanymi zadaniami układu transportowego, jego wyposażeniem i organizacją działania z dokładnością porównywalną z efektami obserwowanymi w rzeczywistych układach transportowych.

Swoje prace dotyczące metod wielokryterialnych w odniesieniu do transportu i logistyki w swoim dorobku naukowym posiada także Żak. Zajmował się on możliwością wykorzystania metod do kwestii dotyczących np. lokalizacji regionalnych centrów dystrybucji samochodowych części zamiennych, czy lokalizacji parkingów Park & Ride wykorzystując do analiz metody ELECTRE III oraz ELECTRE IV [298-300].

Możliwość wykorzystania metod do aspektów inżynierii ruchu wykazała Żochowska w swojej pracy naukowej dotyczącej wyboru odpowiedniej, czasowej organizacji ruchu w związku z zamknięciem ulicy na terenie Katowic [303].

Zastosowaniu metod wielokryterialnych poświęcone były także rozprawy doktorskie. Na przykład rozprawa Soleckiej dotyczyła oceny wariantów zintegrowanego systemu transportu publicznego [237]. W pracy założono 7 wariantów decyzyjnych i 10 zredukowanych kryteriów do ich oceny. Eksperymenty obliczeniowe prowadzone były z wykorzystaniem 4 metod wielokryterialnych tj. AHP, ANP, ELECTRE III oraz PROMETHEE II. W innej z rozpraw Kruszyński zastosował 4 metody wielokryterialne tj. AHP, PROMETHEE I, UTA oraz ELECTRE III do rozwiązania problemu z dziedziny zarządzania transportem miejskim [130].

6. Uzasadnienie podjęcia tematu – postawienie problemu badawczego i teza pracy

Obecnie na świecie poszukując różnego rodzaju rozwiązań mających na celu poprawę stanu aktualnego systemu transportowego w miastach, przedstawia się usługi współdzielenia jako jedną z możliwości poprawy funkcjonowania logistyki miejskiej [224]. Zgodnie z tym trendem na rynku pojawiają się systemy car-sharingu. Warto jednak zaznaczyć, że systemy te bywają wdrażane dla efektu końcowego, jakim ma być ekonomiczny zysk inwestorów/operatorów wprowadzanych usług [2][116][133][171][228]. Skupienie operatorów w dużej mierze na zysku oraz jak najszybszej ekspansji rynkowej często doprowadza do sytuacji, że we wdrażanych systemach car-sharingu powstaje wiele różnego rodzaju problemów. Trudności te pojawiają się zarówno na etapie wdrażania systemów, jak również występują w procesie ich utrzymania.

Do tego typu problemów zaliczyć można:

- wyznaczenie stref funkcjonowania car-sharingu w sposób pobieżny, bez wykonania wcześniejszych badań i pomiarów, co w efekcie skutkuje dokonywaniem częstych zmian w zakresie obszaru stref funkcjonowania danego systemu, co jednocześnie jest dezorientujące dla użytkowników korzystających z systemów [268-270],
- wprowadzanie zbyt małej lub zbyt dużej floty pojazdów, bez dokładnego określenia zapotrzebowania na korzystanie z usług wśród potencjalnych użytkowników. Przykładem może być zamknięcie berlińskiego systemu Multicity, z uwagi na zaoferowanie swoim klientom wyłącznie 200 pojazdów, co oznaczało, że średnia odległość pomiędzy osobą dokonującą wynajmu a pojazdem w określonej strefie wynosiła ponad 1 kilometr i stanowiła utrudnienie dla chcących skorzystać z usług operatora [9],
- przenoszenie schematów systemów funkcjonujących w dużych aglomeracjach miejskich do miast nie posiadających dotąd systemów car-sharingu lub wprowadzanie zbyt innowacyjnych rozwiązań (np. systemów wykorzystujących pojazdy z napędem wodorowym), co często wiąże się ze zbyt małym zainteresowaniem usługami wśród mieszkańców z uwagi na wcześniejszą niedostępność tego rodzaju oferty transportowej, czy brak odpowiedniej infrastruktury do obsługi pojazdów. W efekcie skutkuje to koniecznością zamknięcia systemu. Przykładem może być zamknięcie pierwszego na świecie systemu car-sharingu bazującego na pojazdach z wykorzystaniem napędu wodorowego BeeZero funkcjonującego w Monachium [74]. System okazał się nieekonomiczny z uwagi na zbyt małą liczbę stacji tankowania pojazdów [74],
- wprowadzanie systemów car-sharingu wykorzystujących flotę pojazdów elektrycznych w miastach posiadających niewystarczającą liczbę infrastruktury do ładowania, lub które są dopiero na etapie planowania własnych strategii rozwoju elektromobilności. Doskonałym przykładem była konieczność zamknięcia systemu car-sharingu w amerykańskim mieście San Diego [10][81]. Warto zaznaczyć, że miasto w 2011 roku planowało rozwój stacji ładowania pojazdów do 1000 sztuk do 2013 roku. W efekcie było ich zaledwie 400, co nie wzbudziło zainteresowania wśród użytkowników i doprowadziło do likwidacji usługi car-sharingu w mieście,
- wprowadzanie dodatkowych stref systemów car-sharingu poza miastem głównym, przy jednoczesnym wyposażeniu floty wyłącznie z pojazdy elektryczne – trudności z zapewnieniem infrastruktury do ładowania pojazdów, naruszenia regulaminu przez klientów [257],

- ograniczone standardy obsługi klienta np. konieczność wizyty w biurze obsługi celem weryfikacji dokumentów, brak możliwości skorzystania z systemu przez obcokrajowców, nieoferowanie usług dodatkowych w postaci całodobowych rezerwacji pojazdów czy usługi dostarczenia pojazdu door-to-door [268-270],
- wdrażanie zbyt mało zróżnicowanej floty pojazdów, które prowadzi do zmniejszenia zainteresowania użytkowników ofertą danego operatora [178],
- brak lub niewystarczająca współpraca z miastem w zakresie dostępności do usług car-sharingu, a w efekcie niemożność zaparkowania pojazdu w strategicznych miejscach np. pod dworcami czy lotniskami, z uwagi na strefy wyłączone z możliwości parkowania dla car-sharingu [268-270],
- nieodpowiednie dostosowanie taryfy za przejazd np. kilometrowej, minutowej lub kilometrowo-minutowej do danego obszaru [34-35],
- występowanie problemów z miejscami parkingowymi dla pojazdów z car-sharingu w tym kwestie polityki miast wobec dostępności miejsc oznaczonych znakiem poziomym P-20 tj. tzw. „kopertą” dla pojazdów z systemów car-sharingu, problemy z opłatami abonamentowymi za korzystanie z miejskich miejsc parkowania [272],
- występowanie problemów związanych z nieodpowiednią polityką cenową usług w stosunku do innych form transportowych w tym także klasycznych wypożyczalni pojazdów samochodowych oraz kłopoty z występowaniem ofert abonamentowych [284],
- występowanie problemów związanych ze zbyt dużymi opłatami dla operatorów, którzy chcą funkcjonować na terenie danego miasta. Przykładem może być konieczność zamknięcia jednego z największych systemów car-sharingowych Car2Go na terenie kanadyjskiego miasta Calgary z uwagi na zbyt restrykcyjną politykę transportową skierowaną w stronę operatora. Innym z przykładów jest miasto Toronto, które narzuciło na operatora konieczność posiadania pozwolenia na parkowanie wynoszące miesięcznie około 1500 USD¹⁶ tj. ok. 5611,20 zł za pojazd [34-35],
- nieodpowiednie dopasowanie wariantów systemów do obszaru funkcjonowania wymagających np. konieczności dokonania zwrotu pojazdu w stacjach bazowych znajdujących się w zbyt dużej odległości od rdzenia funkcjonowania systemu lub wprowadzanie systemów free-floatingowych ze zbyt dużą liczbą stref wyłączonych z możliwości swobodnego zwrotu pojazdu [62][224][267-270],
- występowanie problemów związanych z obsługą pojazdów zarówno z punktu widzenia obsługi technicznej pojazdów, jak i kłopotami po stronie korzystających użytkowników takich jak kłopoty z rejestracją w systemach, kłopoty z dostępem do systemów dla obcokrajowców, problemy z aplikacjami mobilnymi, kłopoty z lokalizacją pojazdów w czasie rzeczywistym (często pojazd dostępny w aplikacji, nie jest dostępny dla użytkownika w rzeczywistości), kwestie odpowiedzialności użytkownika i odpowiedzialności w regulaminach operatorów, brak odpowiedniego wyposażania np. do bezpiecznego przewozu dzieci, niedostosowanie pojazdów i aplikacji do potrzeb osób starszych czy z niepełnosprawnościami [257].

¹⁶ Wartość kursu USD według tabela kursów średnich NBP nr 24/A/NBP/2019 z dnia 04-02-2019, gdzie 1 USD = 3,7408 PLN.

Zdefiniowane problemy systemów car-sharingu dotyczą wielu obszarów funkcjonowania, w tym ograniczeń technicznych, organizacyjnych, transportowych, ekonomicznych, środowiskowych, prawnych czy społeczno-demograficznych. Z uwagi na występowanie tak wielu komplikacji pojawiających się zarówno na etapie wdrażania, jak i utrzymania systemów car-sharingu, **za cel pracy** postawiono:

Opracowanie modelu kształtowania i wdrażania systemu car-sharing opartego o wnioskowanie wielokryterialne, pozwalającego na ocenę i wybór zbioru scenariuszy dla danego obszaru.

Z uwagi na obszerność i interdyscyplinarność zagadnień związanych z opracowywaniem modelu kształtowania i wdrażania systemu car-sharingu dla danego obszaru, zdefiniowano także problemy szczegółowe niniejszej dysertacji. Należą do nich:

1. Określenie zbioru kryteriów, które mogą wpływać na kształtowanie, wdrażanie oraz funkcjonowanie systemu car-sharingu.
2. Identyfikacja scenariuszy (wariantów) dla zbioru kryteriów zagregowanych.
3. Kryterium doboru metody wspomagania decyzji dla procesów kształtowania i wdrażania systemu car-sharingu.
4. Zastosowanie opracowanego modelu na przykładzie studium przypadku – Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia.

Mając na uwadze przedstawiony cel pracy oraz problemy szczegółowe dotyczące wdrażania systemów car-sharingu, zaproponowano **tezę pracy**, w brzmieniu:

Zastosowanie wybranych metod wielokryterialnych umożliwia wspomaganie decyzji i wybór rozwiązań podczas procesu kształtowania i wdrażania systemu car-sharing.

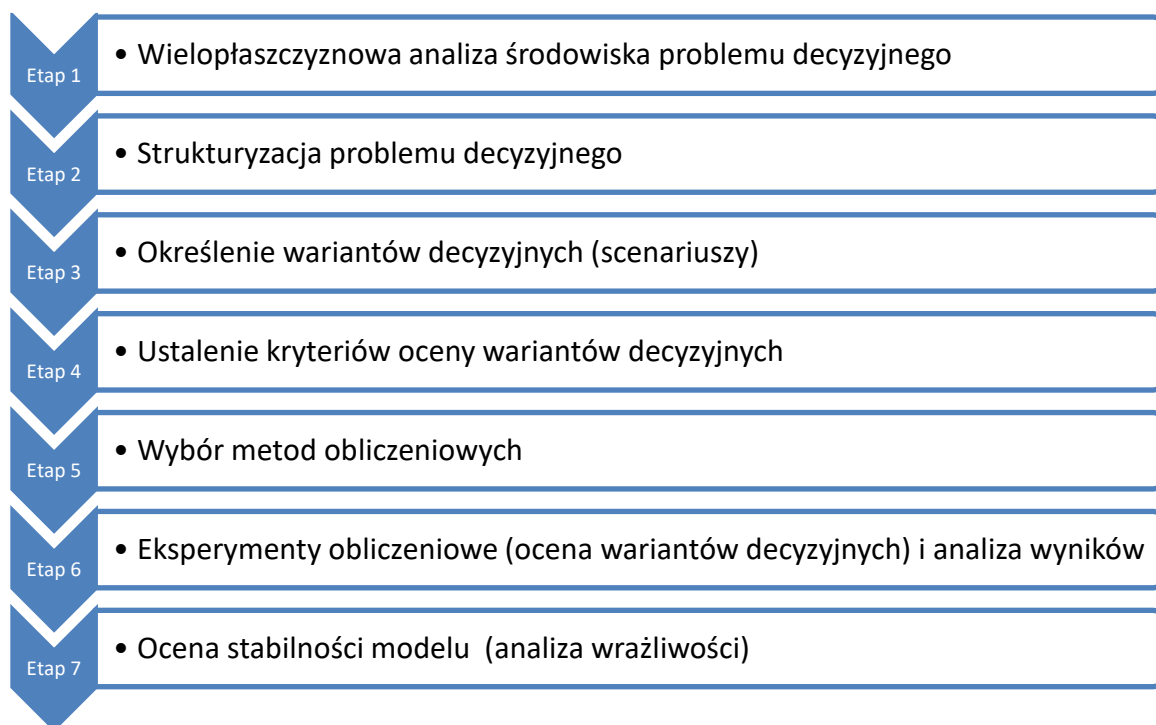
7. Propozycja autorskiego modelu kształtowania i wdrażania systemów car-sharingu

W niniejszym rozdziale przedstawiona została własna propozycja autorskiej koncepcji modelu kształtowania i wdrażania systemów usług typu car-sharing na terenie miasta/miast/obszaru metropolitalnego. Bazując na rozważaniach przedstawionych w rozdziałach 1-6 opracowano założenia stanowiące ogólną charakterystykę proponowanej metodyki.

Do głównych założeń modelu należą:

- uniwersalność modelu dająca możliwość zastosowania go do dowolnego obszaru miasta/obszarów miast niezależnie od jego/ich powierzchni,
- indywidualność otrzymanych wyników zależna od przeprowadzonych we własnym zakresie badań eksperckich oraz analiz matematycznych z wykorzystaniem metod wielokryterialnego wspomagania decyzji,
- możliwość szerokiego (wielopoglądowego) spojrzenia na kształtowane i planowane przedsięwzięcie z uwagi na udział w badaniach grup ekspertów danej tematyki (decydentów),
- możliwość wykonania wielopłaszczyznowej analizy z uwzględnieniem grup kryteriów ekonomicznych, transportowych, prawnych, społecznych czy techniczno-organizacyjnych,
- możliwość zastosowania modelu do planowanych przedsięwzięć przed ich wdrożeniem,
- możliwość wszechstronnej oceny kształtowanych i wdrażanych systemów car-sharingu,
- możliwość zastosowania modelu do różnych typów systemów car-sharing – bazowy, one-way oraz free-floating,
- możliwość otrzymania i wyboru optymalnego rozwiązania w postaci scenariuszy, które możliwie najlepiej sprawdzą się w warunkach danego obszaru miejskiego,
- możliwość zastosowania metod wielokryterialnego wspomagania decyzji wraz z wykorzystaniem obliczeń komputerowych.

Proponowana metodyka kształtowania i wdrażania systemu car-sharingu bazuje na siedmiu etapach algorytmu postępowania. Kolejne kroki postępowania stanowią „instrukcję” dla osób wykonujących analizy prowadzące do podjęcia decyzji o kształtowaniu i wdrażaniu odpowiedniego scenariusza/scenariuszy systemu car-sharingu na analizowanym obszarze. Schemat algorytmu przedstawiono na rysunku 15.



Rys. 15. Algorytm procedury w modelu kształtowania i wdrażania usług car-sharingu

Źródło: opracowanie własne

7.1. Wielopłaszczyznowa analiza środowiska problemu decyzyjnego

Rozważana analiza dotyczyć będzie kształtowania i wdrażania systemu transportowego car-sharingu na terenie określonego obszaru miejskiego. Bazując na wykonanym przeglądzie literaturowym dotyczącym systemów car-sharingu oraz modelowania systemów transportowych (rozdziały 1-6), w celu scharakteryzowania systemu car-sharingu na tle miejskiego systemu transportowego zaproponowano model identyfikacyjny systemu car-sharingu. Model identyfikacyjny posłuży wskazaniu na jakie aspekty należy zwrócić uwagę podczas dokonywania wielopłaszczyznowej analizy środowiska problemu decyzyjnego, czyli rozpatrywania danej lokalizacji celem kształtowania oraz wdrożenia na jej obszarze systemu car-sharingu.

System car-sharingu według zapisu formalnego zdefiniowano jako:

$$MIDS_{CS} = \langle C_{CS}, E_{CS}, O_{CS}, R_{CS}, V_{CS} \rangle \rightarrow OJ_{SCS} \quad (29)$$

gdzie:

$MIDS_{CS}$ – model identyfikacyjny systemu car-sharingu,

C_{CS} – cel i przeznaczenie systemu car-sharingu,

E_{CS} – dziedzina zbioru elementów systemu car-sharingu,

O_{CS} – otoczenie systemu car-sharingu,

R_{CS} – zbiór relacji systemu car-sharingu,

V_{CS} – zasady funkcjonowania systemu car-sharingu,

OJ_{SCS} – obraz jakościowy systemu car-sharingu.

Przyjęto, że na ogólny cel identyfikowanego systemu car-sharingu składać się będą cele strategiczny, taktyczny oraz operacyjny, zgodnie ze wzorem:

$$C_{CS} = \langle C_{CS}^S, C_{CS}^T, C_{CS}^O \rangle \quad (30)$$

gdzie:

C_{CS}^S – cel strategiczny systemu car-sharingu,

C_{CS}^T – cel taktyczny systemu car-sharingu,

C_{CS}^O – cel operacyjny systemu car-sharingu.

Cel strategiczny opisywanego systemu car-sharingu C_{CS}^S odnosi się do wsparcia miejskiego systemu transportowego i uzupełnienia jego oferty o usługę krótkoterminowych wypożyczalni pojazdów. Zgodnie z tym:

$$C_{CS}^S: CS \rightarrow \Pi_{CS} \quad (31)$$

gdzie:

Π_{CS} – potencjał wykonawczy systemu-car-sharingu, który musi zaspokoić potrzeby interesariuszy.

Celem taktycznym systemu transportowego car-sharingu jest dokonanie przekształcenia statycznych zasobów transportowych będących w gestii systemu do postaci dynamicznych procesów transportowych, na co wpływ ma np. wielkość floty pojazdów, czyli:

$$C_{CS}^T: \Pi_{CS} \rightarrow \phi_{CS} \quad (32)$$

gdzie:

ϕ_{CS} – dynamiczne procesy transportowe.

Celem operacyjnym systemu transportowego jest realizacja dynamicznego procesu przemieszczania na terenie miasta z wykorzystaniem usługi car-sharingu w danym czasie, według określonego planu w przestrzeni logistycznej $X \times T$, czyli:

$$C_{CS}^O: \phi_{CS} \rightarrow P_{CS} \subseteq X \times T \quad (33)$$

gdzie:

$X \times T$ – świadczenie usług transportowych na pewnej sieci komunikacyjnej.

W skład systemu car-sharingu wchodzić będzie szereg elementów określonych jako dziedzina systemu (E_{CS}). Dziedzinę systemu tworzą elementy struktury organizacyjno-funkcjonalnej oraz elementy zaliczane do systemowego otoczenia zewnętrznego i wewnętrznego. Dzielą się one na podzbiory zaliczane do infrastruktury społeczno-informacyjnej (E_{IS}^{CS}) i infrastruktury technicznej (E_T^{CS}).

$$E_{CS} = \{E_{IS}^{CS}, E_T^{CS}\} \quad (34)$$

Do zbioru infrastruktury społeczno-informacyjnej należą specjalistyczne organa kierowania systemem transportowym oraz współpracujące z nim podmioty gospodarcze zlecające usługi transportowe, albo kooperujące na zasadzie partnerstwa lub konkurencji. W systemie car-sharingu są to zatem interesariusze, do których według wzoru należą:

$$E_I^{CS} = \{E_i^{CS}; i = \overline{1, l_{ECS}}\} \quad (35)$$

gdzie:

E_1^{CS} – operatorzy usług car-sharingu,

E_2^{CS} – organa kierownicze i zarządzające miejskim systemem transportowym – władze lokalne miast (oraz władze metropolii),

E_3^{CS} – usługobiorcy korzystający z systemu car-sharingu (klienci indywidualni oraz biznesowi) – użytkownicy,

E_4^{CS} – podwykonawcy wspierający system car-sharingu np. serwis pojazdów, dostawcy paliwa i energii elektrycznej, leasingodawcy, dostawcy oprogramowania itp.,

E_5^{CS} – konkurencja na rynku usług w tym konkurencja pochodząca od równorzędnych systemów car-sharingu i innych podmiotów świadczących usługi transportowe na terenie miasta.

l_{ECS} – liczba interesariuszy systemu car-sharingu.

Do zbioru elementów infrastruktury technicznej zaliczyć można materialne elementy infrastruktury transportowej, obejmujące szlaki komunikacyjne i środki transportowe, dzielące się na kategorie rodzajowe. W przypadku car-sharingu wyróżnić można:

$$E_T^{CS} = \{E_{TD}^{CS}\{E_{TD1}^{CS}, E_{TD2}^{CS}, E_{TD3}^{CS}, E_{TD4}^{CS}\}; E_{TR}^{CS}\{E_{TR1}^{CS}, E_{TR2}^{CS}\}\} \quad (36)$$

gdzie:

E_{TD}^{CS} – miejska sieć transportowa, z której korzysta system car-sharingu,

E_{TD1}^{CS} – elementy liniowe miejskiej sieci komunikacyjnej – drogi i ulice,

E_{TD2}^{ST} – obszary (strefy), na których funkcjonują systemy car-sharingu,

E_{TD3}^{CS} – elementy punktowe miejskiej sieci komunikacyjnej – stacje ładowania pojazdów, miejsca parkingowe w tym miejsca parkingowe dedykowane pojazdom z car-sharingu,

E_{TD4}^{CS} – stacje bazowe i dedykowane miejsca parkingowe dla pojazdów systemów car-sharingu,

E_{TR}^{CS} – środki transportowe – pojazdy samochodowe wykorzystywane w systemie,

E_{TR1}^{CS} – środki transportu z napędem konwencjonalnym – pojazdy z silnikami spalinowymi,

E_{TR2}^{CS} – środki transportu z napędem niekonwencjonalnym – pojazdy z silnikami elektrycznymi.

System car-sharingu funkcjonuje w otoczeniu wewnętrznym i zewnętrznym, które może być przedstawione jako:

$$O_{CS} = \{O_W^{CS}, O_Z^{CS}\} \quad (37)$$

gdzie:

O_W^{CS} – autonomiczne, wewnętrzne otoczenie systemu car-sharingu,
 O_Z^{CS} – interdyscyplinarne, zewnętrzne otoczenie systemu car-sharingu.

Zewnętrzne otoczenie systemu obejmuje swoim zakresem:

$$O_Z^{CS} = \{O_{Z1}^{CS}, \dots, O_{Zi}^{CS}, i = \overline{1, l_{OZCS}}\} \quad (38)$$

gdzie:

O_{Z1}^{CS} – usługobiorcy (klienci) korzystający z systemu car-sharingu,
 O_{Z2}^{CS} – podwykonawcy świadczący usługi dla operatora systemu car-sharingu,
 O_{Z3}^{CS} – użytkowana miejska sieć komunikacyjna – drogi i ulice,
 O_{Z4}^{CS} – wynajmowane lub dzierżawione środki transportowe – pojazdy samochodowe wykorzystywane w car-sharingu,
 O_{Z5}^{CS} – zewnętrzne, techniczne usługi serwisowe np. dokonywanie przeglądów okresowych, badań technicznych pojazdów,
 O_{Z6}^{CS} – zewnętrzne usługi biznesowe np. konsultacje społeczne w celu określenia obszaru funkcjonowania systemu, ubezpieczenia pojazdów i określenie ryzyka ich użytkowania, leasingi pojazdów itp.
 O_{Z7}^{CS} – zewnętrzna obsługa teleinformatyczna systemu transportowego np. podczas integracji z miejskim inteligentnym systemem transportowym (ang. *Intelligent Transport System* - ITS)¹⁷ lub platformą informacyjno-telekomunikacyjną (ang. *Information and Communication Technology* - ICT)¹⁸,
 l_{OZCS} – liczba elementów zbioru zewnętrznego otoczenia systemu.

Wewnętrzne otoczenie systemu obejmuje swoim zakresem:

$$O_W^{CS} = \{E_{Wi}^{CS}, i = \overline{1, l_{OWCS}}\} \quad (39)$$

gdzie:

O_{W1}^{CS} – wewnętrzne organa kierownicze i kontrolno-nadzorcze zarządzające systemem car-sharingu i jego modelem biznesowym (struktura organizacyjna przedsiębiorstwa będącego operatorem car-sharingu),
 O_{W2}^{CS} – własne środki finansowe, którymi dysponuje operator systemu,
 O_{W3}^{CS} – własne środki transportowe, którymi dysponuje operator systemu,
 O_{W4}^{CS} – własne zaplecze techniczne w tym posiadane budynki, grunty, bazy transportowe, serwis techniczny np. do dokonywania codziennych obsług pojazdów,
 O_{W5}^{CS} – wewnętrzne standardy i technologie teleinformatyczne – aplikacja służąca do zarządzania systemem z punktu widzenia użytkownika oraz operatora systemu, system informatyczny do zarządzania pojazdami i śledzenia ich położenia itp.,
 l_{OWCS} – liczba elementów zbioru wewnętrznego otoczenia systemu.

Zbiór relacji, które opisują system car-sharingu obejmuje związki zachodzące pomiędzy składowymi systemu zgodnie ze wzorem:

¹⁷ Inteligentny system transportowy (ITS) – system informacyjny i komunikacyjny mający na celu świadczenie usług związanych z różnymi rodzajami transportu i zarządzaniem ruchem, pozwalający na lepsze informowanie różnych użytkowników oraz zapewniający bezpieczniejsze, bardziej skoordynowane korzystanie z sieci transportowych [60]

¹⁸ Platforma informacyjno-telekomunikacyjna (ICT) – platforma internetowa tworzona w celu gromadzenia, analizowania i prezentowania informacji w celach edukacyjnych i wspierających rozwój danego sektora [196]; w przypadku transportu platformy ICT wykorzystywane są np. do w celach wsparcia zrównoważonego transportu [Remo]; w przypadku transportu współdzielonego platformy ICT mogą prezentować dane dotyczące możliwych do wypożyczenia pojazdów pochodzących od różnych operatorów np. berlińska platforma Jelbi [107]

$$R_{CS} = \{R_i^{CS}, i = \overline{1, I_R}\} \subseteq E_{CS} \times E_{CS} \quad (40)$$

gdzie:

R_{CS} – relacje systemu transportowego car-sharingu,

R_i^{CS} – i -ty element relacji w systemie transportowym,

I_R – liczność zbioru relacji $|R|$.

Można wyróżnić relacje oparte na kwestiach:

R_1^{CS} – ekonomiczno-technicznych, wówczas elementy systemu rozpatrywane są pod kątem np. rodzaju pojazdu, klasy pojazdu, wieku pojazdu, stanu technicznego pojazdu, kosztu za kilometr przejazdu, kosztu za minutę przejazdu, kosztu za czas parkowania, łatwości korzystania z systemu informatycznego (aplikacji),

R_2^{CS} – transportowych, wówczas elementy systemu rozpatrywane są pod kątem np. typu car-sharingu, liczby pojazdów, liczby miejsc parkowania, dostępności transportowej, dostępności publicznego transportu zbiorowego, obecności innych systemów w zakresie współdzielonej mobilności np. bike-sharing¹⁹, scooter-sharing²⁰, moped-sharing²¹, przywilejów transportowych np. możliwości korzystania z bus-pasów, dedykowanych miejsc parkingowych itp.

R_3^{CS} – społeczno-demograficznych, wówczas elementy systemu rozpatrywane są pod kątem np. liczby mieszkańców, wieku mieszkańców, płci, statusu społecznego itp.,

R_4^{CS} – środowiskowych, wówczas elementy systemu rozpatrywane są pod kątem np. rodzaju pojazdu, typu zasilania pojazdu (silnik elektryczny/spalinowy), wieku pojazdu, pogody, wilgotności,

R_5^{CS} – innych kryteriów, w których skład wchodzi np. pora dnia, pora roku, dni robocze, weekendy, święta, cechy charakterystyczne dla danego obszaru miejskiego – zagospodarowanie terenu, stopień technologiczności miasta.

Relacje w systemie car-sharingu obejmują wzajemne powiązanie elementów wchodzących w skład systemu.

$$K^{CS} = \{K_1, K_2, K_3, \dots, K_n\} \quad (41)$$

gdzie:

K^{CS} – zbiór kryteriów,

$K_{1,2,\dots,n}$ – kolejne kryteria.

Odwołują się one ściśle do zbioru kryteriów jakie mogą mieć wpływ na kształtowanie i wdrażanie systemu car-sharingu na wybranym obszarze.

Ogólne zasady funkcjonowania systemu car-sharingu mogą zostać opisane wzorem:

$$V_{CS} = \{S^{CS}, V_P^{CS}, V_B^{SC}, V_L^{CS}, V_{FP}^{CS}, V_{OK}^{CS}\} \quad (42)$$

gdzie:

¹⁹ Bike-sharing – system oferujący możliwość wynajmu rowerów na krótki okres.

²⁰ Scooter-sharing – system oferujący możliwość wynajmu hulajnóg na krótki okres.

²¹ Moped-sharing – system oferujący możliwość wynajmu skuterów elektrycznych na krótki okres.

S^{CS} – zbiór scenariuszy określających możliwe do wdrożenia warianty systemów car-sharingu,

V_P^{CS} – ogólne zasady działania systemu car-sharingu,

V_B^{CS} – zasady bezpieczeństwa systemu car-sharingu,

V_L^{CS} – zasady funkcjonowania systemu car-sharingu,

V_{FP}^{CS} – specjalistyczne uwarunkowania mające wpływ na funkcjonowanie systemu car-sharingu w przestrzeni,

V_{OK}^{CS} – specjalistyczne uwarunkowania związane z obsługą klienta w systemie car-sharingu.

$$S^{CS} = \{S_1^{CS}, \dots, S_m^{CS}\} \quad (43)$$

gdzie:

$S_{1,\dots,m}^{CS}$ – kolejne scenariusze możliwych do wdrożenia wariantów systemu car-sharingu związane np. z modelem biznesowym, obszarem funkcjonowania, celem wdrożenia itp.

Ogólne zasady działania systemu car-sharingu mogą zostać zdefiniowane jako:

$$V_P^{CS} = \{V_{Pi}^{CS}, i = \overline{1, I_{VCS P}}\} \quad (44)$$

gdzie:

V_{P1}^{CS} – zasada racjonalnego gospodarowania przedsiębiorstwem przez operatora systemu car-sharingu (jego zasobami materialnymi oraz zasobami ludzkimi w określonym czasie),

V_{P2}^{CS} – zasada celowości działań (dostosowania usług do potrzeb interesariuszy),

V_{P3}^{CS} – zasada prostoty działania systemu (dla wszystkich grup potencjalnych interesariuszy),

$I_{VCS P}$ – liczba elementów zbioru ogólnych zasad działania systemu car-sharingu.

Kolejno, w przypadku car-sharingu zasady obejmujące wymagania bezpieczeństwa mogą zostać ogólnie odniesione do:

$$V_B^{CS} = \{V_{BD}^{CS}, V_{BS}^{CS}\} \quad (45)$$

gdzie:

V_{BD}^{CS} – przepisy ruchu drogowego,

V_{BS}^{CS} – zasada bezpieczeństwa systemu (zarówno bezpieczeństwa danych systemu jak i bezpieczeństwa użytkowników korzystających z usług).

Z uwagi na kwestie eksploatacji pojazdów w systemie car-sharingu istotne jest zwrócenie uwagi także na regulacje związane z przestrzeganiem norm techniczno-eksploatacyjnych, wymagań środowiskowych, standardów ekologicznych. Aspekty te mogą zostać przedstawione według wzoru:

$$V_{BS}^{CS} = \{V_{BSi}^{CS}, i = \overline{1, I_{VCS BS}}\} \quad (46)$$

gdzie:

V_{BS1}^{CS} – gałęziowe normy techniczno-eksploatacyjne w ruchu drogowym, w tym kwestie związane z homologacją pojazdów samochodowych, przeglądami technicznymi, wymaganiami związanymi z normami emisji spalin, w tym regulacji związanych z pojazdami elektrycznymi [275]

V_{BS2}^{CS} – serwisowanie floty pojazdów,

$I_{VCS BP}$ – liczba elementów zbioru ogólnych zasad działania systemu car-sharingu.

Z uwagi na świadczenie usługi transportowej, ważną kwestię odgrywają także zasady logistyczne. Można je przedstawić według wzoru:

$$V_L^{CS} = \{V_{Li}^{CS}, i = \overline{1, l_{VSCL}}\} \quad (47)$$

gdzie:

V_{L1}^{CS} – dostępność pojazdów w systemie car-sharingu na mapie w aplikacji,
 V_{L2}^{CS} – dostępność pojazdów w czasie wyszukiwania przez użytkownika,
 V_{L3}^{CS} – rzeczywista dostępność pojazdów w przestrzeni,
 V_{L4}^{CS} – jakość świadczonej usługi car-sharingowej,
 V_{L5}^{CS} – ubezpieczenie wypożyczanego pojazdu i taryfikator kar za uszkodzenia pojazdu,
 V_{L6}^{CS} – koszt usługi wynajmu pojazdu,
 V_{L7}^{CS} – możliwość spełnienia dodatkowych wymagań klienta np. dodatkowe wyposażenie pojazdu w fotelik dla dziecka, zastosowanie różnorodnych klas pojazdów itp.,
 V_{L8}^{CS} – dodatkowe przywileje nadane użytkownikom pojazdów np. możliwość poruszania się bus-pasami, możliwość parkowania na specjalnie dedykowanych miejscach itp.,
 V_{L9}^{CS} – forma świadczonych usług,
 l_{VCSP} – liczba elementów zbioru zasad logistycznych.

Dla systemu car-sharingu można wyróżnić także szczegółowe zasady związane z jego funkcjonowaniem w przestrzeni. Mogą zostać one opisane jako:

$$V_{FP}^{CS} = \{V_{FPi}^{CS}, i = \overline{1, l_{VCSFP}}\} \quad (48)$$

gdzie:

V_{FP1}^{CS} – zasady funkcjonowania systemu transportowego charakterystyczne dla danego miasta np. posiadanie przez miasto centrum zarządzania ruchem, czy ITS,
 V_{FP2}^{CS} – uwarunkowania prawne charakterystyczne dla danego miasta np. plany zrównoważonego rozwoju transportu miejskiego, strategia rozwoju miasta, raporty o stanie miasta, plany zagospodarowania terenu itp.,
 l_{VCSFP} – liczba elementów zbioru zasad funkcjonowania systemu w przestrzeni.

Dla systemu car-sharingu można wyróżnić także szczegółowe zasady związane z obsługą klienta w systemie:

$$V_{OK}^{CS} = \{V_{OKi}^{CS}, i = \overline{1, l_{VSCOK}}\} \quad (49)$$

gdzie:

V_{OK1}^{CS} – bieżące monitorowanie dostępności pojazdów w systemie car-sharingu,
 V_{OK2}^{CS} – bieżące monitorowanie stanu technicznego pojazdów w systemie car-sharingu,
 V_{OK3}^{CS} – bieżące monitorowanie zewnętrznego i wewnętrznego stanu pojazdu (czystości),
 V_{OK4}^{CS} – bieżące zapewnienie pomocy w obsłudze systemu poprzez całodobową infolinię/chat z usługobiorcami,
 V_{OK5}^{CS} – kompleksowa pomoc w razie jakichkolwiek zapytań/zgłoszeń ze strony klienta,
 l_{VSCOK} – liczba elementów zbioru zasad obsługi klienta.

Funkcjonowanie systemu car-sharingu uwzględniające wszelkie przedstawione dotąd składowe modelu identyfikacyjnego dąży do zapewnienia odpowiedniej jakości świadczonych interesariuszom w ramach systemu usług. Obraz jakościowy funkcjonowania systemu oznaczony został jako OJ_{SCS} .

Przedstawiony model identyfikacyjny może zostać wykorzystany w celu scharakteryzowania systemu car-sharingu zarówno na etapie projektowania usługi

jak i podczas analiz dotyczących jego funkcjonowania np. prowadzących do optymalizacji procesów transportowych, usprawnień modeli biznesowych itp.

Z punktu widzenia wykonywania analizy wielokryterialnej stanowi on bazę do identyfikacji istniejącego na analizowanym obszarze miejskiego systemu transportowego, a także elementów kształtowanego systemu car-sharingu i jego elementów otoczenia zewnętrznego oraz wewnętrznego analizowanego obszaru. Bazując na przedstawionym modelu należy przeprowadzić wieloaspektową analizę rozpatrywanego pod kształtowanie i wdrażanie systemu car-sharingu obszaru.

7.2. Strukturyzacja problemu decyzyjnego

Kolejnym z etapów (**Etap 2.**) postępowania według założonego algorytmu (rys. 15) jest dokonanie strukturyzacji problemu decyzyjnego.

W pierwszym kroku należy dokonać identyfikacji problemu decyzyjnego bazując na założeniu, że problem powinien odnosić się do pewnej luki decyzyjnej [173].

Identyfikacja problemu:

Istnienie wielu możliwych modeli funkcjonowania systemów car-sharingu powoduje wystąpienie problemu polegającego na trudności dopasowania ich do konkretnego obszaru działania.

W kolejnym kroku należy określić cel lub cele decyzyjne, które mają zostać osiągnięte poprzez wykonanie analizy wielokryterialnej [8][139].

Bazując na postawionym problemie decyzyjnym, celem decyzyjnym jest:

Dokonanie wyboru odpowiednich wariantów usług car-sharingu możliwych do wdrożenia na danym obszarze.

W następnym kroku należy ustalić interesariuszy (decydentów), których dotyczyć będzie analizowany proces decyzyjny, jak również zdefiniować możliwe warianty decyzyjne, czyli scenariusze, na których bazować będzie rozwiązanie problemu. Zasady doboru decydentów zostały przedstawione w rozdziale 5.1.

W niniejszym modelu proponuje się uwzględnienie grup interesariuszy zgodnie ze wzorem (33) przedstawionym w modelu identyfikacyjnym. Dopuszcza się indywidualny wybór grona interesariuszy przez osobę wykonującą analizę dla danego obszaru.

7.3. Określenie wariantów decyzyjnych (scenariuszy)

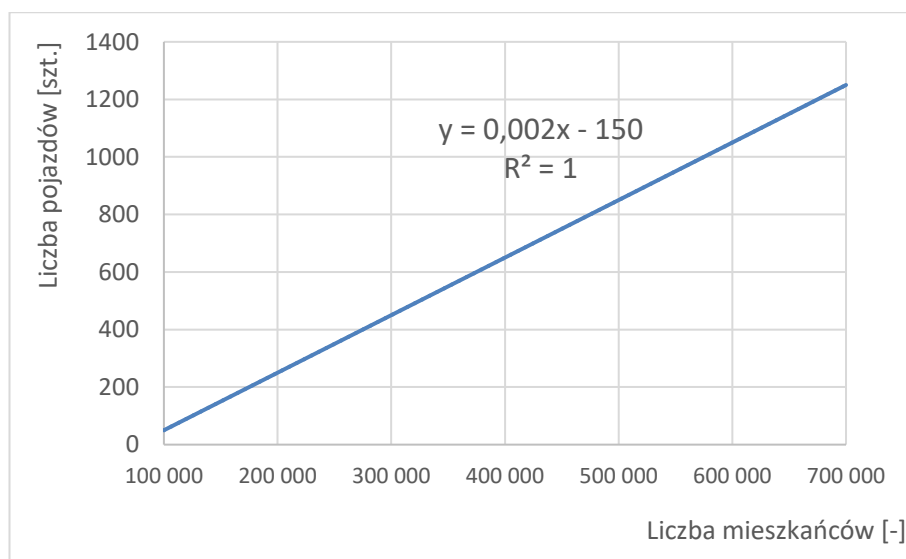
W kolejnym kroku (**Etap 3.**) należy zdefiniować warianty decyzyjne, czyli scenariusze opisujące możliwe do wdrożenia na danym obszarze rodzaje systemu car-sharingu, na których bazować będzie rozwiązanie problemu. Zgodnie ze wzorem (41) modelu identyfikacyjnego należy zdefiniować skończony zbiór wariantów funkcjonowania systemu car-sharingu na terenie analizowanego obszaru S^{CS} .

Bazując na wykonanym przeglądzie literaturowym (rozdziały 1-5; tabela 17.) a także na analizach dotyczących praktyk funkcjonowania systemów car-sharingu na arenie międzynarodowej, badaniach własnych [256-270] oraz doświadczeniach zdobytych podczas udziału w realizacji projektów pt. „STARS - Shared mobility opportunities And challenges for European cities” oraz „Electric Travelling” opracowano następujące kroki postępowania w celu poprawnego zdefiniowania wariantów systemów car-sharingu.

Po pierwsze należy zapoznać się z założeniami teoretycznymi dotyczącymi scenariuszy decyzyjnych przedstawionych w rozdziale 5.1, w celu zaplanowania odpowiedniej liczby możliwych wariantów.

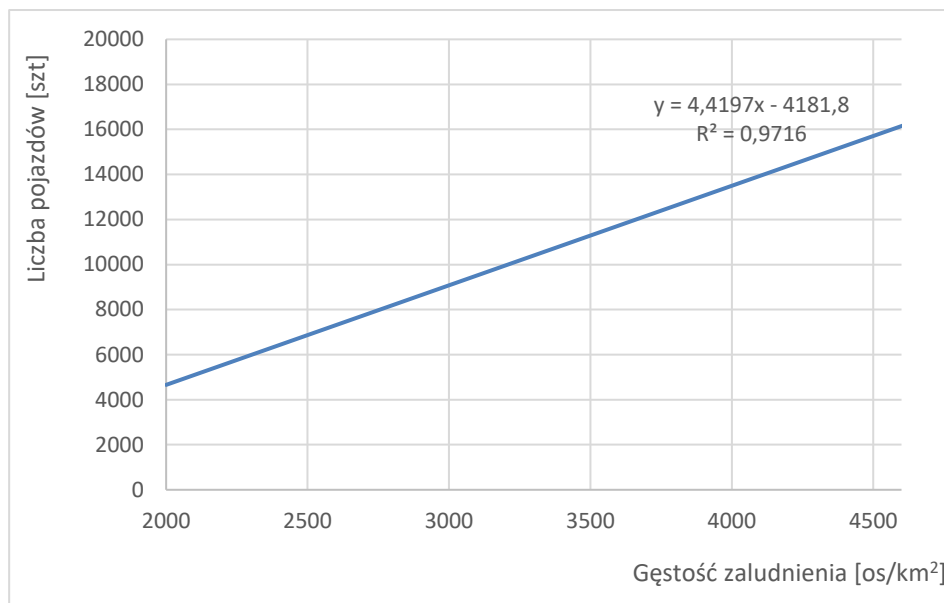
Kolejno, podczas opracowywania scenariuszy wdrażania usług car-sharingu na analizowanym obszarze należy wziąć pod uwagę następujące założenia:

- 1) w car-sharingu strefowym zakłada się, że obszar funkcjonowania systemu car-sharingu wynosić będzie do 20 kilometrów od centrum miasta – taka zależność została określona na podstawie najdłuższych pokonywanych dystansów przez użytkowników systemów car-sharingu na świecie [94][282]; ponadto zakłada się, że strefa centralna posiadać będzie zasięg od 2,5 do 5 kilometrów od wyznaczonego „środku”/centrum danego obszaru, zależność ta została określona na podstawie średnich tras pokonywanych przez użytkowników car-sharingu w obrębie centrum danego miasta [52][84],
- 2) w car-sharingu bazowym średnia długość podróży wykonywanych w usługach car-sharingu bazowego – 6 kilometrów [17], zakłada się zasięg strefy centralnej do 20 kilometrów [93][282] oraz występowanie co najmniej dwóch stacji bazowych na jedną strefę działania systemu [224],
- 3) niezależnie od typu systemu car-sharingu zakłada się, że średnia odległość użytkownika od pojazdu w systemach car-sharingu nie powinna być większa niż 1 kilometr. W praktyce, najbardziej preferowaną przez użytkowników odległością jest dystans do 400 metrów [216]. Liczbę pojazdów dla poszczególnych scenariuszy przyjęto na podstawie wykonanych analiz nad istniejącymi systemami usług car-sharingu na świecie m.in. [36][93][141][167][216][222-223][282] i przyjęto według zależności od liczby mieszkańców, zaprezentowanej na rysunkach 16 i 17.



Rys. 16. Minimalna liczba pojazdów w systemach car-sharingu w zależności od liczby mieszkańców analizowanego obszaru

Źródło: opracowanie własne na podstawie [36][93][141][167][216][222-223][282]



Rys. 17. Zależność minimalnej liczby pojazdów od gęstości zaludnienia badanego obszaru
Źródło: opracowanie własne na podstawie [36][93][141][167][222-223][282]

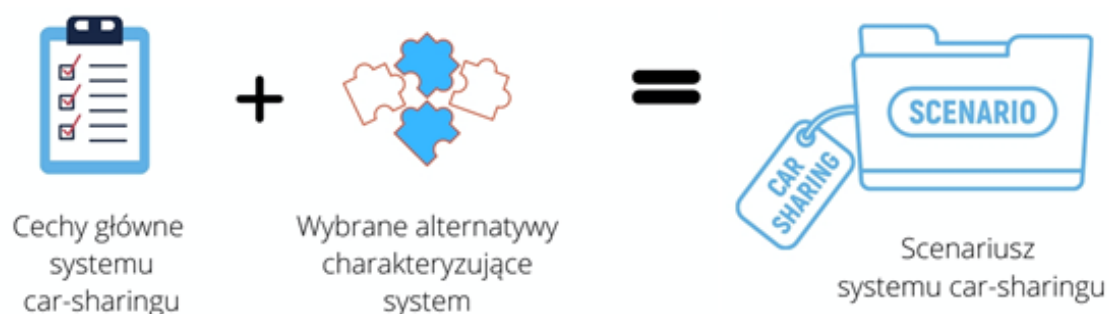
- 4) przyjęto, że koszty związane z utrzymaniem systemów car-sharingu dotyczą głównie:
- kosztów leasingu pojazdów – na podstawie otrzymanych ofert przyjęto, że w zależności od segmentu pojazdu miesięczne koszty wynoszą przykładowo [19][197][253]:
 - 800 zł – klasa pojazdów A,
 - 1200 zł – klasa pojazdów B,
 - 1400 zł – klasa pojazdów C,
 - 1700 zł – klasa pojazdów D,
 - 2500 zł – klasa pojazdów premium,
 - kwestii związanych z zakupem oprogramowania, kosztów wyposażenia dodatkowego pojazdów do wykorzystywania ich w systemie car-sharingu²² oraz jego obsługi. Na podstawie kontaktów z developerami, ustalono, że średni koszt wynosi 150 zł za pojazd [50]. Jest to opłata ponoszona jednorazowo podczas wdrażania danej floty do systemu.
 - kosztów obsługi (serwisu) pojazdów, które wynoszą ok. 10000 zł/rok [228].

Należy pamiętać, że wartości kosztów mogą zmieniać się w zależności od sytuacji rynkowej, dlatego w trakcie wykonywania analiz należy bazować na aktualnych ofertach.

Kolejno, bazując na założeniach dotyczących opracowywania scenariuszy, należy zapoznać się z zaproponowanym wzorem scenariusza przedstawionym w tabeli 15. Wzór stanowi zbiór głównych cech scenariusza, które posłużą za bazę przy tworzeniu własnych wariantów. Cechy te reprezentują takie aspekty jak typ systemu, obszar funkcjonowania systemu, ograniczeniami systemowymi, rodzaj opłaty, rodzaj floty, klasa floty, liczba pojazdów, miejsca parkingowe, sposób rejestracji dla użytkownika, dostępność dla obcokrajowców oraz przystępność dla użytkownika. Ponadto, każdej z cech scenariusza przyporządkowane zostały różne możliwe

²² Dodatkowe wyposażenie pojazdów wykorzystywanych w systemach car-sharingu – przystosowanie pojazdów poprzez wyposażenie ich w systemy monitoringu, zdalnej obsługi itp.

do wyboru alternatywy opisujące wdrażany system. Opracowany zbiór alternatyw odzwierciedla realne praktyki biznesowe oferowane przez międzynarodowych operatorów car-sharingu. Zadaniem osoby wykonującej analizy jest opracowanie własnych scenariuszy wykorzystując cechy główne scenariusza (stanowiące główne cechy systemu car-sharingu) i przyporządkowując mu odpowiednie dla swojego problemu decyzyjnego i analizowanego obszaru alternatywy. Schemat konstruowania scenariuszy został zaprezentowany na rysunku 18.



Rys. 18. Schemat konstruowania scenariuszy funkcjonowania systemów car-sharingu
Źródło: opracowanie własne

Tabela 15. Wzór scenariusza wraz z jego cechami i możliwymi do wyboru alternatywami

Cecha Scenariusza	Możliwe do wyboru alternatywy
Typ systemu	• Strefowy (wirtualnie wyznaczona strefa zasięgu funkcjonowania danego systemu). Scenariusz zakłada utworzenie wirtualnej strefy głównej, stanowiącej rdzeń systemu w centrum danego miasta/dzielnicy/analizowanego obszaru. Istnieje możliwość utworzenia dodatkowych wirtualnych stref na terenie analizowanego obszaru. Strefy dodatkowe mogą być zlokalizowane np. na obszarze wybranych dzielnic miasta lub ich fragmentcie; mogą także obejmować wybrane terytoria analizowanego obszaru np. tereny w pobliżu centów przesiadkowych, dworców, lotnisk itp. • Bazowy. Wariant ten polega na utworzeniu wirtualnej strefy funkcjonowania systemu na terenie analizowanego obszaru ze wskazaniem baz, czyli dedykowanych car-sharingowi parkingów, gdzie użytkownicy będą mogli dokonać wypożyczenia lub zwrotu pojazdów. • Bazowy. Wariant ten polega na utworzeniu wirtualnej strefy funkcjonowania systemu na terenie analizowanego obszaru ze wskazaniem baz, czyli dedykowanych car-sharingowi parkingów, gdzie użytkownicy będą mogli dokonać wypożyczenia lub zwrotu pojazdów. Scenariusz daje możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu poprzez aplikację np. z 24

	godzinny wyprzedzeniem. Istnieje możliwość podstawienia pojazdu do miejsca wskazanego przez użytkownika. • Centralny-rozproszony. Scenariusz zakłada utworzenie systemu car-sharingu bazującego na wirtualnej strefie obejmującej całe terytorium analizowanego obszaru lub jego znacznej jego części. Granica wirtualnej strefy może zostać wytyczona np. w obrębie granic administracyjnych lub też w rdzenia danego terytorium (główne dzielnice, centrum miasta itp.). • Strefowy. Scenariusz zakłada utworzenie wirtualnej strefy głównej, stanowiącej rdzeń systemu, w centrum danego miasta/dzielnicy/analizowanego obszaru. Istnieje możliwość utworzenia dodatkowych wirtualnych stref na terenie analizowanego obszaru. Strefy dodatkowe mogą być zlokalizowane np. na obszarze wybranych dzielnic miasta lub ich fragmencie; mogą także obejmować wybrane terytoria analizowanego obszaru np. tereny w pobliżu centów przesiadkowych, dworców, lotnisk itp. Scenariusz daje możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu poprzez aplikację np. z 24 godzinny wyprzedzeniem. Istnieje możliwość podstawienia pojazdu do miejsca wskazanego przez użytkownika. • Centralny-rozproszony. Scenariusz zakłada utworzenie systemu car-sharingu bazującego na wirtualnej strefie obejmującej całe terytorium analizowanego obszaru lub jego znacznej jego części. Granica wirtualnej strefy może zostać wytyczona np. w obrębie granic administracyjnych lub też w rdzenia danego terytorium (główne dzielnice, centrum miasta itp.). Scenariusz daje możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu poprzez aplikację np. z 24 godzinny wyprzedzeniem. Istnieje możliwość podstawienia pojazdu do miejsca wskazanego przez użytkownika.
Ograniczenia systemowe	• Możliwość wyjazdu poza określoną strefę funkcjonowania systemu, jednak z koniecznością zakończenia wynajmu na terenie obowiązywania wybranej strefy. • Na obszarze funkcjonowania strefy możliwe jest korzystanie z funkcji „stop over”, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić na terenie dowolnie wybranej przez użytkownika bazy. • Możliwość wyjazdu poza obszar funkcjonowania systemu np. do miast ościennych, jednak z koniecznością zwrotu pojazdu w dowolnej bazie operatora. • Możliwość wypożyczenia pojazdu w jednej bazie i dokonanie jego zwrotu w innej. • W przypadku braku możliwości dokonania zwrotu pojazdu w wybranej bazie np. z powodu braku wolnych miejsc parkingowych konieczne jest dokonanie zwrotu na terenie innych z dostępnych w systemie baz. • Możliwość zwrotu pojazdu w dowolnym miejscu w obrębie strefy z uwzględnieniem przepisów prawa o ruchu drogowym tj. parkowanie w miejscach dozwolonych.

	• Możliwość wyjazdu poza strefę funkcjonowania systemu, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić w dowolnym miejscu wewnątrz strefy. • Możliwość zwrotu pojazdu w dowolnym miejscu w obrębie strefy z uwzględnieniem przepisów prawa o ruchu drogowym tj. parkowanie w miejscach dozwolonych. • Zwrot pojazdu wypożyczonego w systemie door to door lub z funkcją rezerwacji może zostać dokonany bezpośrednio z punktu początkowego, gdzie wynajem był rozpoczęty (np. spod wskazanego adresu w systemie door to door) lub dowolnie na obszarze strefy funkcjonowania systemu. • Na obszarze funkcjonowania strefy możliwe jest korzystanie z funkcji „stop over”, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić na terenie dowolnie wybranej przez użytkownika bazy lub bezpośrednio z punktu, w którym rozpoczął się wynajem podczas korzystania z usługi door to door. • Możliwość wyjazdu poza obszar funkcjonowania systemu np. do miast ościennych, jednak z koniecznością zwrotu pojazdu w dowolnej bazie operatora lub bezpośrednio z punktu, w którym rozpoczął się wynajem podczas korzystania z usługi door to door. • Możliwość wyjazdu poza strefę funkcjonowania systemu, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić w dowolnym miejscu wewnątrz strefy. • Na obszarze funkcjonowania strefy możliwe jest korzystanie z funkcji „stop over”, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić na terenie strefy funkcjonowania systemu lub bezpośrednio z punktu, w którym rozpoczął się wynajem podczas korzystania z usługi door to door. • Wyjazdy poza obszar funkcjonowania strefy oznaczają zmianę taryfy na opłatę minutowo-kilometrową.
Obszar zasięgu funkcjonowania	• Jedna strefa centralna do 5 kilometrów od wyznaczonego punktu centralnego [52][84] + n stref dodatkowych. • Jedna centralna strefa systemu obejmująca co najmniej 20 kilometrów [94][282] + n dodatkowych stref w wyznaczonych obszarach. • Jedna strefa systemu obejmująca cały obszar lub administracyjny analizowanego obszaru lub większość analizowanego terytorium. • n stacji bazowych w każdym z obszarów – zaleca się lokalizację co najmniej dwóch stacji bazowych na daną strefę [224]. Zaleca się lokowanie baz w pobliżu centrów przesiadkowych czy największych stacji postojowych TAXI [224]. • Zasięg całej strefy systemu wynoszący co najmniej 20 kilometrów [94][282].
Rodzaj opłaty	• Opłata minutowa. • Opłata minutowo-kilometrowa. • Opłata kilometrowa. • Opłata rejestracyjna.

	• Dodatkowa opłata rezerwacyjna. • Opłata „stop over”. • Dodatkowa opłata za podstawienie pojazdu w systemie door to door. • Dodatkowa opłata za odbiór pojazdu w systemie door to door. • Usługi wynajmu pakietowego. • Sankcje np. za zwrot pojazdu poza wyznaczony na strefą, zwrot pojazdu na terenie prywatnym itp. a także inne formy uszkodzenia pojazdów.
Typ floty pojazdów	• Napęd konwencjonalny (w przypadku chęci zwiększenia dostępności transportowej systemu kosztem ekologii). • Napęd hybrydowy lub elektryczny (w przypadku chęci zwiększenia ekologiczności systemu, co wiąże się z wyższymi opłatami za flotę pojazdów). • Przy zastosowaniu floty elektrycznej zakłada się ładowanie baterii pojazdów na terenie stacji bazowych.
Klasa floty pojazdów	• A-B – w przypadku chęci wyposażenia systemu w pojazdy najbardziej ekonomiczne (najczęściej stosowana w systemach strefowych [267]). • C – w przypadku chęci wyposażenia systemu w pojazdy dostosowane do przewozu 5-osób i bagażu (zalecana w przypadku występowania strefy w pobliżu lotnisk, dworacy itp.). • Premium – w przypadku chęci dostosowania floty pojazdów do potrzeb np. klientów biznesowych (zalecana w przypadku występowania na terenie strefy centrów biznesowych czy hali targowych). • Zróżnicowana – np. A-Premium.
Liczba pojazdów	• Najoptymalniej 1 pojazd/400m² powierzchni obszaru funkcjonowania [216]. • W systemach pilotażowych najczęściej co najmniej 50 pojazdów w systemie.
Miejsca parkingowe	• Darmowe na terenie strefy (opłata wliczona w koszt wynajmu pojazdu). • Możliwość wyznaczenia dedykowanych miejsc parkingowych w punktach strategicznych danej strefy np. obiektów miejskich (urzędów, szpitali, szkół itp.) lub obiektów prywatnych (np. centrów handlowych, obiektów rozrywkowych itp.) – zależne od miejskiej polityki parkingowej oraz współpracy z sektorem gospodarczym. • Parkowanie na terenie parkingów prywatnych możliwe jest wyłącznie podczas korzystania z funkcji „stop over”. Wówczas opłata parkingowa ponoszona jest dodatkowo przez użytkownika. • Zakończenie wynajmu na terenie parkingów prywatnych wymagających wniesienia opłaty nie jest dozwolone.
Sposób rejestracji użytkownika	• Rejestracja poprzez aplikację. • Rejestracja poprzez stronę internetową operatora. • Rejestracja w biurze obsługi klienta.

Dostępność dla obcokrajowców	• Brak dostępności dla obcokrajowców. • Tak, z koniecznością weryfikacji dokumentów w biurze obsługi klienta. • Tak, z koniecznością weryfikacji dokumentów poprzez aplikację.
Przystępność dla użytkownika	• Brak pełnej swobody przemieszczania się z uwagi na ograniczony strefowo obszar funkcjonowania systemu. • Ograniczona swoboda przemieszczania się regulowana wyznaczonymi bazami, skąd można pobrać lub zwrócić pojazd. System przypominający klasyczne wypożyczalnie samochodów. • Pełna swoboda przemieszczania się z uwagi na rozległy obszar funkcjonowania strefy. • Pomimo braku pełnej swobody przemieszczania się z uwagi na ograniczony strefowo obszar funkcjonowania systemu, możliwości jakie daje opcja door to door lub funkcja rezerwacyjna zwiększają elastyczność korzystania z systemu. • Pełna swoboda przemieszczania się z uwagi na rozległy obszar funkcjonowania strefy. Funkcja rezerwacji oraz door to door dodatkowo zwiększa elastyczność systemu.

Źródło: opracowanie własne

Ponadto, podczas opracowywania scenariuszy można kierować się odpowiednimi celami wykorzystania systemu car-sharingu. Główne cele tworzenia systemów car-sharingu opracowane zostały na podstawie literatury (tabela 17.) oraz informacji otrzymanych bezpośrednio od operatorów usług współdzielenia pojazdów. Uwzględnione zostały następujące cele wdrażania systemów:

- integracyjny,
- prodostępnościowy,
- proekologiczny,
- biznesowy,
- turystyczny,
- handlowo-rozrywkowy.

Szczegółowa charakterystyka każdego z celów wdrożenia systemu car-sharingu wraz ze wskazówkami dotyczącymi ewentualnych lokalizacji systemu została przedstawiona w tabeli 16.

Tabela 16. Charakterystyka celów proponowanych scenariuszy wdrażania systemu car-sharingu

Cel wdrożenia	Charakterystyka celu	Szczegółowe wskazówki dotyczące lokalizacji
integracyjny	integracja z istniejącą ofertą transportową; integracja z centrami przesiadkowymi; tworzenie hubów nowoczesnej mobilności; uzupełnienie transportu ostatniej mili	w pobliżu dworców, punktów przesiadkowych, hubów mobilności, urzędów, szpitali i innych ośrodków publicznych

prodostępnościowy	uzupełnienie transportu ostatniej mili; uzupełnienie oferty transportowej np. na nowopowstałych osiedlach; poprawa dostępności transportowej ościennych dzielnic	w pobliżu nowopowstałych osiedli, dzielnic o wysokim poziomie wykluczenia transportowego, w pobliżu stacji końcowych linii transportu publicznego
proekologiczny	utworzenie systemu bazującego na flocie pojazdów elektrycznych	w pobliżu istniejącej infrastruktury do ładowania pojazdów
biznesowy	system tworzony w celu poprawy poziomu dostępności obszaru osobom podróżującym w celach biznesowych; tworzenie dodatkowych stref lub baz w pobliżu dworców czy lotnisk oraz parków biznesowych czy stref ekonomicznych	w pobliżu dworców, parków biznesowych, lotnisk, hoteli, stref ekonomicznych, targów wystawowych, sali konferencyjnych
turystyczny	system poprawiający poziom turystyki obszaru; dający dodatkowe połączenia dla turystów odwiedzających obszar, dojeżdżających na dworce czy lotniska; zwiększający możliwość dojazdu do atrakcji turystycznych w tym miejsc zabytkowych	w pobliżu w pobliżu dwców, parków biznesowych, lotnisk, hotelu, zabytków, muzeów, galerii sztuki itp.
handlowo- rozrywkowy	system dedykowany inwestorom galerii handlowych i centrów rozrywki; dający możliwość utworzenia dodatkowych stref lub baz w pobliżu obiektów usługowo- handlowych	w pobliżu galerii handlowych, centrów rozrywki, kin, obiektów sportowych itp.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [36]]216][221-227][256-270]

Zaproponowane scenariusze powinny zostać dopasowane do rozpatrywanego obszaru oraz potrzeb interesariuszy przez osobę wykonującą analizy. Podczas etapu doboru odpowiedniego scenariusza do obszaru miejskiego należy dokonać wielopłaszczyznowej analizy badanego obszaru, jak również uwzględnić kryteria, które wpływają na kształtowanie danego scenariusza. Szczegółowe informacje dotyczące ustalenia kryteriów oceny wariantów decyzyjnych zostały przedstawione w rozdziale 7.4.

7.4. Ustalenie kryteriów oceny wariantów decyzyjnych

Kolejnym z kroków (Etap 4.) postępowania zgodnie z algorytmem (rys. 15) jest zdefiniowanie zbioru kryteriów decyzyjnych, posłużą do oceny określonych scenariuszy kształtowania i wdrażania systemów car-sharingu. W tym celu należy skorzystać ze wzoru (39) przedstawionego w modelu identyfikacyjnym. Bazując na wykonanym przeglądzie literaturowym (tabela 17), własnych badaniach prowadzonych nad systemami usług car-sharingu [256-270] oraz opracowanym modelem identyfikacyjnym systemu car-sharingu utworzono zestawienie wybranych kryteriów, które mogą zostać wykorzystane podczas

wdrażania i kształtowania usług systemu car-sharingu. Zidentyfikowano łącznie 150 kryteriów. Zgodnie z zasadami tworzenia spójnej rodziny kryteriów (przedstawionej w rozdziale 5 zostały one podzielone na 5 głównych grup. Określono także, czy dane kryterium charakteryzowane będzie jako ilościowe czy jakościowe. Zestawienie zostało przedstawione w tabeli 17.

Tabela 17. Zestawienie kryteriów K_{CS} związanych z kształtowaniem i wdrażaniem usług car-sharingu

Grupa kryteriów	Kryterium ogólne	Kryterium szczegółowe	Rodzaj kryterium		Literatura
			Ilościowe	Jakościowe	
EKONOMICZNO-TECHNICZNE	koszty utrzymania własnego pojazdu (przez potencjalnego użytkownika)	koszt serwisu pojazdu	X		[92]
		koszt ubezpieczenia pojazdu	X		[55]
		koszt 1 litra paliwa	X		[55][92][224]
		wysokość rat kredytu/leasingu za samochód	X		[55][92][224]
		koszt usług dodatkowych (np. mycie pojazdu, wymiana opon itp.)	X		[55][92][224]
	istniejący w mieście system car-sharingu	koszt usługi car-sharingowej za kilometr	X		[20-21][119]
		koszt usługi car-sharingowej za minutę	X		[20-21]
		koszt „stop over”	X		[20-21]
		taryfa dzienna	X		[187]
		taryfa nocna	X		[187]
		koszt rejestracji w systemie	X		[187]
		sposób rejestracji w systemie (aplikacja/BOK ²³)		X	[187]
		wysokość depozytu	X		[187]
		koszt pakietu usług car-sharingu	X		[20-21][216]
		bonusy finansowe za korzystanie z car-sharingu (np. 15 minut za 0zł)	X		[187]
		możliwość wyjazdu poza strefę		X	[20-21][216]
		wysokość opłat dodatkowych (np. wyjazd poza strefę)	X		[187]

²³ BOK – biuro obsługi klienta.

		koszty naruszeń regulaminu operatora car-sharingu	X		[187]
		koszt naruszeń (np. niewłaściwe użytkowanie, parkowanie) - mandaty	X		[28][187]
	koszty innych środków transportu	koszt wynajmu pojazdu w wypożyczalni klasycznej	X		[22][126]
		koszt serwisu TAXI	X		[51]
		wysokość ulgi w miejskim transporcie zbiorowym	X		[22][126]
		koszt biletu w miejskim transporcie zbiorowym	X		[119]
		koszt usługi bike-sharingu	X		[141]
		koszt usługi skuter-sharingu	X		[141]
	miejski system transportowy	opłata ekologiczna za wjazd do miasta	X		[36][126]
		koszt parkingu publicznego	X		[28]
		koszt parkingów niepublicznych	X		[28]
TRANSPORTOWE	miejski transport zbiorowy	dostępność miejskiego transportu zbiorowego		X	[119][233][251]
		punktualność miejskiego transportu zbiorowego	X		[119][233][251]
		różnorodność miejskiego transportu zbiorowego		X	[251]
		poziom komfortu miejskiego transportu zbiorowego	X		[251]
		stan taboru miejskiego transportu zbiorowego		X	[119]
		czas przemieszczania się miejskim transportem zbiorowym	X		[251]
		straty czasu/opóźnienia w miejskim transporcie zbiorowym	X		[119]

		obsługa społecznie zróżnicowanych grup mieszkańców		X	[233]
		częstotliwość kursowania środków transportu (liczba dziennych kursów)	X		[76]
		liczba operatorów obsługujących miejski transport zbiorowy	X		[233][251]
		bezpośredniość połączeń (bez przesiadek)		X	[233][251]
		procentowa szansa na uzyskanie miejsca siedzącego	X		[233]
		zasięg działania operatora miejskiego transportu zbiorowego (lokalny/globalny)		X	[233]
		awaryjność stosowanych pojazdów w transporcie zbiorowym	X		[119]
		liczba i długość tras	X		[119][233]
	organizacyjne	natężenie ruchu	X		[148]
		strefy ograniczonej prędkości		X	[148]
		strefy ograniczonego wjazdu pojazdów		X	[148]
		przywileje dla miejskiego transportu zbiorowego		X	[119]
		integracja informacyjna o wszystkich środkach transportu zbiorowego		X	[251]
		koszty operacyjne funkcjonowania transportu zbiorowego	X		[251]
		integracja przestrzenna i funkcjonalna z innymi środkami transportu zbiorowego		X	[216]
		dogodność przesiadek (odległość, konieczność pokonywania wysokości, informacja/orientacja),		X	[233][271]
		prędkość podróży transportu zbiorowego	X		[271]
		dostępność informacji (np. rozkłady jazdy)		X	[271]

		poziom bezpieczeństwa jazdy transportu zbiorowego	X		[233][271]
		poziom bezpieczeństwa osobistego pasażerów transportu zbiorowego	X		[233]
		czas oczekiwania na przystankach na pojazd transportu zbiorowego	X		[233][271]
		dogodność systemu biletowego (łatwość zakupu, różnorodność oferty biletowej, ważność biletu u różnych przewoźników, itp.)		X	[119]
		przywileje dla pojazdów elektrycznych/hybrydowych		X	[218]
		liczba stacji ładowania pojazdów elektrycznych	X		[218]
		czas ładowania pojazdu elektrycznego	X		[218]
		występowanie bus-pasów		X	[148]
		występowanie miejsc parkingowych dedykowanych pojazdom elektrycznym		X	[218]
		liczba operatorów serwisów TAXI	X		[51]
		występowanie systemu ITS		X	[68]
	infrastruktura	liczba bus-pasów	X		[68]
		liczba miejsc parkingowych dedykowanych pojazdom elektrycznym	X		[76]
		liczba parkingów P&R ²⁴	X		[249]
	transport współdzielony	dostępność usługi bike-sharing		X	[141]
		dostępność już istniejącej usługi car-sharing		X	[110][216][286]
		dostępność usługi skuter-sharing		X	[141]

²⁴ Parking P&R – „Parkuj i Jedź” (ang. *Park&Ride*, *P&R*) – parking zlokalizowany w pobliżu peryferyjnych przystanków przeznaczony dla osób korzystających z publicznego transportu zbiorowego.

		dostępność usługi sharingu hulajnóg		X	[141]
		dostępność miejsc parkingowych dla car-sharingu		X	[110][119][286]
		lokalizacja pojazdów		X	[110][216][286]
		rzeczywista dostępność pojazdów		X	[216][286]
		poziom paliwa/naładowania w pojazdach	X		[20-21]
		atrakcyjność floty pojazdów (nowe, wyposażone pojazdy)		X	[286]
		odległość do najbliższego pojazdu	X		[216][286]
		liczba punktów ładowania własnych operatora	X		[20-21]
		liczba dostępnych pojazdów	X		[1][110][216][286]
		możliwość pozostawienia pojazdu w innym mieście		X	[286]
		ograniczenia obszarowe systemu		X	[110][286]
		dostępność dedykowanych miejsc parkingowych		X	[224]
		liczba dedykowanych miejsc parkingowych	X		[1][224]
		zasięg działania operatora car-sharingu (lokalny/globalny)		X	[110]
		zróżnicowanie floty pojazdów (klasy pojazdów)		X	[86][216]
		możliwość samodzielnego tankowania pojazdu przez użytkownika		X	[216][286]
		relokacja pojazdów w mieście		X	[1][20][110][216]
		wiek uprawniający do korzystania z systemu	X		[14]
		typ systemu (round trip, one-way, free-floating)		X	[20][216][286]
SPOŁECZNE		wiek	X		[1][14][36][216]

	cechy użytkowników	płeć		X	[1][36][216]
		uprawnienia do prowadzenia pojazdów mechanicznych		X	[14][180]
		miejsce zamieszkania		X	[26][36][57][180]
		odległość dom-miejsce pracy	X		[57]
		wykształcenie		X	[27]
		status społeczny		X	[134][155-156]
		zarobki	X		[14][57][134]
		posiadany sprzęt elektroniczny np. smartfon z Internetem		X	[14][57]
		liczba posiadanych pojazdów	X		[155-156]
		liczba pokonywanych samochodem kilometrów rocznie/miesięcznie	X		[155-156]
		liczba pokonywanych samochodem kilometrów dziennie w mieście	X		[14][57][155-156]
		czas podróży po mieście	X		[14][57]
		dostępność do pojazdu w rodzinie		X	[14][57]
		zaawansowanie technologiczne		X	[14][57][154]
		korzystanie z car-poolingu (Uber)		X	[68]
		proekologiczne nastawienie użytkowników		X	[70][148]
		zamiłowanie do określonej marki pojazdów		X	[180]
		postrzeganie pojazdu jako dobra luksusowego		X	[180]
		chęć odbycia jazdy testowej danym pojazdem		X	[68]
		doświadczenie z sharing-economy		X	[57]
ŚRODOWISKOWE	cechy miasta	obostrzenia ekologiczne w miastach np. eko-strefy		X	[70][148][154]
		poziom hałasu w mieście	X		[151][169]

INNE	flota pojazdów	poziom zanieczyszczenia w mieście	X		[151][169]
		polityka zrównoważonego rozwoju transportu w mieście		X	[70][148]
		liczba pojazdów elektrycznych	X		[70][148][154]
		liczba pojazdów hybrydowych	X		[70][148]
		liczba pojazdów typu EURO6	X		[70][148][154]
	warunki atmosferyczne	pora roku		X	[216]
		temperatura	X		[216]
		opady	X		[216]
		zmiany pogodowe		X	[216]
		prognozy pogody		X	[216]
	dzień	pora dnia		X	[1] [216]
		dni robocze		X	[1] [216]
		weekendy		X	[1] [216]
		święta		X	[1] [216]
	struktura demograficzna i społeczna miasta	powierzchnia miasta	X		[141]
		typ miasta (administracyjny)		X	[217]
		liczba mieszkańców	X		[141]
		atrakcyjność turystyczna		X	[141]
		liczba mieszkańców w danych strefach transportowych	X		[217]
		zabytki w różnych lokalizacjach		X	[141]
		lokalizacja miejsc strategicznych np. dworców		X	[217]
		odległość miasta głównego od innych miast	X		[216] [286]
		typ miasta (zabytkowe/nowoczesne)		X	[216][286]
	system car-sharingu - kwestie	przystępność systemu informatycznego dla użytkownika		X	[216][286]
		kontakt z biurem obsługi klienta		X	[257]

	prawne i regulaminowe	lokalizacja biur obsługi klienta		X	[110][257]
		sposób weryfikacji danych podczas rejestracji		X	[21]
		dostępność systemu dla osób z zagranicy		X	[141][257]
		odpowiedzialność operatora za uszkodzenie pojazdu		X	[257]
		odpowiedzialność użytkownika za uszkodzenie pojazdu		X	[257]
		sposób rezerwacji pojazdu		X	[20]
		sposób otwarcia pojazdu		X	[257]
		wyposażenie dodatkowe pojazdu np. fotelik dla dziecka		X	[257]
	miasto-marketing	promocja zrównoważonej mobilności		X	[5][141][217]

Źródło: opracowanie własne

Przedstawione w zestawieniu kryteria mogą posłużyć osobie wykonującej analizę za przykład aspektów możliwych do wykorzystania podczas opracowywania własnych rodzajów scenariuszy decyzyjnych.

Następnie ograniczono liczbę wszystkich kryteriów poprzez ich zredukowanie uwzględniając podział na kryteria globalne oraz szczegółowe, związane z tą samą dziedziną danego obszaru tematycznego. Kolejno zgrupowano je do głównych grup, których elementy stanowić będą kryteria szczegółowe, czyli subkryteria. W tym celu skorzystano ze wzoru:

$$ZK_{red}^{CS} = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n}{n} \quad (50)$$

gdzie:

ZK_{red}^{CS} – zbiór kryteriów zredukowanych

$K_{1,2,\dots,n}$ – kolejne kryteria.

W celu zapewnienia maksymalnej efektywności procesu oceny i rozwiązania problemu decyzyjnego należy zminimalizowano liczbę kryteriów zredukowanych zgodnie ze wzorem [122]:

$$ZK_{red}^{CS} = \{ZK_{red}^{CS} \in R: 5 \leq ZK_{red}^{CS} \leq 9\} \quad (51)$$

gdzie:

ZK_{red}^{CS} – zbiór kryteriów zredukowanych.

Przedstawione w tabeli 32 kryteria, zostały zredukowane do 6 głównych grup kryteriów, w których uwzględnione zostały 23 subkryteria. Zestawienie kryteriów zredukowanych zostało zaprezentowane w tabeli 18.

Tabela 18. Zestawienie zbioru kryteriów zredukowanych ZK_{red}^{CS} związanych z kształtowaniem i wdrażaniem usług car-sharingu

Lp.	Identyfikator kryterium	Nazwa kryterium	Szczegółowy zakres kryteriów (subkryteria)
1.	K_u	Średni koszt usługi car-sharing	1.1. Średni koszt usługi za 1 minutę. 1.2. Średni koszt usługi za 1 kilometr. 1.3. Średni koszt usługi „stop over” za 1 minutę w taryfie dziennej. 1.4. Średni koszt usługi „stop over” za 1 minutę w taryfie nocnej.
2.	K_{stu}	Standard usługi car-sharingu	2.1. Dostępność usługi car-sharing (liczba pojazdów, odległość pojazd-użytkownik). 2.2. Charakterystyka floty car-sharing (rodzaj zasilania floty, klasa floty). 2.3. Przystępność systemu car-sharing (sposób rejestracji w systemie, dostępność dla obcokrajowców).

3.	$K_{oś}$	Poziom ochrony środowiska w mieście (na danym obszarze)	3.1. Poziom jakości powietrza w analizowanym obszarze wyrażony indeksem jakości powietrza²⁵. 3.2. Przyjazność floty pojazdów w car-sharingu dla środowiska (emisja spalin) 3.3. Opłaty ekologiczne za wjazd do miasta.
4.	K_{pd}	Poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu	4.1. Występowanie na analizowanym obszarze innych usług shared-mobility (economy bike-sharing, car-sharing, scooter-sharing czy moped-sharing). 4.2. Integracja miejskiego systemu transportowego. 4.3. Infrastruktura do ładowania pojazdów elektrycznych. 4.4. Występowanie bus-pasów. 4.5. Poziom wysokości opłaty parkingowej na analizowanym obszarze.
5.	K_t	Koszty innych usług transportowych	5.1. Koszt TAXI. 5.2. Koszt usług transportu zbiorowego. 5.3. Koszt ride-sharingu (np. Uber)²⁶. 5.4. Koszt przejazdu pojazdem indywidualnym. 5.5. Koszt występujących na danym obszarze innych usług shared-mobility (bike-sharing, car-sharing, scooter-sharing, moped-sharing).
6.	K_{inw}	Koszty inwestycyjne systemu car-sharingu	6.1. Koszt zakupu pojazdów. 6.2. Koszt dostosowania pojazdów do funkcjonowania w systemie car-sharingu. 6.3. Koszt utrzymania funkcjonowania systemu.

Źródło: opracowanie własne

Kolejnym krokiem jest przedstawienie każdej z grup kryteriów, które będą brane pod uwagę w postaci wzorów matematycznych. Szczegółowe definicje kryteriów zredukowanych zostały zaprezentowane w dalszej części rozprawy.

²⁵ Indeks Jakości Powietrza (ang. *Air Quality Index AQI*) określa poziom jakości powietrza, który zdefiniowany jest każdorazowo na podstawie wyników pomiarów stężeń podstawowych czynników zanieczyszczenia powietrza takich jak: pył zawieszony PM₁₀ i PM_{2,5}, ozon O₃, dwutlenek azotu NO₂, dwutlenek siarki SO₂, benzenu C₆H₆ i tlenek węgla CO.

²⁶ Ride-sharing – forma współdzielenia pojazdów polegająca na łączeniu osób, które chcą odbyć daną podróż a kierowcami pracującymi dla danego operatora oferującego usługi przejazdu poprzez platformę internetową lub aplikację mobilną; do najpopularniejszych firm świadczących tego rodzaju usługi należą Uber czy Grab [260].

Kryterium 1 – średni koszt usługi car-sharingu K_u [zł] – określa średnie koszty podróży w kształtowanych systemach car-sharingu. Uwzględnia ono: średni koszt usługi za 1 minutę, średni koszt usługi za 1 kilometr, średni koszt usługi „stop over” za 1 minutę w taryfie dziennej oraz średni koszt usługi „stop over” za 1 min w taryfie nocnej. Kryterium przedstawiono za pomocą następującego wzoru:

$$K_u = \frac{1}{4} (ku_{min} + ku_{km} + ku_{sod} + ku_{son}) \quad (52)$$

gdzie:

ku_{min} – średni koszt korzystania przez 1 minutę z usługi car-sharingu [zł],

ku_{km} – średni koszt korzystania przez 1 kilometr z usługi car-sharingu [zł],

ku_{sod} – średni koszt korzystania przez 1 minutę z usługi stop over w taryfie dziennej [zł],

ku_{son} – średni koszt korzystania przez 1 minutę z usługi stop over w taryfie nocnej [zł].

Wartości średnich kosztów można wyznaczyć np. bazując na aktualnie funkcjonujących w danym obszarze usługach lub np. średnich kosztów dla danego kraju.

Kryterium 2 – standardu usługi car-sharingu K_{stu} [-] – określa wymagania potencjalnych użytkowników systemu car-sharingu w nawiązaniu do najlepszych warunków podróżowania za ich pośrednictwem. Kryterium określa dostępność usługi wyrażonej w liczbie pojazdów przypadających na m^2 obszaru funkcjonowania systemu. Kryterium uwzględnia także typ oferowanej w danym systemie floty, jak również jej zróżnicowanie pod względem klasy pojazdu (od segmentu A miejskich, ekonomicznych pojazdów po segment pojazdów premium). Kryterium uwzględnia także przystępność oferowanego systemu dla użytkowników poprzez różnorodność sposobu rejestracji. Ponadto, odnosi się także do dostępności systemu dla obcokrajowców. Kryterium zostało wyrażone za pomocą następującego wzoru:

$$K_{stu} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 s_i \quad (53)$$

gdzie:

s_1 – dostępność usługi car-sharingu [-]. Bazując na światowych praktykach funkcjonowania systemów car-sharingu oraz prowadzonych w tym zakresie badaniach, przyjęto zgodnie z literaturą, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest występowanie jednego pojazdu z systemu car-sharingu na $400 m^2$ analizowanego obszaru [216]. Wartość zmiennej została określona wzorem:

$$s_1 = \begin{cases} 1 & \text{jeżeli } \frac{l_{poj}}{d_{dp}} \geq 0,0025 \\ 0.8 & \text{jeżeli } \frac{l_{poj}}{d_{dp}} < 0,0025 \wedge \frac{l_{poj}}{d_{dp}} \geq 0,001 \\ 0.5 & \text{jeżeli } \frac{l_{poj}}{d_{dp}} < 0,001 \end{cases} \quad (54)$$

przy czym:

l_{poj} – liczba pojazdów [szt.],

d_{ap} – obszar dostępności pojazdu [m^2],

s_2 - charakterystyka floty pojazdów stosowanej w systemie car-sharingu [-], wyznaczana ze wzoru:

$$s_2 = \prod_{i=1}^2 F_i \quad (55)$$

przy czym:

F_1 - typ floty pojazdów stosowanej w systemie car-sharingu [-]. Bazując na światowych praktykach funkcjonowania systemów car-sharingu oraz prowadzonych w tym zakresie badaniach, jak również wymaganiach dotyczących zrównoważonego rozwoju transportu, przyjęto zgodnie z literaturą, że najkorzystniejszym rozwiązaniem jest wdrażanie floty pojazdów z napędem elektrycznym, kolejno hybrydowym i najmniej korzystnym rozwiązaniem określono pojazdy z napędem konwencjonalnym [36][68]. Zmienna została określona następującym wzorem:

$$F_1 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } F_e \\ 0.8 & \text{jeśli } F_h \\ 0.5 & \text{jeśli } F_k \end{cases} \quad (56)$$

gdzie:

F_e – flota pojazdów elektrycznych [-],

F_h – flota pojazdów hybrydowych [-],

F_k – flota pojazdów z napędem konwencjonalnym [-].

F_2 – klasa floty pojazdów stosowanej w systemie car-sharingu [-]. Z uwagi na chęć dostosowania systemu do potrzeb m.in. zarówno indywidualnych użytkowników, użytkowników z rodzinami, bagażem lub klientów biznesowych, za najkorzystniejszą flotę w poniższym wzorze uznano flotę zróżnicowaną [68][216][286]. Na drugim miejscu uwzględniono klasę średnią oraz premium. Flota klasy średniej, która stanowi obecnie największy odsetek pojazdów w systemach car-sharingu [267]. Z kolei badania wskazują, że występowanie we flocie klasy premium zwiększa zainteresowanie użytkowników korzystaniem z systemów [224]. Na trzecim miejscu sklasyfikowano flotę ekonomiczną. Wartość zmiennej opisano następującym wzorem:

$$F_2 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli } F_{kp} \\ 0.8 & \text{jeśli } F_{k\acute{s}r} \\ 0.5 & \text{jeśli } F_{ke} \end{cases} \quad (57)$$

gdzie:

F_{kp} – klasa floty pojazdów – zróżnicowana [-],

$F_{k\acute{s}r}$ – klasa floty pojazdów – średnia i premium (segment C-D, segment E-F) [-],

F_{ke} – klasa floty pojazdów – ekonomiczna (segment A-B) [-],

s_3 – przystępność systemu car-sharingu dla użytkownika [-], wyznaczana ze wzoru:

$$s_3 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 P_i \quad (58)$$

przy czym:

P_1 – sposób rejestracji nowego użytkownika w systemie car-sharingu [-]. Z uwagi na to, że systemy car-sharingu mają charakteryzować się bezkontaktową, automatyczną obsługą swoich użytkowników [21][110][141][216][257][286] określono, że najkorzystniejszym sposobem rejestracji jest możliwość dokonania jej poprzez aplikację. Na drugim miejscu sklasyfikowano rejestrację dwuetapową, która oprócz klasycznej rejestracji poprzez aplikację wymaga także dodatkowej weryfikacji za pomocą komunikatora internetowego. Za najmniej korzystne rozwiązanie uznano rejestrację, która wymaga osobistego stawienia się przyszłego użytkownika w biurze obsługi klienta celem dokonania weryfikacji jego dokumentów oraz rejestracji w systemie. Wartość zmiennej wyznaczono ze wzoru:

$$P_1 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli przez aplikację} \\ 0.8 & \text{jeśli weryfikacja dwuetapowa (przez aplikację oraz komunikator)} \\ 0.5 & \text{jeśli wymagana jest wizyta w biurze obsługi klienta} \end{cases} \quad (59)$$

P_2 – dostępność systemu car-sharingu dla obcokrajowców [-]. Ponieważ systemy car-sharingu mają przyczynić się do poprawy jakości życia, eliminacji wykluczenia społecznego oraz rozwoju turystyki [141][214][216][270] powinny być one dostępne dla każdego użytkownika w tym obcokrajowców. Za najlepsze rozwiązanie (wartość 1) uznaje się system dostępny dla osób zza granicy z poziomu aplikacji. Na drugim miejscu (wartość 0.5) sklasyfikowano system, gdzie rejestracja obcokrajowców jest możliwa, jednak wymaga ona osobistego stawiania się w biurze obsługi klienta. Z kolei system, który nie jest dostępny dla obcokrajowców (wartość 0) został uznany za najmniej korzystne rozwiązanie. Wartość zmiennej wyznaczamy ze wzoru:

$$P_2 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli tak (rejestracja i weryfikacja dokumentów przez aplikację)} \\ 0.5 & \text{jeśli wymagana jest wizyta w biurze obsługi klienta} \\ 0 & \text{jeśli nie} \end{cases} \quad (60)$$

Kryterium 3 – poziom ochrony środowiska na danym obszarze K_{os} [-] – określa wymagania stawiane wdrażanym systemom car-sharingu z uwagi na aspekty ochrony środowiska, jak również aktualny stan powietrza na danym obszarze. Kryterium uwzględnia poziom jakości powietrza na danym obszarze charakteryzowany poprzez indeks jakości powietrza, poziom emisyjności stosowanej w systemie floty pojazdów, czyli jej przyjazność dla środowiska, jak również występowanie opłat ekologicznych za wjazd do centrum miasta. Wartość zmiennej wyznaczana jest z następującego wzoru:

$$K_{os} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 k_i \quad (61)$$

gdzie:

k_1 – poziom jakości powietrza na danym obszarze [-], wyznaczany ze wzoru:

$$k_1 = \begin{cases} 1 \text{ jeżeli } AQI = \text{bardzo dobry} \\ 0.8 \text{ jeżeli } AQI = \text{dobry} \\ 0.6 \text{ jeżeli } AQI = \text{umiarkowany} \\ 0.4 \text{ jeżeli } AQI = \text{dostateczny} \\ 0.2 \text{ jeżeli } AQI = \text{zły} \\ 0 \text{ jeżeli } AQI = \text{bardzo zły} \end{cases} \quad (62)$$

przy czym:

AQI – indeks jakości powietrza [-], wartość Indeksu Jakości Powietrza należy określić na podstawie aktualnych wyników pomiarów stężeń, na dzień wykonywania analizy, podstawowych czynników zanieczyszczenia powietrza takich jak: pył zawieszony PM₁₀ i PM_{2.5}, ozon O₃, dwutlenek azotu NO₂, dwutlenek siarki SO₂, benzenu C₆H₆ i tlenek węgla CO na analizowanym obszarze. Wskazane zanieczyszczenia powietrza stanowią główne składniki smogu występującego w miastach. W celu określenia poziomu Indeksu Jakości Powietrza na podstawie otrzymanych wartości pomiarowych należy skorzystać z zestawienia zaprezentowanego w tabeli 19. Aktualne wartości dla polskich miast można sprawdzić korzystając ze strony internetowej [79].

Tabela 19. Wartości indeksu jakości powietrza

Indeks Jakości Powietrza	PM₁₀ [µg/m³]	PM_{2.5} [µg/m³]	O₃ [µg/m³]	NO₂ [µg/m³]	SO₂ [µg/m³]	C₆H₆ [µg/m³]	CO [mg/m³]
Bardzo dobry	0 – 20	0 – 12	0 – 30	0 – 40	0 – 50	0 – 5	0 – 2
Dobry	21 – 60	13 – 36	31 – 70	41 – 100	51 – 100	6 – 10	3 – 6
Umiarkowany	61 – 100	37 – 60	71 – 120	101 – 150	101 – 200	11 – 15	7 – 10
Dostateczny	101 – 140	61 – 84	121 – 160	151 – 200	201 – 350	16 – 20	11 – 14
Zły	141 – 200	85 – 120	161 – 240	201 – 400	351 – 500	21 – 50	15 – 20
Bardzo zły	> 200	> 120	> 240	> 400	> 500	> 50	> 20

Źródło: opracowanie własne na podstawie [79]

k_2 – poziom emisyjności floty [-]. Bazując na założeniach zrównoważonego rozwoju transportu oraz dążeniach do ograniczenia występowania w miejskich systemach transportowych pojazdów z napędem konwencjonalnym [141][198][217], przyjęto, że najkorzystniejszą wartością charakteryzować się będą pojazdy z napędem elektrycznym, kolejno z napędem hybrydowym, a najgorszą wartość otrzymają pojazdy z napędem konwencjonalnym. Wartość zmiennej wyznacza się ze wzoru:

$$k_2 = \begin{cases} 1 & \text{dla pojazdów z napędem elektrycznym} \\ 0.5 & \text{dla pojazdów z napędem hybrydowym} \\ 0 & \text{dla pojazdów z napędem konwencjonalnym} \end{cases} \quad (63)$$

k_3 – występowanie opłaty ekologicznej na danym obszarze [-]. Zakładając, że systemy car-sharingu mają funkcjonować w celu poprawy ekologiczności w miastach, wdrażanie wszelkiego rodzaju rozwiązań, których celem jest ograniczenie nadmiernej emisji spalin oraz przemieszczeń pojazdów indywidualnych uznawane są za najkorzystniejsze [36][70][126][148][154]. Wartość zmiennej wyznacza się ze wzoru:

$$k_3 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli występuje} \\ 0 & \text{jeśli nie występuje} \end{cases} \quad (64)$$

Kryterium 4 – poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu K_{pd} [-] – swoim zakresem obejmuje występowanie na badanym terenie usług shared-mobility w tym usług: bike-sharing, scooter-sharing, moped-sharing. Odnosi się także do występowania infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych oraz bierze pod uwagę występowanie bus-pasów, po których mogłyby przemieszczać się pojazdy elektryczne [275]. Uwzględnia także dostępność miejsc parkingowych na terenie badanego obszaru. Kryterium zostało wyrażone następującym wzorem:

$$K_{pd} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 u_i \quad (65)$$

gdzie:

u_1 – występowanie innych usług shared-mobility oferowanych na badanym obszarze [-]. Ze światowych badań prowadzonych w zakresie usług współdzielonej mobilności wynika, że występowanie jednej formy serwisów napędza korzystanie przez użytkowników z pełnego wachlarza dostępnych systemów [141][216][224][286]. Mając to na uwadze założono, że występowanie innych usług na terenie analizowanego obszaru stanowi korzystne rozwiązanie dla kształtowanego systemu car-sharingu. Wartość zmiennej wyznaczana jest ze wzoru:

$$u_1 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli występują} \\ 0 & \text{jeśli nie występują} \end{cases} \quad (66)$$

u_2 – integracja miejskiego systemu transportowego z innymi usługami transportowymi na badanym obszarze [-]. Wiąże się z występowaniem na analizowanym obszarze centrów przesiadkowych, które mogą posłużyć zarówno konsolidacji podróży oraz zaoferować dodatkową lokalizację do korzystania z usług car-sharingu [216][249][251]. Wyznaczana jest ze wzoru:

$$u_2 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli występuje} \\ 0 & \text{jeśli nie występuje} \end{cases} \quad (67)$$

u_3 – występowanie infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych [-]. Z uwagi na realizację założeń zrównoważonego rozwoju transportu dążącą do elektryfikacji pojazdów [198], przyjęto, że występowanie infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych korzystnie wpływa na kształtowanie systemów car-sharingu dając większą elastyczność

podczas wyboru floty pojazdów, które mają funkcjonować we wdrażanym systemie. Wartość zmiennej wyznaczana jest ze wzoru:

$$u_3 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli występuje} \\ 0 & \text{jeśli nie występuje} \end{cases} \quad (68)$$

u_4 – występowanie na badanym obszarze bus-pasów [-]. Zgodnie z Ustawą o Elektromobilności poruszanie się bus-pasami jest dozwolone dla pojazdów wyposażonych w napęd elektryczny [68][275]. Dlatego też występowanie bus-pasów sprzyja kształtowaniu systemów car-sharingu wyposażonych we flotę pojazdów elektrycznych, dając możliwość szybszego przemieszczania się na terenie analizowanego obszaru. Wartość zmiennej wyznaczana jest ze wzoru:

$$u_4 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli występują} \\ 0 & \text{jeśli nie występują} \end{cases} \quad (69)$$

u_5 – poziom wysokości opłaty parkingowej na analizowanym obszarze [-]. Założono, że im wyższa jest godzinna opłata parkingowa na danym obszarze, tym mniejsze jest zajmowanie miejsc parkingowych przez pojazdy użytkowników indywidualnych – tym samym zwiększona jest dostępność miejsc parkingowych dla pojazdów z car-sharingu [224]. Wartość zmiennej wyznaczono ze wzoru:

$$u_5 = \begin{cases} 5 & \text{jeżeli } o_p > 10 \text{ zł} \\ 4 & \text{jeżeli } o_p < 10 \text{ zł} \\ 3 & \text{jeżeli } o_p < 8 \text{ zł} \\ 2 & \text{jeżeli } o_p < 6 \text{ zł} \\ 1 & \text{jeżeli } o_p < 4 \text{ zł} \\ 0 & \text{jeżeli } o_p < 2 \text{ zł} \end{cases} \quad (70)$$

gdzie:

o_p – wysokość opłaty parkingowej za 1h parkowania w badanym obszarze [zł].

Kryterium 5 – średni koszt innych usług transportowych K_t [zł] – kryterium ekonomiczne, określa ono średni koszt przejazdu innymi od usług car-sharingu formami transportu na analizowanym obszarze. Kryterium uwzględnia takie aspekty, jak średni koszt usługi: TAXI, ride-sharing np. Uber, sharing economy w tym bike-sharing, moped-sharing i scoter-sharing. Ponadto bierze także pod uwagę średni koszt podróży indywidualnym pojazdem, jak i koszt biletu normalnego upoważniającego do przejazdów transportem zbiorowym na analizowanym obszarze. Kryterium zostało wyrażone następującym wzorem:

$$K_t = \frac{1}{5}(ku_t + ku_{tz} + ku_{rs} + ku_{ppi} + ku_{se}) \quad (71)$$

gdzie:

ku_t – średni koszt korzystania z usługi TAXI przez 1 kilometr [zł],

ku_{tz} – średni koszt biletu normalnego transportu zbiorowego [zł],

ku_{rs} – średni koszt korzystania z usługi Uber przez 1 kilometr [zł],

ku_{ppi} – średni koszt przejazdu pojazdem indywidualnym przez 1 kilometr [zł],

ku_{se} – średni koszt korzystania z usług typu sharing np. bike-sharing lub scoter-sharing przez 1 minutę [zł].

Kryterium 6 – średnie koszty inwestycyjne usług car-sharingu K_{inw} [zł] – kryterium ekonomiczne. Związane jest z uogólnionymi kosztami niezbędnymi do poniesienia podczas tworzenia systemów car-sharingu na określonym obszarze. Uwzględnia ono koszt zakupu pojazdów do floty car-sharingu, koszty dostosowania pojazdów do używania ich w systemie, koszty związane z oprogramowaniem oraz koszty dotyczące funkcjonowania systemu takie, jak koszt utrzymania pojazdów oraz koszt utrzymania biura obsługi użytkowników systemu. Kryterium zostało wyrażone następującym wzorem:

$$K_{inw} = \sum_{i=1}^3 n_i \quad (72)$$

gdzie:

n_1 – koszt zakupu pojazdów [zł], wyznaczony ze wzoru:

$$n_1 = l_{poj} * k_{zp} \quad (73)$$

przy czym:

k_{zp} – koszt zakupu pojazdu [zł].

n_2 – koszt dostosowania pojazdów do używania ich w systemie car-sharingu [zł]. Kryterium odnosi się do kosztów poniesionych w związku z koniecznością wyposażenia pojazdów w systemy monitoringu oraz oprogramowania służącemu możliwości zdalnej kontroli pojazdu np. zdalnego otwarcia/zamknięcia pojazdu przez pracowników biura obsługi klienta itp. Kryterium zostało wyrażone następującym wzorem:

$$n_2 = l_{poj} * k_{dp} \quad (74)$$

gdzie:

k_{dp} – koszt dostosowania pojazdów do używania ich w systemie car-sharingu [zł].

n_3 – koszty utrzymania funkcjonowania systemu [zł], wyznaczone ze wzoru:

$$n_3 = l_{poj} * k_{us} \quad (75)$$

gdzie:

k_{us} – koszty utrzymania pojazdu (np. przeglądy techniczne pojazdów, przeglądy okresowe, wymiana opon, wymiana części eksploatacyjnych, naprawy itp.) [zł/rok], koszty utrzymania biura obsługi klienta [zł/rok], koszty opłat miejskich (np. opłaty parkingowe) [zł/rok] oraz koszty rocznej licencji oprogramowania do obsługi systemu [zł/rok].

Aby uzyskać dane statystyczne do uwzględnienia w w/w wzorach opisujących grupy kryteriów, należy dokonać diagnozy stanu transportowego obszaru miejskiego miasta/miast, gdzie system car-sharingu ma zostać kształtowany i wdrażany.

Źródła, które mogą być wykorzystane do pozyskania niniejszych danych to ogólnodostępne bazy zawierające opracowania wykonane przez m.in.:

- Główny Urząd Statystyczny, Europejski Urząd Statystyczny, Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju, Bank Światowy, raporty o stanie miast, Portal Jakości Powietrza Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, raporty wykonane przez niezależnych ekspertów,
- miejskie plany transportowe, plany transportowe aglomeracji, plany zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego, raporty kongestii drogowych np. Korkometr itp.

Analogicznie przy wykonywaniu analiz dla zagranicznych ośrodków miejskich należy bazować na tamtejszych odpowiednikach wymienionych raportów.

Należy pamiętać o tym, że w zależności od wariantu decyzyjnego, każdy ze zbiorów kryteriów powinien zostać maksymalizowany lub minimalizowany z uwagi na preferencje poszczególnych grup decydentów. W zależności od grupy interesariuszy dane kryteria mogą charakteryzować się echami stymulanty lub destymulanty [122]:

$$ZK_{red}^{CS} \in \rightarrow \begin{cases} E_1^{CS} & K_{red}^{CS} \in \rightarrow \min || \max \\ \dots & \dots \\ E_i^{CS} & K_{red}^{CS} \in \rightarrow \min || \max \end{cases} \quad (76)$$

7.5. Wybór metod obliczeniowych

Kolejnym z etapów analizy (**Etap 5.**) jest dokonanie wyboru odpowiednich dla danego studium przypadku metod obliczeniowych służących wielokryterialnemu wspomaganie decyzji.

W niniejszej rozprawie, z uwagi na chęć otrzymania rankingu poszczególnych scenariuszy, zaproponowano wykorzystanie metod bazujących na szeregowaniu wariantów. Bazując na tym założeniu proponuje się następującą procedurę.

Po pierwsze należy zapoznać się z podstawowymi informacjami na temat metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, które przedstawione zostały w rozdziałach 5.1-5.7.

Bazując na przeglądzie literaturowym dotyczącym metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji oraz ich zastosowania w kontekście zagadnień transportowych, zaproponowane zostało zestawienie możliwych do zastosowania metod. Wzięto w nim pod uwagę cechy charakterystyczne metod oraz kryteria ich doboru m.in. powszechność stosowania w zagadnieniach transportowych, uwzględniające łatwość tworzenia modelu preferencji decydenta itd. Cechy te stanowią elementy modeli Gershona oraz Teclé'a, które są używane podczas wyboru metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji [255]. Zestawienie w postaci oceny dopasowania metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji do analizowanego problemu kształtowania i wdrażania systemu car-sharingu zostało przedstawione w tabeli 20.

Tabela 20. Ocena dopasowania metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji do potrzeb analizowanego problemu

Aspekty doboru odpowiedniej metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji	Wybrane metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji					
	ELECTRE III	MAUT	AHP	ANP	UTA	TOPSIS
mała liczba wariantów ($\leq 7 \pm 2$)	+	+	+	+	-	+
duża liczba wariantów ($> 7 \pm 2$)	-	+	-	-	+	+
mała liczba kryteriów ($\leq 7 \pm 2$)	+	+	+	+	-	+
duża liczba kryteriów ($> 7 \pm 2$)	+	+	-	-	-	+
występowanie subkryteriów	+	-	+	+	-	+
decydent pojedynczy	+	+	+	+	+	+
grupa decydentów	+	+	+	+	+	+
charakter informacji – deterministyczna	+	+	+	+	+	+
rodzaj informacji – podstawowe	+	+	+	+	-	+
odległość pomiędzy wariantami wyrażana ilościowo	-	+	+	+	+	+
łatwość tworzenia modelu preferencji decydenta (+ łatwo, - trudno)	+	+	+	+	-	+
pracochłonność analityka (+ mała, - duża)	+	+	-	-	-	+
przystępność dla analityka (+ przyjazna, - nieprzyjazna)	-	-	+	-	-	+
powszechność stosowania w aspektach transportowych	+	-	+	-	-	+
graficzne przedstawienie wyników	+	+	+	+	-	+
poziom zaawansowania metody	+	-	+	-	-	+
SUMA	13	12	13	10	5	16

gdzie: „+” – aspekt występuje w danej metodzie, „-” – aspekt nie występuje w danej metodzie.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [122][173][299]

Bazując na zestawieniu przedstawionym w tabeli 20 oraz własnych danych wejściowych dotyczących poszczególnych aspektów (np. dotyczących liczby rozpatrywanych wariantów, wartości kryteriów, liczby decydentów) zdefiniowanych w poprzednich krokach algorytmu należy dokonać wyboru odpowiednich metod, które zostaną użyte podczas wykonywania analiz. Sugeruje się dokonanie wyboru metod, które uzyskały jak największą wartość sumy końcowej.

Następnym z elementów analiz jest przyporządkowanie poziomu istotności kryteriów za pomocą ustalonego systemu wag. Poszczególne kryteria charakteryzowane są różnym poziomem istotności otrzymując odpowiednie wagi według wzoru (3) [122].

Wartości poszczególnych wag stanowią zwykle subiektywną ocenę określoną przez preferencje osób biorących udział w badaniach eksperymentalnych. Z uwagi na to, kolejnym krokiem

jest ustalenie minimalnej liczby ekspertów niezbędnych do wykonania badania oraz ustalenie formy przeprowadzanych badań.

Minimalna liczba ekspertów niezbędnych do wykonania badań z użyciem wielokryterialnych metod wspomagania decyzji określana jest wzorem (5) [160].

Zaleca się przeprowadzenie analiz na grupie ekspertów, do której należeć będą uwzględnieni w analizie decydenci. Warto, aby grupa ekspertów zawierała w swoim składzie osoby identyfikujące się wiedzą branżową na temat usług car-sharingu, jak również osoby zarządzające miejskimi systemami transportowymi, a także potencjalnych użytkowników systemów. Istotnym jest, aby grupa ekspercka w swoim składzie zawierała osoby posiadające zarówno teoretyczną jak i praktyczną wiedzę z zakresu usług współdzielonej mobilności.

Do zadań analityka należy opracowanie wstępnej koncepcji systemu, która zostanie poddana analizie przez ekspertów. Oznacza to konieczność założenia konkretnych wartości kryteriów cząstkowych niezbędnych podczas porównywania scenariuszy w badaniach eksperckich. Warto, aby koncepcje scenariuszy i kryteriów dla analizowanego studium przypadku zostały poddane dyskusji przez grono ekspertów przed dokonaniem ostatecznej oceny poszczególnych kryteriów.

Następnie, polegając na wybranych metodach i ich podejściu do ustalenia wartości wag danych kryteriów (rozdziały 5.3-5.6) należy przygotować arkusz oceny dla grupy eksperckiej. Proponuje się skorzystanie z metody porównań parami, zgodnie z którą eksperci będą mogli poddać ocenie według skali Saaty'ego (tabela 13). Należy pamiętać o tym, aby w przygotowywanym arkuszu uwzględnić wszelkie możliwe kombinacje porównań parami w zakresie kryteriów zredukowanych. Przykładowa macierz porównań wraz z instrukcją dokonywania oceny parami została zaprezentowana na rysunku 19.

1. Które z kryteriów są Pani/Pana zdaniem najważniejsze podczas wdrażania usługi car-sharingu na danym obszarze?

Proszę dokonać oceny od 1 do 9 (preferowane wartości 1,3,5,7,9), gdzie 1 oznacza, że kryteria posiadają taką samą wagę, a 9, że dane kryterium jest absolutnie bardziej ważne względem drugiego. Proszę pominąć zaczernione miejsca.

	Kryteria TECHNICZNE	Kryteria ŚRODOWISKOWE
Kryteria EKONOMICZNE	3	5
Kryteria ŚRODOWISKOWE	1	

Przykład

Z przykładu wynika, że kryteria EKONOMICZNE są ważniejsze od Kryteriów TECHNICZNYCH i nadano im wagę 3. Z kolei kryteria ŚRODOWISKOWE są ważniejsze od kryteriów EKONOMICZNYCH i nadano im wagę 5. Nadanie wagi 1 oznacza, że kryteria są tak samo ważne. Zaczernione pola należy pominąć.

Rys. 19. Przykładowy fragment arkusza oceny z wykorzystaniem macierzy porównań parami
Źródło: opracowanie własne

Zgodnie z wytycznymi dotyczącymi oceny kryteriów (rozdział 5.1.) wektory własne macierzy preferencji dokonanych porównań parami określają względną ważność elementów decyzyjnych na każdym poziomie struktury hierarchicznej. Im wyższa wartość danego wektora, tym istotniejsze jest dane kryterium. Otrzymane z badań eksperckich wartości wag należy uśrednić, a następnie przeprowadzić eksperymenty obliczeniowe. Popularnym podejściem jest wykonanie eksperymentów z użyciem 3 różnych metod wielokryterialnego wspomagania decyzji np. po jednej z każdej grupy dostępnych metod [130] [237].

7.6. Eksperymenty obliczeniowe

Zgodnie z przedstawionym algorytmem postępowania podczas realizacji procedury kształtowania i wdrażania usług car-sharingu z wykorzystaniem metod wielokryterialnego wspomagania decyzji (rys. 15), kolejnym krokiem (**Etap 6.**) jest przeprowadzenie eksperymentów obliczeniowych.

Należy przeprowadzić eksperymenty obliczeniowe wykorzystując metody wybrane podczas dokonywania oceny metod – rozdział 7.5. Zaleca się postępowanie według schematów obliczeniowych przedstawionych w rozdziałach 5.3-5.6. Możliwe jest także zastosowanie oprogramowania komputerowego służącego wspomaganiu procesów podejmowania decyzji. Zestawienie programów, które mogą posłużyć do wykorzystania w przypadku użycia konkretnych metod zostało zaprezentowane w tabeli 21.

Tabela 21. Zestawienie oprogramowania komputerowego możliwego do wykorzystania podczas wykonywania analiz z użyciem wielokryterialnego wspomagania decyzji

Metoda	Wybrane oprogramowanie
AHP	Expert Choice
ANP	Super Decision
ELECTRE III	Diviz lub Electre III-IV
PROMETHEE II	Visual Promethee
TOPSIS	Topsis Solver

Źródło: opracowanie własne

Rezultatem wykonania analiz przy użyciu każdej z wybranych metod jest uzyskanie końcowych rankingów scenariuszy w postaci zaprezentowania uszeregowanej klasyfikacji poszczególnych wariantów w kolejności od najbardziej korzystnego, do najmniej korzystnego dla każdego lub każdej z grup rozpatrywanych podczas analizy interesariuszy.

Ostatnim z etapów (**Etap 7.**) jest sprawdzenie wrażliwości otrzymanego rozwiązania na zmiany wartości parametrów wejściowych.

7.7. Analiza wrażliwości

Dokonywanie wyboru z wykorzystaniem metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji stanowi proces, którego rezultat związany jest z określonymi wartościami parametrów wejściowych, do których należą sprecyzowane wielkości zmiennych opisujące dane kryteria jak również wagi przypisane poszczególnym kryteriom w procesie modelowania preferencji interesariuszy [122]. Z uwagi na to, że wartości danych wejściowych mogą ulec zmianie, a także, że poziom oceny istotności poszczególnych kryteriów stanowi subiektywną ocenę ekspertów biorących udział w procesie decyzyjnym, pomocnym jest dokonanie weryfikacji poprawności funkcjonowania opracowanego modelu. W tym celu należy posłużyć się przeprowadzeniem analizy wrażliwości rozwiązań na zmianę parametrów wejściowych modelu decyzyjnego. Do najpopularniejszej formy analizy wrażliwości należy wyznaczenie rozwiązania problemu decyzyjnego z użyciem różnych kombinacji wag kryteriów [122][186]. Z uwagi na to proponuje się dokonania sprawdzenia stabilności rozwiązania poprzez zmianę elementu wektora wag, na podstawie wzoru [122]:

$$w_j^{mod} = (1 + \beta) \cdot w_j \quad (77)$$

gdzie:

w_j^{mod} – zmodyfikowana waga j-tego kryterium,

β – jest pewną liczbą rzeczywistą $\forall \beta \geq -1$.

Aby zachować warunek sumowania się wag wszystkich kryteriów do jedności, należy pozostałe wagi skorygować w taki sposób, aby zachowane zostały ich wzajemne proporcje, co dla dowolnego k-tego kryterium ($k \neq j$) wyrażane jest za pomocą zależności [122]:

$$w_k^{mod} = \alpha \cdot w_k \quad (78)$$

przy czym:

$$\alpha = \frac{1 - w_j^{mod}}{1 - w_j} \quad (79)$$

gdzie:

w_k^{mod} – zmodyfikowana waga k-tego kryterium.

W praktyce proponuje się dokonać zmian wartości wag wszystkich kryteriów danego wariantu o wartości: $\pm 5\%$ ($\beta = \pm 0,05$) – mało istotna zmiana do $\pm 50\%$ ($\beta = \pm 0,5$) – znacząca zmiana [145]. Następnie, przy każdorazowej zmianie wartości wektora wag należy przeprowadzić obliczenia z wykorzystaniem wcześniej stosowanych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji [122]. Jeżeli w otrzymanych rankingach wariant, który stanowił najlepsze rozwiązanie w etapie eksperymentów obliczeniowych, dalej znajdować będzie się na pierwszym miejscu i będzie najmniej wrażliwym na zmiany wag, wówczas należy uznać, że rozwiązanie jest stabilne [186][202]. W przypadku braku stabilności rozwiązania, należy powrócić do Etapu 5. algorytmu i ponownie przeprowadzić proces modelowania preferencji decydentów. Analiza wrażliwości odnosi się do całego opracowanego modelu [186]. Dlatego też wystarczającym jest przeprowadzenie jej dla wybranego z analizowanych interesariuszy.

8. Zastosowanie zaproponowanej metody – studium przypadku terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii

Usługi car-sharingu stanowią doskonałe rozwiązanie uzupełniające wachlarz możliwości w łańcuchach przemieszczeń obecnie stosowanych miejskich systemów transportowych. Z uwagi na ich użyteczność są one coraz powszechniej wykorzystywane w miastach na całym świecie. Jednak nie tylko pojedyncze ośrodki miejskie są atrakcyjnym obszarem do wdrażania systemów współdzielonych pojazdów. Należą do nich również gęsto zaludnione, rozległe i wysoko zurbanizowane obszary metropolitalne, charakteryzujące się wysokim poziomem rozwoju ekonomicznego, umiędzynarodowienia czy turystyki [106]. Stanowią więc idealne terytorium do wdrażania na ich terenie różnego rodzaju usług transportowych wpisujących się w koncepcję „inteligentnych miast”²⁷[36][161].

Metropolie od lat napędzają krajowe gospodarki świata. Stąd też ich określenie jako krajowych lokomotyw wzrostu gospodarczego [194]. Dlatego też światowe praktyki funkcjonowania usług car-sharingu wskazują, że idea doskonale wpisuje się w potrzeby transportowe największych metropolii. Do najczęściej przytaczanych przykładów występowania rozwiniętych systemów car-sharingu na terenie metropolii należą takie ośrodki miejskie, jak Berlin, Paryż, Szanghaj, Londyn czy Moskwa [40][216].

Zaproponowana w rozprawie metoda kształtowania i wdrażania usług car-sharingu opracowana została w taki sposób, aby elastycznie móc dopasowywać ją do potrzeb różnego rodzaju systemów transportowych. Poszczególne analizy w zależności od stopnia ich zaawansowania i potrzeb analityka mogą zostać zastosowane bezpośrednio dla pojedynczego miasta, ale także dla konurbacji²⁸, megalopolis²⁹, czy obszarów metropolitalnych³⁰.

W niniejszej rozprawie podjęto próbę dopasowania odpowiedniego systemu usług car-sharing do potrzeb Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (tzw. GZM).

8.1. Wielopłaszczyznowa analiza środowiska decyzyjnego

Pierwszym krokiem algorytmu postępowania w zaproponowanej metodzie kształtowania i wdrażania usług car-sharingu było przeprowadzenie wielopłaszczyznowej analizy środowiska problemu decyzyjnego. Aby w pełni móc poznać charakterystyczne cechy rozpatrywanego obszaru przeprowadzona została analiza społeczno-demograficzna terenu Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii, a następnie analiza transportu przedstawione w rozdziałach 8.1.1

²⁷ Inteligentne miasto – (ang. *smart city*) miasto, które wykorzystuje technologie informacyjno-komunikacyjne w celu zwiększenia interaktywności i wydajności infrastruktury miejskiej i jej komponentów składowych, a także do podniesienia świadomości mieszkańców [13].

²⁸ Konurbacja – (łac. *con* - „z, razem” i *urbs* - „miasto”) – typ aglomeracji policentrycznej złożonej z kilku miast położonych blisko siebie, z których żadne nie dominuje [64]. Miasta te pełnią rozmaite funkcje, dzięki czemu się uzupełniają [64]. Jest to możliwe dzięki rozbudowanej sieci komunikacyjnej łączącej poszczególne miasta [64].

²⁹ Megapolis – (gr. *megalo* - „wielki”, *polis* - „miasto”) – wieloprzestrzenny policentryczny układ osadniczy, silnie zurbanizowany, powiązany funkcjonalnie i komunikacyjnie, tworzony przez układ kilku aglomeracji miejskich, o łącznej populacji powyżej 20 milionów mieszkańców [124].

³⁰ Obszar metropolitalny – spójny funkcjonalnie wielkomiejski układ wielu jednostek osadniczych oraz terenów o wysokim stopniu zurbanizowania, którego główną cechą jest występowanie funkcji metropolitalnych, a także powiązań funkcjonalnych i ekonomicznych [147].

8.1.1. Charakterystyka obszaru Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii

Obecnie obszar metropolii obejmuje 41 miast i gmin o łącznej powierzchni 2,5 tys. km² [96]. Umownie teren metropolii podzielony został na pięć podregionów obejmujących następujące miasta i gminy [96]:

- 1) podregion bytomski (Bytom, Ożarowice, Piekary Śląskie, Radzionków, Świerklaniec, Tarnowskie Góry, Zbrosławice),
- 2) gliwicki (Gliwice, Gierałtowice, Knurów, Pilchowice, Pyskowice, Rudziniec, Sośnicowice, Zabrze),
- 3) katowicki (Katowice, Chorzów, Mysłowice, Ruda Śląska, Siemianowice Śląskie, Świętochłowice),
- 4) sosnowiecki (Sosnowiec, Będzin, Bobrowniki, Czeladź, Dąbrowa Górnicza, Mierzęcice, Psary, Siewierz, Sławków, Wojkowice),
- 5) tyski (Tychy, Bieruń, Bojszowy, Chełm Śląski, Imielin, Kobiór, Łędziny, Łaziska Górne, Mikołów, Wiry).

[illegible]

100

Teren GZM zamieszkiwany jest przez 2,3 miliona osób [96]. Metropolia charakteryzuje się wysoką gęstością zaludnienia wynoszącą 887 osób na km². Jest to wynik znacznie przewyższający średnią województwa śląskiego wynoszącą 369 osób na km², a także średnią ogólnopolską równą 123 osoby na km² [96]. Obszar metropolii charakteryzuje wysoki stopień aktywizacji zawodowej wynoszący 300 pracujących na 1000 mieszkańców, gdy średnia wartość dla Polski wynosi 247 na 1000 zamieszkujących ją osób [96].

Szczegółowy wykaz gmin i miast metropolii wraz z przyporządkowaniem do powiatu, powierzchnią oraz liczbą mieszkańców został zaprezentowany w tabeli 22.

Tabela 22. Szczegółowy wykaz gmin i miast metropolii wraz z przyporządkowaniem do powiatu, powierzchnią oraz liczbą mieszkańców

Gmina (miasto)	Przynależność do powiatu	Liczba ludności [-]	Powierzchnia [km ²]
Będzin	powiat będziński	56 624	37,37
Bieruń	powiat bieruńsko-lędzki	19 539	40,49
Bobrowniki	powiat będziński	12 077	51,48
Bojszowy	powiat bieruńsko-lędzki	7 899	34,69
Bytom	miasto na prawach powiatu	165 975	69,44
Chełm Śląski	powiat bieruńsko-lędzki	6 326	23,33
Chorzów	miasto na prawach powiatu	107 963	33,24
Czeladź	powiat będziński	31 545	16,38
Dąbrowa Górnicza	miasto na prawach powiatu	119 800	188,73
Gierałtów	powiat gliwicki	12 096	38,06
Gliwice	miasto na prawach powiatu	179 154	133,88
Imielin	powiat bieruńsko-lędzki	9 175	27,99
Katowice	miasto na prawach powiatu	293 636	164,64
Knurów	powiat gliwicki	38 310	33,95
Kobiór	powiat pszczyński	4 890	48,19
Lędziny	powiat bieruńsko-lędzki	16 776	31,65
Łaziska Górne	powiat mikołowski	22 298	20,07
Mierzęcice	powiat będziński	7 676	49,43
Mikołów	powiat mikołowski	40 898	79,21
Mysłowice	miasto na prawach powiatu	74 515	65,62
Ożarów	powiat tarnogórski	5 794	45,88
Piekary Śląskie	miasto na prawach powiatu	55 088	39,98
Pilchowice	powiat gliwicki	11 945	69,83
Psary	powiat będziński	12 190	46,16
Pyskowice	powiat gliwicki	18 432	30,89
Radzionków	powiat tarnogórski	16 826	13,20
Ruda Śląska	miasto na prawach powiatu	137 624	77,73
Rudziniec	powiat gliwicki	10 633	159,14
Siemianowice Śląskie	miasto na prawach powiatu	66 963	25,50
Siewierz	powiat będziński	12 460	113,85
Sławków	powiat będziński	7 017	36,67
Sosnowiec	miasto na prawach powiatu	201 121	91,06
Sośnicowice	powiat gliwicki	8 894	116,50
Świerklaniec	powiat tarnogórski	12 328	44,63

Świętochłowice	miasto na prawach powiatu	49 762	13,31
Tarnowskie Góry	powiat tarnogórski	61 422	83,72
Tychy	miasto na prawach powiatu	127 664	81,81
Wojkowice	powiat będziński	8 927	12,79
Wry	powiat mikołowski	8 316	34,62
Zabrze	miasto na prawach powiatu	172 806	80,40
Zbrosławice	powiat tarnogórski	16 184	148,36

Źródło: opracowanie własne na podstawie [96]

Główny rdzeń metropolii stanowi 13 gmin GZM. Ich wykaz został zaprezentowany w tabeli 23.

Tabela 23. Wykaz gmin Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii wchodzących w skład jej rdzenia

Lp.	Nazwa gminy	Typ gminy
1.	Bytom	miejska
2.	Chorzów	miejska
3.	Dąbrowa Górnicza	miejska
4.	Gliwice	miejska
5.	Katowice	miejska
6.	Mysłowice	miejska
7.	Piekary Śląskie	miejska
8.	Ruda Śląska	miejska
9.	Siemianowice Śląskie	miejska
10.	Sosnowiec	miejska
11.	Świętochłowice	miejska
12.	Tychy	miejska
13.	Zabrze	miejska

Źródło: opracowanie własne na podstawie [96]

Teren GZM charakteryzuje bardzo duże zróżnicowanie obszarowe. Do największych gmin metropolii należą Dąbrowa Górnicza (188,73 km²), Katowice (164,64 km²) i Gliwice (133,88 km²) [96]. Najmniejszą gminą metropolii są Świętochłowice (13,31 km²) [96]. GZM finansowana jest z budżetu państwa, otrzymując rocznie 5% udziału w podatku PIT od mieszkańców obszaru metropolitalnego. Jest także finansowana z budżetów wchodzących w jej skład gmin [96].

Metropolia GZM jest obszarem silnie uprzemysłowionym, ukierunkowanym na działania biznesowe. W stolicy Metropolii Katowicach bardzo silnie rozwija się tzw. Turystyka biznesowa. W 2019 roku zorganizowano w Katowicach 6453 wydarzenia biznesowe, w których łącznie wzięło udział ponad milion osób. Organizacja tego typu wydarzeń jest możliwa dzięki znajdujących się na terenie GZM obiektów takie jak Międzynarodowe Centrum Kongresowe, Hala Widowiskowo-Sportowa Spodek czy Expo Silesia – Centrum Targowo-Konferencyjne Sosnowiec. Metropolia jest też ośrodkiem koncentrującym ośrodki medyczne (79 szpitali), edukacyjno-akademickie, kulturalne, religijne i sportowe (36 stadionów) [96].

Na obszarze GZM mieści się 28 uczelni wyższych. Należą do nich m.in. Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Akademia wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, Akademia Muzyczna w Katowicach, Akademia Sztuk Pięknych, Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej, Wyższa Szkoła Bankowa w Chorzowie, Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach, Górnośląska Wyższa Szkoła Handlowa, Wyższa Szkoła Humanitas w Sosnowcu, Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach [96].

Obszar metropolii jest także rozwinięty z punktu widzenia możliwości spędzania czasu wolnego. Na terenie metropolii funkcjonują [96] 42 muzea i instytucje kulturalne. Do najważniejszych należą m.in. Teatr Śląski im. St. Wyspiańskiego w Katowicach, Teatr Nowy w Zabrzu, Dom Muzyki i Tańca w Zabrzu, Narodowa Orkiestra Polskiego Radia, Filharmonia Zabrzeńska czy Opera Śląska w Bytomiu. Istotnymi obiektami są także Muzeum Górnośląskie w Bytomiu, w Gliwicach i Muzeum Śląskie w Katowicach czy Zamek w Będzinie [96]. Cyklicznie organizowane są też topowe eventy, do których należą zarówno imprezy kulturalne, kongresowo-biznesowe jak i sportowe. Są to m.in. Intel Extreme Masters, Europejski Kongres Gospodarczy, Gala Fryderyki, Tour de Pologne, Śląski Festiwal Nauki, Festiwal Tauron Nowa Muzyka, OFF Festiwal Katowice, Wizzair Half Maraton Katowice, Silesia Marathon, Mistrzostwa Europy w Szachach Szybkich i Błyskawicznych, Mistrzostwa Europy w Siatkówce Mężczyzn – CEV EuroVolley Men czy Siatkarska Liga Narodów VNL [96].

Obszar GZM charakteryzuje się także występowaniem różnego rodzaju atrakcji z punktu widzenia turystyki i wypoczynku. Znajduje się on w pobliżu Beskidu Śląskiego oraz Jury Krakowsko-Częstochowskiej. Najbardziej znanymi zbiornikami wodnymi są Pogoria w Dąbrowie Górniczej o łącznej powierzchni ok 800 ha, jezioro paprociańskie w Tychach czy obszar trzech Stawów w Katowicach [96]. Ponadto w okolicach Dąbrowy Górniczej znajduje się także fragment Pustyni Błędowskiej [96]. Na terenie GZM mieszczą się także zabytki przemysłowe, do których należą Zabytkowa Kopalnia Srebra i Sztolnia Czarnego Pstrąga w Tarnowskich Górach, Skansen górniczy „Królowa Luiza”, Skansen podziemny „Guido” w Zabrzu czy Tyskie Browarium w Tychach. Ponadto, rekreacji sprzyjają także Park Śląski w Chorzowie wraz z wesołym miasteczkiem, ogrodem zoologicznym i planetarium czy Śląski Ogród Botaniczny w Mikołowie oraz Palmiarnie w Gliwicach i Sosnowcu [96].

8.1.2. Charakterystyka transportu na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii

Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia położona jest na trasie głównych szlaków komunikacyjnych krajowych i międzynarodowych zarówno drogowych, jak i kolejowych. Przez GZM przebiegają trzy trasy europejskie (E40, E75, E462), autostrady A4 i A1 oraz dziewięć dróg krajowych (DK79, DK81, DK86, DK1, DK11, DK44, DK78, DK88, DK94) [96]. Ponadto przez obszar Metropolii przebiega także droga wojewódzka DW902 znana jako Drogowa Trasa Średnicowa na trasie Katowice-Chorzów-Świętochłowice-Ruda Śląska-Zabrze-Gliwice [96]. Z danych Generalnego Pomiar Ruchu³¹ wynika, że województwo śląskie jest na pierwszym miejscu, jeśli chodzi o natężenie ruchu w kraju [96]. W 2015 roku na drogach krajowych każdej doby przejeżdżało ponad 20 tys. samochodów, z kolei na drogach

³¹ Badania przeprowadzane są co 5 lat (np. 2010-2015-2020) i publikowane na przełomie marca/kwietnia roku kolejnego.

międzynarodowych 38 tys. [96]. Inne z danych pomiarowych z dnia 8 lutego 2019 wskazują, że w ciągu doby drogą krajową DK86 przejechało ponad 117 tys. samochodów, przy czym 63 tys. przemieszczało się w stronę Katowic [96]. Z kolei Drogową Trasą Średnicową w stronę Katowic przemieszczało się ponad 110 tys. samochodów [96]. Obecnie na terenie GZM prowadzone są różnego rodzaju inwestycje drogowe mające wpłynąć na poprawę przepustowości sieci połączeń. Do najważniejszych przedsięwzięć należą przebudowa DK94 w Sosnowcu oraz DK81 w Katowicach.

GZM znajduje się na skrzyżowaniu dwóch transeuropejskich korytarzy transportowych. Przez jej obszar przebiega kilkadziesiąt linii kolejowych. Ponadto na terenie GZM planuje się uruchomienie Kolei Metropolitalnej [96]. Koncepcja wraz z możliwymi do wdrożenia wariantami, od najbardziej podstawowego, do najmocniej rozbudowanego, została przygotowana przez naukowców Wydziału Transportu i Inżynierii Lotniczej Politechniki Śląskiej. Łączny koszt wszystkich opracowanych scenariuszy został oszacowany na ponad 16 mld zł [96]. Aktualnie prowadzone są prace nad opracowaniem „Wstępnego Studium Wykonalności Kolei Metropolitalnej na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii”. Pełna realizacja projektu Kolei Metropolitalnej przewidziana do 2039 roku. Oprócz Kolei Metropolitalnej, GZM równolegle uczestniczy także w programie „Kolej+”, którego celem jest uzupełnienie sieci kolejowej w miejscowościach o zaludnieniu powyżej 10 tys. Mieszkańców, gdzie dostęp do połączeń pasażerskich z miastami wojewódzkimi jest ograniczony lub nie występuje [96]. Co więcej GZM współfinansuje także budowę centrum przesiadkowego na terenie Dąbrowy Górniczej, które stanowić ma jedną z możliwości integracji transportu obszaru metropolitalnego. Nie jest to jednak jedyna tego rodzaju inwestycja na terenie GZM. W 2018 roku w Katowicach otwarte zostało pierwsze centrum przesiadkowe Park & Ride „Ligota” [96]. Kolejno, w 2020 roku uruchomione zostały kolejne centra – „Sądowa”, które jednocześnie jest Międzynarodowym Dworcem Autobusowym oraz centra „Zawodzie i „Brynów” [96]. Na terenie centrum przesiadkowego „Sądowa”, można także skorzystać z miejsc postojowych „Kiss & Ride” umożliwiających zatrzymanie samochodu do 3 minut lub z parkingu [96]. Wybrane centra przesiadkowe zostały zaprezentowane na rys. 21-22.



Rys. 21. Centrum przesiadkowe Katowice „Sądowa”
Źródło: materiały własne



Rys. 22. Centrum przesiadkowe Katowice „Brynów”
Źródło: materiały własne

Zaprezentowane inwestycje w postaci centrów przesiadkowych stanowią doskonale miejsce do integracji usług transportowych w tym car-sharingu z miejskim transportem zbiorowym. Na terenie GZM system ten oparty jest na trzech środkach transportu – autobusach, tramwajach oraz trolejbusach. 22 lipca 2017 roku utworzony został Zarząd Transportu Metropolitalnego (tzw. ZTM), którego głównym zadaniem jest organizacja miejskiego transportu zbiorowego na terenie metropolii [204]. ZTM jest obecnie największym obszarowo organizatorem transportu publicznego w Polsce [96]. Obsługę linii komunikacyjnych na terenie GZM zapewnia siedem spółki samorządowych tj.:

- Przedsiębiorstwo Komunikacji Miejskiej w Katowicach,
- Przedsiębiorstwo Komunikacji Miejskiej w Sosnowcu,
- Przedsiębiorstwo Komunikacji Miejskiej w Tychach,
- Przedsiębiorstwo Komunikacji Miejskiej Świerklaniec,
- Przedsiębiorstwo Komunikacji Miejskiej w Gliwicach,
- Tramwaje Śląskie,
- Tyskie Linie Trolejbusowe,

a także osiemnaście spółek prywatnych [96].

W ramach siatki połączeń ZTM oferuje 4 główne linie połączeń w skład których wchodzi [96]:

- linie metropolitalne wraz z linią obsługującą Międzynarodowy Port Lotniczy Katowice,
- linie funkcjonujące w systemie dowozowo-odwozowym,
- linie autobusowe przyspieszone,
- linie autobusowe, tramwajowe i trolejbusowe zwykłe.

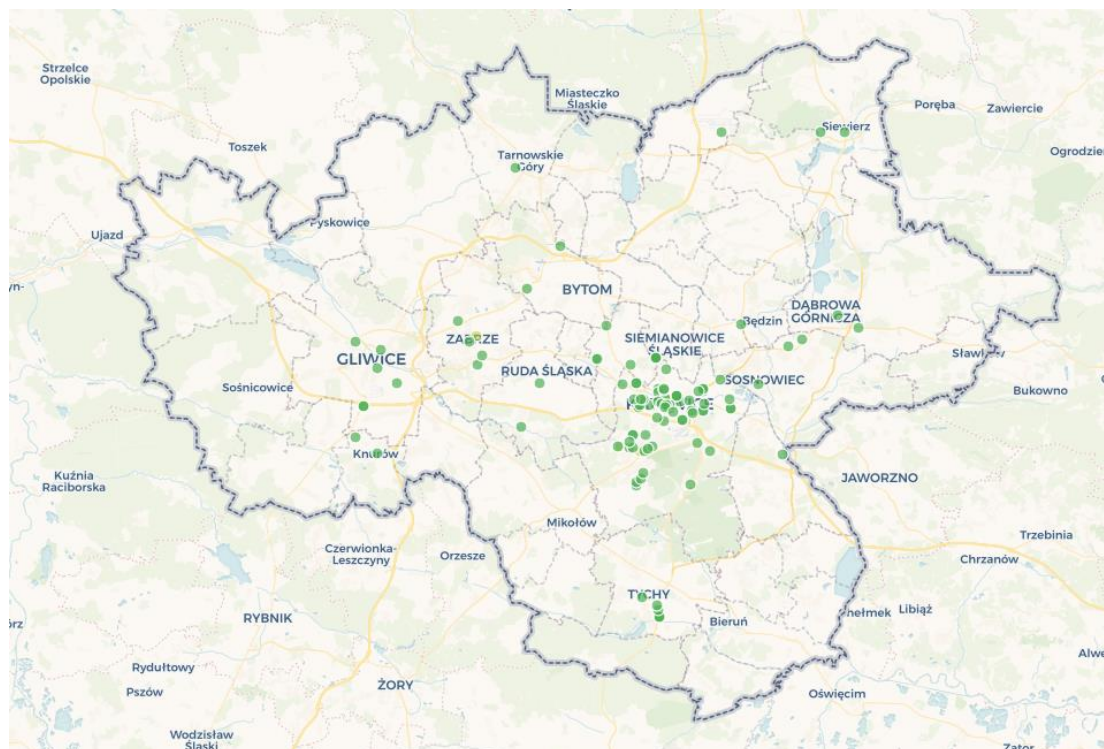
ZTM udostępnia mieszkańcom metropolii łącznie 1,5 tys. pojazdów (autobusów, trolejbusów i tramwajów), które obsługują 450 linii oraz 7 tys. przystanków [96]. W 2019 roku w ramach usług ZTM wykonanych zostało ponad 250 milionów przejazdów o łącznej długości ponad 100 milionów kilometrów [96].

Na północy metropolii funkcjonuje Międzynarodowego Portu Lotniczego Katowice w Pyrzowicach. Jest on czwartym w Polsce terminalem lotniczym z uwagi na liczbę wykonywanych operacji lotniczych w ciągu roku [96]. Aktualnie, posiada on trzy terminale pasażerskie, których łączna roczna przepustowość wynosi około 5,5 miliona pasażerów [96].

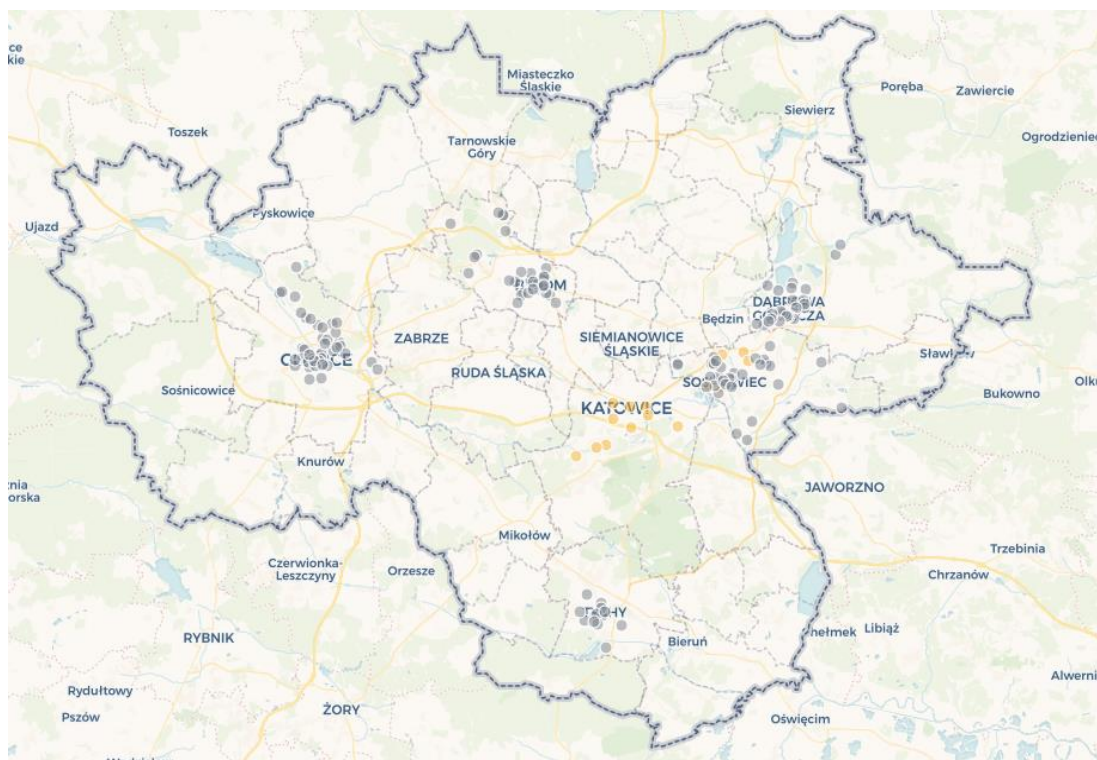
Lotnisko obsługuje ponad trzydzieści stałych połączeń rejsowych [96]. Na terenie GZM funkcjonują także lotniska Katowice- Muchowiec oraz Gliwice-Trynek.

Oprócz portu lotniczego, metropolia dysponuje na swoim obszarze także portem żeglugi śródlądowej znajdującym się w Gliwicach. Port Gliwice stanowi obecnie rozbudowany kompleks wyposażony w terminal celny, stację kolejową, bazą magazynową oraz funkcjonującym na jego obszarze Śląskim Centrum Logistyki. Roczna zdolność przeładunkowa Portu Gliwice wynosi ok. 2 milionów ton. Port zapewnia połączenie z rzeką Odrą. A za pośrednictwem Odrzańskiej Drogi Wodnej łączy Gliwice z kanałami Europy Zachodniej i Morzem Bałtyckim.

Obecnie Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia realizuje koncepcję wdrażania usług zrównoważonej mobilności. Działania te koncentrowane są wielokierunkowo i dotyczą zarówno kwestii związanych ze współdzieloną mobilnością i poprawą jej dostępności, ale także i wykorzystania nowoczesnych środków transportu jakimi są drony [96]. W przypadku eliminowania barier transportowych metropolia pracuje nad utworzeniem koncepcji własnego systemu MaaS integrującego wszystkie formy transportu miejskiego. Obecnie dostępność różnego rodzaju środków transportu na terenie GZM można sprawdzić za pośrednictwem trzech aplikacji takich jak: Voom, Take & Drive, WheelMe oraz Loko City [195]. Z kolei zrównoważony transport ma zostać osiągnięty także dzięki jego elektryfikacji. Katowice jako pierwsze miasto w Polsce spełniły zapisy ustawy o elektromobilności związane z liczbą stacji ładowania pojazdów elektrycznych przypadających na liczbę mieszkańców [195]. W 2020 roku na terenie Katowic znajdowało się 115 punktów ładowania pojazdów elektrycznych [96]. Funkcjonujące na terenie GZM stacje ładowania do pojazdów elektrycznych zostały zaprezentowane na rys. 23, z kolei stacje planowane oraz będące aktualnie w budowie zostały przedstawione na rys 24.



Rys. 23. Funkcjonujące na terenie GZM stacje ładowania pojazdów elektrycznych
Źródło: [96]



Legenda: „•” – stacje w budowie, „•” – stacje projektowane

Rys. 24. Planowanie stacje ładowania pojazdów elektrycznych na terenie GZM

Źródło: [96]

W przypadku transportu współdzielonego na terenie GZM możliwe jest skorzystanie zarówno z rowerów, skuterów, hulajnóg jak i samochodów. Aktualnie, na terenie GZM funkcjonuje sześć systemów współdzielonego wynajmu rowerów obsługiwane przez operatora Next Bike. Należą do nich systemy [195]:

- City By Bike – obszar Katowic,
- Gliwicki Rower Miejski – obszar Gliwic,
- Kajteroz – obszar Chorzowa,
- Siemianowicki Rower Miejski – obszar Siemianowic Śląskich.
- Sosnowiecki Rower Miejski – obszar Sosnowca,
- Tyski Rower Miejski – obszar Tychów.

Charakterystyka poszczególnych systemów została przedstawiona w tabeli 24.

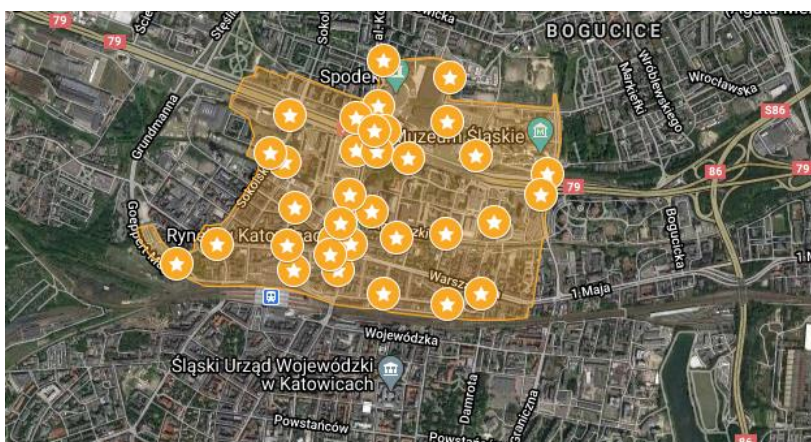
Tabela 24. Charakterystyka systemów bike-sharingu funkcjonujących na obszarze GZM

Nazwa systemu	Liczba stacji [szt.]	Liczba rowerów [szt.]
City By Bike	83	666
Gliwicki Rower Miejski	15	150
Kajteroz	15	150
Siemianowicki Rower Miejski	12	120
Sosnowiecki Rower Miejski	22	270
Tyski Rower Miejski	7	60

Źródło: [43][77][112][232][238]

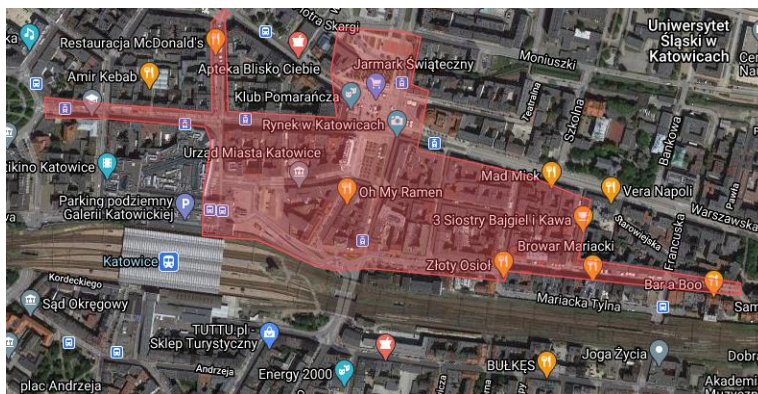
Katowicki system City By Bike stanowi najstarszy z systemów funkcjonujących na terenie GZM [43]. Z roku na rok cieszy się on coraz większym zainteresowaniem użytkowników [43]. Aktualnie GZM pracuje nad utworzeniem tzw. „Roweru Metropolitalnego”, czyli system bike-sharingu, który swoim zasięgiem objąłby miasta i gminy metropolii [96]. Zgodnie z założeniami system ma być jednym z największych tego rodzaju przedsięwzięć w Europie. Jego zadaniem byłoby zintegrowanie wszystkich działających na terenie GZM systemu do wspólnej strefy [96]. Celem koncepcji jest zapewnienie mieszkańcom dostępu do ekologicznego i zdrowego środka transportu, który w postaci zintegrowanego systemu mógłby wpłynąć na poprawę jakości życia społeczeństwa [96].

Na terenie GZM funkcjonują także usługi scooter-sharingu, czyli krótkoterminowego wynajmu hulajnóg oraz moped-sharingu, czyli skuterów elektrycznych. Obecnie, usługi oferowane są przez dwóch operatorów: Hop.City oraz blinker.city [195]. Miasto wyznaczyło także dwie pilotażowe strefy z obowiązkiem parkowania hulajnóg w wyznaczonych miejscach. Zostały one zaprezentowane na rys. 25.



Legenda: „*” – miejsca parkingowe
Rys. 25. Strefy obowiązku pakowania hulajnóg
Źródło: [168]

Ponadto, z uwagi na bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego wyznaczono także strefę ograniczonej prędkości poruszania się hulajnogami, która wynosi do 15 km/h. Strefa została wyznaczona w centrum Katowic. Została ona zaprezentowana na rys. 26.



Rys. 26. Strefa ograniczonej prędkości dla hulajnóg do 15 km/h
Źródło: [168]

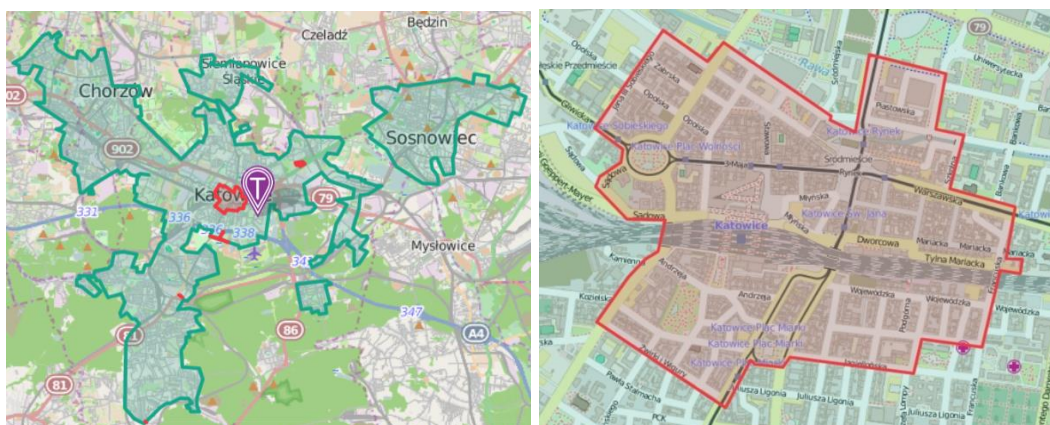
W ramach współdzielonej mobilności na terenie GZM możliwe jest także skorzystanie z usług współdzielenia przejazdów (ang. car-pooling)³², ride-sharingu, ride-hailingu³³ oraz car-sharingu. W przypadku współdzielenia przejazdów swoje usługi oferuje obecnie dwóch operatorów, do których należą BlaBlaCar oraz Catch-Me. Ride-sharing oferowany jest przez operatora Uber [195]. Z kolei ride-hailing przez operatora FreeNow [195].

W przypadku usług car-sharingu świadczone są one przez trzech operatorów: Traficar, eCar Tauron oraz GreenGoo. Należy zaznaczyć, że oferowane usługi dostępne są wyłącznie na terenie wyznaczonych stref i nie obejmują pełnego obszaru metropolii. Ponadto, operatorzy oferują ograniczoną liczbę floty dostępnej dla użytkowników. Zestawienie liczebności pojazdów we flotach operatorów zostało zaprezentowane w tabeli 25. Dodatkowo, przykładowe rozmieszczenie stref funkcjonowania systemów na przykładzie operatorów Traficar, eCar oraz GreenGoo zostało zaprezentowane na rysunkach 26 oraz 27.

Tabela 25. Zestawienie informacji dotyczących floty operatorów systemów car-sharingu funkcjonujących na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii

Operator	Rodzaj floty	Liczba pojazdów	Obszar działania
eCar Tauron	elektryczna	10	Katowice
GreenGoo	elektryczna	13	Katowice, Sosnowiec, Rybnik
Traficar	konwencjonalna	90	Katowice oraz wybrane obszary Chorzowa, Świętochłowic i Sosnowca

Źródło: opracowanie własne na podstawie [62][83][254]

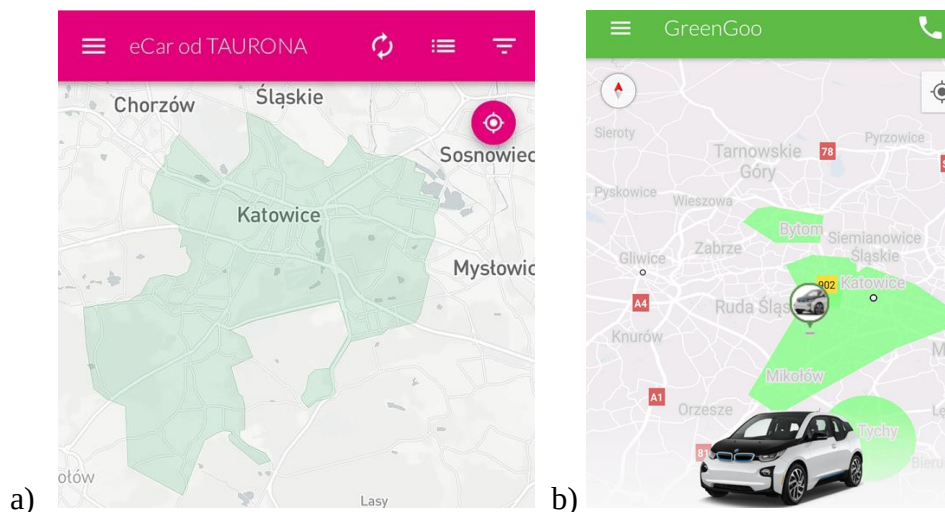


Rys. 27. Obszar funkcjonowania Traficar wraz ze strefą wyłączoną z możliwości zwrotu pojazdu w centrum Katowic

Źródło: [254]

³² Car-pooling – forma dzielenia wspólnych przejazdów pomiędzy osobami zainteresowanymi przemieszczeniem w tym samym kierunku np. znajomych, współpracowników w drodze do pracy itp. Opiera się na idei, że kierowca i pasażerowie dzielą się ponoszonymi kosztami. Usługi mogą być oferowane przez osoby indywidualne lub też nieznajome sobie, które znajdują zainteresowanych współpasażerów poprzez dedykowane platformy internetowe lub aplikacje [260].

³³ Ride-hailing – system działający na zasadzie TAXI. Łączy osoby zainteresowane przejazdem wyrażające taką chęć poprzez platformę internetową lub aplikację mobilną z taksówkarzami posiadającymi licencję, pracującymi dla danego operatora [260].



Rys. 28. Obszar funkcjonowania systemów a) eCar Tauron, b) GreenGoo
Źródło: [62] [83]

Aktualnie, na obszarze GZM nie funkcjonuje system usług car-sharingu, który swoim działaniem wspierałby cały obszar metropolitalny lub który zostałby utworzony przy współpracy z jej władzami.

8.2. Strukturyzacja problemu decyzyjnego

Górnśląsko-Zagłębiowska Metropolia jest obecnie na etapie planowania zintegrowanego systemu zrównoważonego transportu oraz przygotowań do wdrożenia Planu Zrównoważonej Mobilności Miejskiej³⁴. GZM funkcjonuje w oparciu o opracowany Program Działań Strategicznych Górnśląsko-Zagłębiowskiej Metropolii do roku 2022 (tzw. PDS) [124]. Strategia ukierunkowana jest na zapewnienie na terenie Metropolii spójności przestrzennej, społecznej oraz gospodarczej przy jednoczesnym dążeniu do jak najlepszej jakości życia mieszkańców. Ponadto koncentruje się ona na kreowaniu wizerunku ośrodka metropolitalnego widocznego na arenie międzynarodowej i atrakcyjnego do inwestowania, odwiedzania oraz zamieszkiwania. PDS zakłada realizację 5 głównych priorytetów rozwojowych do realizacji w latach 2018-2022, do których należą [124]:

- 1) kształtowanie ładu przestrzennego,
- 2) rozwój zintegrowanego systemu transportowego i zrównoważonej mobilności miejskiej,
- 3) rozwój społeczny i gospodarczy,
- 4) marketing obszaru metropolitalnego,
- 5) rozwój instytucjonalny.

³⁴ Plan Zrównoważonej Mobilności Miejskiej (ang. SUMP – Sustainable Urban Mobility Plan) – kompleksowy dokument rangi strategicznej, opracowanym i wdrażanym przez władze miasta i podmioty zaangażowane w realizację polityki transportowej. Jest on narzędziem ułatwiającym planowanie, uwzględniające szerszy kontekst funkcjonowania miasta i perspektywę długookresową wdrażania rozwiązań zrównoważonego transportu [46-48].

Wspomniane priorytety wskazują na innowacyjny potencjał metropolii i jej dążenia do wdrażania inicjatyw w zakresie aktualnych trendów dotyczących „smart cities”, czego integralną częścią są usługi zrównoważonej, współdzielonej mobilności miejskiej.

Ponadto, analiza dokumentów strategicznych i programowych dotyczących miejskich systemów transportowych, na poziomie wojewódzkim (tabela 26), wskazuje na istotną potrzebę wdrażania usług zrównoważonej, nowoczesnej mobilności. Dlatego też podjęcie próby dokonania analiz dla studium przypadku Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii ma charakter praktyczny i aplikacyjny.

Tabela 26. Analiza dokumentów strategicznych województwa śląskiego

Dokument	Aspekt	Literatura
Strategia Rozwoju Województwa Śląskiego „Śląskie 2020+”	rozwój zintegrowanego transportu i powiązań wewnętrznych w subregionie; unowocześnienie i modernizacja infrastruktury transportowej wewnątrz regionu, w tym poprzez koordynację lokalnych i ponadlokalnych układów drogowych i poprawę dostępności centrów dla obszarów skrajnych i peryferyjnych	[246]
Plan Zagospodarowania Województwa Śląskiego 2020+	kompleksowe przedsięwzięcia z zakresu zrównoważonej mobilności miejskiej i ekologicznego transportu; potrzeba integracji transportu indywidualnego; poprawa powiązań transportowych i komunikacyjnych w obszarach metropolitalnych oraz między obszarami metropolitalnymi i lokalnymi ośrodkami rozwoju	[188]
Plan ochrony środowiska dla województwa śląskiego od roku 2019 z uwzględnieniem perspektywy do roku 2024	promowanie proekologicznego korzystania z samochodów	[191]
Strategia Rozwoju Systemu Transportu Województwa Śląskiego	mobilność w odniesieniu do czynników decydujących o przemieszczaniu się, jak i warunków wpływających na wybór środka transportu; konieczność wprowadzenia rozwiązań, które przyczynią się do zmniejszenia kongestii oraz upłynnienia przewozów pasażerskich	[245]
Rekomendacje dla rozwoju nowoczesnej mobilności na obszarze Górnośląsko–Zagłębiowskiej Metropolii (GZM)	wdrażanie usług nowoczesnej mobilności typu „sharing” (w tym car-sharing)	[195]

Źródło: opracowanie własne

Wykonana analiza aktualnego stanu transportu na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii, charakterystyka obszaru, gęstość zaludnienia, (wysoka liczebność miast i gmin należących do obszaru metropolitalnego) oraz występujące na terenie metropolii problemy transportowe wskazują na konieczność poszukiwania różnego rodzaju rozwiązań transportowych, będących w stanie uzupełnić aktualną ofertę transportową, a jednocześnie zintegrować ze sobą środki transportu dostępne obecnie na terenie metropolii.

Jako wsparcie miejskiego systemu transportowego zaproponowano koncepcję wdrożenia systemu usług car-sharingu na obszarze GZM. Z uwagi na duże zróżnicowanie aspektów związanych z usługami car-sharingu dotyczących kwestii technicznych, transportowych, ekonomicznych, prawnych, środowiskowych oraz społecznych, czyli szerokie spektrum złożoności problematyki doboru odpowiedniego rodzaju systemu do potrzeb metropolii, zaproponowano skonstruowanie scenariuszy decyzyjnych możliwych do zastosowania na jej terenie, a następnie poddano je ocenie podczas badań eksperckich. Szczegółowe informacje dotyczące rozważanych scenariuszy a także wyniki eksperymentów obliczeniowych zaprezentowane zostały w kolejnych rozdziałach rozprawy.

8.3. Zdefiniowanie scenariuszy decyzyjnych

Podstawą opracowania scenariuszy decyzyjnych kształtowania i wdrażania usług na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii są analizy wykonane na podstawie badań eksperckich przeprowadzonych w gronie Zespołu ds. Nowoczesnej Mobilności, podczas opracowywania rekomendacji dla rozwoju nowoczesnej mobilności na obszarze GZM, badania własne nad systemami car-sharingu [158][256-270], badania światowe innych autorów (tabela 17.), oraz analiza charakterystyki obszaru metropolii i diagnoza jej stanu transportowego.

Podczas konsultacji przeprowadzonych w ramach pracy Zespołu ds. Nowoczesnej Mobilności Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii wskazano główne założenia jakie musi spełnić operator, aby móc sklasyfikować go jako operatora usług „nowej mobilności” na terenie metropolii [195]. Do założeń tych należą [195]:

- wdrożenie floty minimum 50. pojazdów,
- stosowanie pojazdów spełniających normę emisji spalin co najmniej EURO 6,
- zapewnienie funkcjonowania strefy usługi obejmującej swoim zasięgiem co najmniej 5 gmin metropolii,
- zapewnienie dostępu dla użytkowników poprzez aplikację mobilną obsługiwaną przez systemy operacyjne Android oraz iOS,
- zapewnienie całodobowej dostępności dla usługobiorców,
- zapewnienie całodobowego wsparcia (tzw. helpdesk) dla usługobiorców.

Bazując na wymienionych założeniach, zaproponowano 6 scenariuszy decyzyjnych możliwych do wdrożenia na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Warianty te odnoszą się do rzeczywistych praktyk funkcjonowania systemów na arenie europejskiej i światowej. Zestawienie wariantów zostało przedstawione w tabeli 27.

Tabela 27. Zestawienie scenariuszy możliwych do zastosowania podczas wdrażania usług car-sharingu na danym obszarze

Lp.	Identyfikator scenariusza	Nazwa scenariusza
1.	S_{01}^{CS}	centralny - strefowy
2.	S_{02}^{CS}	centralny - bazowy
3.	S_{03}^{CS}	centralny rozproszony - free floating
4.	S_{04}^{CS}	strefowy + door to door/rezerwacyjny
5.	S_{05}^{CS}	bazowy + door to door/rezerwacyjny
6.	S_{06}^{CS}	free-floating + door to door/rezerwacyjny

Źródło: opracowanie własne

Charakterystyka każdego z zaproponowanych wariantów została przedstawiona w tabelach 28-33.

Tabela 28. Charakterystyka scenariusza 1 –centralny (strefowy) S_{01}^{CS}

Cecha Scenariusza	Opis
Typ systemu	• Strefowy (wirtualnie wyznaczona strefa zasięgu funkcjonowania danego systemu). • Scenariusz zakłada utworzenie wirtualnej strefy głównej, stanowiącej rdzeń systemu w centrum danego miasta/dzielnicy/analizowanego obszaru. • Istnieje możliwość utworzenia dodatkowych wirtualnych stref na terenie analizowanego obszaru. Strefy dodatkowe mogą być zlokalizowane np. na obszarze wybranych dzielnic miasta lub ich fragmentach; mogą także obejmować wybrane terytoria analizowanego obszaru np. tereny w pobliżu centów przesiadkowych, dworców, lotnisk itp.
Ograniczenia systemowe	• Wariant ten zakłada możliwość wyjazdu poza określoną strefę funkcjonowania systemu, jednak z koniecznością zakończenia wynajmu na terenie obowiązywania wybranej strefy.
Obszar zasięgu funkcjonowania	• Jedna strefa centralna do 5 kilometrów od wyznaczonego punktu centralnego n stref dodatkowych. • Zasięg całej strefy systemu wynoszący co najmniej 20 kilometrów.
Rodzaj opłaty	• Na terenie funkcjonowania strefy zakłada się opłatę minutową. • Opłata „stop over”. • Wyjazdy poza obszar funkcjonowania strefy oznaczają zmianę taryfy na opłatę minutowo-kilometrową.

	Sankcje np. za zwrot pojazdu poza wyznaczoną strefą, zwrot pojazdu na terenie prywatnym itp. a także inne formy uszkodzenia pojazdów.
Typ floty pojazdów	- Napęd konwencjonalny (w przypadku chęci zwiększenia dostępności transportowej systemu kosztem ekologii). - Napęd hybrydowy lub elektryczny (w przypadku chęci zwiększenia ekologiczności systemu, co wiąże się z wyższymi opłatami za flotę pojazdów).
Klasa floty pojazdów	- A-B – w przypadku chęci wyposażenia systemu w pojazdy najbardziej ekonomiczne (najczęściej stosowana w systemach strefowych). - C – w przypadku chęci wyposażenia systemu w pojazdy dostosowane do przewozu 5-osób i bagażu (zalecana w przypadku występowania strefy w pobliżu lotnisk, dworców itp.). - Premium – w przypadku chęci dostosowania floty pojazdów do potrzeb np. klientów biznesowych (zalecana w przypadku występowania na terenie strefy centrów biznesowych czy hali targowych). - Mieszana.
Liczba pojazdów	- Naj optymalniej 1 pojazd/400m² powierzchni obszaru funkcjonowania. - W systemach pilotażowych najczęściej co najmniej 50 pojazdów w systemie.
Miejsca parkingowe	- Darmowe na terenie strefy (opłata wliczona w koszt wynajmu pojazdu). - Możliwość wyznaczenia dedykowanych miejsc parkingowych w punktach strategicznych danej strefy np. obiektów miejskich (urzędów, szpitali, szkół itp.) lub obiektów prywatnych (np. centrów handlowych, obiektów rozrywkowych itp.) – zależne od miejskiej polityki parkingowej oraz współpracy z sektorem gospodarczym. - Parkowanie na terenie parkingów prywatnych możliwe jest wyłącznie podczas korzystania z funkcji „stop over”. Wówczas opłata parkingowa ponoszona jest dodatkowo przez użytkownika.
Sposób rejestracji użytkownika	Rejestracja poprzez aplikację.
Dostępność dla obcokrajowców	Tak, z koniecznością weryfikacji dokumentów w biurze obsługi klienta lub poprzez aplikację.
Przystępność dla użytkownika	Brak pełnej swobody przemieszczania się z uwagi na ograniczony strefowo obszar funkcjonowania systemu.

Źródło: opracowanie własne

Drugi z opracowanych scenariuszy zakłada funkcjonowanie systemu w oparciu o model bazowy. Szczegóły wariantu zostały przedstawione w tabeli 29.

Tabela 29. Charakterystyka scenariusza 2 - centralny - bazowy S_{02}^{CS}

Cecha scenariusza	Opis
Typ systemu	Bazowy. Wariant ten polega na utworzeniu wirtualnej strefy funkcjonowania systemu na terenie analizowanego obszaru ze wskazaniem baz, czyli dedykowanych car-sharingowi parkingów, gdzie użytkownicy będą mogli dokonać wypożyczenia lub zwrotu pojazdów.
Ograniczenia systemowe	- Na obszarze funkcjonowania strefy możliwe jest korzystanie z funkcji „stop over”, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić na terenie dowolnie wybranej przez użytkownika bazy. - Zakłada się możliwość wyjazdu poza obszar funkcjonowania systemu np. do miast ościennych, jednak z koniecznością zwrotu pojazdu w dowolnej bazie operatora. - Zakłada się możliwość wypożyczenia pojazdu w jednej bazie i dokonanie jego zwrotu w innej. - W przypadku braku możliwości dokonania zwrotu pojazdu w wybranej bazie np. z powodu braku wolnych miejsc parkingowych konieczne jest dokonanie zwrotu na terenie innych z dostępnych w systemie baz.
Obszar zasięgu funkcjonowania	- Jedna centralna strefa systemu obejmująca co najmniej 20 kilometrów + n dodatkowych stref w wyznaczonych obszarach. n stacji bazowych w każdym z obszarów – zaleca się lokalizację co najmniej dwóch stacji bazowych na daną strefę. Zaleca się lokowanie baz w pobliżu centrów przesiadkowych czy największych stacji postojowych TAXI.
Rodzaj opłaty	- Na terenie funkcjonowania strefy zakłada się opłatę minutową. - Wyjazdy poza obszar funkcjonowania strefy oznaczają zmianę taryfy na opłatę minutowo-kilometrową. - Opłata „stop over”. - Sankcje np. za zwrot pojazdu poza wyznaczoną strefą, zwrot pojazdu na terenie prywatnym itp. a także inne formy uszkodzenia pojazdów.
Typ floty pojazdów	- Napęd konwencjonalny (w przypadku chęci zwiększenia dostępności transportowej systemu kosztem ekologii). - Napęd hybrydowy lub elektryczny (w przypadku chęci zwiększenia ekologiczności systemu, co wiąże się z wyższymi opłatami za flotę pojazdów). - Przy zastosowaniu floty elektrycznej zakłada się ładowanie baterii pojazdów na terenie stacji bazowych.
Klasa floty pojazdów	Dowolna. Zalecana od A do premium – z uwagi na system bazowy zalecane jest zapewnienie jak największej różnorodności floty pojazdów.
Liczba pojazdów	- Naj optymalniej 1 pojazd/400m² powierzchni obszaru funkcjonowania. - W systemach pilotażowych najczęściej co najmniej 50 pojazdów w systemie.

Miejsca parkingowe	• Darmowe dla użytkowników miejsca parkingowe na terenie strefy (opłata wliczona w koszt wynajmu pojazdu). • Parkowanie na terenie parkingów prywatnych możliwe jest wyłącznie podczas korzystania z funkcji „stop over”. Wówczas opłata parkingowa ponoszona jest dodatkowo przez użytkownika.
Sposób rejestracji użytkownika	• Rejestracja poprzez aplikację.
Dostępność dla obcokrajowców	• Tak, z koniecznością weryfikacji dokumentów w biurze obsługi klienta lub poprzez aplikację.
Przystępność dla użytkownika	• Ograniczona swoboda przemieszczania się regulowana wyznaczonymi bazami, skąd można pobrać lub zwrócić pojazd. System przypominający klasyczne wypożyczalnie samochodów.

Źródło: opracowanie własne

Trzeci ze scenariuszy zakłada utworzenie car-sharingu bazującego na formie rozproszonej – free-floating. Szczegóły wariantu zostały zaprezentowane w tabeli 30.

Tabela 30. Charakterystyka scenariusza 3 - centralny rozproszony - free-floating S_{03}^{CS}

Cecha scenariusza	Opis
Typ systemu	• Centralny-rozproszony. Scenariusz zakłada utworzenie systemu car-sharingu bazującego na wirtualnej strefie obejmującej całe terytorium analizowanego obszaru lub jego znacznej jego części. • Granica wirtualnej strefy może zostać wytyczona np. w obrębie granic administracyjnych lub też w rdzenia danego terytorium (główne dzielnice, centrum miasta itp.).
Ograniczenia systemowe	• Scenariusz zakłada możliwość zwrotu pojazdu w dowolnym miejscu w obrębie strefy z uwzględnieniem przepisów prawa o ruchu drogowym tj. parkowanie w miejscach dozwolonych. • Zakłada się możliwość wyjazdu poza strefę funkcjonowania systemu, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić w dowolnym miejscu wewnątrz strefy.
Obszar zasięgu funkcjonowania	• Jedna strefa systemu obejmująca cały obszar lub administracyjny analizowanego obszaru lub większość analizowanego terytorium.
Rodzaj opłaty	• Opłata minutowo-kilometrowa. • Opłata „stop over”. • Sankcje np. za zwrot pojazdu poza wyznaczoną strefą, zwrot pojazdu na terenie prywatnym itp. a także inne formy uszkodzenia pojazdów.
Typ floty pojazdów	• Napęd konwencjonalny (w przypadku chęci zwiększenia dostępności transportowej systemu kosztem ekologii).

	• Napęd hybrydowy lub elektryczny (w przypadku chęci zwiększenia ekologiczności systemu, co wiąże się z wyższymi opłatami za flotę pojazdów). • Najczęściej stosowaną flotą w systemach free-floatingu jest flota hybrydowa. Przy zastosowaniu floty elektrycznej zakłada się ładowanie baterii pojazdów na terenie stacji bazowych. • Przy zastosowaniu floty elektrycznej zakłada się ładowanie baterii pojazdów na terenie stacji bazowych.
Klasa floty pojazdów	• A-B – w przypadku chęci wyposażenia systemu w pojazdy najbardziej ekonomiczne. • C – w przypadku chęci wyposażenia systemu w pojazdy dostosowane do przewozu 5-osób i bagażu np. w pobliżu lotnisk itp. – klasa przeważająca w systemach free-floatingu. • Premium – w przypadku chęci dostosowania floty pojazdów do potrzeb np. klientów biznesowych. • Mieszana.
Liczba pojazdów	• Najoptymalniej 1 pojazd/400m² powierzchni obszaru funkcjonowania. • W systemach pilotażowych najczęściej co najmniej 50 pojazdów w systemie.
Miejsca parkingowe	• Darmowe na terenie strefy (opłata wliczona w koszt wynajmu pojazdu). • Parkowanie na parkingach prywatnych możliwe jest wyłącznie podczas korzystania z funkcji „stop over”. Wówczas opłata parkingowa ponoszona jest dodatkowo przez użytkownika. • Zakończenie wynajmu na terenie parkingów prywatnych wymagających wniesienia opłaty nie jest dozwolone.
Sposób rejestracji użytkownika	• Rejestracja poprzez aplikację.
Dostępność dla obcokrajowców	• Tak, z koniecznością weryfikacji dokumentów poprzez aplikację.
Przystępność dla użytkownika	• Pełna swoboda przemieszczania się z uwagi na rozległy obszar funkcjonowania strefy.

Źródło: opracowanie własne

Czwarty ze scenariuszy obejmuje system car-sharingu strefowego z dodatkowymi funkcjonalnościami jakie dają usługi dostarczenia pojazdu door to door oraz możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu. Szczegóły zostały zaprezentowane w tabeli 31.

Tabela 31. Charakterystyka scenariusza 4 - strefowy + door to door/rezerwacyjny S_{04}^{CS}

Cecha scenariusza	Opis
Typ systemu	• Strefowy. Scenariusz zakłada utworzenie wirtualnej strefy głównej, stanowiącej rdzeń systemu, w centrum danego miasta/dzielnicy/analizowanego obszaru.

	- Istnieje możliwość utworzenia dodatkowych wirtualnych stref na terenie analizowanego obszaru. Strefy dodatkowe mogą być zlokalizowane np. na obszarze wybranych dzielnic miasta lub ich fragmentach; mogą także obejmować wybrane terytoria analizowanego obszaru np. tereny w pobliżu centów przesiadkowych, dworców, lotnisk itp. - Scenariusz daje możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu poprzez aplikację np. z 24 godzinnym wyprzedzeniem. Istnieje możliwość podstawienia pojazdu do miejsca wskazanego przez użytkownika.
Ograniczenia systemowe	- Wariant ten zakłada możliwość wyjazdu poza określoną strefę funkcjonowania systemu, jednak z koniecznością zakończenia wynajmu na terenie obowiązywania wybranej strefy. - Scenariusz zakłada możliwość zwrotu pojazdu w dowolnym miejscu w obrębie strefy z uwzględnieniem przepisów prawa o ruchu drogowym tj. parkowanie w miejscach dozwolonych. - Zwrot pojazdu wypożyczonego w systemie door to door lub z funkcją rezerwacji może zostać dokonany bezpośrednio z punktu początkowego, gdzie wynajem był rozpoczęty (np. spod wskazanego adresu w systemie door to door) lub dowolnie na obszarze strefy funkcjonowania systemu.
Obszar zasięgu funkcjonowania	1 strefa centralna do 5 km od wyznaczonego punktu centralnego + n stref dodatkowych. Zasięg całej strefy co najmniej 20 km.
Rodzaj opłaty	- Na terenie funkcjonowania strefy zakłada się opłatę minutową. - Wyjazdy poza obszar funkcjonowania strefy oznaczają zmianę taryfy na opłatę minutowo-kilometrową. - Dodatkowa opłata rezerwacyjna. - Opłata „stop over”. - Dodatkowa opłata za podstawienie pojazdu w systemie door to door. - Dodatkowa opłata za odbiór pojazdu w systemie door to door. - Usługi wynajmu pakietowego. - Sankcje np. za zwrot pojazdu poza wyznaczonymi strefami, zwrot pojazdu na terenie prywatnym itp. a także inne formy uszkodzenia pojazdów.
Typ floty pojazdów	- Napęd konwencjonalny (w przypadku chęci zwiększenia dostępności transportowej systemu kosztem ekologii). - Napęd hybrydowy lub elektryczny (w przypadku chęci zwiększenia ekologiczności systemu, co wiąże się z wyższymi opłatami za flotę pojazdów).
Klasa floty pojazdów	Od A do premium – zastosowanie zróżnicowanej floty da większą możliwość uzyskania rezerwacji lub wykupienia usługi door to door.
Liczba pojazdów	- Najbardziej optymalnie 1 pojazd/400m² powierzchni obszaru funkcjonowania. - W systemach pilotażowych najczęściej co najmniej 50 sztuk pojazdów w systemie.
Miejsca parkingowe	Darmowe na terenie strefy (opłata wliczona w koszt wynajmu pojazdu).

	• Możliwość wyznaczenia dedykowanych miejsc parkingowych w punktach strategicznych danej strefy np. w pobliżu urzędów itp. – zależne od miejskiej polityki parkingowej. • Możliwość wyznaczenia dedykowanych miejsc parkingowych w punktach strategicznych danej strefy np. obiektów miejskich (urzędów, szpitali, szkół itp.) lub obiektów prywatnych (np. centrów handlowych, obiektów rozrywkowych itp.) – zależne od miejskiej polityki parkingowej oraz współpracy z sektorem gospodarczym. • Parkowanie na terenie parkingów prywatnych możliwe jest wyłącznie podczas korzystania z funkcji „stop over”. Wówczas opłata parkingowa ponoszona jest dodatkowo przez użytkownika.
Sposób rejestracji użytkownika	• Rejestracja poprzez aplikację.
Dostępność dla obcokrajowców	• Tak, z koniecznością weryfikacji dokumentów w biurze obsługi klienta lub z weryfikacją poprzez aplikację.
Przystępność dla użytkownika	• Pomimo braku pełnej swobody przemieszczania się z uwagi na ograniczony strefowo obszar funkcjonowania systemu, możliwości jakie daje opcja door to door lub funkcja rezerwacyjna zwiększają elastyczność korzystania z systemu.

Źródło: opracowanie własne

Piąty ze scenariuszy obejmuje system car-sharingu bazowego z dodatkowymi funkcjonalnościami jakie dają usługi dostarczenia pojazdu door to door oraz możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu. Szczegóły zostały zaprezentowane w tabeli 32.

Tabela 32. Charakterystyka scenariusza 5 - bazowy + door to door/rezerwacyjny S_{05}^{CS}

Cecha scenariusza	Opis
Typ systemu	• Bazowy. Wariant ten polega na utworzeniu wirtualnej strefy funkcjonowania systemu na terenie analizowanego obszaru ze wskazaniem baz, czyli dedykowanych car-sharingowi parkingów, gdzie użytkownicy będą mogli dokonać wypożyczenia lub zwrotu pojazdów Scenariusz daje możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu poprzez aplikację np. z 24 godzinnym wyprzedzeniem. Istnieje możliwość podstawienia pojazdu do miejsca wskazanego przez użytkownika.
Ograniczenia systemowe	• Na obszarze funkcjonowania strefy możliwe jest korzystanie z funkcji „stop over”, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić na terenie dowolnie wybranej przez użytkownika bazy lub bezpośrednio z punktu, w którym rozpoczął się wynajem podczas korzystania z usługi door to door. • Zakłada się możliwość wyjazdu poza obszar funkcjonowania systemu np. do miast ościennych, jednak z koniecznością zwrotu pojazdu w dowolnej bazie operatora lub bezpośrednio

	z punktu, w którym rozpoczął się wynajem podczas korzystania z usługi door to door. • Zakłada się możliwość wypożyczenia pojazdu w jednej bazie i dokonanie jego zwrotu w innej. • W przypadku braku możliwości dokonania zwrotu pojazdu w wybranej bazie np. z powodu braku wolnych miejsc parkingowych konieczne jest dokonanie zwrotu na terenie innych z dostępnych w systemie baz.
Obszar zasięgu funkcjonowania	• Jedna centralna strefa systemu obejmująca co najmniej 20 kilometrów + n dodatkowych stref w wyznaczonych obszarach. • n stacji bazowych w każdym z obszarów – zaleca się lokalizację co najmniej dwóch stacji bazowych na daną strefę. Zaleca się lokowanie baz w pobliżu centrów przesiadkowych czy największych stacji postojowych TAXI.
Rodzaj opłaty	• Na terenie funkcjonowania strefy zakłada się opłatę minutową. • Wyjazdy poza obszar funkcjonowania strefy oznaczają zmianę taryfy na opłatę minutowo-kilometrową. Opłata „stop over”. • Dodatkowa opłata rezerwacyjna. • Dodatkowa opłata za podstawienie pojazdu w systemie door to door. • Dodatkowa opłata za odbiór pojazdu w systemie door to door. • Sankcje np. za zwrot pojazdu poza wyznaczonymi bazami, zwrot pojazdu na terenie prywatnym itp. a także inne formy uszkodzenia pojazdów.
Typ floty pojazdów	• Napęd konwencjonalny (w przypadku chęci zwiększenia dostępności transportowej systemu kosztem ekologii). • Napęd hybrydowy lub elektryczny (w przypadku chęci zwiększenia ekologiczności systemu, co wiąże się z wyższymi opłatami za flotę pojazdów). Przy zastosowaniu floty elektrycznej zakłada się ładowanie baterii pojazdów na terenie stacji bazowych.
Klasa floty pojazdów	• A – premium – zastosowanie zróżnicowanej floty da większą możliwość uzyskania rezerwacji lub wykupienia usługi door to door.
Liczba pojazdów	• Najoptymalniej 1 pojazd/400m² powierzchni obszaru funkcjonowania. • W systemach pilotażowych najczęściej co najmniej 50 pojazdów w systemie.
Miejsca parkingowe	• Darmowe na terenie strefy (opłata wliczona w koszt wynajmu pojazdu). • Możliwość wyznaczenia dedykowanych miejsc parkingowych w punktach strategicznych danej strefy np. w pobliżu urzędów itp. – zależne od miejskiej polityki parkingowej.
Sposób rejestracji użytkownika	• Rejestracja poprzez aplikację.

Dostępność dla obcokrajowców	Tak, z koniecznością weryfikacji dokumentów w biurze obsługi klienta lub poprzez aplikację.
Przystępność dla użytkownika	Pomimo braku pełnej swobody przemieszczania się z uwagi na ograniczony strefowo obszar funkcjonowania systemu, możliwości jakie daje opcja door to door lub funkcja rezerwacyjna zwiększają elastyczność korzystania z systemu.

Źródło: opracowanie własne

Szósty ze scenariuszy obejmuje system car-sharingu funkcjonującego na zasadzie free-floatingu z dodatkowymi funkcjonalnościami jakie dają usługi dostarczenia pojazdu door to door oraz możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu. Szczegóły zostały zaprezentowane w tabeli 33.

Tabela 33. Charakterystyka scenariusza 6 – free-floating + door to door/rezerwacyjny
S₀₆^{CS}

Cecha scenariusza	Opis
Typ systemu	- Centralny-rozproszony. Scenariusz zakłada utworzenie systemu car-sharingu bazującego na wirtualnej strefie obejmującej całe terytorium analizowanego obszaru lub jego znacznej jego części. - Granica wirtualnej strefy może zostać wytyczona np. w obrębie granic administracyjnych lub też w rdzenia danego terytorium (główne dzielnice, centrum miasta itp.). - Scenariusz daje możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu poprzez aplikację np. z 24 godzinnym wyprzedzeniem. Istnieje możliwość podstawienia pojazdu do miejsca wskazanego przez użytkownika.
Ograniczenia systemowe	- Scenariusz zakłada możliwość zwrotu pojazdu w dowolnym miejscu w obrębie strefy z uwzględnieniem przepisów prawa o ruchu drogowym tj. parkowanie w miejscach dozwolonych. - Zakłada się możliwość wyjazdu poza strefę funkcjonowania systemu, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić w dowolnym miejscu wewnątrz strefy. - Na obszarze funkcjonowania strefy możliwe jest korzystanie z funkcji „stop over”, jednak zwrot pojazdu musi nastąpić na terenie strefy funkcjonowania systemu lub bezpośrednio z punktu, w którym rozpoczął się wynajem podczas korzystania z usługi door to door.
Obszar zasięgu funkcjonowania	Jedna strefa systemu obejmująca cały obszar lub administracyjny analizowanego obszaru lub większość analizowanego terytorium.
Rodzaj opłaty	- Na terenie funkcjonowania strefy zakłada się opłatę minutową. - Wyjazdy poza obszar funkcjonowania strefy oznaczają zmianę taryfy na opłatę minutowo-kilometrową. Opłata „stop over”. - Dodatkowa opłata rezerwacyjna.

	• Dodatkowa opłata za podstawienie pojazdu w systemie door to door. • Dodatkowa opłata za odbiór pojazdu w systemie door to door. • Sankcje np. za zwrot pojazdu poza wyznaczonymi bazami, zwrot pojazdu na terenie prywatnym itp. a także inne formy uszkodzenia pojazdów. • Usługi pakietowe.
Typ floty pojazdów	• Napęd konwencjonalny (w przypadku chęci zwiększenia dostępności transportowej systemu kosztem ekologii). • Napęd hybrydowy lub elektryczny (w przypadku chęci zwiększenia ekologiczności systemu, co wiąże się z wyższymi opłatami za flotę pojazdów). • Najczęściej stosowaną flotą w systemach free-floatingu jest flota hybrydowa. Przy zastosowaniu floty elektrycznej zakłada się ładowanie baterii pojazdów na terenie stacji bazowych. Przy zastosowaniu floty elektrycznej zakłada się ładowanie baterii pojazdów na terenie stacji bazowych.
Klasa floty pojazdów	• A-B – w przypadku chęci wyposażenia systemu w pojazdy najbardziej ekonomiczne. • C – w przypadku chęci wyposażenia systemu w pojazdy dostosowane do przewozu 5-osób i bagażu np. w pobliżu lotnisk itp. – klasa przeważająca w systemach free-floatingu. • Premium – w przypadku chęci dostosowania floty pojazdów do potrzeb np. klientów biznesowych. • Mieszana.
Liczba pojazdów	• Najoptymalniej 1 pojazd/400m² powierzchni obszaru funkcjonowania. • W systemach pilotażowych najczęściej co najmniej 50 sztuk pojazdów w systemie.
Miejsca parkingowe	• Darmowe na terenie strefy (opłata wliczona w koszt wynajmu pojazdu). • Parkowanie na parkingach prywatnych możliwe jest wyłącznie podczas korzystania z funkcji „stop over”. Wówczas opłata parkingowa ponoszona jest dodatkowo przez użytkownika. • Zakończenie wynajmu na terenie parkingów prywatnych wymagających wniesienia opłaty nie jest dozwolone.
Sposób rejestracji użytkownika	• Rejestracja poprzez aplikację.
Dostępność dla obcokrajowców	• Tak, z koniecznością weryfikacji dokumentów poprzez aplikację.
Przystępność dla użytkownika	• Pełna swoboda przemieszczania się z uwagi na rozległy obszar funkcjonowania strefy. Funkcja rezerwacji oraz door to door dodatkowo zwiększa elastyczność systemu.

Źródło: opracowanie własne

8.4. Ocena scenariuszy

Bazując na algorytmie postępowania (rys.15), kolejnym z kroków było dokonanie oceny przygotowanych dla Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii sześciu możliwych scenariuszy wdrożenia usług car-sharingu. Oceny scenariuszy dokonano w oparciu o zredukowaną rodzinę kryteriów przedstawionych w rozdziale 7.3. Na podstawie zaproponowanych wzorów dokonano określenia wartości poszczególnych kryteriów z punktu widzenia rozpatrywanych scenariuszy i obszaru Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Zestawienie wartości poszczególnych kryteriów dla możliwych scenariuszy zostały przedstawione w tabeli 34.

Tabela 34. Wartości kryteriów poszczególnych scenariuszy

Identyfikator scenariusza	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
ku_{min} [zł]	0	0,75	0,60	0,50	0,50	0,60
ku_{km} [zł]	1,50	0,90	0,80	1,80	2	1,50
ku_{sod} [zł]	0,15	0,20	0,20	0,25	0,30	0,25
ku_{son} [zł]	0,10	0,18	0,20	0,15	0,20	0,15
l_{poj} [szt.]	200	100	800	250	50	1000
d_{dp} [m ²]	400	400	400	400	400	400
F_1 [-]	0,50	0,50	0,50	0,80	0,80	0,80
F_2 [-]	0,50	0,80	0,50	1	1	1
P_1 [-]	1	1	1	1	0,50	1
P_2 [-]	1	0,50	1	0,50	0,50	1
k_1 [-]	0,80	0,80	1	0,80	0,80	0,80
k_2 [-]	0	0	0	0,50	0,50	0,50
k_3 [-]	0	0	0	0	0	0
u_1 [-]	1	1	1	1	1	1
u_2 [-]	1	1	1	1	1	1
u_3 [-]	1	1	1	1	1	1
u_4 [-]	0	0	1	0	0	0
u_5 [-]	1	1	1	1	1	1
ku_t [zł]	1,80	1,75	1,75	1,75	2	1,80
ku_{tz} [zł]	4,80	5	4,80	4,80	4,80	5
ku_{rs} [zł]	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80
ku_{ppi} [zł]	0,84	0,84	0,84	0,90	1	0,90
ku_{se} [zł]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
k_{zp} [zł]	1200	1700	1000	1400	2500	1400
k_{dp} [zł]	100	150	150	150	150	150
k_{us} [zł/rok]	10560	15840	10560	15840	21120	15840

Źródło: opracowanie własne

Kolejno, określono wartości kryteriów zredukowanych dla wszystkich rozpatrywanych scenariuszy. Zestawienie zostało zaprezentowane w tabeli 35.

Tabela 35. Wartości kryteriów zredukowanych dla poszczególnych scenariuszy

Scenariusz	Kryterium 1	Kryterium 2	Kryterium 3	Kryterium 4	Kryterium 5	Kryterium 6
S_{01}^{CS}	0,44	40,60	0,27	0,80	1,95	2372000
S_{02}^{CS}	0,51	20,56	0,27	0,80	1,98	1769000
S_{03}^{CS}	0,45	160,60	0,33	1,00	1,94	9368000
S_{04}^{CS}	0,68	50,66	0,43	0,80	1,95	4347500
S_{05}^{CS}	0,75	10,56	0,43	0,80	2,02	1188500
S_{06}^{CS}	0,63	200,76	0,43	0,80	2,00	17390000

Źródło: opracowanie własne

8.5. Modelowanie preferencji decydentów

W celu dokonania ocen poszczególnych kryteriów zredukowanych niezbędnym było wykonanie badań eksperckich wśród osób związanych z tematyką usług współdzielonej mobilności. W tym celu nawiązana została współpraca z Zespołem ds. Nowoczesnej Mobilności Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Zespół składa się z władz metropolii, przedstawicieli władz miast wchodzących w skład metropolii, przedstawicieli władz transportu zbiorowego, przedstawicieli operatorów usług współdzielonej mobilności, developerów systemów MaaS, przedstawicieli fundacji prowadzących działalność dotyczącą wdrażania usług zrównoważonego transportu. W trakcie spotkań na przełomie roku 2018 i 2019 Zespół prowadził badania własne i dyskusje dotyczące utworzenia Rekomendacji dla rozwoju nowoczesnej mobilności na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. W trakcie spotkań poruszane były aspekty dotyczące wariantów wdrażania odpowiednich systemów usług współdzielonej mobilności oraz związanych z nią interesariuszy.

Właściwe badanie eksperckie przeprowadzone zostało podczas posiedzenia Zespołu ds. Nowoczesnej Mobilności Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii w siedzibie Urzędu Metropolitalnego Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii w Katowicach, w dniu 09 stycznia 2019 roku. Liczba ekspertów, która wzięła udział w spotkaniu wynosiła 35 osób, co oznacza, że zgodnie ze wzorem (5) grupa badanych respondentów była reprezentatywna.

Ekspertom zaprezentowana została koncepcja utworzonych scenariuszy dla obszaru metropolii oraz głównych interesariuszy. Wyszczególniono cztery główne grupy interesariuszy oraz określono ich potrzeby w zakresie wdrożenia systemu car-sharingu na terenie metropolii, wśród których uwzględniono:

- 1) Metropolię jako interesariusza występującego w charakterze potencjalnego inwestora usług car-sharingu. Metropolia rozumiana jest w tym przypadku jako reprezentant poszczególnych władz gmin wchodzących w jej skład.
- 2) Metropolię jako organ reprezentujący gminy wchodzące w jej skład, na terenie których system car-sharingu miałby być wdrożony. Założono, że metropolia pełnić będzie

funkcję „klienta” systemów, oraz że jest ona otwarta na dowolnych operatorów i nie chce tworzyć własnego systemu car-sharingu.

- 3) Operatorów usług zainteresowanych wdrożeniem car-sharingu dla celów biznesowych.
- 4) Użytkowników zainteresowanych korzystaniem z usług.

Kolejno każdy z ekspertów otrzymał arkusz oceny zredukowanych grup kryteriów. Zadaniem ekspertów było dokonanie oceny istotności zredukowanych grup kryteriów poprzez porównanie ich ze sobą parami. Eksperti oceniali każdą parę kryteriów zredukowanych stosując do wyrażenia swojej oceny skalę Saaty’ego [211] zaprezentowaną w tabeli 13. Arkusz oceny stanowi Załącznik 1. do niniejszej rozprawy. Otrzymane w wyniku przeprowadzonych badań eksperckich uśrednione wyniki porównań parami dla każdego z czterech rozpatrywanych interesariuszy zostały przedstawione w tabelach 36-39.

Tabela 36. Macierz proporcjonalna dla metropolii jako „inwestora”

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
K_u	1,00	0,50	0,20	1,00	1,00	0,33
K_{stu}	2,00	1,00	0,33	1,00	1,00	0,33
$K_{oś}$	5,00	3,00	1,00	3,00	3,00	0,14
K_{pd}	1,00	1,00	0,33	1,00	1,00	0,14
K_t	1,00	1,00	0,33	1,00	1,00	0,33
K_{inw}	3,00	3,00	7,00	7,00	3,00	1,00

Źródło: opracowanie własne

Tabela 37. Macierz proporcjonalna dla metropolii jako „klienta” usług car-sharingu

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
K_u	1,00	1,00	0,14	0,14	1,00	1,00
K_{stu}	1,00	1,00	0,33	1,00	1,00	3,00
$K_{oś}$	7,00	3,00	1,00	5,00	7,00	3,00
K_{pd}	7,00	1,00	0,20	1,00	5,00	9,00
K_t	1,00	1,00	0,14	0,20	1,00	1,00
K_{inw}	1,00	0,33	0,11	0,11	1,00	1,00

Źródło: opracowanie własne

Tabela 38. Macierz proporcjonalna dla operatora systemu car-sharingu – uwzględniającego największy zysk

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
K_u	1,00	2,00	7,00	7,00	0,50	0,14
K_{stu}	0,50	1,00	3,00	5,00	0,33	0,11
$K_{oś}$	0,14	0,33	1,00	1,00	0,11	0,11
K_{pd}	0,14	0,20	1,00	1,00	0,14	0,11
K_t	2,00	3,00	9,00	7,00	1,00	0,14
K_{inw}	7,00	9,00	9,00	9,00	7,00	1,00

Źródło: opracowanie własne

Tabela 39. Macierz proporcjonalna dla użytkownika systemu car-sharingu

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
K_u	1,00	4,00	9,00	4,00	9,00	9,00
K_{stu}	0,25	1,00	9,00	1,00	1,00	9,00
$K_{oś}$	0,11	0,11	1,00	0,11	0,33	0,50
K_{pd}	0,25	1,00	9,00	1,00	5,00	9,00
K_t	0,11	1,00	3,00	0,20	1,00	7,00
K_{inw}	0,11	0,11	0,11	0,11	0,14	1,00

Źródło: opracowanie własne

Otrzymane w tabelach 36-39 wyniki zostały wykorzystane jako podstawa do obliczeń wartości wag poszczególnych kryteriów w rozważanych metodach wielokryterialnego wspomagania decyzji.

8.6. Wybór metod wielokryterialnego wspomagania decyzji

Bazując na rozważaniach teoretycznych dotyczących wyboru metod wielokryterialnych przedstawionych w rozdziale 5 dokonano oceny możliwych do zastosowania metod podczas realizowania niniejszego studium przypadku. Zgodnie z zaproponowaną w tabeli 20. metodologią oceny każdą z metod oceniono pod kątem wybranych 14 spośród 16 możliwych cech. Podczas oceny uwzględniono analizowany zbiór małej liczby kryteriów oraz małej liczby wariantów decyzyjnych. Ocena pozwoliła na wyłonienie trzech metod, które otrzymały największą liczbę znaków „+”, należały do nich metody:

- AHP – 13 „+”,
- ELECTRE III – 13 „+”,
- TOPSIS – 16 „+”.

Istotnym jest fakt, że każda z metod reprezentuje inną grupę metod wielokryterialnych, co pozwoliło na przeprowadzenie eksperymentów obliczeniowych bazując na trzech różnych podejściach. W kolejnych rozdziałach rozprawy przedstawiono eksperymenty obliczeniowe z wykorzystaniem wskazanych metod.

8.7. Eksperymenty obliczeniowe przeprowadzone metodą AHP

W grupie eksperymentów przeprowadzonych metodą AHP wykonane zostały obliczenia dla czterech zdefiniowanych w rozdziale 8.6. grup interesariuszy tj.: władz miast i metropolii jako inwestora systemu car-sharingu; władz miast i metropolii jako „klienta” usług car-sharingu; operatorów usług oraz użytkowników.

Przeprowadzone analizy zostały wykonane zgodnie z założeniami teoretycznymi przedstawionymi w rozdziale 7.

W pierwszym kroku utworzony został model hierarchiczny uwzględniający kryteria zredukowane oraz możliwe scenariusze. Model ten jest zgodny z przedstawionym na rys. 14 w rozdziale 5.4.

Kolejnym krokiem było dokonanie oceny kryteriów zredukowanych parami oraz wariantów decyzyjnych w celu zebrania ocen porównania na podstawie przyjętej w metodzie AHP skali dominacji.

Szczegółowe obliczenia dla każdej z grup interesariuszy zostały przedstawione w rozdziałach 8.7.1 – 8.7.4., a zbiorczy ranking dla wszystkich interesariuszy w rozdziale 8.10.

8.7.1 Analizy dla metropolii jako inwestora

Na podstawie tabeli 36 – macierzy porównań parami przedstawionej w rozdziale 8.5, dokonano normalizacji elementów macierzy zgodnie ze wzorem (15). Wyniki normalizacji przedstawiono w tabeli 40.

Tabela 40. Wyniki normalizacji macierzy porównań parami dla metropolii jako inwestora

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
K_u	0,0769	0,0526	0,0217	0,0714	0,1000	0,1458
K_{stu}	0,1538	0,1053	0,0362	0,0714	0,1000	0,1458
$K_{oś}$	0,3846	0,3158	0,1087	0,2143	0,3000	0,0625
K_{pd}	0,0769	0,1053	0,0362	0,0714	0,1000	0,0625
K_t	0,0769	0,1053	0,0362	0,0714	0,1000	0,1458
K_{inw}	0,2308	0,3158	0,7609	0,5000	0,3000	0,4375

Źródło: opracowanie własne

Kolejno wyznaczono wartość indeksu spójności, który określa dopuszczalne odstępstwa od teoretycznej wartości macierzy porównań parami przedstawione w Tabeli 41. Obliczeń dokonano na podstawie wzoru (17):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - M}{M - 1} = \frac{6,589 - 6}{6 - 1} = 0,117$$

Następnie wyznaczono wartość współczynnika spójności CR na podstawie wzoru (18):

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,117}{1,245} = 0,094 \vee CR \leq 0,1$$

Zgodnie ze wzorem (16) wyznaczono wagi kryteriów decyzyjnych dla rozpatrywanego przypadku. Wartości wagi dla poszczególnych kryteriów przedstawiono w tabeli 41.

Tabela 41. Wartość wagi poszczególnych kryteriów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
Waga	0,078	0,102	0,231	0,075	0,089	0,424

Źródło: opracowanie własne

Kolejno na podstawie wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów (tabela 42.) obliczono znormalizowane wartości kryteriów poszczególnych wariantów, które przedstawiono w tabeli 43).

Tabela 42. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,438	40,600	0,267	0,800	1,948	2372000
S_{02}^{CS}	0,508	20,560	0,267	0,800	1,978	1769000
S_{03}^{CS}	0,450	160,600	0,333	1,000	1,938	9368000
S_{04}^{CS}	0,675	50,660	0,433	0,800	1,950	4347500
S_{05}^{CS}	0,750	10,560	0,433	0,800	2,020	1188500
S_{06}^{CS}	0,625	200,760	0,433	0,800	2,000	17390000
Suma	3,445	483,740	2,167	5,000	11,834	36435000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 43. Wartości znormalizowane kryteriów dla poszczególnych wariantów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,127	0,084	0,123	0,160	0,165	0,065
S_{02}^{CS}	0,147	0,043	0,123	0,160	0,167	0,049
S_{03}^{CS}	0,131	0,332	0,154	0,200	0,164	0,257
S_{04}^{CS}	0,196	0,105	0,200	0,160	0,165	0,119
S_{05}^{CS}	0,218	0,022	0,200	0,160	0,171	0,033
S_{06}^{CS}	0,181	0,415	0,200	0,160	0,169	0,477

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych, na podstawie których możliwe było utworzenie rankingu końcowego rozpatrywanych wariantów decyzyjnych, zgodnie ze wzorem (19). Wyniki przedstawiono w tabeli 44.

Tabela 44. Zestawienie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych

Scenariusz	Ocena wariantu decyzyjnego	Ranking
S_{01}^{CS}	0,101	5
S_{02}^{CS}	0,092	6
S_{03}^{CS}	0,218	2
S_{04}^{CS}	0,150	3
S_{05}^{CS}	0,107	4
S_{06}^{CS}	0,332	1

Źródło: opracowanie własne

Wyniki przedstawione w tabeli 44 przedstawiają ranking końcowy, w którym scenariusz S_{06}^{CS} wykazuje znaczną dominację nad resztą rozpatrywanych scenariuszy. W przedstawionym rankingu wyraźnie jest zauważalna przewaga pierwszych trzech najbardziej korzystnych rozwiązań. Należy także zwrócić uwagę na niewielkie różnice w wartości oceny wariantu decyzyjnego pomiędzy scenariuszami S_{01}^{CS} , S_{02}^{CS} oraz S_{05}^{CS} . Niewielkie różnice w ocenie wariantów mogą świadczyć o zbliżonym poziomie ważności danych scenariuszy dla respondentów.

8.7.2. Analizy dla metropolii jako „klienta” usług car-sharingowych

Na podstawie tabeli 37 – macierzy porównań parami przedstawionej w rozdziale 8.5, dokonano normalizacji elementów macierzy zgodnie ze wzorem (15). Wyniki normalizacji przedstawiono w tabeli 45.

Tabela 45. Wyniki normalizacji macierzy porównań parami dla metropolii jako „klienta”

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
K_u	0,0556	0,1364	0,0740	0,0192	0,0625	0,0556
K_{stu}	0,0556	0,1364	0,1727	0,1342	0,0625	0,1667
$K_{oś}$	0,3889	0,4091	0,5181	0,6708	0,4375	0,1667
K_{pd}	0,3889	0,1364	0,1036	0,1342	0,3125	0,5000
K_t	0,0556	0,1364	0,0740	0,0268	0,0625	0,0556
K_{inw}	0,0556	0,0455	0,0576	0,0149	0,0625	0,0556

Źródło: opracowanie własne

Kolejno wyznaczono wartość indeksu spójności, który określa dopuszczalne odstępstwa od teoretycznej wartości macierzy porównań parami przedstawionej w tabeli 45. Obliczeń dokonano na podstawie wzoru (17):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - M}{M - 1} = \frac{6,501 - 6}{6 - 1} = 0,100$$

Następnie wyznaczono wartość współczynnika spójności CR na podstawie wzoru (18):

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,100}{1,245} = 0,080 \vee CR \leq 0,1$$

Zgodnie ze wzorem (16) wyznaczono wagi kryteriów decyzyjnych dla rozpatrywanego przypadku. Wartości wagi dla poszczególnych kryteriów przedstawiono w tabeli 46.

Tabela 46. Wartości wagi dla poszczególnych kryteriów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
Waga	0,067	0,121	0,432	0,263	0,068	0,049

Źródło: opracowanie własne

Kolejno na podstawie wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów (tabela 47.) obliczono znormalizowane wartości kryteriów poszczególnych wariantów, które przedstawiono w tabeli 48.

Tabela 47. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,438	40,600	0,267	0,800	1,948	2372000
S_{02}^{CS}	0,508	20,560	0,267	0,800	1,978	1769000
S_{03}^{CS}	0,450	160,600	0,333	1,000	1,938	9368000
S_{04}^{CS}	0,675	50,660	0,433	0,800	1,950	4347500
S_{05}^{CS}	0,750	10,560	0,433	0,800	2,020	1188500
S_{06}^{CS}	0,625	200,760	0,433	0,800	2,000	17390000
Suma	3,445	483,740	2,167	5,000	11,834	36435000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 48. Wartości znormalizowane kryteriów dla poszczególnych wariantów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,127	0,084	0,123	0,160	0,165	0,065
S_{02}^{CS}	0,147	0,043	0,123	0,160	0,167	0,049
S_{03}^{CS}	0,131	0,332	0,154	0,200	0,164	0,257
S_{04}^{CS}	0,196	0,105	0,200	0,160	0,165	0,119
S_{05}^{CS}	0,218	0,022	0,200	0,160	0,171	0,033
S_{06}^{CS}	0,181	0,415	0,200	0,160	0,169	0,477

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych, na podstawie których możliwe było utworzenie rankingu końcowego rozpatrywanych wariantów decyzyjnych, zgodnie ze wzorem (19). Wyniki przedstawiono w tabeli 49.

Tabela 49. Zestawienie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych

Scenariusz	Ocena wariantu decyzyjnego	Ranking
S_{01}^{CS}	0,128	5
S_{02}^{CS}	0,124	6
S_{03}^{CS}	0,192	2
S_{04}^{CS}	0,171	3
S_{05}^{CS}	0,159	4
S_{06}^{CS}	0,226	1

Źródło: opracowanie własne

Wyniki przedstawione w tabeli 49 przedstawiają ranking końcowy, w którym scenariusz S_{06}^{CS} jest najbardziej korzystny spośród wszystkich rozpatrywanych scenariuszy. Należy także zwrócić uwagę na występującą niewielką różnicą w wartości oceny wariantu decyzyjnego pomiędzy scenariuszami S_{01}^{CS} oraz S_{02}^{CS} .

8.7.3. Analizy dla operatora systemu car-sharingu

Na podstawie tabeli 38, macierzy porównań parami przedstawionej w rozdziale 8.5, dokonano normalizacji elementów macierzy zgodnie ze wzorem (15). Wyniki normalizacji przedstawiono w tabeli 50.

Tabela 50. Wyniki normalizacji macierzy porównań parami dla operatora systemu car-sharingu – największy zysk

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
K_u	0,0927	0,1288	0,2333	0,2333	0,0550	0,0882
K_{stu}	0,0464	0,0644	0,1000	0,1667	0,0367	0,0686
$K_{oś}$	0,0132	0,0215	0,0333	0,0333	0,0122	0,0686
K_{pd}	0,0132	0,0129	0,0333	0,0333	0,0157	0,0686
K_t	0,1854	0,1931	0,3000	0,2333	0,1100	0,0882
K_{inw}	0,6490	0,5794	0,3000	0,3000	0,7703	0,6176

Źródło: opracowanie własne

Kolejno wyznaczono wartość indeksu spójności, który określa dopuszczalne odstępstwa od teoretycznej wartości macierzy porównań parami przedstawionej w tabeli 50. Obliczeń dokonano na podstawie wzoru (17):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - M}{M - 1} = \frac{6,572 - 6}{6 - 1} = 0,114$$

Następnie wyznaczono wartość współczynnika spójności CR na podstawie wzoru (18):

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,114}{1,239} = 0,092 \vee CR \leq 0,1$$

Zgodnie ze wzorem (16) wyznaczono wagi kryteriów decyzyjnych dla rozpatrywanego przypadku. Wartość wagi dla poszczególnych kryteriów przedstawiono w tabeli 51.

Tabela 51. Wartości wagi dla poszczególnych kryteriów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
Waga	0,139	0,080	0,030	0,030	0,185	0,536

Źródło: opracowanie własne

Kolejno na podstawie wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów (tabela 52) obliczono znormalizowane wartości kryteriów poszczególnych wariantów, które przedstawiono w tabeli 53).

Tabela 52. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,438	40,600	0,267	0,800	1,948	2372000
S_{02}^{CS}	0,508	20,560	0,267	0,800	1,978	1769000
S_{03}^{CS}	0,450	160,600	0,333	1,000	1,938	9368000
S_{04}^{CS}	0,675	50,660	0,433	0,800	1,950	4347500
S_{05}^{CS}	0,750	10,560	0,433	0,800	2,020	1188500
S_{06}^{CS}	0,625	200,760	0,433	0,800	2,000	17390000
Suma	3,445	483,740	2,167	5,000	11,834	36435000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 53. Wartości znormalizowane kryteriów dla poszczególnych wariantów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,1270	0,0839	0,1231	0,1600	0,1646	0,0651
S_{02}^{CS}	0,1473	0,0425	0,1231	0,1600	0,1671	0,0486
S_{03}^{CS}	0,1306	0,3320	0,1538	0,2000	0,1638	0,2571
S_{04}^{CS}	0,1959	0,1047	0,2000	0,1600	0,1648	0,1193
S_{05}^{CS}	0,2177	0,0218	0,2000	0,1600	0,1707	0,0326
S_{06}^{CS}	0,1814	0,4150	0,2000	0,1600	0,1690	0,4773

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych, na podstawie których możliwe było utworzenie rankingu końcowego rozpatrywanych wariantów decyzyjnych, zgodnie ze wzorem (19). Wyniki przedstawiono w tabeli 54.

Tabela 54. Zestawienie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych

Scenariusz	Ocena wariantu decyzyjnego	Ranking
S_{01}^{CS}	0,098	4
S_{02}^{CS}	0,089	6
S_{03}^{CS}	0,224	2
S_{04}^{CS}	0,141	3
S_{05}^{CS}	0,092	5
S_{06}^{CS}	0,356	1

Źródło: opracowanie własne

Wyniki przedstawione w tabeli 54 przedstawiają ranking końcowy, w którym scenariusz S_{06}^{CS} wykazuje znaczną dominację nad resztą rozpatrywanych scenariuszy. W przedstawionym rankingu wyraźnie jest zauważalna przewaga pierwszych trzech najbardziej korzystnych rozwiązań. Należy jednak zwrócić także uwagę na występujące niewielkie różnice w wartości oceny wariantu decyzyjnego pomiędzy scenariuszami S_{01}^{CS} , S_{02}^{CS} oraz S_{05}^{CS} .

8.7.4. Analizy dla użytkownika systemu car-sharingu

Na podstawie tabeli 39 – macierzy porównań parami przedstawionej w rozdziale 8.5, dokonano normalizacji elementów macierzy zgodnie ze wzorem (15). Wyniki normalizacji przedstawiono w tabeli 55.

Tabela 55. Wyniki normalizacji macierzy porównań parami dla użytkownika

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
K_u	0,5455	0,5538	0,2893	0,6228	0,5462	0,2535
K_{stu}	0,1364	0,1385	0,2893	0,1557	0,0607	0,2535
$K_{oś}$	0,0606	0,0154	0,0321	0,0173	0,0202	0,0141
K_{pd}	0,1364	0,1385	0,2893	0,1557	0,3035	0,2535
K_t	0,0606	0,1385	0,0964	0,0311	0,0607	0,1972
K_{inw}	0,0606	0,0154	0,0036	0,0173	0,0087	0,0282

Źródło: opracowanie własne

Kolejno wyznaczono wartość indeksu spójności, który określa dopuszczalne odstępstwa od teoretycznej wartości macierzy porównań parami przedstawionej w tabeli 55. Obliczeń dokonano na podstawie wzoru (17):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - M}{M - 1} = \frac{6,407 - 6}{6 - 1} = 0,081$$

Następnie wyznaczono wartość współczynnika spójności CR na podstawie wzoru (18):

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,081}{1,245} = 0,065 \vee CR \leq 0,1$$

Zgodnie ze wzorem (16) wyznaczono wagi kryteriów decyzyjnych dla rozpatrywanego przypadku. Wartość wagi dla poszczególnych kryteriów przedstawiono w tabeli 56.

Tabela 56. Wartości wagi dla poszczególnych kryteriów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
Waga	0,469	0,172	0,027	0,213	0,097	0,022

Źródło: opracowanie własne

Kolejno na podstawie wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów (tabela 57) obliczono znormalizowane wartości kryteriów poszczególnych wariantów, które przedstawiono w tabeli 58).

Tabela 57. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,438	40,600	0,267	0,800	1,948	2372000
S_{02}^{CS}	0,508	20,560	0,267	0,800	1,978	1769000
S_{03}^{CS}	0,450	160,600	0,333	1,000	1,938	9368000
S_{04}^{CS}	0,675	50,660	0,433	0,800	1,950	4347500

S_{05}^{CS}	0,750	10,560	0,433	0,800	2,020	1188500
S_{06}^{CS}	0,625	200,760	0,433	0,800	2,000	17390000
Suma	3,445	483,740	2,167	5,000	11,834	36435000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 58. Wartości znormalizowane kryteriów dla poszczególnych wariantów

Kryterium	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,1270	0,0839	0,1231	0,1600	0,1646	0,0651
S_{02}^{CS}	0,1473	0,0425	0,1231	0,1600	0,1671	0,0486
S_{03}^{CS}	0,1306	0,3320	0,1538	0,2000	0,1638	0,2571
S_{04}^{CS}	0,1959	0,1047	0,2000	0,1600	0,1648	0,1193
S_{05}^{CS}	0,2177	0,0218	0,2000	0,1600	0,1707	0,0326
S_{06}^{CS}	0,1814	0,4150	0,2000	0,1600	0,1690	0,4773

Źródło: opracowanie własne

Ostatnim krokiem analizy było wyznaczenie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych, na podstawie których możliwe było utworzenie rankingu końcowego rozpatrywanych wariantów decyzyjnych, zgodnie ze wzorem (19). Wyniki przedstawiono w tabeli 59.

Tabela 59. Zestawienie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych

Scenariusz	Ocena wariantu decyzyjnego	Ranking
S_{01}^{CS}	0,129	6
S_{02}^{CS}	0,131	5
S_{03}^{CS}	0,187	2
S_{04}^{CS}	0,168	3
S_{05}^{CS}	0,162	4
S_{06}^{CS}	0,223	1

Źródło: opracowanie własne

Wyniki przedstawione w tabeli 59 prezentują ranking końcowy, w którym scenariusz S_{06}^{CS} wykazuje znaczną dominację nad resztą rozpatrywanych scenariuszy. Należy jednak zwrócić uwagę, że kolejne scenariusze charakteryzują się niewielkimi różnicami pomiędzy występującymi wartościami oceny wariantu decyzyjnego. Scenariusz S_{06}^{CS} jest najbardziej korzystnym wyborem spośród rozpatrywanych scenariuszy.

8.8. Eksperymenty obliczeniowe przeprowadzone metodą ELECTRE III

W grupie eksperymentów przeprowadzonych metodą ELECTRE III wykonane zostały obliczenia dla czterech zdefiniowanych w rozdziale 8.5. grup interesariuszy tj.: władz miast i metropolii jako inwestora systemu car-sharingu; władz miast i metropolii jako „klienta” usług car-sharingu; operatorów usług oraz użytkowników.

Przeprowadzone analizy zostały wykonane zgodnie z założeniami teoretycznymi przedstawionymi w rozdziale 5.3.

W pierwszej kolejności określone zostały elementy macierzy wariantów w świetle założonych kryteriów. Kolejno określono wagi poszczególnych kryteriów w zależności od grup zdefiniowanych decydentów.

Następnie dla każdego z kryteriów obliczono progi równoważności, preferencji oraz weta, które przedstawiono w tabeli 60.

Tabela 60. Wartości progów równoważności, preferencji oraz weta w świetle rozpatrywanych kryteriów

Kryterium	Maksymalna różnica wartości kryterium (max-min) = Δ	Próg równoważności $r = 0,25\Delta$	Próg preferencji $p = 0,5\Delta$	Próg weta $v = \Delta$
K_u	0,3125	0,0781	0,1563	0,3125
K_{stu}	190,20	47,55	95,10	190,20
$K_{oś}$	0,1667	0,0417	0,0833	0,1667
K_{pd}	0,20	0,05	0,10	0,20
K_t	0,0820	0,0205	0,0410	0,0820
K_{inw}	16201500	4050375	8100750	16201500

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wzoru (9) wyznaczono wartości macierzy zgodności dla poszczególnych grup decydentów. Następnie wyznaczono wskaźniki niezgodności, zgodnie ze wzorem (10). Wyznaczone wskaźniki niezgodności posłużyły do określenia macierzy wiarygodności. Kolejno wyznaczono porządek wariantów decyzyjnych za pomocą destylacji zstępującej i wstępującej, które posłużyły do wyznaczenia rankingu końcowego.

8.8.1. Analizy dla metropolii jako inwestora

W pierwszym kroku, na podstawie wzoru (9), wyznaczono wartości macierzy zgodności, które przedstawiono w tabeli 61.

Tabela 61. Wartości macierzy zgodności C

C	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,959	0,375	0,691	0,602	0,075
S_{02}^{CS}	1,000	0,000	0,312	0,691	0,602	0,196
S_{03}^{CS}	1,000	0,915	0,000	0,691	0,602	0,185

S_{04}^{CS}	1,000	0,967	0,721	0,000	0,911	0,384
S_{05}^{CS}	1,000	1,000	0,398	1,000	0,000	0,474
S_{06}^{CS}	1,000	1,000	0,925	1,000	0,953	0,000

Źródło: opracowanie własne

Następnie wyznaczono wskaźniki niezgodności, zgodnie ze wzorem (10), według każdego z rozpatrywanych kryteriów. Wyniki macierzy wskaźników niezgodności przedstawiono w tabelach 623-67.

Tabela 62. Wartości wskaźników niezgodności według 1. kryterium

K_u	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,520	1,000	0,200
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,072	0,552	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,440	0,920	0,120
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 63. Wartości wskaźników niezgodności według 2. kryterium

K_{stu}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,262	0,000	0,000	0,684
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,473	0,000	0,000	0,895
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,156	0,000	0,000	0,578
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,578	0,000	0,000	1,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 64. Wartości wskaźników niezgodności według 3. kryterium

$K_{oś}$	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,200	0,200	0,200
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 65. Wartości wskaźników niezgodności według 4. kryterium

K_{pd}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 66. Wartości wskaźników niezgodności według 5. kryterium

K_t	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,756	0,268
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,512
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,707	0,220
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 67. Wartości wskaźników niezgodności według 6. kryterium

K_{inw}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,854
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,928
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,610
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	1,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wskaźników niezgodności można wyznaczyć wartości współczynników wiarygodności, które przedstawiono w tabeli 68.

Tabela 68. Wartości macierzy wiarygodności D

D	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,959	0,000	0,001	0,000	0,000
S_{02}^{CS}	1,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
S_{03}^{CS}	1,000	0,915	0,000	0,691	0,000	0,109
S_{04}^{CS}	1,000	0,967	0,000	0,000	0,911	0,167
S_{05}^{CS}	1,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	1,000	1,000	0,000	1,000	0,953	0,000

Źródło: opracowanie własne

Po wykonaniu destylacji zstępującej oraz wstępującej otrzymano macierz relacji przewyższenia, która została przedstawiona w tabeli 69.

Tabela 69. Wartości macierzy relacji przewyższenia L

L	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0	I	P-	P-	P-	P-
S_{02}^{CS}	I	0	P-	P-	P-	P-
S_{03}^{CS}	P+	P+	0	P+	P+	P-
S_{04}^{CS}	P+	P+	P-	0	I	P-
S_{05}^{CS}	P+	P+	P-	I	0	P-
S_{06}^{CS}	P+	P+	P+	P+	P+	0

gdzie:

I – para wariantów jest równoważna,

P+ – wariant pierwszy jest lepszy niż wariant drugi,

P- – wariant pierwszy jest gorszy niż wariant drugi.

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wartości macierzy relacji przewyższenia utworzono końcowy ranking wartości decyzyjnych, w zależności od rodzaju destylacji, które przedstawiono w tabeli 70.

Tabela 70. Ranking końcowy

Scenariusz	Destylacja wstępująca	Destylacja zstępująca	Wartość średnia - ranking
S_{01}^{CS}	3	4	3,5
S_{02}^{CS}	3	4	3,5
S_{03}^{CS}	1	2	1,5
S_{04}^{CS}	2	3	2,5
S_{05}^{CS}	2	3	2,5
S_{06}^{CS}	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Ranking końcowy przedstawiony w tabeli 70 określa, który z rozpatrywanych scenariuszy jest najbardziej optymalny pod kątem założonych kryteriów oraz ocen preferencji ekspertów. Ostatecznie najbardziej korzystny jest scenariusz S_{06}^{CS} . Warto zwrócić uwagę, że po wykonaniu destylacji wstępującej scenariusze S_{06}^{CS} oraz S_{03}^{CS} sklasyfikowane zostały na tej samej pozycji w rankingu. Dopiero wykonanie destylacji zstępującej pozwoliło na wyłonienie najlepszego scenariusza.

8.8.2. Analizy dla metropolii jako „klienta” usług car-sharingowych

Jako pierwszą, na podstawie wzoru (9) wyznaczono macierz zgodności, którą przedstawiono w tabeli 71.

Tabela 711. Wartości macierzy zgodności C

C	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,969	0,321	0,501	0,433	0,263
S_{02}^{CS}	1,000	0,000	0,314	0,501	0,433	0,359
S_{03}^{CS}	1,000	0,935	0,000	0,501	0,433	0,385
S_{04}^{CS}	1,000	0,975	0,604	0,000	0,932	0,762
S_{05}^{CS}	1,000	1,000	0,567	1,000	0,000	0,830
S_{06}^{CS}	1,000	1,000	0,737	1,000	0,960	0,000

Źródło: opracowanie własne

Następnie wyznaczono wskaźniki niezgodności, zgodnie ze wzorem (10), według każdego z rozpatrywanych kryteriów. Wyniki macierzy wskaźników niezgodności przedstawiono w tabelach 72-77.

Tabela 72. Wartości wskaźników niezgodności według 1. kryterium

K_u	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,520	1,000	0,200
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,072	0,552	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,440	0,920	0,120
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 73. Wartości wskaźników niezgodności według 2. kryterium

K_{stu}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,262	0,000	0,000	0,684
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,473	0,000	0,000	0,895
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,156	0,000	0,000	0,578
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,578	0,000	0,000	1,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 74. Wartości wskaźników niezgodności według 3. kryterium

$K_{oś}$	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,200	0,200	0,200
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 75. Wartości wskaźników niezgodności według 4. kryterium

K_{pd}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 76. Wartości wskaźników niezgodności według 5. kryterium

K_t	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,756	0,268
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,512
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,707	0,220
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 77. Wartości wskaźników niezgodności według 6. kryterium

K_{inw}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,854
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,928
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,610
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	1,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wskaźników niezgodności można wyznaczyć wartości współczynników wiarygodności, które przedstawiono w tabeli 78.

Tabela 78. Wartości macierzy wiarygodności D

D	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,969	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{02}^{CS}	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{03}^{CS}	1,000	0,935	0,000	0,501	0,000	0,305
S_{04}^{CS}	1,000	0,975	0,000	0,000	0,932	0,762
S_{05}^{CS}	1,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	1,000	1,000	0,000	1,000	0,960	0,000

Źródło: opracowanie własne

Po wykonaniu destylacji zstępującej oraz wstępującej otrzymano macierz relacji przewyższenia, która została przedstawiona w tabeli 79.

Tabela 79. Wartości macierzy relacji przewyższenia L

L	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0	I	P-	P-	P-	P-
S_{02}^{CS}	I	0	P-	P-	P-	P-
S_{03}^{CS}	P+	P+	0	P+	P+	R
S_{04}^{CS}	P+	P+	P-	0	I	P-
S_{05}^{CS}	P+	P+	P-	I	0	P-
S_{06}^{CS}	P+	P+	R	P+	P+	0

gdzie:

I – para wariantów jest równoważna,

P+ – wariant pierwszy jest lepszy niż wariant drugi,

P- – wariant pierwszy jest gorszy niż wariant drugi,

R – warianty są nieporównywalne.

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wartości macierzy relacji przewyższenia utworzono końcowy ranking wartości decyzyjnych, w zależności od rodzaju destylacji, które przedstawiono w tabeli 80.

Tabela 80. Ranking końcowy

Scenariusz	Destylacja wstępująca	Destylacja zstępująca	Wartość średnia - ranking
S_{01}^{CS}	4	4	4
S_{02}^{CS}	4	4	4
S_{03}^{CS}	1	2	1,5
S_{04}^{CS}	3	3	3
S_{05}^{CS}	3	3	3
S_{06}^{CS}	2	1	1,5

Źródło: opracowanie własne

Ranking końcowy przedstawiony w tabeli 80 określa, który z rozpatrywanych scenariuszy jest najbardziej optymalny pod kątem rozpatrywanych kryteriów oraz ocen preferencji ekspertów. Ostatecznie najbardziej korzystne okazały się scenariusze S_{06}^{CS} oraz S_{03}^{CS} . Warto zwrócić uwagę, że po wykonaniu destylacji wstępującej scenariusz S_{03}^{CS} był sklasyfikowany na pierwszej pozycji. Wykonanie destylacji zstępującej pozwoliło na uśrednienie wyników i sklasyfikowanie ich na trzech pozycjach, gdzie na każdej z pozycji znalazły się po dwa rozpatrywane scenariusze. Podkreśla to zbliżony charakter budowy sklasyfikowanych na tej samej pozycji scenariuszy. Wyłonienie najbardziej korzystnego, jednego scenariusza, w tym przypadku nie jest możliwe.

8.8.3. Analizy dla operatora usług car-sharingu

Jako pierwsze na podstawie wzoru (9) wyznaczono wartości macierzy zgodności, które przedstawiono w tabeli 81.

Tabela 81. Wartości macierzy zgodności C

C	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,914	0,482	0,831	0,646	0,030
S_{02}^{CS}	1,000	0,000	0,402	0,831	0,646	0,270
S_{03}^{CS}	1,000	0,824	0,000	0,831	0,646	0,120
S_{04}^{CS}	1,000	0,932	0,762	0,000	0,815	0,199
S_{05}^{CS}	1,000	1,000	0,354	1,000	0,000	0,384
S_{06}^{CS}	1,000	1,000	0,970	1,000	0,917	0,000

Źródło: opracowanie własne

Następnie wyznaczono wskaźniki niezgodności, zgodnie ze wzorem (10), według każdego z rozpatrywanych kryteriów. Wyniki macierzy wskaźników niezgodności przedstawiono w tabelach 82-87.

Tabela 82. Wartości wskaźników niezgodności według 1. kryterium

K_u	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,520	1,000	0,200
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,072	0,552	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,440	0,920	0,120
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 83. Wartości wskaźników niezgodności według 2. kryterium

K_{stu}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,262	0,000	0,000	0,684
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,473	0,000	0,000	0,895
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,156	0,000	0,000	0,578
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,578	0,000	0,000	1,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 84. Wartości wskaźników niezgodności według 3. kryterium

K_{os}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,200	0,200	0,200
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 85. Wartości wskaźników niezgodności według 4. kryterium

K_{pd}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 86. Wartości wskaźników niezgodności według 5. kryterium

K_t	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,756	0,268
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,512
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,707	0,220
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 87. Wartości wskaźników niezgodności według 6. kryterium

K_{inw}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,854
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,928
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,610
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	1,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wskaźników niezgodności można wyznaczyć wartości współczynników wiarygodności, które przedstawiono w tabeli 88.

Tabela 88. Wartości macierzy wiarygodności D

D	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,914	0,000	0,002	0,000	0,000
S_{02}^{CS}	1,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000
S_{03}^{CS}	1,000	0,824	0,000	0,831	0,000	0,061
S_{04}^{CS}	1,000	0,932	0,000	0,000	0,815	0,050
S_{05}^{CS}	1,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	1,000	1,000	0,000	1,000	0,917	0,000

Źródło: opracowanie własne

Po wykonaniu destylacji zstępującej oraz wstępującej otrzymano macierz relacji przewyższenia, która została przedstawiona w tabeli 89.

Tabela 89. Wartości macierzy relacji przewyższenia L

L	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0	P-	P-	P-	P-	P-
S_{02}^{CS}	P+	0	P-	P-	P-	P-
S_{03}^{CS}	P+	P+	0	R	R	P-
S_{04}^{CS}	P+	P+	R	0	P-	P-
S_{05}^{CS}	P+	P+	R	P+	0	P-
S_{06}^{CS}	P+	P+	P+	P+	P+	0

gdzie:

I – para wariantów jest równoważna,

P+ – wariant pierwszy jest lepszy niż wariant drugi,

P- – wariant pierwszy jest gorszy niż wariant drugi,

R – warianty są nieporównywalne.

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wartości macierzy relacji przewyższenia utworzono końcowy ranking wartości decyzyjnych, w zależności od rodzaju destylacji, które przedstawiono w tabeli 90.

Tabela 90. Ranking końcowy

Scenariusz	Destylacja wstępująca	Destylacja zstępująca	Wartość średnia - ranking
S_{01}^{CS}	5	5	5
S_{02}^{CS}	4	5	4,5
S_{03}^{CS}	1	4	2,5
S_{04}^{CS}	3	3	3
S_{05}^{CS}	2	2	2
S_{06}^{CS}	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Ranking końcowy przedstawiony w tabeli 90 określa, który z rozpatrywanych scenariuszy jest najbardziej optymalny pod kątem założonych kryteriów oraz ocen preferencji ekspertów. Ostatecznie najbardziej korzystny okazał się scenariusz S_{06}^{CS} . Warto zwrócić uwagę, że po wykonaniu destylacji wstępującej scenariusze S_{03}^{CS} oraz S_{06}^{CS} były sklasyfikowane na pierwszej pozycji. Wykonanie destylacji zstępującej i uśrednieniu wyników obu destylacji pozwoliło na wyłonienie najlepszego wariantu.

8.8.4. Analizy dla użytkownika usług car-sharingu

Na podstawie wzoru (9), jako pierwsze wyznaczono wartości macierzy zgodności, które przedstawiono w tabeli 91.

Tabela 91. Wartości macierzy zgodności C

C	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,955	0,583	0,505	0,407	0,213
S_{02}^{CS}	1,000	0,000	0,579	0,505	0,407	0,536
S_{03}^{CS}	1,000	0,907	0,000	0,505	0,407	0,386
S_{04}^{CS}	1,000	0,964	0,610	0,000	0,903	0,708
S_{05}^{CS}	1,000	1,000	0,593	1,000	0,000	0,805
S_{06}^{CS}	1,000	1,000	0,787	1,000	0,719	0,000

Źródło: opracowanie własne

Następnie wyznaczono wskaźniki niezgodności, zgodnie ze wzorem (10), według każdego z rozpatrywanych kryteriów. Wyniki macierzy wskaźników niezgodności przedstawiono w tabelach 92-97.

Tabela 92. Wartości wskaźników niezgodności według 1. kryterium

K_u	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,520	1,000	0,200
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,072	0,552	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,440	0,920	0,120
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 93. Wartości wskaźników niezgodności według 2. kryterium

K_{stu}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,262	0,000	0,000	0,684

S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,473	0,000	0,000	0,895
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,156	0,000	0,000	0,578
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,578	0,000	0,000	1,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 94. Wartości wskaźników niezgodności według 3. kryterium

$K_{oś}$	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,200	0,200	0,200
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 95. Wartości wskaźników niezgodności według 4. kryterium

K_{pd}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 96. Wartości wskaźników niezgodności według 5. kryterium

K_t	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,756	0,268
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,512
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,707	0,220
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Tabela 97. Wartości wskaźników niezgodności według 6. kryterium

K_{inw}	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,854
S_{02}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,928
S_{03}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{04}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,610
S_{05}^{CS}	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	1,000
S_{06}^{CS}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wskaźników niezgodności można wyznaczyć wartości współczynników wiarygodności, które przedstawiono w tabeli 98.

Tabela 98. Wartości macierzy wiarygodności D

D	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0,000	0,955	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{02}^{CS}	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_{03}^{CS}	1,000	0,907	0,000	0,505	0,000	0,306
S_{04}^{CS}	1,000	0,964	0,000	0,000	0,903	0,708
S_{05}^{CS}	1,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
S_{06}^{CS}	1,000	1,000	0,000	1,000	0,719	0,000

Źródło: opracowanie własne

Po wykonaniu destylacji zstępującej oraz wstępującej otrzymano macierz relacji przewyższenia, która została przedstawiona w tabeli 99.

Tabela 99. Wartości macierzy relacji przewyższenia L

L	S_{01}^{CS}	S_{02}^{CS}	S_{03}^{CS}	S_{04}^{CS}	S_{05}^{CS}	S_{06}^{CS}
S_{01}^{CS}	0	I	P-	P-	P-	P-
S_{02}^{CS}	I	0	P-	P-	P-	P-
S_{03}^{CS}	P+	P+	0	P+	P+	R
S_{04}^{CS}	P+	P+	P-	0	P-	P-
S_{05}^{CS}	P+	P+	P-	P+	0	P-
S_{06}^{CS}	P+	P+	R	P+	P+	0

gdzie:

I – para wariantów jest równoważna,

P+ – wariant pierwszy jest lepszy niż wariant drugi,

P- – wariant pierwszy jest gorszy niż wariant drugi,

R – warianty są nieporównywalne.

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie wartości macierzy relacji przewyższenia utworzono końcowy ranking wartości decyzyjnych, w zależności od rodzaju destylacji, które przedstawiono w tabeli 100.

Tabela 100. Ranking końcowy

Scenariusz	Destylacja wstępująca	Destylacja zstępująca	Wartość średnia - ranking
S_{01}^{CS}	5	4	4,5
S_{02}^{CS}	5	4	4,5
S_{03}^{CS}	1	2	1,5
S_{04}^{CS}	4	3	3,5
S_{05}^{CS}	3	3	3
S_{06}^{CS}	2	1	1,5

Źródło: opracowanie własne

Ranking końcowy przedstawiony w tabeli 100 określa, który z rozpatrywanych scenariuszy jest najbardziej optymalny pod kątem rozpatrywanych kryteriów oraz ocen preferencji ekspertów. Ostatecznie najbardziej korzystne okazały się scenariusze S_{03}^{CS} oraz S_{06}^{CS} . Scenariusze te wymiennie zostały sklasyfikowane na pozycji pierwszej oraz drugiej. Wyłonienie najbardziej korzystnego, jednego scenariusza, w tym przypadku nie jest możliwe.

8.9. Eksperymenty obliczeniowe z użyciem metody TOPSIS

W grupie eksperymentów przeprowadzonych metodą TOPSIS wykonane zostały obliczenia dla czterech zdefiniowanych w rozdziale 8.5. grup interesariuszy tj.: władz miast i metropolii jako inwestora systemu car-sharingu; władz miast i metropolii jako „klienta” usług car-sharingu; operatorów usług oraz użytkowników.

Przeprowadzone analizy zostały wykonane zgodnie z założeniami teoretycznymi przedstawionymi w rozdziale 5.6.

W pierwszej kolejności określone zostały elementy macierzy wariantów według analizowanych kryteriów, dla każdego z analizowanych interesariuszy.

Kolejno przyjęto wagi dla znormalizowanej macierzy decyzyjnej dla każdej z grup interesariuszy. Następnie, bazując na wzorze (21) wyznaczono oceny skorygowane o wartości wag i przedstawiono je w postaci znormalizowanej macierzy decyzyjnej z uwzględnieniem wag. W kolejnym kroku bazując na wzorze (22) wyznaczono rozwiązania referencyjne idealne, oraz bazując na wzorze (23) rozwiązania referencyjne antyidealne. Następnie, bazując na wzorach (24) oraz (25) określono odległość wariantów decyzyjnych od rozwiązania referencyjnego idealnego oraz antyidealnego, na podstawie których, korzystając ze wzoru (26) wyznaczono współczynnik rankingowy wariantów decyzyjnych. W ostatnim kroku utworzono ranking końcowy wariantów dla każdej z grup interesariuszy.

Szczegółowe obliczenia dla poszczególnych grup interesariuszy zostały przedstawione w rozdziałach 8.9.1-8.9.4, a zestawienie dla wszystkich decydentów w rozdziale 8.10.

8.9.1. Analizy dla Metropolii jako inwestora

Pierwszym krokiem analizy było utworzenie macierzy decyzyjnej, która została zaprezentowana w tabeli 101.

Tabela 101. Macierz decyzyjna

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,438	40,60	0,2667	0,8	1,948	2372000
S_{02}^{CS}	0,508	20,56	0,2667	0,8	1,978	1769000
S_{03}^{CS}	0,450	160,60	0,3330	1	1,938	9368000
S_{04}^{CS}	0,675	50,66	0,4330	0,8	1,950	4347500
S_{05}^{CS}	0,750	10,56	0,4330	0,8	2,020	1188500
S_{06}^{CS}	0,625	200,76	0,4330	0,8	2,000	17390000

Źródło: opracowanie własne

Kolejno, bazując na wzorze (20) dokonano normalizacji macierzy decyzyjnej. Znormalizowana macierz decyzyjna została zaprezentowana w tabeli 102.

Tabela 102. Znormalizowana macierz decyzyjna

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,305	0,153	0,295	0,390	0,403	0,116
S_{02}^{CS}	0,354	0,077	0,295	0,390	0,409	0,086
S_{03}^{CS}	0,314	0,603	0,369	0,488	0,401	0,458
S_{04}^{CS}	0,470	0,190	0,480	0,390	0,404	0,212
S_{05}^{CS}	0,523	0,040	0,480	0,390	0,418	0,058
S_{06}^{CS}	0,435	0,754	0,480	0,390	0,414	0,849

Źródło: opracowanie własne

Następnie, na podstawie wzoru (21) wyznaczono oceny skorygowane o wartości wag i przedstawiono je w postaci znormalizowanej macierzy decyzyjnej z uwzględnieniem wag. Została ona zaprezentowana w tabeli 103.

Tabela 103. Macierz znormalizowana z uwzględnieniem wag (macierz ocen skorygowanych)

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,024	0,016	0,068	0,029	0,036	0,049
S_{02}^{CS}	0,028	0,008	0,068	0,029	0,037	0,037
S_{03}^{CS}	0,024	0,062	0,085	0,037	0,036	0,194
S_{04}^{CS}	0,037	0,019	0,111	0,029	0,036	0,090
S_{05}^{CS}	0,041	0,004	0,111	0,029	0,037	0,025
S_{06}^{CS}	0,034	0,077	0,111	0,029	0,037	0,360

Źródło: opracowanie własne

Kolejno, bazując na wzorze (22) wyznaczono rozwiązania referencyjne idealne, oraz bazując na wzorze (23) rozwiązania referencyjne antyidealne. Zostały one przedstawione w tabeli 104.

Tabela 104. Zestawienie rozwiązań referencyjnych (idealnych) oraz referencyjnych antyidealnych

Kryterium	Rozwiązanie idealne	Rozwiązanie antyidealne
K_u	0,024	0,041
K_{stu}	0,004	0,077
$K_{oś}$	0,068	0,111
K_{pd}	0,029	0,037
K_t	0,037	0,036
K_{inw}	0,360	0,025

Źródło: opracowanie własne

Następnie, bazując na wzorach (24) oraz (25) określono odległość pomiędzy wariantem decyzyjnym a rozwiązaniem referencyjnym idealnym i antyidealnym. Otrzymane odległości zostały zaprezentowane w tabeli 105.

Tabela 105. Odległość wariantu decyzyjnego od rozwiązania referencyjnego idealnego oraz antyidealnego

Scenariusz	Odległość od rozwiązania idealnego	Odległość od rozwiązania antyidealnego
S_{01}^{CS}	0,311	0,081
S_{02}^{CS}	0,324	0,083
S_{03}^{CS}	0,177	0,173
S_{04}^{CS}	0,274	0,088
S_{05}^{CS}	0,339	0,073
S_{06}^{CS}	0,085	0,336

Źródło: opracowanie własne

W kolejnym kroku, na podstawie wzoru (26) wyznaczony został współczynnik rankingowy wariantów, który pozwolił na utworzenie końcowego rankingu wariantów. Końcowy ranking wariantów decyzyjnych został przedstawiony w tabeli 106.

Tabela 106. Końcowy ranking wariantów

Scenariusz	Współczynnik rankingowy	Ranking
S_{01}^{CS}	0,206	4
S_{02}^{CS}	0,205	5
S_{03}^{CS}	0,494	2
S_{04}^{CS}	0,242	3
S_{05}^{CS}	0,178	6
S_{06}^{CS}	0,798	1

Źródło: opracowanie własne

Ranking końcowy przedstawiony w tabeli 106 określa, który z rozpatrywanych scenariuszy jest najbardziej optymalny pod kątem przyjętych kryteriów oraz ocen preferencji ekspertów. Ostatecznie, najbardziej korzystny okazał się scenariusz S_{06}^{CS} . Bazując na wartości współczynnika rankingowego stwierdzono, że wariant S_{06}^{CS} bardzo silnie dominuje nad pozostałymi rozpatrywanymi scenariuszami. Różnica współczynnika rankingowego dla wariantu S_{06}^{CS} oraz S_{03}^{CS} , który sklasyfikowano na drugim miejscu w rankingu wariantów wynosi 0,304. Warto zaznaczyć, że wariant sklasyfikowany jako trzeci (S_{04}^{CS}) mocno odbiega od współczynnika rankingowego wariantu pierwszego oraz drugiego. Ponadto, warianty sklasyfikowane na czwartej oraz piątej pozycji osiągnęły pod względem współczynnika rankingowego bardzo zbliżone do siebie wartości. Najgorszym wariantem okazał się scenariusz S_{05}^{CS} odbiegając od wariantu sklasyfikowanego na pierwszej pozycji w rankingu o 0,620.

8.9.2. Analizy dla metropolii jako „klienta” usług car-sharingowych

Pierwszym krokiem analizy było utworzenie macierzy decyzyjnej, która została zaprezentowana w tabeli 107.

Tabela 107. Macierz decyzyjna

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,438	40,60	0,2667	0,8	1,948	2372000
S_{02}^{CS}	0,508	20,56	0,2667	0,8	1,978	1769000
S_{03}^{CS}	0,450	160,60	0,333	1	1,938	9368000
S_{04}^{CS}	0,675	50,66	0,433	0,8	1,950	4347500
S_{05}^{CS}	0,750	10,56	0,433	0,8	2,020	1188500
S_{06}^{CS}	0,625	200,76	0,433	0,8	2,000	17390000

Źródło: opracowanie własne

Kolejno, bazując na wzorze (20) dokonano normalizacji macierzy decyzyjnej. Znormalizowana macierz decyzyjna została zaprezentowana w tabeli 108.

Tabela 108. Znormalizowana macierz decyzyjna

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,305	0,153	0,295	0,390	0,403	0,116
S_{02}^{CS}	0,354	0,077	0,295	0,390	0,409	0,086
S_{03}^{CS}	0,314	0,603	0,369	0,488	0,401	0,458
S_{04}^{CS}	0,470	0,190	0,480	0,390	0,404	0,212
S_{05}^{CS}	0,523	0,040	0,480	0,390	0,418	0,058
S_{06}^{CS}	0,435	0,754	0,480	0,390	0,414	0,849

Źródło: opracowanie własne

Następnie, na podstawie wzoru (21) wyznaczono oceny skorygowane o wartości wag i przedstawiono je w postaci znormalizowanej macierzy decyzyjnej z uwzględnieniem wag. Macierz została zaprezentowana w tabeli 109.

Tabela 109. Macierz znormalizowana z uwzględnieniem wag (macierz ocen skorygowanych)

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,020	0,019	0,127	0,103	0,028	0,006
S_{02}^{CS}	0,024	0,009	0,127	0,103	0,028	0,004
S_{03}^{CS}	0,021	0,073	0,159	0,128	0,027	0,022
S_{04}^{CS}	0,032	0,023	0,207	0,103	0,028	0,010
S_{05}^{CS}	0,035	0,005	0,207	0,103	0,029	0,003
S_{06}^{CS}	0,029	0,091	0,207	0,103	0,028	0,041

Źródło: opracowanie własne

Kolejno, bazując na wzorze (22) wyznaczono rozwiązania referencyjne idealne, oraz bazując na wzorze (23) rozwiązania referencyjne antyidealne. Zostały one przedstawione w tabeli 110.

Tabela 110. Zestawienie rozwiązań referencyjnych idealnych oraz antyidealnych

Kryterium	Rozwiązanie idealne	Rozwiązanie antyidealne
k_u	0,035	0,020
k_{stu}	0,091	0,005
$k_{oś}$	0,207	0,127
k_{pd}	0,128	0,103
k_t	0,027	0,029
k_{inw}	0,003	0,041

Źródło: opracowanie własne

Następnie, bazując na wzorach (24) oraz (25) określono odległość pomiędzy wariantem decyzyjnym a rozwiązaniem referencyjnym idealnym i antyidealnym. Otrzymane odległości zostały zaprezentowane w tabeli 111.

Tabela 111. Odległość wariantu decyzyjnego od rozwiązania idealnego oraz antyidealnego

Scenariusz	Odległość od rozwiązania idealnego	Odległość od rozwiązania antyidealnego
S_{01}^{CS}	0,112	0,038
S_{02}^{CS}	0,118	0,038
S_{03}^{CS}	0,056	0,082
S_{04}^{CS}	0,074	0,088
S_{05}^{CS}	0,090	0,090
S_{06}^{CS}	0,047	0,118

Źródło: opracowanie własne

W kolejnym kroku, na podstawie wzoru (26) wyznaczony został współczynnik rankingowy wariantów, który pozwolił na utworzenie końcowego rankingu wariantów. Końcowy ranking wariantów decyzyjnych został przedstawiony w tabeli 112.

Tabela 112. Końcowy ranking wariantów

Scenariusz	Współczynnik rankingowy	Ranking
S_{01}^{CS}	0,254	5
S_{02}^{CS}	0,242	6
S_{03}^{CS}	0,592	2
S_{04}^{CS}	0,545	3
S_{05}^{CS}	0,498	4
S_{06}^{CS}	0,717	1

Źródło: opracowanie własne

Ranking końcowy przedstawiony w tabeli 112 określa, który z rozpatrywanych scenariuszy jest najbardziej optymalny pod kątem założonych kryteriów oraz ocen preferencji ekspertów. Ostatecznie, najbardziej korzystny okazał się scenariusz S_{06}^{CS} . Bazując na wartościach współczynnika rankingowego stwierdzono, że w klasyfikowanych wariantach nie występuje duże zróżnicowanie. Scenariusz S_{06}^{CS} przewyższa scenariusz S_{03}^{CS} o wartość współczynnika rankingowego równą 0,125. Z kolei wariant czwarty (S_{05}^{CS}) charakteryzuje się wartością współczynnika rankingowego zbliżoną do wariantu trzeciego (S_{03}^{CS}). Najgorzej sklasyfikowane zostały warianty S_{01}^{CS} oraz S_{02}^{CS} prezentując podobną wartość współczynnika rankingowego, różną od siebie tylko o 0,012.

8.9.3. Analizy dla operatora usług car-sharingu

Pierwszym krokiem analizy było utworzenie macierzy decyzyjnej, która została zaprezentowana w tabeli 113.

Tabela 113. Macierz decyzyjna

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,438	40,60	0,2667	0,8	1,948	2372000
S_{02}^{CS}	0,508	20,56	0,2667	0,8	1,978	1769000
S_{03}^{CS}	0,450	160,60	0,333	1	1,938	9368000
S_{04}^{CS}	0,675	50,66	0,433	0,8	1,950	4347500
S_{05}^{CS}	0,750	10,56	0,433	0,8	2,020	1188500
S_{06}^{CS}	0,625	200,76	0,433	0,8	2,000	17390000

Źródło: opracowanie własne

Kolejno, bazując na wzorze (20) dokonano normalizacji macierzy decyzyjnej. Znormalizowana macierz decyzyjna została zaprezentowana w tabeli 114.

Tabela 114. Znormalizowana macierz decyzyjna

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,305	0,153	0,295	0,390	0,403	0,116
S_{02}^{CS}	0,354	0,077	0,295	0,390	0,409	0,086
S_{03}^{CS}	0,314	0,603	0,369	0,488	0,401	0,458
S_{04}^{CS}	0,470	0,190	0,480	0,390	0,404	0,212
S_{05}^{CS}	0,523	0,040	0,480	0,390	0,418	0,058
S_{06}^{CS}	0,435	0,754	0,480	0,390	0,414	0,849

Źródło: opracowanie własne

Następnie, na podstawie wzoru (21) wyznaczono oceny skorygowane o wartości wag i przedstawiono je w postaci znormalizowanej macierzy decyzyjnej z uwzględnieniem wag. Macierz zaprezentowano w tabeli 115.

Tabela 115. Macierz znormalizowana z uwzględnieniem wag (macierz ocen skorygowanych)

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,042	0,012	0,009	0,012	0,075	0,062
S_{02}^{CS}	0,049	0,006	0,009	0,012	0,076	0,046
S_{03}^{CS}	0,043	0,049	0,011	0,014	0,074	0,245
S_{04}^{CS}	0,065	0,015	0,015	0,012	0,075	0,114
S_{05}^{CS}	0,072	0,003	0,015	0,012	0,077	0,031
S_{06}^{CS}	0,060	0,061	0,015	0,012	0,077	0,455

Źródło: opracowanie własne

Kolejno, bazując na wzorze (22) wyznaczono rozwiązania referencyjne idealne, oraz bazując na wzorze (23) rozwiązania referencyjne antyidealne. Zostały one przedstawione w tabeli 116.

Tabela 116. Zestawienie rozwiązań referencyjnych idealnych oraz antyidealnych

Kryterium	Rozwiązanie idealne	Rozwiązanie antyidealne
K_u	0,042	0,072
K_{stu}	0,003	0,061
$K_{oś}$	0,009	0,015
K_{pd}	0,012	0,014
K_t	0,077	0,074
K_{inw}	0,455	0,031

Źródło: opracowanie własne

Następnie, bazując na wzorach (24) oraz (25) określono odległość pomiędzy wariantem decyzyjnym a rozwiązaniem referencyjnym idealnym i antyidealnym. Otrzymane odległości zostały zaprezentowane w tabeli 117.

Tabela 117. Odległość wariantu decyzyjnego od rozwiązania idealnego oraz antyidealnego

Scenariusz	Odległość od rozwiązania idealnego	Odległość od rozwiązania antyidealnego
S_{01}^{CS}	0,393	0,065
S_{02}^{CS}	0,409	0,062
S_{03}^{CS}	0,215	0,216
S_{04}^{CS}	0,343	0,095
S_{05}^{CS}	0,425	0,058
S_{06}^{CS}	0,061	0,424

Źródło: opracowanie własne

W kolejnym kroku, na podstawie wzoru (26) wyznaczony został współczynnik rankingowy wariantów, który pozwolił na utworzenie końcowego rankingu wariantów. Końcowy ranking wariantów decyzyjnych został przedstawiony w tabeli 118.

Tabela 118. Końcowy ranking wariantów

Scenariusz	Współczynnik rankingowy	Ranking
S_{01}^{CS}	0,142	4
S_{02}^{CS}	0,131	5
S_{03}^{CS}	0,502	2
S_{04}^{CS}	0,217	3
S_{05}^{CS}	0,119	6
S_{06}^{CS}	0,875	1

Źródło: opracowanie własne

Ranking końcowy przedstawiony w tabeli 118 określa, który z rozpatrywanych scenariuszy jest najbardziej optymalny pod kątem założonych kryteriów oraz ocen preferencji ekspertów. Ostatecznie, najbardziej korzystny okazał się scenariusz S_{06}^{CS} . Wariant ten bardzo silnie dominuje nad pozostałymi rozpatrywanymi możliwościami. W porównaniu do wariantu najgorszego (S_{01}^{CS}) różnica wartości współczynnika rankingowego wynosi 0,733. Warto także zwrócić uwagę na wartość współczynnika rankingowego dla wariantu drugiego oraz trzeciego. Scenariusz, który osiągnął drugą pozycję odbiega o wartość współczynnika rankingowego równą 0,373 w stosunku do wariantu najlepszego. Z kolei wariant trzeci o wartość wynoszącą aż 0,658. Takie wartości wskazują na wysoką wartość preferencji decydentów dla scenariuszy S_{06}^{CS} oraz S_{03}^{CS} . Warianty trzeci, czwarty, piąty i szósty osiągnęły relatywnie niską wartość dla interesariuszy.

8.9.4. Analizy dla użytkownika systemu car-sharingu

Pierwszym krokiem analizy było utworzenie macierzy decyzyjnej, która została zaprezentowana w tabeli 119.

Tabela 119. Macierz decyzyjna

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	K_{os}	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,438	40,60	0,2667	0,8	1,948	2372000
S_{02}^{CS}	0,508	20,56	0,2667	0,8	1,978	1769000
S_{03}^{CS}	0,450	160,60	0,3330	1	1,938	9368000
S_{04}^{CS}	0,675	50,66	0,4330	0,8	1,950	4347500
S_{05}^{CS}	0,750	10,56	0,4330	0,8	2,020	1188500
S_{06}^{CS}	0,625	200,76	0,4330	0,8	2,000	17390000

Źródło: opracowanie własne

Kolejno, bazując na wzorze (20) dokonano normalizacji macierzy decyzyjnej. Znormalizowana macierz decyzyjna została zaprezentowana w tabeli 120.

Tabela 120. Znormalizowana macierz decyzyjna

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,305	0,153	0,295	0,390	0,403	0,116
S_{02}^{CS}	0,354	0,077	0,295	0,390	0,409	0,086
S_{03}^{CS}	0,314	0,603	0,369	0,488	0,401	0,458
S_{04}^{CS}	0,470	0,190	0,480	0,390	0,404	0,212
S_{05}^{CS}	0,523	0,040	0,480	0,390	0,418	0,058
S_{06}^{CS}	0,435	0,754	0,480	0,390	0,414	0,849

Źródło: opracowanie własne

Następnie, na podstawie wzoru (21) wyznaczono oceny skorygowane o wartości wag i przedstawiono je w postaci znormalizowanej macierzy decyzyjnej z uwzględnieniem wag. Macierz została zaprezentowana w tabeli 121.

Tabela 121. Macierz znormalizowana z uwzględnieniem wag (macierz ocen skorygowanych)

$S_n \backslash K_n$	K_u	K_{stu}	$K_{oś}$	K_{pd}	K_t	K_{inw}
S_{01}^{CS}	0,143	0,026	0,008	0,083	0,039	0,003
S_{02}^{CS}	0,166	0,013	0,008	0,083	0,040	0,002
S_{03}^{CS}	0,147	0,104	0,010	0,104	0,039	0,010
S_{04}^{CS}	0,220	0,033	0,013	0,083	0,039	0,005
S_{05}^{CS}	0,245	0,007	0,013	0,083	0,041	0,001
S_{06}^{CS}	0,204	0,130	0,013	0,083	0,040	0,019

Źródło: opracowanie własne

Kolejno, bazując na wzorze (22) wyznaczono rozwiązania referencyjne idealne, oraz bazując na wzorze (23) rozwiązania referencyjne antyidealne. Zostały one przedstawione w tabeli 122.

Tabela 122. Zestawienie rozwiązań referencyjnych idealnych oraz antyidealnych

Kryterium	Rozwiązanie idealne	Rozwiązanie antyidealne
K_u	0,245	0,143
K_{stu}	0,130	0,007
$K_{oś}$	0,013	0,008
K_{pd}	0,104	0,083
K_t	0,039	0,041
K_{inw}	0,001	0,019

Źródło: opracowanie własne

Następnie, bazując na wzorach (24) oraz (25) określono odległość pomiędzy wariantem decyzyjnym a rozwiązaniem referencyjnym idealnym i antyidealnym. Otrzymane odległości zostały zaprezentowane w tabeli 123.

Tabela 123. Odległość wariantu decyzyjnego od rozwiązania idealnego oraz antyidealnego

Scenariusz	Odległość od rozwiązania idealnego	Odległość od rozwiązania antyidealnego
S_{01}^{CS}	0,147	0,025
S_{02}^{CS}	0,143	0,029
S_{03}^{CS}	0,102	0,100
S_{04}^{CS}	0,102	0,083
S_{05}^{CS}	0,125	0,104
S_{06}^{CS}	0,049	0,138

Źródło: opracowanie własne

W kolejnym kroku, na podstawie wzoru (26) wyznaczony został współczynnik rankingowy wariantów, który pozwolił na utworzenie końcowego rankingu wariantów. Końcowy ranking wariantów decyzyjnych został przedstawiony w tabeli 124.

Tabela 124. Końcowy ranking wariantów

Scenariusz	Współczynnik rankingowy	Ranking
S_{01}^{CS}	0,148	6
S_{02}^{CS}	0,170	5
S_{03}^{CS}	0,495	2
S_{04}^{CS}	0,448	4
S_{05}^{CS}	0,454	3
S_{06}^{CS}	0,737	1

Źródło: opracowanie własne

Ranking końcowy przedstawiony w tabeli 124 określa, który z rozpatrywanych scenariuszy jest najbardziej optymalny pod kątem założonych kryteriów oraz ocen preferencji ekspertów. Ostatecznie, najbardziej korzystny okazał się scenariusz S_{06}^{CS} . Co istotne, zważono, że w wariantach sklasyfikowanych na drugiej, trzeciej oraz czwartej pozycji występuje bardzo małe zróżnicowanie współczynnika rankingowego. Wynosi ono 0,041 pomiędzy wariantem drugim (S_{03}^{CS}) a trzecim (S_{05}^{CS}). Z kolei różnica pomiędzy trzecim (S_{05}^{CS}) a czwartym (S_{04}^{CS}) scenariuszem wynosiła 0,006. Można zatem stwierdzić, że scenariusze S_{05}^{CS} i S_{04}^{CS} osiągnęły niemal taki sam poziom preferencji interesariuszy. Najgorzej sklasyfikowane zostały warianty S_{02}^{CS} oraz S_{01}^{CS} prezentując podobną wartość współczynnika rankingowego, różną od siebie tylko o 0,022.

8.10. Zestawienie uzyskanych wyników, omówienie rankingów scenariuszy

Bazując na wykonanych w rozdziałach 8.7-8.9 analizach z wykorzystaniem trzech metod wielokryterialnych tj. AHP, ELECTRE III oraz TOPSIS, uzyskano końcowe rankingi scenariuszy możliwych do wdrożenia na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii w zależności od grupy interesariuszy.

Z punktu widzenia metropolii reprezentującej miasta, które chciałyby zainwestować we wdrożenie usług systemu car-sharingu najbardziej preferowanym scenariuszem okazał się wariant S_{06}^{CS} , który wiąże się z wdrożeniem na terenie metropolii systemu usług typu free-floating z dodatkowymi usługami w postaci możliwości wcześniejszej rezerwacji pojazdu, usługi door to door, czy możliwości wykupienia usług pakietowych. Co istotne, wariant ten uplasował się na pierwszej pozycji spośród wszystkich analiz, niezależnie od wykonanej metody. Ponadto, na uwagę zasługuje także wariant S_{03}^{CS} , bazujący także na usługach funkcjonujących w systemie free-floatingu, jednak bez usług dodatkowych. Wynik ten wskazuje, że z punktu widzenia metropolii jako inwestora, najistotniejszym jest zapewnienie jej mieszkańcom jak największej dostępności do usługi car-sharingu oraz jak największej elastyczności korzystania z usług. Zwycięski scenariusz daje metropolii możliwość utworzenia własnego systemu car-sharingu lub nawiązania współpracy z konkretnym operatorem car-sharingu, który świadczyć będzie usługi na zasadzie car-sharingu metropolitalnego. Ponadto scenariusz free-floatingu, gdzie metropolia jest inwestorem daje możliwość utworzenia dodatkowych miejsc parkingowych dla użytkowników systemu wśród lokalizacji różnego rodzaju obiektów użyteczności publicznej znajdującej się na terenie metropolii. Szczegółowe, zbiorcze zestawienie scenariuszy dla metropolii jako inwestora zostało przedstawione w tabeli 125.

Tabela 125. Zestawienie zbiorcze scenariuszy decyzyjnych dla metropolii jako inwestora

Metoda wielokryterialna	Ranking końcowy scenariuszy
AHP	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{05}^{CS} > S_{01}^{CS} > S_{02}^{CS}$
ELECTRE III	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > \begin{matrix} S_{04}^{CS} \\ S_{05}^{CS} \end{matrix} > \begin{matrix} S_{01}^{CS} \\ S_{02}^{CS} \end{matrix}$
TOPSIS	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{01}^{CS} > S_{02}^{CS} > S_{05}^{CS}$

Źródło: opracowanie własne

Z punktu widzenia metropolii reprezentującej gminy, które są otwarte na funkcjonowanie na ich terenie dowolnego lub dowolnych operatorów systemów car-sharingu najbardziej preferowanym scenariuszem okazał się wariant S_{06}^{CS} czyli system bazujący na systemie free-floatingu z dodatkowymi usługami. Scenariusz ten dominuje w każdej z analizowanych metod. Co jednak istotne, różnice w ocenach kolejnych wariantów decyzyjnych tj. różnica w stosunku do wariantu drugiego do trzeciego i czwartego jest niewielki w niezależnie od eksperymentów obliczeniowych. Taki wynik wskazuje, że z punktu widzenia metropolii jako obszaru otwartego na dowolnych operatorów istotnym jest, aby niezależnie od typu systemu, funkcjonował on i mógł stanowić wsparcie dla istniejącej oferty transportowej regionu. Ponadto, z punktu widzenia metropolii jako inwestora najważniejszym celem wdrożenia systemu car-sharingu został określony cel integracyjny. Szczegółowe, zbiorcze zestawienie scenariuszy dla metropolii jako „klienta” operatorów car-sharingu zostało przedstawione w tabeli 126.

Tabela 126. Zestawienie zbiorcze scenariuszy decyzyjnych dla metropolii jako „klienta” operatorów usług car-sharingu

Metoda wielokryterialna	Ranking końcowy scenariuszy
AHP	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{05}^{CS} > S_{01}^{CS} > S_{02}^{CS}$
ELECTRE III	$\begin{matrix} S_{06}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{01}^{CS} \\ S_{03}^{CS} > S_{05}^{CS} > S_{02}^{CS} \end{matrix}$
TOPSIS	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{05}^{CS} > S_{01}^{CS} > S_{02}^{CS}$

Źródło: opracowanie własne

Z punktu widzenia operatora usług car-sharingu, którego głównym celem jest osiągnięcie ekonomicznego zysku z oferowanych serwisów najbardziej preferowanym scenariuszem okazał się wariant S_{06}^{CS} , który wiąże się ze wdrożeniem na terenie metropolii systemu usług typu free-floating z dodatkowymi usługami w postaci możliwości wcześniejszej rezerwacji pojazdu, usługi door to door czy możliwości wykupienia usług pakietowych. Co istotne, wariant ten uplasował się na pierwszej pozycji pośród wszystkich analiz, niezależnie od wykonanej metody. Ponadto, biorąc pod uwagę uzyskane w rankingach wartości ocen wariant S_{06}^{CS} silnie przewyższał pozostałe warianty w przypadku analiz wykonanych metodami AHP czy TOPSIS. Na drugiej pozycji uplasował się wariant S_{03}^{CS} , również bazujący na usługach car-sharingu typu free-floating. Dodatkowo, wskazywanym przez dwie metody wariantem jest scenariusz S_{04}^{CS} czyli udostępnianie pojazdów w systemie strefowym. Z punktu widzenia operatora tego rodzaju system jest pod kątem inwestycyjnym bardziej ekonomicznym rozwiązaniem w stosunku do systemów rozproszonych. Jednak jego ograniczoność strefowa może doprowadzić do mniejszego zainteresowania nim potencjalnych użytkowników, w porównaniu z systemami free-floatingu. Ponadto, zgodnie z wynikami metody ELECTRE III wartym do rozważenia wariantem jest scenariusz S_{05}^{CS} , który stanowi system bazowy z dodatkowymi usługami. Z perspektywy operatora taki rodzaj systemu może okazać się nieopłacalny, ponieważ wiąże się z koniecznością inwestycji w utworzenie często wysokokosztowych baz z uwagi na ceny gruntów na terenie miasta. Wariant ten został odrzucony przez dwie pozostałe metody. Ponadto, z punktu widzenia metropolii jako klienta najważniejszym celem wdrożenia systemu car-sharingu został określony cel prodostępnościowy. Szczegółowe, zbiorcze zestawienie scenariuszy dla metropolii jako inwestora zostało przedstawione w tabeli 127.

Tabela 127. Zestawienie zbiorcze scenariuszy decyzyjnych dla operatora usług car-sharingu

Metoda wielokryterialna	Ranking końcowy scenariuszy
AHP	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{01}^{CS} > S_{02}^{CS} > S_{05}^{CS}$
ELECTRE III	$S_{06}^{CS} > S_{05}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{02}^{CS} > S_{01}^{CS}$
TOPSIS	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{01}^{CS} > S_{02}^{CS} > S_{05}^{CS}$

Źródło: opracowanie własne

Z punktu widzenia użytkownika usług car-sharingu, którego głównym celem jest ekonomiczne podróżowanie dodatkowym środkiem transportu indywidualnego na terenie danego miejskiego systemu transportowego najbardziej preferowanym scenariuszem okazał się wariant S_{06}^{CS} , który wiąże się z wdrożeniem na terenie metropolii systemu usług typu free-floating z dodatkowymi usługami w postaci możliwości wcześniejszej rezerwacji pojazdu, usługi door to door, czy możliwości wykupienia usług pakietowych. W przypadku metody ELECTRE III scenariusz ten uplasował się ex aequo ze scenariuszem S_{03}^{CS} , czyli usługami free-floatingu. W przypadku pozostałych dwóch analiz wariant ten znalazł się nad drugiej pozycji. Taki wynik wskazuje na to, że dla użytkowników bardzo istotna jest możliwość swobodnego wynajmu i zwrotu pojazdu, jak również jego dostępność w obrębie założonej strefy. Warto także zwrócić uwagę, że w metodach AHP oraz ELECTRE III osiągnięto niewielkie różnice ocen preferencji pomiędzy pozostałymi wariantami decyzyjnymi. Może to oznaczać, że w przypadku użytkowników większe znaczenie od rodzaju świadczonych usług może mieć rzeczywiste występowanie jakiegokolwiek rodzaju systemu, który sprawnie funkcjonować będzie na terenie metropolii. Ponadto, z punktu widzenia użytkownika najważniejszym celem wdrożenia systemu car-sharingu został określony cel integracyjny. Szczegółowe, zbiorcze zestawienie scenariuszy dla użytkownika zostało przedstawione w tabeli 128.

Tabela 128. Zestawienie zbiorcze scenariuszy decyzyjnych dla użytkownika usług car-sharingu

Metoda wielokryterialna	Ranking końcowy scenariuszy
AHP	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{05}^{CS} > S_{02}^{CS} > S_{01}^{CS}$
ELECTRE III	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{05}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{01}^{CS} > S_{02}^{CS}$
TOPSIS	$S_{06}^{CS} > S_{03}^{CS} > S_{05}^{CS} > S_{04}^{CS} > S_{02}^{CS} > S_{01}^{CS}$

Źródło: opracowanie własne

8.11. Podsumowanie i omówienie eksperymentów obliczeniowych

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych z wykorzystaniem metod AHP, ELECTRE III oraz TOPSIS dla czterech różnych grup interesariuszy uzyskano zbliżone wyniki w zakresie rankingu scenariuszy możliwych do wdrożenia na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Analizując zbiorczo wszystkie grupy interesariuszy, najbardziej korzystnym wariantem okazał się scenariusz S_{06}^{CS} , którym było rozwiązanie dotyczące wdrożenia systemu car-sharingu typu free-floating z dodatkowymi funkcjonalnościami w zakresie możliwości wcześniejszej rezerwacji pojazdu oraz możliwości dostarczenia zarezerwowanego pojazdu bezpośrednio do klienta systemu (door to door). Drugim z najczęściej powtarzających się wariantów na najwyższych pozycjach w rankingu był scenariusz S_{03}^{CS} . Rozwiązanie to dotyczyło wdrożenia systemu car-sharingu centralnego rozproszonego typu free-floating. Oba warianty charakteryzuje możliwość wdrożenia systemu free-floatingu dającego użytkownikom największą spośród wszystkich rozpatrywanych wariantów swobodę przemieszczania się. Również w przypadku obu wariantów występuje największa elastyczność w przypadku zwrotu pojazdu. Warto zaznaczyć, że scenariusze S_{06}^{CS}

oraz S_{05}^{CS} zapewniają użytkownikom największą dostępność do oferowanych usług poprzez najszerszy zakres obszarowy. Ponadto, warto zaznaczyć, że duże zainteresowanie pośród badanych ekspertów wzbudziły usługi dodatkowe wchodzące w zakres wariantu S_{06}^{CS} tj. usługa rezerwacyjna oraz usługa door to door. Usługi te wpłynęły także na uplasowanie się na trzecim i czwartym miejscu w rankingach decyzyjnych scenariuszy S_{04}^{CS} oraz S_{05}^{CS} . Oba scenariusze dają także możliwość wcześniejszej rezerwacji pojazdu i/lub podstawienia go bezpośrednio do klienta. Scenariusze różniły się od siebie typem zastosowanego systemu. W przypadku scenariusza S_{04}^{CS} był to system strefowy, a w przypadku S_{05}^{CS} system bazowy.

Podsumowując sporządzony ranking dla wszystkich analizowanych grup interesariuszy, z uwagi na najwyższe pozycje w rankingach otrzymane w każdej z metod podczas wykonywania eksperymentów obliczeniowych, rekomenduje się wdrożenie na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii scenariusza S_{06}^{CS} czyli systemu car-sharingu typu free-floating z dodatkowymi funkcjonalnościami w zakresie możliwości wcześniejszej rezerwacji pojazdu oraz możliwości dostarczenia zarezerwowanego pojazdu bezpośrednio do klienta systemu (door to door).

Warto wspomnieć, że system bazujący na wykorzystaniu scenariusza zbliżonego do wariantu S_{06}^{CS} funkcjonuje na przykład na terenie niemieckiego miasta Bremen czy malezyjskiego Kuala Lumpur. Miasto Bremen jest często przytaczane jako jeden z najlepszych wzorców europejskiego systemu car-sharingu [162-164] [240-241], dlatego też wdrożenie tego rodzaju systemu może rozwiązać obecne problemy GZM z ograniczonymi obszarowo systemami car-sharingu, które nie w pełni spełniają oczekiwania użytkowników. Należy podkreślić, że system car-sharingu rozproszonego jest najbardziej swobodnym i prodostępnościowym rozwiązaniem, a oferowane usługi dodatkowe w postaci systemu rezerwacji i usługi door to door mogą realnie wpłynąć na jego atrakcyjność. Co istotne, na terenie Polski nie funkcjonuje obecnie system car-sharingu, który pozwalałaby na skorzystanie z opcji door to door. Wprowadzenie tego rodzaju usługi byłoby także innowacją rynkową zarówno w skali metropolii jak i kraju.

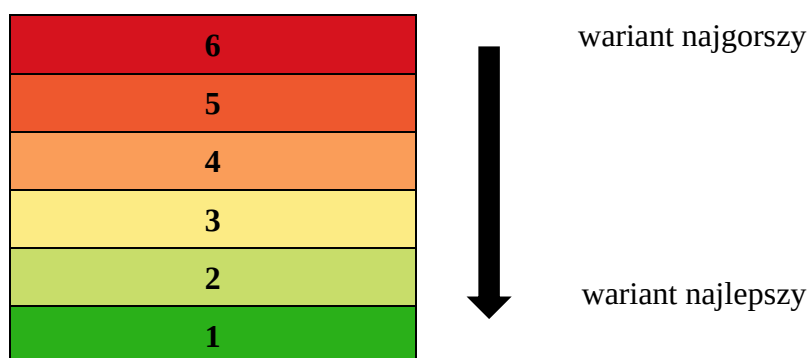
Biorąc pod uwagę warianty, które uzyskały najgorszy wynik w rozpatrywanych rankingach, proponuje się odrzucić scenariusze S_{01}^{CS} oraz S_{02}^{CS} . Wskazane scenariusze charakteryzowały się najmniejszą dostępnością dla użytkowników. Scenariusz S_{01}^{CS} zakładał dostępność systemu wyłącznie w sprecyzowanych strefach, z kolei scenariusz S_{02}^{CS} wiązał się z koniecznością udania się do wyznaczonej bazy w przypadku chęci wynajmu pojazdu lub dokonania jego zwrotu.

Otrzymane w analizach wyniki wskazują, że głównymi cechami, którymi powinny charakteryzować się systemy wdrażane w metropolii powinny być wysoka dostępność obszarowa, jak największa elastyczność podczas rezerwacji i zwrotu pojazdu, a także występowanie usług dodatkowych takich jak możliwość wcześniejszej rezerwacji, czy występowanie usług pakietowych. Co ciekawe, mniej istotne okazało się zróżnicowanie flotowe zarówno pod kątem klasy pojazdu jak i jej typu, w stosunku do ich dostępności na terenie miejskiego systemu transportowego.

8.12. Analiza wrażliwości – symulacje

Zgodnie z algorytmem (rys. 15) ostatnim etapem modelu było dokonanie analizy wrażliwości otrzymanych wyników na zmiany ich wartości początkowych. W tym celu przeprowadzono symulacje zmiany wartości wag kryteriów przyjętych dla analizowanego obszaru Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Analiza bazowała na wykonaniu eksperymentów obliczeniowych z użyciem wcześniej stosowanych metod tj. ELECTRE III, AHP, TOPSIS. Bazując na wzorze (77) dokonano zmian wartości wag wszystkich kryteriów danego scenariusza o wartości +/- 5 % (mała zmiana), +/- 25% (średnia zmiana) oraz +/- 50% (znacząca zmiana).

Z uwagi na to, że analiza wrażliwości jest reprezentatywna dla wszystkich interesariuszy, w tabelach 129-146 przedstawione zostały obliczenia przeprowadzone dla metropolii jako „inwestora”. Rezultatem wykonanych symulacji są rankingi końcowe otrzymane dla każdego z rozpatrywanych kryteriów. W celu lepszego zobrazowania graficznego zmian w rankingach posłużono się legendą przedstawioną na rysunku 28.



Rys. 29. Zmiany wartości pozycji rankingowych w analizie wrażliwości - legenda
Źródło: opracowanie własne

Tabela 129. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 1. kryterium – metoda AHP

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	5	5	5	5	5	5	5
S_{02}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	4	4	4	4	4	4	4
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 130. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 1. kryterium – metoda ELECTRE III

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{02}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{03}^{CS}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
S_{04}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{05}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 131. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 1. kryterium – metoda TOPSIS

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	4	4	4	4	4	4	4
S_{02}^{CS}	4	4	4	5	5	5	5
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	5	5	5	6	6	6	6
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 132. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 2. kryterium – metoda AHP

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	5	5	5	5	5	5	5
S_{02}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	4	4	4	4	4	4	4
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 133. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 2. kryterium – metoda ELECTRE III

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{02}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{03}^{CS}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
S_{04}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{05}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 134. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 2. kryterium – metoda TOPSIS

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	4	4	4	4	4	4	4
S_{02}^{CS}	5	5	5	5	5	5	5
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 135. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 3. kryterium – metoda AHP

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	4	4	5	5	5	5	5
S_{02}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	5	5	4	4	4	4	4
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 136. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 3. kryterium – metoda ELECTRE III

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{02}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{03}^{CS}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
S_{04}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{05}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 137. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 3. kryterium – metoda TOPSIS

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	4	4	4	4	4	4	3
S_{02}^{CS}	4	5	5	5	5	5	4
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	5
S_{05}^{CS}	5	6	6	6	6	6	6
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 138. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 4. kryterium – metoda AHP

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	5	5	5	5	5	5	5
S_{02}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	4	4	4	4	4	4	4
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 139. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 4. kryterium – metoda ELECTRE III

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{02}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{03}^{CS}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
S_{04}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{05}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 140. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 4. kryterium – metoda TOPSIS

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	4	4	4	4	4	4	4
S_{02}^{CS}	5	5	5	5	5	5	5
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 141. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 5. kryterium – metoda AHP

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	5	5	5	5	5	5	5
S_{02}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	4	4	4	4	4	4	4
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 142. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag kryterium 5 – metoda ELECTRE III

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{02}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{03}^{CS}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
S_{04}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{05}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 143. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag kryterium 5 – metoda TOPSIS

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	4	4	4	4	4	4	4
S_{02}^{CS}	5	5	5	5	5	5	5
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 144. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 6. kryterium – metoda AHP

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	5	5	5	5	5	4	4
S_{02}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	3	3	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	4	4	4	4	4	5	5
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 145. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 6. kryterium – metoda ELECTRE III

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{02}^{CS}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
S_{03}^{CS}	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
S_{04}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{05}^{CS}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Tabela 146. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 6. kryterium – metoda TOPSIS

Pozycja scenariusza w rankingu końcowym [-]							
β $S_{1,...,m}^{CS}$	-0,5	-0,25	-0,05	0	0,05	0,25	0,5
S_{01}^{CS}	4	4	5	4	4	4	4
S_{02}^{CS}	3	3	4	5	5	5	5
S_{03}^{CS}	2	2	2	2	2	2	2
S_{04}^{CS}	5	5	3	3	3	3	3
S_{05}^{CS}	6	6	6	6	6	6	6
S_{06}^{CS}	1	1	1	1	1	1	1

Źródło: opracowanie własne

Rezultaty symulacji dla zmiany wartości wag poszczególnych kryteriów o wartości od -50% do 50% z punktu widzenia metropolii jako „inwestora” wskazują, że scenariusz S_{06}^{CS} stanowi najlepsze rozwiązanie. Wariant znajduje się na pierwszej pozycji niezależnie od małej, średniej czy też znacznej zmiany wartości wag poszczególnych kryteriów. Spełnienie kryteriów uplasowania wariantu na pierwszej pozycji niezależnie od zmian wartości wag, przy jednoczesnej najmniejszej wrażliwości na ich zmiany świadczy o stabilności rozwiązania oraz opracowanego modelu. Wykonana analiza wrażliwości potwierdza więc rozwiązanie otrzymane w wyniku przeprowadzenia eksperymentów obliczeniowych (Etap 6).

9. Podsumowanie i perspektywy dalszych badań

Niniejsza rozprawa doktorska poświęcona była tematyce kształtowania i implementacji usług car-sharingu na wybranym obszarze miejskim. Z uwagi na szeroki zakres aspektów związanych z odpowiednim dopasowaniem usług krótkoterminowego wynajmu pojazdów do potrzeb interesariuszy, za główny cel pracy postawiono opracowanie modelu kształtowania i wdrażania systemu car-sharing, który pozwoli na ocenę i wybór najlepszego rozwiązania dla analizowanego przypadku.

Dążąc do osiągnięcia celu pracy przedstawionego w rozdziale 6. zaproponowany został autorski model kształtowania i wdrażania usług car-sharingu na wybranym obszarze bazujący na wnioskowaniu wielokryterialnym. Opracowana została procedura postępowania wskazująca kolejne działania prowadzące do jak najlepszego dopasowania odpowiedniego rodzaju systemu car-sharingu do analizowanych warunków. W utworzonym modelu określony został zbiór kryteriów, jakie mogą wpływać na kształtowanie i wdrażanie, a także późniejsze funkcjonowanie systemu na terenie miasta/miast/metropolii. Kolejno, dla opracowanego zbioru kryteriów, zidentyfikowany został schemat konstrukcji scenariuszy, na podstawie którego wybranych elementów możliwe jest opracowywanie własnych form wariantów systemu car-sharingu w zależności od potrzeb analizowanego obszaru. Wzór scenariusza zawierał aspekty bazujące na światowych trendach w zakresie usług car-sharingu (modele funkcjonowania) w połączeniu z innowacyjnymi dla car-sharingu usługami dodatkowymi (usługi wcześniejszej rezerwacji, usługi door to door). Ponadto, prezentował on kwestie związane z poziomem przystępności dla użytkownika, co stanowić może wsparcie dla początkujących w tematyce wdrażania usług car-sharingu interesariuszy. W zaproponowanej koncepcji przedstawiono także kryteria doboru metody wielokryterialnego wspomagania decyzji w zależności od potrzeb analityka. Opracowany model odniesiono do studium przypadku Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii.

Dzięki definicji spójnej grupy kryteriów decyzyjnych obejmujących sześć głównych aspektów związanych z usługami car-sharingu tj. aspektów ekonomiczno-technicznych, transportowych, społecznych, środowiskowych i innych (prawnych, demograficznych itd.) oraz wyodrębnieniu 23 subkryteriów autorka przeprowadziła proces modelowania preferencji decydentów. Co istotne, w modelach preferencji uwzględnione zostały ich wzajemnie sprzeczne interesy, a poziomy preferencji poszczególnych kryteriów (wagi) oraz szczegółowe cele dotyczące wdrażania usług car-sharingu na analizowanym obszarze zostały określone na podstawie przeprowadzonych badań eksperckich. Zaproponowana została koncepcja sześciu scenariuszy decyzyjnych wdrożenia usług car-sharingu na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Scenariusze analizowane były z punktu widzenia czterech głównych z punktu widzenia metropolii interesariuszy. Przeprowadzone analizy pozwoliły na utworzenie rankingów wariantów decyzyjnych dla każdego z rozważanych w badaniach interesariuszy. Rankingi te pozwoliły na opracowanie końcowego, uszeregowanego rankingu scenariuszy decyzyjnych. Pozwoliły także na zaproponowanie rozwiązania kompromisowego.

W realizowanej rozprawie autorka udowodniła, że zastosowanie wybranych metod wielokryterialnych umożliwia wspomaganie decyzji i wybór rozwiązań podczas procesu kształtowania i wdrażania systemu car-sharingu. Wykazany w rankingach końcowych kierunek postępowania jest istotną wskazówką dla szerokiego grona interesariuszy podczas podejmowania decyzji dotyczących wdrażania rozwiązania najbardziej spełniającego ich potrzeby.

W ramach niniejszej rozprawy doktorskiej uzyskane zostały zarówno osiągnięcia metodyczne, jak i praktyczne. Do osiągnięć metodycznych zaliczyć można:

- opracowanie uniwersalnej autorskiej metody kształtowania i wdrażania usług car-sharingu, bazującej na systemowym ujęciu analizowanego problemu,
- opracowanie modelu matematycznego usług car-sharingu funkcjonujących w miejskich systemach transportowych,
- zidentyfikowanie zbioru 150 kryteriów mających wpływ na kształtowanie, wdrażanie i późniejsze funkcjonowanie systemów car-sharingu w miejskich systemach transportowych,
- opracowanie koncepcji tworzenia scenariuszy do kształtowania i wdrażania systemów car-sharingu na wybranym obszarze.
- opracowanie zbioru sześciu scenariuszy decyzyjnych prezentujących różnorodne podejście do możliwości wdrażania systemów car-sharingu na analizowanym obszarze,
- sformułowanie problemu kształtowania i wdrażania systemu car-sharingu, jako wielokryterialnego zagadnienia decyzyjnego uwzględniającego sprzeczne wzajemnie preferencje interesariuszy wykazane podczas realizacji badań eksperckich,
- opracowanie modeli preferencji decydentów na podstawie wykonanych badań eksperckich,
- dokonanie analizy porównawczej metod wielokryterialnego wspomagania decyzji wraz z zaproponowaniem narzędzia dopasowania odpowiednich metod do wykonywanych analiz decyzyjnych,
- dokonanie sprawdzenia możliwości zastosowania metod wielokryterialnego wspomagania decyzji do rozważanego problemu poprzez przeprowadzenie szeregu eksperymentów obliczeniowych,
- wykonanie analiz mających na celu określenie wrażliwości zmian wartości wag kryteriów na rankingi końcowe scenariuszy,
- opracowanie rekomendacji końcowych.

Z kolei za osiągnięcia praktyczne uznać można:

- dokonanie sprawdzenia opracowanego modelu na przykładzie obszaru Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii,
- udowodnienie, że scenariusz S_{06}^{CS} (car-sharing typu free-floating z dodatkowymi funkcjonalnościami w zakresie możliwości wcześniejszej rezerwacji pojazdu oraz możliwości dostarczenia zarezerwowanego pojazdu bezpośrednio do klienta systemu door to door), jest najlepszym wariantem decyzyjnym dla wszystkich rozważanych interesariuszy studium przypadku,
- przedstawienie szczegółowego algorytmu postępowania podczas kształtowania i wdrażania usług car-sharingu na analizowanym obszarze, co stanowi instrukcję dla zainteresowanych usługami podmiotów,
- wskazanie praktycznych możliwości wdrożenia systemów car-sharingu nawiązujących do przedstawionych scenariuszy na światowych przykładach funkcjonowania,
- wskazanie obszarów miejskich i metropolitalnych, gdzie systemy car-sharingu mogą zostać wdrożone bazując na opracowanym zestawieniu dotyczącym celów wdrożenia systemów car-sharingu,
- zaproponowanie metody uniwersalnej, możliwej do wykorzystania zarówno dla pojedynczego ośrodka miejskiego jak i obszarów metropolitalnych,

- przeprowadzenie symulacji mającej na celu sprawdzenie wrażliwości modelu na wymuszone zmiany danych wejściowych. Symulacja podkreśliła stabilność opracowanego modelu.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania należy stwierdzić, że w niniejszej rozprawie **zakończony cel**, poprzez *opracowanie modelu kształtowania i wdrażania systemu car-sharing opartego o wnioskowanie wielokryterialne, pozwalającego na ocenę i wybór zbioru scenariuszy dla danego obszaru*, został spełniony.

Rozwiązano także wszystkie z czterech postawionych problemów szczegółowych. Opracowany w rozprawie model oraz wykonane i zweryfikowane na studium przypadku Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii analizy pozwoliły na **udowodnienie tezy**, iż *zastosowanie wybranych metod wielokryterialnych umożliwia wspomaganie decyzji i wybór rozwiązań podczas procesu kształtowania i wdrażania systemu car-sharing*.

Przedstawiony w niniejszej rozprawie model kształtowania i wdrażania usług car-sharingu ma potencjał rozwojowy. Rozwijając zaproponowaną metodę w dalszych badaniach planuje się:

- zastosowanie opracowanej metody dla innych obszarów miejskich, w tym innych obszarów metropolitalnych,
- zastosowanie opracowanej metody dla obszarów zagranicznych,
- rozszerzenie analiz o zaproponowanie nowych rodzajów scenariuszy, np. w przypadku wystąpienia nowego rodzaju usług oferowanych w systemach car-sharingu, wartych do rozważenia dla poprawy funkcjonowania miejskich systemów transportowych,
- wykonanie analiz z uwzględnieniem innych metod wielokryterialnego wspomagania decyzji,
- zastosowanie opracowanej metody do istniejących już systemów car-sharingu celem weryfikacji ich optymalnego funkcjonowania na terenie analizowanego obszaru.

Literatura

1. Abbasi, S.; Ko, J.; Kim, J. Carsharing station location and demand: Identification of associated factors through Heckman selection models. *Journal of Cleaner Production* **2021**, 279, 123846.
2. Almeida, F.; Silva, P.; Leite, J. Proposal of a Carsharing System to Improve Urban Mobility. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management* **2017**, 12(3), 32-44.
3. Alonso, J.; Lamata, M. *A statistical criterion of consistency in the Analytic Hierarchy Process*, MDAI: Berlin, Niemcy, 2005.
4. Alonso J.; Lamata M. Consistency in the Analytic Heierarhy Proess: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* **2006**, 14(4), 445-459.
5. Ambrosino, G.; Nelson, J.; Boero, M.; Pettinelli, I. Enabling intermodal urban transport through complementary services: From Flexible Mobility Services to the Shared Use Mobility Agency: Workshop 4. Developing inter-modal transport systems. *Research in Transportation Economics* **2016**, 59, 179-184.
6. Amos, F. Strengthening Municipal Government. *Cities* **1989**, 6, 1989, 202-208.
7. Anderson, D.; Sweeney, D.; Williams, T.; Martin, R. *An Introduction to Management Science: A quantitative approach to decision making*, South-Western College Publishinghouse: Mason, USA, 2007.
8. Anholcer, D. *An introduction to management science: quantitative approaches to decision making*, Hampshire: San Francisco, USA, 2009.
9. Auto News portal internetowy, Berlin car-sharing. Dostęp online: <https://www.autonews.com/article/20171120/MOBILITY/171129975/psa-closes-failing-berlin-car-sharing> (z dnia 10.04.2019)
10. Automotive Blog – Autoblog, Car-sharing in San Diego, Dostęp online: <https://www.autoblog.com/2016/11/21/car2go-san-diego-shut-down/> (z dnia 10.04.2019).
11. Awasthi, A.; Breuil, D.; Singh Chauhan, S.; Parent, M.; Reveillere, T. A Multicriteria Decision Making Approach for Carsharing Stations Selection. *Journal of Decision Systems* **2007**, 16:1, 57-78.
12. Awto car-sharing – operator usług car-sharingu. Dostęp online: www.awto.com (z dnia 28.12.2019).
13. Azkuna, I. Smart Cities Study: International study on the situation of ICT, innovation and Knowledge in cities. Dostęp online: http://www.uclg-digitalcities.org/app/uploads/2015/06/en_smartcitiesstudy.pdf (z dnia 10.05.2019)
14. Balac, M.; Becker, H.; Ciari, F.; Axhausen, K. Modeling competing free-floating carsharing operators – A case study for Zurich, Switzerland. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* **2019**, 98, 101-117.
15. Becker, H.; Ciari, F.; Axhausen, K. Comparing car-sharing schemes in Switzerland: User groups and usage patterns. *Transportation Research Part A* **2017**, 97, 17–29.
16. Benevolo, C.; Dameri, R.; D’Auria, B. Smart Mobility in Smart City. In T. Torre, A. Braccini. [w:] *Empowering Organizations. Lecture Notes in Information Systems and Organisation*; Spinelli, R. (Eds.); Springer: Cham, Szwajcaria 2016; 13-28.
17. Berger, R. *Car-sharing in China. How to operate a successful business*. Roland Berger: Global Consulting: Monachium, Niemcy; 2017, 1-16.
18. Bieńczyk, K.; Kiciński, M.; Bieńczyk M. The methodology of multiplecriteria decisionmaking for selecting the heating medium for multifunctional sterilizer, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* **2016**, 61(1), 10-13.
19. BMW leasing. Dostęp online: <https://www.bmw.pl/pl/topics/offers-and-services/bmw-financial-services/bmw-leasing.html> (z dnia 10.06.2020)
20. Boldrini, C.; Bruno, R.; Conti, M. Characterising demand and usage patterns in a large station-based car-sharing system. [w:] *The 2nd IEEE INFOCOM workshop on smart cities and urban computing*; IEEE: USA; 2016, 1-6.

21. Boldrini, C.; Bruno, R.; Larabi, M. Weak signals in the mobility landscape: car sharing in the European cities. *EPJ Data Science* **2019**, *8*, 7.
22. Brinkel, N.; AlSkaif, T.; van Sark, W. The Impact of Transitioning to Shared Electric Vehicles on Grid Congestion and Management. [w:] *International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*; Istanbul, Turcja; 2020, 1-6.
23. Britton, E. A Short History of Early Car Sharing Innovations. *World Transport Policy & Practice* **1999**, *5*(3), 9-15.
24. Brokes, C., A parametrized region-growing programme for site allocation on raster suitability maps. *International Journal of Geographical Information Systems* **1997**, *11*(4), 375-396.
25. Brummell, A.; Mac Gillyvray, G. Introduction to scenarios, Scenarios to Strategy Inc. Dostęp online: <http://www.scenarios2strategy.com/pdf/> (z dnia 11.11.2017).
26. Burkhardt, J. Limitations of mass transportation and individual vehicle systems for older persons. [w:] *Mobility and transportation in the elderly*. Schaie, K.W.; Pietrucha, M. (Eds.) Springer: Berlin, Niemcy; 2000, 97–124.
27. Burkhardt, J; Millard-Ball, A. Who is Attracted to Carsharing? *Transportation Research Record* **2006**, *1986*(1), 98–105.
28. Carrese, S.; D'Andreagiovanni, F.; Giacchetti, T.; Nardin, A.; Zamberlan, L. An optimization model for renting public parking slots to carsharing services. *Transportation Research Procedia* **2020**, *45*, 499-506.
29. Car-sharing 4Mobility – Strona internetowa operatora. Dostęp online: <http://4mobility.pl/> (z dnia 18.04.2018).
30. Car-sharing Germany – Portal internetowy, Car-sharing statistic 2019, Dostęp online: https://carsharing.de/sites/default/files/uploads/pm_carsharing-statistik_2019_englisch.pdf (z dnia 05.02.2020).
31. Car2Go car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: <https://www.car2go.com/US/en/?>
32. Carmine car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: <https://carmine.ma>
33. Carrot car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: <http://carrotcargo.mx>
34. CBC Radio-Canada – Portal informacyjny, Car2Go car-sharing leaving Calgary, Dostęp online: <https://www.cbc.ca/news/canada/calgary/car2go-carsharing-leaving-calgary-1.5300253> (z dnia 05.02.2020).
35. CBC Radio-Canada – Portal informacyjny, Car2Go leaving Toronto, Dostęp online: <https://www.cbc.ca/news/canada/toronto/car2go-leaving-toronto-1.4675923> (z dnia 05.02.2020).
36. Cervero, R. The transit metropolis: a 21st century perspective. [w:] *Transportation, Land Use, and Environmental Planning*, Deakin, E. (Eds.); Elsevier; 2020; 131-149.
37. Chakhar, S.; Mousseau, V. GIS-based multicriteria spatial modeling generic framework. *International Journal of Geographical Information Science* **2008**, *22*(11-12), 1159-1196.
38. Cheng-Min, F. New prospects of transportation mobility. *IATSS Research* **2014**, *38*(1), 22-26.
39. Church, R. L.; Gerrard, R. A.; Gilpin, M.; Stine, P. Constructing cell-based habitat patches useful in conservation planning. *Annals of the Association of American Geographers* **2003**, *93*(4), 814-827.
40. Ciari, F.; Bock, B.; Balmer, M. Modeling station-based and free-floating carsharing demand: a test case study for Berlin, Germany. *Emerging and Innovative Public Transport and Technologies*, Transportation Research Board of the National Academies: Washington, USA 2014.
41. Cieśla, M. Wspomaganie decyzji w procesie organizacji przewozów kurierskich. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej: Gliwice, Polska, 2020.
42. Cieśla, M.; Sobota, A.; Jacyna, M. Multi-Criteria Decision Making Process in Metropolitan Transport Means Selection Based on the Sharing Mobility Idea. *Sustainability* **2020**, *12*, 7231.
43. City by Bike – Operator usług bike-sharingu. Dostęp online: <https://citybybike.pl/mapa-stacji/> (z dnia 04.06.2020).

44. Civitas Project – Strona internetowa poświęcona projektowi, Car-sharing, Dostęp online: <http://civitas.eu/car-independent/car-sharing> (z dnia 20.03.2018).
45. Click2Go car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: <http://click2go.pl> (z dnia 25.03.2018)
46. Commission of the European Communities, Green Paper on the Impact of Transport on the Environment: A Community Strategy for “Sustainable Mobility”. Komisja Europejska: Bruksela, Belgia, 1992.
47. Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the regions: Together Towards Competitive and Resource-Efficient Urban Mobility. Komisja Europejska, Bruksela, Belgia, 2013.
48. Commission Expert Group on Transport and Environment - WORKING GROUP I: Defining an environmentally sustainable transport system. Komisja Europejska, Luksemburg, 2000.
49. Communauto car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: <https://communauto.com> (z dnia 15.08.2018)
50. Cybertrick – oprogramowanie dla systemów sharingowych. Dostęp online: <https://cybertrick.pl> (z dnia 15.08.2020).
51. Dandl, F.; Bogenberger, K. Comparing Future Autonomous Electric Taxis with an Existing Free-Floating Carsharing System. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 2019, 20(6), 2037-2047.
52. Di Dio, S. From smart to lean: How to design for better cities, happier citizens and save the world, Altralinea Edizioni: Rzym, Włochy, 2018.
53. Długookresowa Strategia Rozwoju Kraju - Polska 2030. Trzecia fala nowoczesności. Dostęp online: http://kigeit.org.pl/FTP/PRCIP/Literatura/002_Strategia_DSRK_PL2030_RM.pdf (z dnia 04.02.2020).
54. Doherty, M.; Sparrow, F.; Sinha, K. Public use of Autos: Mobility Enterprise Project. *ASCE Journal of Transportation Engineering* 1987, 113(1), 84-94.
55. Dong, X.; Cai, Y.; Cheng, J.; Hu, B.; Sun, H. Understanding the Competitive Advantages of Car Sharing from the Travel-Cost Perspective. *International Journal Environmental Research and Public Health* 2020, 17, 4666.
56. Doscar Club car-sharing – Operator usług car-sharingu. Dostęp online: <http://www.doscar.club/> (z dnia 15.10.2019)
57. Dowling, R.; Kent, J. Practice and public-private partnerships in sustainable transport governance: The case of car sharing in Sydney, Australia. *Transport Policy* 2015, 40, 58-64.
58. DriveNow car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: <http://drive-now.com> (z dnia 15.10.2019)
59. Durbach, I., Scenario planning in the analytic hierarchy process. *Futures and Foresight Science*, 2019, 1(2), 1-12.
60. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/40/UE z dnia 7 lipca 2010 r. w sprawie ram wdrażania inteligentnych systemów transportowych w obszarze transportu drogowego oraz interfejsów z innymi rodzajami transportu. Dostęp online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2010:207:FULL&from=ES> (z dnia 20.11.2019)
61. EasyShare car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: www.easy-share.pl (z dnia 11.10.2018)
62. eCar car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: www.tauron.pl/ecar (z dnia 02.03.2019)
63. Eltis – Portal internetowy, The urban mobility observatory, Carsharing in La Rochelle. Dostęp online: <http://www.eltis.org/discover/case-studies/carsharing-la-rochelle> (z dnia 20.03.2018).
64. Encyklopedia PWN – konurbacja. Dostęp online: <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/konurbacja;3925418.html> (z dnia 02.01.2021)
65. European Commission, The Sharing Economy: Accessibility Based Business Models for Peer-to-Peer Markets, Business Innovation Observatory, Contract No

- 190/PP/ENT/CIP/12/C/N03C01. Dostęp online: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/13413/attachments/2/translations/en/renditions/native> (z dnia 10.03.2020).
66. EvCard car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: evcard.cn (z dnia 10.08.2019).
 67. Felson, M.; Spaeth, J. Community Structure and Collaborative Consumption: A routine activity approach. *American Behavioral Scientist* **1978**, 21, 614–624.
 68. Ferrero, F.; Perboli, G.; Rosano, M.; Vesco, A. Car-sharing services: An annotated review, *Sustainable Cities and Society* **2018**, 37, 501–518.
 69. Ficoń, K., Badania operacyjne stosowane. Modele i aplikacje, BEL Studio: Warszawa, Polska, 2006.
 70. Firkorn, J.; Müller, M. What will be the environmental effects of new free-floating car-sharing systems? The case of car2go in Ulm. *Ecological Economics* **2011**, 70(8), 1519–1528.
 71. Folkestad, C.; Hansen, N.; Fagerholt, K.; Andersson, H.; Pantuso, G. Optimal charging and repositioning of electric vehicles in a free-floating carsharing system. *Computers & Operations Research* **2020**, 113, 104771.
 72. Frost&Sullivan, Future of Carsharing Market to 2025, Technology Advancements, Market Consolidation and Government Initiatives to Influence Market Growth Over the Next Decade. Dostęp online: <https://store.frost.com/future-of-carsharing-market-to-2025.html> (z dnia 06.10.2020)
 73. Garcia-Cascales, M.; Lamata, M., Solving a decision problem with linguistic information. *Pattern Recognition Letters* **2007**, 28(16), 2284–2294.
 74. Gas World – Portal internetowy, Linde to close world's first fuel cell car sharing service. Dostępny online: <https://www.gasworld.com/linde-to-close-worlds-first-fuel-cell-car-sharing-service/2014327.article> (z dnia 15.11.2020).
 75. Geneletti, D. Multi-criteria analysis. LIAISE Toolbox. Dostęp online: <http://beta.liaise-toolbox.eu/ia-methods/multi-criteria-analysis> (z dnia 15.07.2020).
 76. Geum, Y.; Lee, S. Combining technology roadmap and system dynamics simulation to support scenario-planning: A case of car-sharing service. *Computers & Industrial Engineering* **2014**, 71(1), 37–49.
 77. Gliwicki rower miejski – Operator usług bike-sharingu. Dostęp online: <https://gliwickirower.pl> (z dnia 20.01.2021).
 78. Global Market Insight, Car Sharing Market Size by Model (P2P, Station-Based, Free-Floating), By Business Model (Round Trip, One Way), By Application (Business, Private), Industry Analysis Report, Regional Outlook (U.S., Canada, UK, Germany, France, Italy, Spain, Russia, Turkey, China, India, Japan, South Korea, Taiwan, Malaysia, Singapore, Australia, Brazil, Mexico, GCC, South Africa), Growth Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2018 – 2024. Dostęp online: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/carsharing-market> (z dnia 14.12.2020).
 79. Główny Instytut Ochrony Środowiska. Indeks Jakości Powietrza. Dostęp online: <http://powietrze.gios.gov.pl/pjp/current/> (z dnia 15.01.2021).
 80. Graphical Research – Portal internetowy, Car-sharing market. Dostęp online: https://www.graphicalresearch.com/industry-insights/1001/APAC-car-sharing-market?mod=article_inline (z dnia 14.12.2020).
 81. Green Car Reports Portal – Portal internetowy, Electric car-sharing in San Diego. Dostęp online: https://www.greencarreports.com/news/1102918_san-diego-car2go-car-sharing-service-drops-electric-smarts-for-gasoline-models (z dnia 11.10.2020).
 82. Green Congress Portal – Portal internetowy, Electro-car-sharing with Car2Go. Dostęp online: <http://www.greencarcongress.com/2017/06/20170627-car2go.html> (z dnia 11.10.2020).
 83. GreenGoo car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: greengoo.eu (z dnia 10.09.2019)

84. Grindlay, A.; Molero, E.; Miralles-Giash, C.; Lizarraga, C. Environmental impacts of everyday mobility in Andalusia (Spain): towards a sustainable scenario? [w:] C, The Sustainable City; Brebbia, A.; Florez-Escobar, W. (Eds.); WIT Press, 2015, 373-384.
85. GUS – rozwój motoryzacji. Dostęp online: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-lacznosc/> (z dnia 01.03.2020).
86. Guitouni, A.; Martel, J-M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA Method. *European Journal of Operational Research* **1998**, 109(2), 501-521.
87. Hamari, J.; Sjöklint M., Ukkonen A. The sharing economy: Why people participate in collaborative consumption. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, Volume 67, Issue 9, 2045-2306, 2016.
88. Hammond, J.; Keeney, R. L.; Raiffa, H. *Smart choices: a practical guide to making better life decisions*. Harvard Business Review Press: Boston, USA, 2002.
89. Harms, S., Truffer, B. *The emergence of a nationwide carsharing co-operative in Switzerland, Research Report*. EAWAG: Dübendorf, Niemcy, 1998.
90. Heijden K., Scenarios: *The Art of Strategic Conversation*. Wiley: Chichester, Wielka Brytania, 1996.
91. Hejmanowska, B.; Hnat, E. Wielokryterialna analiza lokalizacji zabudowy na przykładzie gminy Podegrodzie. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* **2009**, 20, 109-121.
92. Hu, B.; Sun, Y.; Sun, H.; Dong, X. A Contrastive Study on Travel Costs of Car-Sharing and Taxis Based on GPS Trajectory Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2020**, 17, 9446.
93. Hui, Y.; Ding, M.; Qian, C.; Wang, W.; Xu, Q. Research on the operational characteristics of car sharing service stations: A case study of a car sharing program in Hangzhou. *World Conference on Transport Research - WCTR 2016 Shanghai*, Elsevier, 2016, 140-4152.
94. Hui, Y.; Dign, M.; Zheng, K.; Lou, D. Observing Trip Chain Characteristics of Round-Trip Carsharing Users in China: A Case Study Based on GPS Data in Hangzhou City. *Sustainability* **2017**, 9, 949.
95. Hwang, C.; Lin, M. *Group decision making under multiple criteria*. Springer: Berlin, Niemcy, 1987.
96. Info GZM- Portal informacyjny Górośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Dostęp online: <http://infogzm.metropoliagzm.pl/infomapa.html> (z dnia 20.01.2021).
97. ING Forecast – Portal internetowy, Car-sharing unlocked. Dostęp online: <https://www.ing.nl/zakelijk/kennis-over-de-economie/uw-sector/automotive/car-sharing-unlocked-english.html> (z dnia 15.10.2020)
98. InnogyGo! car-sharing – Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: www.innogygo.pl (z dnia 20.09.2020).
99. Istanbul Metropolitan Municipality & Japan International Cooperation Agency, The study on integrated urban transport master plan for Istanbul metropolitan area in the Republic of Turkey. Dostęp online: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11965720_01.pdf (z dnia 07.07.2020).
100. Jacyna, M. Aspekty modelowania rozłożenia ruchu w multimodalnym korytarzu transportowym. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport* **1998**, 38, 5-22.
101. Jacyna, M. The structure and characteristics of elements of a multimodal transport corridor in respect to traffic distribution modelling. *Archives of Transport* **1997**, 9(1-2), 5-18.
102. Jacyna, M., *Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej: Warszawa, Polska, 2009.
103. Jacyna, M.; Turkowski, D. Wybrane aspekty wielokryterialnej oceny doboru środków transportowych w systemach dystrybucji pojazdów. *Logistyka* **2014**, 4, 1937-1946.
104. Jacyna, M.; Wasiak, M.; Lewczuk, K.; Kłodawski, M. Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport. *Archives of Transport* **2014**, 31(3), 23-25.
105. Jacyna, M.; Żak, J. Modele symulacyjne w zastosowaniu do badania niezawodnych procesów transportowych. *Journal of KONBIN* **2016**, 1(37), 203-230.

106. Jałowiecki B., *Metropolie*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Finansów i Zarządzania: Białystok, Polska, 1999
107. Jelbi – Portal internetowy usług MaaS. Dostępny online: <https://www.jelbi.de> (z dnia 23.07.2020).
108. Jędrzejczyk, Z.; Kukula, K.; Skrzypek, J.; Walkosz, A. *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*. Wydawnictwo Naukowe PWN: Warszawa, Polska, 2004.
109. Jimenez, J. Smart Transportation Systems. [w:] *Smart Cities*; McClellan, S.; Jimenez, J.; Koutitas, G. (Eds.); Springer: Cham, Szwajcaria, 2018, 123-133.
110. Jorge, D.; Homem de Almeida Correia, G. Carsahring system demand estimation and defined operations: A literature review. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* **2013**, 13(3), 201-220.
111. Jung, J.; Koo, Y. Analyzing the Effects of Car Sharing Services on the Reduction of Greenhouse Gas (GHG) Emissions. *Sustainability* **2018**, 10, 539.
112. Kajteroz – Operator usług bike-sharingowych. Dostęp online: kajteroz.pl (z dnia 12.10.2020).
113. Kaliszewski, I. *Wielokryterialne podejmowanie decyzji. Obliczenia miękkie dla złożonych problemów decyzyjnych*. Wydawnictwo Naukowo Techniczne: Warszawa, Polska, 2008.
114. Kamargianni, M.; Li, W.; Matyas, M.; Schäfer, A. A Critical Review of New Mobility Services for Urban Transport. *Transportation Research Procedia* **2016**, 14, 3294-3303.
115. Karoń, G. Modelowanie popytu oprarte na podróżach pojedynczych. *Logistyka* 2012, 4(1), 323-342.
116. Katzev, R. Car Sharing: A New Approach to Urban Transportation Problems. *Analyses of Social Issues and Public Policy* **2003**, 3(1), 65-86.
117. Kiba-Janiak, M.; Witkowski, J. *Modelowanie logistyki miejskiej*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne: Warszawa, Polska, 2014.
118. Kiciński M.; Włodarczak, H. Wielokryterialna ocena oraz dobór śmieciarki dla zakładu oczyszczania miasta. *Materiały 22. Międzynarodowego Sympozjum Naukowego Studentów i Młodych Pracowników Nauki* **2001**, zeszyt: Zarządzanie, 147-154.
119. Kim, D.; Park, Y.; Ko, J. Factors underlying vehicle ownership reduction among carsharing users: A repeated cross-sectional analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **2019**, 76, 123-137,
120. Kistowski, M.; Niecikowski, K. *Konspekt opracowania dotyczącego oceny uwarunkowań lokalizacji elektrowni wiatrowych w skali regionalne*. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska: Gdańsk-Warszawa, 2011.
121. Klementsitz, R.; Roeder, O. Active measures as part of dialogue marketing promoting the use of public transport in rural areas. *Transport Problems* **2015**, 10(4), 57-75.
122. Kobryń, A. *Wielokrotne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzenią*. Wydawnictwo Difin: Warszawa, Polska, 2014.
123. Komisja Europejska, Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, Europejski program na rzecz gospodarki dzielenia się. Dostęp online: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/16881/attachments/2/translations/pl/renditions/pdf> (z dnia 13.03.2020).
124. Koncepcja Programu Działań Strategicznych Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii do roku 2022 Dostęp online: <https://bip.metropoliagzm.pl/artukul/34552/125421/program-dzialan-strategicznch-gornoslasko-zaglebiowskiej-metropolii-do-roku-2022> (z dnia 14.05.2020).
125. Koopmans, T. C. An analysis of Production as Efficient Combination of Activities [w:] *Activity Analysis of Production and Allocation*; Koopmans, T.C. (Eds.); Willey: New York, USA, 1951, 404.
126. Kortum, K.; Schönduwe, R.; Stolte, B.; Bock, B. Free-Floating Carsharing: City-Specific Growth Rates and Success Factors. *Transportation Research Procedia* **2016**, 19, 328-340.
127. Kożuch, B. *Wstęp do teorii zarządzania*. Wydawnictwo Nauka-Edukacja: Warszawa, Polska 2004.

128. Krawiec, S.; Celiński, I. Model ruchu jako instrument oceny oddziaływań strumieni pojazdów w gęstych sieciach drogowych. *Logistyka* **2012**, 4, 443–454.
129. Krueger, R.; Rashidi, T.; Rose, J. Preferences for shared autonomous vehicles. *Transportation Research Part C* **2016**, 69, 343–355.
130. Kruszyński M., *Metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji w problematyce zarządzania transportem miejskim*, rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2014.
131. Kubik, A.; Turoń, K.; Stanik, Z. Car-sharing systems vehicles versus taxis in urban transport system - legal requirements, technical service, operation. [w:] International Conference on Traffic and Transport Engineering. ICTTE, September 27-28th, 2018, Belgrade, Serbia. Cokorilo, O. (Eds.) City Net Scientific Research Center: Belgrade, Serbia, 2018, 923-930.
132. Kuhnert, F., Stürmer, Ch., Koster, A., Five trends transforming the Automotive Industry. Dostęp online: https://www.pwc.at/de/publikationen/branchen-und-wirtschaftsstudien/easycy-five-trends-transforming-the-automotive-industry_2018.pdf (z dnia 16.08.2020).
133. Lagadic, M.; Verloes, A.; Louvet, N., Can carsharing services be profitable? A critical review of established and developing business models. *Transport Policy* **2019**, 77, 68-78.
134. Lane, C. PhillyCarShare: First-Year Social and Mobility Impacts of Carsharing in Philadelphia, *Pennsylvania. Transportation Research Record* **2005**, 1927(1), 158–166.
135. Lansley, G. Cars and socioeconomics: understanding neighbourhood variations in car characteristics from administrative data. *Journal Regional Studies, Regional Science* **2016**, 3(1), 264 – 285.
136. Le Vine, S.; Polak, J. The impact of free-floating carsharing on car ownership: Early-stage findings from London *Transport Policy* **2017**, 75, 119-127.
137. Lejda, K.; Mądziel M.; Siedlecka, S.; Zielińska, E. The future of public transport in light of solutions for sustainable transport development. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport* **2017**, 95, 2017, 97-108.
138. Leszczyński, J. *Modelowanie systemów i procesów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej: Warszawa, Polska, 1999.
139. Levin, R.; Kirkpatrick, C.; Rubin, D. *Quantitative approaches to management*. McGraw-Hill Education: New York, USA, 1982.
140. Li, W.; Li, Y.; Fan, J.; Deng, H. Siting of Carsharing Stations Based on Spatial Multi-Criteria Evaluation: A Case Study of Shanghai EVCARD. *Sustainability* **2017**, 9, 152.
141. Liao, F., Molin, E., Timmermans, H. et al. Carsharing: the impact of system characteristics on its potential to replace private car trips and reduce car ownership. *Transportation* **2020**, 47, 935–970.
142. Locomute car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: www.locomute.co.za (z dnia 03.10.2019).
143. Malczewski, J. GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science* **2006**, 20(7), 703-726.
144. Malczewski, J. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Wiley and Sons: New York, USA, 1999.
145. Maline, V.; Dixon-Gough, R.; Malys, N. Dispersion of relative importance values contributes to the ranking uncertainty: Sensitivity analysis of Multiple Criteria Decision-Making methods. *Applied Soft Computing* 2018, 67, 286-298.
146. Market watch – Portal internetowy, Asia-Pacific car-sharing industry in 2019. Dostępny online: https://www.marketwatch.com/press-release/asia-pacific-car-sharing-market-2019-industry-analysis-size-share-growth-trends-and-forecast-by-2024-2019-08-07?mod=mw_quote_news (z dnia 07.08.2019).
147. Markowski, T.; Marszał. T. *Metropolie, obszary metropolitalne, metropolizacja – Problemy i pojęcia podstawowe*. Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN: Warszawa, Polska, 2006.

148. Martin, E.; Shaheen, S. The Impact of Carsharing on Public Transit and Non-Motorized Travel: An Exploration of North American Carsharing Survey Data. *Energies* **2011**, *4*, 2094-2114.
149. Maven car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: www.maven.us (z dnia 15.06.2019).
150. Mazur, M. Pojęcie systemu i rygor ich stosowania. *Postępy Cybernetyki* **1987**, *2*, 21-29.
151. Meijkamp, R. Changing consumer behaviour through eco-efficient services: an empirical study of car sharing in the Netherlands. *Business Strategy and the Environment* **1998**, *7*, 234-244.
152. Mevo car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: mevo.co.nz (z dnia 14.05.2019).
153. Miechowicz, W.; Kiciński, M. Zastosowanie metodyki wielokryterialnego wspomaganie decyzji (WWD) do oceny wariantów dojazdów mieszkańców Powiatu Poznańskiego do Poznania. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria: Maszyny Robocze i Transport* **2001**, *53*, 103-109.
154. Migliore, M.; D'Orso, G.; Caminiti, D. The environmental benefits of carsharing: the case study of Palermo. *Transportation Research Procedia* **2020**, *48*, 2127-2139.
155. Millard-Ball, A. *Transit Cooperative Research Program (TCRP) Report 108. Car-sharing: Where and how it Succeeds*, Transportation Research Board: New York, USA, 2005.
156. Millard-Ball, A.; Gail, ter Schure, J. *Carsharing as Parking Management Strategy*. Transportation Research Board 85th Annual Meeting, Location: Washington DC, USA, 2006, 1-17.
157. Miimove car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: www.miimove.pl (z dnia 19.07.2019).
158. Mindur, L.; Sierpiński, G.; Turoń, K. Car-sharing development - current state and perspective. *Logistics & Transport* **2018**, *39*(3), 5-14.
159. Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej. Słownik pojęć strategii rozwoju transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku).
160. Mishin, V.M. *Research of Control Systems*; Textbook for Universities; Unity-Dana: Moskwa, Rosja, 2003.
161. Mohan, T. Smart cities: Implications of urban planning for human resource development. *Human Resource Development International* **2011**, *14*(5), 1-9.
162. MOMO Car-sharing project – Portal informacyjny. Car-sharing guidelines for public authorities. Dostępny online: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/momo_car-sharing_car_sharing_guidelines_for_public_authorities_en_en.pdf (z dnia 06.07.2020).
163. MOMO Car-sharing project – Portal informacyjny. Identifying locations for new car-sharing services. Dostępny online: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/momo_car-sharing_identifying_locations_for_new_car_sharing_services_en.pdf (z dnia 06.07.2020).
164. MOMO Car-sharing project – Portal informacyjny. Business plan for car-sharing. Dostępny online: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/momo_car-sharing_a_business_plan_for_car_sharing_en_en.pdf (z dnia 06.07.2020).
165. Move car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: move.es (z dnia 17.06.2019).
166. Move'in car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: movein.net (z dnia 17.06.2019).
167. Movmi – Portal internetowy, Car-sharing market growth 2019. Dostępny online: <https://movmi.net/carsharing-market-growth-2019/> (z dnia 10.07.2020).
168. Mov-Voom, Lokalizacje hubów mobilności. Dostępny online: https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1NFGvh94IX-T_q9tm71Rn7SZxVqdArDqo&ll=50.24973036120143%2C19.041154001096317&z=14 (z dnia 10.07.2020).

169. Muheim, P.; Reinhardt, E.: Car-Sharing: The Key to Combined Mobility. *Energy* 2000 **1989**, 58-71.
170. Münzel, K.; Boon, W.; Frenken, K.; Vaskelainen, T. Carsharing business models in Germany: characteristics, success and future prospects. *Information Systems and e-Business Management* **2018**, 16, 271–291.
171. Münzel, Karla; Piscicelli, L.; Boon, W.; Koen, F. Different business models – different users? Uncovering the motives and characteristics of business-to-consumer and peer-to-peer carsharing adopters in The Netherlands. *Transportation Research Part D: Transport and Environmen* **2019**, 73, 276-306.
172. Mykeego car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: mykeego.org (z dnia 03.04.2019).
173. Nermend, K. *Metody analizy wielokryterialnej i wielowymiarowej we wspomaganiu decyzji*. Wydawnictwo PWN: Warszawa, Polska, 2017.
174. Niecikowski, K.; Kistowski, M. *Uwarunkowania i perspektywy rozwoju energetyki wiatrowej na przykładzie strefy pobrażę i wód przybrzeżnych województwa pomorskiego*. Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego: Gdańsk, Polska, 2008.
175. Nijland, H.; Meerkerk, J. Mobility and environmental impacts of car sharing in the Netherlands. *Environmental Innovation and Societal Transitions* **2017**, 23, 84-91
176. Nobis C. Carsharing as Key Contribution to Multimodal and Sustainable Mobility Behavior: Carsharing in Germany. *Transportation Research Record* **2006**, 1986(1), 89-97.
177. Nosal, K., Mobility management concept and examples of its usage in polish conditions. *Transport Problems* **2011**, 6(4), 13-21.
178. Nourinejad, M.; Roorda, M. Carsharing operations policies: a comparison between one-way and two-way systems. *Transportation* **2015**, 42(3), 97–518.
179. OECD, Directorate for Financial and Enterprise Affairs Competition Committee, Working Party No. 2 On Competition And Regulation. Taxi, Ride-Sourcing And Ride-Sharing Services – Dostęp online: [https://One.Oecd.Org/Document/DAF/COMP/WP2\(2018\)1/En/Pdf](https://One.Oecd.Org/Document/DAF/COMP/WP2(2018)1/En/Pdf) (z dnia 13.05.2019).
180. Ohta, H.; Fujii, S.; Nishimura, Y.; Kozuka, M. Analysis of the Acceptance of Carsharing and Eco-Cars in Japan. *International Journal of Sustainable Transportation* **2013**, 7:6, 449-467,
181. Okraszewska, R.; Romanowska, A.; Wołek, M.; Oskarski, J.; Birr, K.; Jamroz, K. Integration of a multilevel transport system model into sustainable urban mobility planning. *Sustainability* **2018**, 10(2), 2018, 479.
182. ONZ. Analysis and Policy Recommendations from the United Nations Secretary-General's High-Level Advisory Group on Sustainable Transport, Mobilizing Sustainable Transport for Development High-level Advisory Group on Sustainable Transport, 2016. Dostęp online: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=2375&menu=1515> (z dnia 18.05.2020).
183. ONZ. Revision of World Urbanization Prospects. Dostęp online: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf> (z dnia 18.05.2020).
184. Pagany, R.; Ramirez Camargo, L.; Dorner, W. A review of spatial localization methodologies for the electric vehicle charging infrastructure. *International Journal of Sustainable Transportation* **2019**, 13:6, 433-449.
185. Panek car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: panekcs.pl (z dnia 15.01.2021).
186. Parthiban, P.; Abdul, Zubar H. An integrated multi-objective decision making process for the performance evaluation of the vendors. *International Journal of Production Research* **2013**, 51(13), 3836-3848.
187. Perboli, G. Business models and tariff simulation in car-sharing services. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **2018**, 15, 32-48.
188. Plan Zagospodarowania Województwa Śląskiego 2020+, Dostępny online: <https://planzagospodarowania.slaskie.pl/download/content/33> (z dnia 03.03.2020).

189. Polski Portal Innowacji, Dostępny online: http://www.pi.gov.pl/PARP/chapter_86197.asp?soid=7DA800FC06944637985C64F08AC4BAED (z dnia 25.03.2018).
190. Pomerol, J.; Barba-Romero, S. *Multicriterion decision in management: Principles and practice, International Series in Operation Research and Management*. Kluwer Academic Publishers: Boston-London, 2000.
191. Plan ochrony środowiska dla województwa śląskiego od roku 2019 z uwzględnieniem perspektywy do roku 2024. Dostępny online: <https://www.slaskie.pl/download/content/67075> (z dnia 10.03.2020).
192. Prusak, A.; Stefanów, P. *AHP – analityczny proces hierarchiczny. Budowa i analiza modeli decyzyjnych krok po krok*. Wydawnictwo C.H. Beck: Warszawa, Polska, 2014.
193. Pyza, D. Modelowanie procesów logistycznych w przedsiębiorstwach transportowych. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport* **2007**, 63, 221-229.
194. Pricewaterhouse Coopers – Portal internetowy, Raport o polskich metropoliach 2019. Dostępny online: <https://www.pwc.pl/pl/publikacje/2019/raport-o-polskich-metropoliach-2019.html> (z dnia 27.02.2020).
195. Rekomendacje dla rozwoju nowoczesnej mobilności na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM). Dostęp online: <https://metropoliagzm.pl/wp-content/uploads/2019/09/Rekomendacje-dla-rozwoju-nowoczesnej-mobilno%C5%9Bci-GZM.pdf> (z dnia 09.10.2019).
196. Remo REgeneration MOdel for accelerating the smart URBAN transformation – Portal internetowy, Info-package Nr.2. Dostęp online: <http://www.remourban.eu/technical-insights/infopacks/ict-platform.kl> (z dnia 14.04.2020).
197. Renault leasing. Dostęp online: <https://www.renault.pl/sekcja-finansowanie/uslugi-finansowe.html> (z dnia 19.08.2020).
198. Rezolucja Europejskiego Komitetu Regionów - Biała księga Komisji w sprawie przyszłości Europy - refleksje i scenariusze dla UE-27 do 2025 r., Dostęp online: <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/rezolucja-europejskiego-komitetu-regionow-biala-ksiega-komisji-w-sprawie-68963258> (z dnia 07.03.2019).
199. Rinne, A. The sharing economy, through a boader lens. *The Sharing Economy, Through a boader lens*. Stanford Social Innovation Review: Stanford, USA, 2015.
200. Robbins, S. P. *Skuteczne podejmowanie decyzji*. PWE: Warszawa, Polska, 2005.
201. Rodenbach, J.; Jeffrey, M.; Chicco, A.; Diana, M. Car sharing in Europe: a multidimensional classification and inventory, Deliverable D2.1, Dostęp online: <http://stars-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/06/STARS-D2.1.pdf> (z dnia 07.07.2019).
202. Roy, B. *How Outranking Relation Halps Multiple Criteria Decision Making*. University of South Carolina Press, South Carolina, USA, 1973.
203. Roy, B. *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne: Warszawa, Polska, 1990.
204. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 26 czerwca 2017 w sprawie utworzenia w województwie śląskim związku metropolitalnego pod nazwą „Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia” (Dz.U. z 2017 r. poz. 1290). Dostęp online: <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20170001290> (z dnia 10.04.2020).
205. Rozporządzenie (WE) nr 715/2007 – homologacja typu lekkich pojazdów pasażerskich i użytkowych w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń (Euro 5 i Euro 6) oraz dostęp do informacji dotyczących naprawy i utrzymania pojazdów Dostęp online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX%3A32007R0715> (z dnia 10.04.2020).
206. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 czerwca 2012 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach Dostęp online: <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20120000996> (z dnia 10.04.2020).

207. Rucińska, D. Potrzeby transportowe, [w:] Transport: nowe wyzwania. Wydawnictwo Naukowe PWN: Warszawa, Polska, 2016.
208. Runiański, J. *Przed decyzją*. PWE: Warszawa, Polska, 1965.
209. Rydzkowski, W., Wojewódzka-Król, K. *Transport*. PWN: Warszawa, Polska, 2002.
210. Santos, G. Sustainability and Shared Mobility Models. *Sustainability* **2018**, *10*, 3194.
211. Saaty, T. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Manage* **1986**, *32*, 841-855.
212. Saaty, T. Decision Making for Leaders. The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World. RWS Publications: Pittsburgh, USA, 2001.
213. Saaty, T. How to make decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* **1990**, *48*, 9-26.
214. Seo, J.; Sheok, C. A Study on Optimizing Depot Location in Carsharing Considering the Neighborhood Environmental Factors. *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems* **2017**, *16*(5), 49-59.
215. Schaeffers, T. Exploring carsharing usage motives: A hierarchical means-end chain analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* **2013**, *47*, 69-77.
216. Schmöller, S.; Weikl, S.; Müller, J.; Bogenberger, K. Empirical analysis of free-floating carsharing usage: The Munich and Berlin case. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* **2015**, *56*, 34-51.
217. Schuster, T.; Byrne, J.; Cobett, J.; Schreuder, Y. Assessing the potential extent of carsharing - A new method and its applications. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation* **2005**, *1927*, 174-181.
218. Schwabe, J. The evolution of cooperative electric carsharing in Germany and the role of intermediaries. *Environmental Innovation and Societal Transitions* **2020**, *37*, 108-119.
219. Schwieterman, J.; Bieszczat, A. The cost to carshare: A review of the changing prices and taxation levels for carsharing in the United States 2011-2016. *Transport Polic* **2017**, *57*, 1-9.
220. Shaheen, S. Carsharing Trends and Research Highlights. Dostęp online: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-06/documents/05312017-shaheen.pdf> (z dnia 05.03.2019).
221. Shaheen, S.; Cohen, A. Carsharing and Personal Vehicle Services: Worldwide Market Developments and Emerging Trends. *International Journal of Sustainable Transportation* **2013**, *7*:1, 5-34.
222. Shaheen, S.; Cohen, A. Innovative Mobility Carsharing Outlook Winter 2016: Carsharing Market Overview, Analysis, and Trends Innovative Mobility Carsharing Outlook – Winter 2016. Dostęp online: <http://innovativemobility.org/?project=innovative-mobility-carsharing-outlook-winter-2016> (z dnia 17.03.2018).
223. Shaheen, S.; Cohen, A. Innovative Mobility: Carsharing Outlook; Carsharing Market Overview, Analysis and Trends – Spring 2020. Dostęp online: <https://escholarship.org/uc/item/61q03282> (z dnia 17.01.2021).
224. Shaheen, S.; Cohen, A.; Martin, E. *Carsharing Parking Policy: A Review of North American Practices and San Francisco Bay Area Case Study*. Institute of Transportation Engineering: Barcelay, USA, 2010.
225. Shaheen, S.; Chan, N.; Bansal, A.; Cohen, A. *Shared mobility – a sustainability & technologies workshop, Definitions, Industry Developments and Early Understanding*. University of California, Transportation Sustainability Research Center: Barkeley, USA, 2015, 1-30.
226. Shaheen, S.; Chan, N.; Micheaux, H. One-way carsharing's evolution and operator perspectives from the Americas. *Transportation* **2015**, *42*(3), 519-536.
227. Shaheen, S.; Sperling, D.; Wagner, C. A Short History of Carsharing in the 90's. *The Journal Of World Transport Policy & Practice* **1999**, *5*(3), 18-30.
228. Shared mobility news – Portal internetowy, Carsharing – is it really profitable? Dostępny online: <https://www.sharedmobility.news/car-sharing-profitable/> (z dnia 07.10.2020).
229. Sierpiński G., Travel behaviour and alternative modes of transportation. [w:] Transport systems telematics. TST'11. 11th International conference, Katowice - Ustroń, October 19-22, 2011.

- Conference proceedings. Silesian University of Technology. Faculty of Transport, Polish Academy of Science. Committee of Transport, Polish Association of Transport Telematics. Katowice: Chair of Automatic Control in Transport. Faculty of Transport. Silesian University of Technology, 2011, 89.
230. Sierpiński, G.; Staniek, M.; Kłos, M.J. Decision making support for local authorities choosing the method for siting of in-city EV charging stations. *Energies* **2020**, *13*(18), 1-28.
 231. Sierpiński G., Turoń K. Electric car-sharing as a solution supporting the development of electromobility and an element of the travel chain. [w:] Handbook of research on interdisciplinary approaches to decision making for sustainable supply chains. Awasthi, A.; Grzybowska, K. (Eds.) IGI Global: Herse, USA, 2019, s. 211-229.
 232. Siemianowicki rower miejski – Operator usług bike-sharingu. Dostęp online: <https://siemianowickirowermiejski.pl> (z dnia 15.04.2020).
 233. Silvestri, A.; Foudi, S.; Galarraga, I.; Ansuategi, A. The contribution of carsharing to low carbon mobility: Complementarity and substitution with other modes. *Research in Transportation Economics* **2020**, 100968.
 234. SoCar car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: socar.com (z dnia 16.02.2019)
 235. Society of Motor Manufacturers and Traders, New Car CO₂ Report 2018. Dostępny online: <https://www.smmmt.co.uk/wp-content/uploads/sites/2/SMMT-New-Car-Co2-Report-2018-artwork.pdf> (z dnia 15.04.2020).
 236. Solecka, K. Electre III method in assessment of variants of inte-grated urban public transport system in Cracow. *Transport Problems* **2014**, *9*(4), 83-96.
 237. Solecka K., *Wielokryterialna ocena wariantów zintegrowanego systemu transportu publicznego*. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2013.
 238. Sosnowiecki rower miejski – Operator usług bike-sharingu. Dostęp online: <https://sosnowieckirowermiejski.pl> (z dnia 15.04.2020).
 239. Sprei, F.; Habibi, S.; Englund, C.; Pettersson, S.; Voronov, A.; Wedlin, J. Free-floating car-sharing electrification and mode displacement: Travel time and usage patterns from 12 cities in Europe and the United States. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **2019**, *71*, 127-140.
 240. STARS Car-sharing project, Portal informacyjny projektu. Dostępny online: <http://stars-h2020.eu/> (z dnia 05.09.2020).
 241. STARS Car-sharing project, Policy brief. Portal informacyjny projektu, Dostępny online: <http://stars-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/01/STARS-Policy-Brief-4-pages.pdf> (z dnia 05.09.2020).
 242. Stasko, T.; Buck, A.; Gao, O. Carsharing in a university setting: Impacts on vehicle ownership, parking demand, and mobility in Ithaca, NY. *Transport Policy* **2013**, *30*, 262-268.
 243. Straits-times Portal, Purchase vs. vehicle rental. Dostępny online: available at: <http://www.straitstimes.com/lifestyle/who-needsto-buy-a-car> (z dnia 10.04.2018).
 244. Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.). Dostęp online: <https://www.gov.pl/documents/33377/436740/SOR.pdf> (z dnia 05.05.2020).
 245. Strategia Rozwoju Systemu Transportu Województwa Śląskiego. Dostęp online: <https://www.slaskie.pl/download/content/66575> (z dnia 05.05.2020).
 246. Strategia Rozwoju Województwa Śląskiego „Śląskie 2020+”. Dostęp online: <https://www.slaskie.pl/download/content/66899> (z dnia 05.05.2020).
 247. Suchanek, M., *Decyzje transportowe mieszkańców w zakresie codziennych podróży a jakość życia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego: Gdańsk, Polska, 2019.
 248. Telles Jr. R., Sharing ecoomy, Dostęp online: https://www.iedcevents.org/Downloads/Conferences/annual_16/telles.pdf (z dnia 13.02.2020).

249. Tennøy, A.; Usterud Hanssen J.; Visnes Øksenholt, K. Developing a tool for assessing park-and-ride facilities in a sustainable mobility perspective. *Urban, Planning and Transport Research* **2020**, *8*(1), 1-23.
250. Terama, E.; Peltomaa, J.; Rolim, C.; Baptista, P. The Contribution of Car Sharing to the Sustainable Mobility Transition. *Transfers* **2018**, *8*(2), 113-121.
251. Terrien, C. Rémi, M.; Chen, B. Shaheen, S. Good Practices for Local Governments and Private Companies Driving Change Together in Urban Mobility: Lessons Learned from One-Way Carsharing. Dostęp online: Good Practices for Local Governments and Private Companies Driving Change Together in Urban Mobility: Lessons Learned from One-Way Carsharing (z dnia 13.08.2019).
252. Tiffany Stone Portal, History of Car-sharing. Dostęp online: <https://tiffanydstone.com/2013/08/23/lessonslearned-from-the-history-of-car-sharing/> (z dnia 20.04.2018).
253. Toyota leasing. Dostęp online: <https://www.toyotabank.pl/przydatne-linki/leasing-hp/> (z dnia 18.09.2020)
254. Traficar car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: traficar.pl (z dnia 15.06.2019).
255. Trzaskalik, T., *Wielokryterialne wspomagani decyzji. Metody i zastosowani*. Polskie Towarzystwo Ekonomiczne: Warszawa, Polska, 2006.
256. Turoń, K. Analysis of the costs of selected car-sharing services - a case study on six continents. *Transport Economics and Logistics* **2019**, *81*, 165-173.
257. Turoń, K., Car-sharing problems - multi-criteria overview. [w:] International Conference on Traffic and Transport Engineering. ICTTE, September 27-28th, 2018, Belgrade, Serbia. Cokorilo, O. (Ed.). City Net Scientific Research Center: Belgrade, Serbia, 2018, 916-922.
258. Turoń, K.; Czech, P., Polish systems of car-sharing – the overview of business to customer service market. [w:] Directions of Development of Transport Networks and Traffic Engineering. 15th Scientific and Technical Conference "Transport Systems. Theory and Practice 2018", Katowice, Poland, Selected papers. Macioszek, E.; Sierpiński, G. (Eds.). Springer: Cham, Szwajcaria, 2019, 17-26.
259. Turoń, K.; Czech, P. Usługi ekonomii współdzielenia w miejskim transporcie indywidualnym w Polsce na przykładzie systemów car-sharingu oraz bike-sharingu. [w:] Współczesne wyzwania społeczno-gospodarcze. Rogalska, J. (Ed.). Uniwersytet Jana Kochanowskiego: Kielce, Polska, 2018, 335-341.
260. Turoń, K., Czech P. Transport miejski z wykorzystaniem usług typu „sharing”. *Komunikacja Publiczna* **2018**, *3*, 62-66.
261. Turoń, K., Czech, P.; Kubik, A.; Sierpiński, G. Car-sharing in the context of automotive industry - challenges and opportunities. [w:] Projekt interdyscyplinarny projektem XXI wieku. Monografia. T. 3. Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej: Bielsko-Biała, Polska, 2017, 71-76.
262. Turoń, K.; Kubik, A. Economic Aspects of Driving Various Types of Vehicles in Intelligent Urban Transport Systems, Including Car-Sharing Services and Autonomous Vehicles. *Applied Sciences* **2020**, *10*, 5580.
263. Turoń, K.; Kubik, A. Wybrane aspekty stanu technicznego pojazdów w systemach car-sharingu oraz w klasycznych wypożyczalniach samochodów - wpływ na bezpieczeństwo użytkowników. [w:] Wybrane zagadnienia inżynierii lądowej, mechanicznej, transportu i zarządzania. Piekut, M.; Szczucka-Lasota, B. (Eds.) Politechnika Warszawska. Kolegium Nauk Ekonomicznych i Społecznych: Płock, Polska, 2019, 111-117.
264. Turoń, K.; Kubik, A.; Chen, F. Operational Aspects of Electric Vehicles from Car-Sharing Systems. *Energies* **2019**, *12*, 4614.
265. Turoń, K.; Kubik, A.; Chen, F.; Wang, H.; Łazarz, B. A Holistic Approach to Electric Shared Mobility Systems Development—Modelling and Optimization Aspects. *Energies* **2020**, *13*, 5810.

266. Turoń, K.; Kubik, A.; Czech, P. Eksploatacja systemów car-sharingu. Technologie, procesy i systemy produkcyjne. Więcek, D.; Rysiński, J. (Eds.) Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej: Bielsko-Biała, Polska, 2020, 307-316.
267. Turoń, K.; Kubik, A.; Łazarz, B.; Czech, P.; Stanik, Z. Car-sharing in the context of car operation. [w:] International Automotive Conference. KONMOT; Institute of Physics Publishing: Bristol, Wielka Brytania, 2018; 1-10.
268. Turoń, K.; Sierpiński, G. Car-sharing in urban transport systems - overview of Europe and Asia. [w:] Challenges of urban mobility, transport companies and systems. 2018 TranSopot Conference; Suchanek, M. (Eds.) Springer: Cham, Szwajcaria, 2019, 89-99.
269. Turoń, K.; Sierpiński, G. Electric-Car-Sharing in Urban Logistics – The Analysis of Implementation and Maintenance. *Logistics and Transport* **2018**, 40(4), 129-136.
270. Turoń, K.; Sierpiński, G. Shared mobility as a form of overcoming social barriers in access to transport services and social exclusion. *Research in Logistics & Production* **2019**, 9(3), 177-186.
271. Tyndall, J. Free-floating carsharing and extemporaneous public transit substitution. *Research in Transportation Economics* **2019**, 74, 21-27.
272. Uchwała Nr LII/922/VII/2017 Rady Miasta Poznania z dnia 11-07-2017 zmieniająca uchwałę Rady Miasta Poznania Nr XXXIV/269/IV/2003 z 2 grudnia 2003 r. w sprawie ustalenia w Poznaniu strefy płatnego parkowania, stawek opłat za parkowanie pojazdów samochodowych na drogach publicznych w strefie płatnego parkowania, wysokości opłat dodatkowych oraz sposobu ich pobierania. Dostęp online: <http://bip.poznan.pl/bip/uchwaly/uchwala-nr-lli-922-vii-2017-z-dnia-2017-07-11,69329/> (z dnia 10.08.2019).
273. Uchwała nr XIII/295/19 Rady Miasta Katowic z dnia 24 października 2019r. w sprawie ustalenia strefy płatnego parkowania dla pojazdów samochodowych na drogach publicznych na obszarze miasta Katowice. Dostęp online: http://dzienniki.slask.eu/WDU_S/2019/7295/akt.pdf (z dnia 04.02.2021).
274. Urrbano car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: urrbano.com (z dnia 11.03.2019).
275. Ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 r. Dostęp online: <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180000317/T/D20180317L.pdf> (z dnia 15.06.2020).
276. U.S. Department of Transportation. Smart City Challenge: Lessons for Building Cities of the Future. Dostęp online: [https://cms.dot.gov/sites/dot.gov/files/docs/Smart%](https://cms.dot.gov/sites/dot.gov/files/docs/Smart%20City%20Challenge%20Lessons%20for%20Building%20Cities%20of%20the%20Future.pdf) (z dnia 11.06.2019).
277. van Herwijnen, M.; Rietveld, P. Spatial dimensions in multicriteria analysis. [w:] Spatial multicriteria decision making and analysis: A geographic information sciences approach. Thill, T.C. (Eds.), Ashgate: Londyn, Wielka Brytania, 1999, 77-99.
278. Vasquez-Bernal, O.; Cortes-Aldana, F.; A goal-based and multi-criteria decision analysis approach to the certification of professional engineers in Colombia. *World Transactions on Engineering and Technology Education* **2018**, 16(1), 84-88.
279. Vincke, P. *Multicriteria Decision-Aid*. Willey: New York, USA, 1992.
280. Vozilla car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: <https://www.vozilla.pl/>, access (z dnia 18.04.2018).
281. Walb, C.; Loudon, W. *Evaluation of the short-term auto rental service in San Francisco, California. Prepared for the Urban Mass Transportation Administration*. Research and Special Programs Administration; San Francisco, USA, 1986.
282. Wang, Y.; Yan, X.; Zhou, Y.; Xue, Q.; Sun, L. Individuals' Acceptance to Free-Floating Electric Carsharing Mode: A Web-Based Survey in China. *International journal of environmental research and public health* **2017**, 14(5), 476.
283. Wappelhorst, S.; Sauer, M.; Hinkeldein, D.; Bocherding, A.; Glaß, T. Potential of Electric Carsharing in Urban and Rural Areas. *Transportation Research Procedia* **2014**, 4, 374-386.

284. Waserhole, A. Vehicle Sharing System Pricing Optimization. General Mathematics. Dostęp online: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01176190/document> (z dnia 16.04.2019).
285. Wasiak, M., Simulation model of logistic system. *Archives of Transport* **2009**, 21(3-4), 189-206.
286. Weikl, S.; Bogenberger, K. Relocation Strategies and Algorithms for Free-Floating Car Sharing Systems. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* 2013, 5(4), 100–111.
287. Wieliński, G.; Trepanier, M.; Morency, C. Electric and hybrid car use in a free-floating carsharing system. *International Journal of Sustainable Transportation* **2017**, 11(3), 161-169.
288. Witkowski, J. Istota i cele modelowania logistyki miejskiej [w:] Modelowanie logistyki miejskiej; Kiba-Janiak, M.; J. Witkowski, J. (Eds.) Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne: Warszawa, Polska, 2014.
289. Wyszomirski, O. *Ekonomika komunikacji miejskiej*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego: Gdańsk, Polska, 1986.
290. Wyszomirski O. *Transport miejski, ekonomika i organizacja*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego: Gdańsk, Polska, 2010.
291. Wyszomirski O. Zrównoważony rozwój transportu w miastach a jakość życia. *Transport Miejski i Regionalny* **2017**, 12, 27-32.
292. Xue, Y.; Zhang, Y.; Chen, Y. An Evaluation Framework for the Planning of Electric Car-Sharing Systems: A Combination Model of AHP-CBA-VD. *Sustainability* **2019**, 11, 5627.
293. YoogoShare car-sharing. Operator usług car-sharingowych. Dostęp online: yoogoshare.com (z dnia 14.06.2019).
294. Young, R. Experiment in car-sharing. *The Times* **1997**, 1,2
295. Zanevsky, I.; Ohirko, I.; Ohirko, O. Metody modelowania w logistyce transportu. *Autobusy* **2018**, 5, 412-447.
296. Ziobrowska, J. *Sharing economy jako nowy trend konsumencki, Własność w prawie i gospodarce*. Wydział Prawa, Administracji i Ekonomii Uniwersytetu Wrocławskiego: Wrocław, Polska, 2013, 261-269.
297. Żak J., Metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji w transporcie i logistyce, *Logistyka* **2014**, 3, 7141—7155.
298. Żak J., Modelowanie procesów transportowych metodą sieci faz. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport* **2013**, 99, 168.
299. Żak, J. *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym*. Rozprawa habilitacyjna nr 394, Politechnika Poznańska: Poznań, Polska, 2005.
300. Żak, J. Wybór taboru dla systemu publicznego transportu miejskiego z wykorzystaniem metodyk: wielokryterialnego i grupowego podejmowania decyzji. *Logistyka* **2011**, 6, 4171-4184.
301. Żakowska, L.; Puławska S. Equity in transportation: new approach in transport planning – preliminary results of case study in Cracow. *Transport Problems* **2014**, 9(3), 68-74.
302. Żochowska, R. Modelowanie potoków ruchu w sieci miejskiej dla potrzeb analizy zakłóceń. *Logistyka* **2014**, 4, 2619-2632.
303. Żochowska, R. Wielokryterialny model decyzyjny dla potrzeb optymalizacji tymczasowej organizacji ruchu w sieci miejskiej. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport* **2015**, 105, 91-113.

Spis tabel

Tabela 1. Zestawienie wybranych systemów współdzielenia samochodów funkcjonujących na terenie Europy w latach 1948-1999	14
Tabela 2. Zestawienie wybranych systemów współdzielenia samochodów funkcjonujących na terenie Ameryki Północnej w latach 1983-1999	15
Tabela 3. Zestawienie wybranych systemów współdzielenia samochodów funkcjonujących na terenie Azji w latach 1997-1999	16
Tabela 4. Porównanie klasycznej wypożyczalni pojazdów z wypożyczalnią typu car-sharing	18
Tabela 5. Charakterystyka modeli systemów car-sharingu.....	22
Tabela 6. Główne rodzaje opłat stosowanych w systemach car-sharingu na świecie.....	25
Tabela 7. Koszty usług car-sharingu na terenie Polski	25
Tabela 8. Koszty usług car-sharingu w wybranych systemach na świecie	26
Tabela 9. Wybrane dane statystyczne analizowanych kosztów systemów car-sharingu z punktu widzenia czasu przejazdu	27
Tabela 10. Zestawienie systemów car-sharingu funkcjonujących na polskim rynku	29
Tabela 11. Przykład macierzy decyzyjnej w formie tabelarycznej	41
Tabela 12. Charakterystyka metod grupy ELECTRE	46
Tabela 13. Charakterystyka skali Saaty'ego	51
Tabela 14. Wartości losowego indeksu RI w zależności od wymiaru macierzy porównań M52	70
Tabela 15. Wzór scenariusza wraz z jego cechami i możliwymi do wyboru alternatywami ..	70
Tabela 16. Charakterystyka celów proponowanych scenariuszy wdrażania systemu car-sharingu	74
Tabela 17. Zestawienie kryteriów K_{CS} związanych z kształtowaniem i wdrażaniem usług car-sharingu	77
Tabela 18. Zestawienie zbioru kryteriów zredukowanych ZK_{redCS} związanych z kształtowaniem i wdrażaniem usług car-sharingu	85
Tabela 19. Wartości indeksu jakości powietrza	90
Tabela 20. Ocena dopasowania metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji do potrzeb analizowanego problemu.....	95
Tabela 21. Zestawienie oprogramowania komputerowego możliwego do wykorzystania podczas wykonywania analiz z użyciem wielokryterialnego wspomaganie decyzji	97
Tabela 22. Szczegółowy wykaz gmin i miast metropolii wraz z przyporządkowaniem do powiatu, powierzchnią oraz liczbą mieszkańców	101
Tabela 23. Wykaz gmin Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii wchodzących w skład jej rdzenia	102
Tabela 24. Charakterystyka systemów bike-sharingu funkcjonujących na obszarze GZM ..	107
Tabela 25. Zestawienie informacji dotyczących floty operatorów systemów car-sharingu funkcjonujących na terenie Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii	109
Tabela 26. Analiza dokumentów strategicznych województwa śląskiego	111
Tabela 27. Zestawienie scenariuszy możliwych do zastosowania podczas wdrażania usług car-sharingu na danym obszarze	113
Tabela 28. Charakterystyka scenariusza 1 –centralny (strefowy) $SO1CS$	113
Tabela 29. Charakterystyka scenariusza 2 - centralny - bazowy $SO2CS$	115
Tabela 30. Charakterystyka scenariusza 3 - centralny rozproszony - free-floating $SO3CS$..	116
Tabela 31. Charakterystyka scenariusza 4 - strefowy + door to door/rezerwacyjny $SO4CS$..	117
Tabela 32. Charakterystyka scenariusza 5 - bazowy + door to door/rezerwacyjny $SO5CS$..	119

Tabela 33. Charakterystyka scenariusza 6 – free-floating + door to door/rezerwacyjny <i>S06CS</i>	121
Tabela 34. Wartości kryteriów poszczególnych scenariuszy	123
Tabela 35. Wartości kryteriów zredukowanych dla poszczególnych scenariuszy	124
Tabela 36. Macierz proporcjonalna dla metropolii jako „inwestora”	125
Tabela 37. Macierz proporcjonalna dla metropolii jako „klienta” usług car-sharingu	125
Tabela 38. Macierz proporcjonalna dla operatora systemu car-sharingu – uwzględniającego największy zysk.....	125
Tabela 39. Macierz proporcjonalna dla użytkownika systemu car-sharingu	126
Tabela 40. Wyniki normalizacji macierzy porównań parami dla metropolii jako inwestora	127
Tabela 41. Wartość wagi poszczególnych kryteriów	127
Tabela 42. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów	128
Tabela 43. Wartości znormalizowane kryteriów dla poszczególnych wariantów	128
Tabela 44. Zestawienie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych.....	128
Tabela 45. Wyniki normalizacji macierzy porównań parami dla metropolii jako „klienta” .	129
Tabela 46. Wartości wagi dla poszczególnych kryteriów	129
Tabela 47. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów	130
Tabela 48. Wartości znormalizowane kryteriów dla poszczególnych wariantów	130
Tabela 49. Zestawienie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych.....	130
Tabela 50. Wyniki normalizacji macierzy porównań parami dla operatora systemu car-sharingu – największy zysk.....	131
Tabela 51. Wartości wagi dla poszczególnych kryteriów	131
Tabela 52. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów	132
Tabela 53. Wartości znormalizowane kryteriów dla poszczególnych wariantów	132
Tabela 54. Zestawienie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych.....	132
Tabela 55. Wyniki normalizacji macierzy porównań parami dla użytkownika.....	133
Tabela 56. Wartości wagi dla poszczególnych kryteriów	133
Tabela 57. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów	133
Tabela 58. Wartości znormalizowane kryteriów dla poszczególnych wariantów	134
Tabela 59. Zestawienie syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych.....	134
Tabela 60. Wartości progów równoważności, preferencji oraz weta w świetle rozpatrywanych kryteriów	135
Tabela 61. Wartości macierzy zgodności <i>C</i>	135
Tabela 62. Wartości wskaźników niezgodności według 1. kryterium	136
Tabela 63. Wartości wskaźników niezgodności według 2. kryterium	136
Tabela 64. Wartości wskaźników niezgodności według 3. kryterium	136
Tabela 65. Wartości wskaźników niezgodności według 4. kryterium	137
Tabela 66. Wartości wskaźników niezgodności według 5. kryterium	137
Tabela 67. Wartości wskaźników niezgodności według 6. kryterium	137
Tabela 68. Wartości macierzy wiarygodności <i>D</i>	137
Tabela 69. Wartości macierzy relacji przewyższenia <i>L</i>	138
Tabela 70. Ranking końcowy.....	138
Tabela 71. Wartości macierzy zgodności <i>C</i>	139
Tabela 72. Wartości wskaźników niezgodności według 1. kryterium	139
Tabela 73. Wartości wskaźników niezgodności według 2. kryterium	139
Tabela 74. Wartości wskaźników niezgodności według 3. kryterium	139
Tabela 75. Wartości wskaźników niezgodności według 4. kryterium	140
Tabela 76. Wartości wskaźników niezgodności według 5. kryterium	140
Tabela 77. Wartości wskaźników niezgodności według 6. kryterium	140
Tabela 78. Wartości macierzy wiarygodności <i>D</i>	140

Tabela 79. Wartości macierzy relacji przewyższenia L	141
Tabela 80. Ranking końcowy	141
Tabela 81. Wartości macierzy zgodności C	142
Tabela 82. Wartości wskaźników niezgodności według 1. kryterium	142
Tabela 83. Wartości wskaźników niezgodności według 2. kryterium	142
Tabela 84. Wartości wskaźników niezgodności według 3. kryterium	143
Tabela 85. Wartości wskaźników niezgodności według 4. kryterium	143
Tabela 86. Wartości wskaźników niezgodności według 5. kryterium	143
Tabela 87. Wartości wskaźników niezgodności według 6. kryterium	143
Tabela 88. Wartości macierzy wiarygodności D	144
Tabela 89. Wartości macierzy relacji przewyższenia L	144
Tabela 90. Ranking końcowy	144
Tabela 92. Wartości macierzy zgodności C	145
Tabela 92. Wartości wskaźników niezgodności według 1. kryterium	145
Tabela 93. Wartości wskaźników niezgodności według 2. kryterium	145
Tabela 94. Wartości wskaźników niezgodności według 3. kryterium	146
Tabela 95. Wartości wskaźników niezgodności według 4. kryterium	146
Tabela 96. Wartości wskaźników niezgodności według 5. kryterium	146
Tabela 97. Wartości wskaźników niezgodności według 6. kryterium	147
Tabela 98. Wartości macierzy wiarygodności D	147
Tabela 99. Wartości macierzy relacji przewyższenia L	147
Tabela 100. Ranking końcowy	148
Tabela 101. Macierz decyzyjna	149
Tabela 102. Znormalizowana macierz decyzyjna	149
Tabela 103. Macierz znormalizowana z uwzględnieniem wag (macierz ocen skorygowanych)	150
Tabela 104. Zestawienie rozwiązań referencyjnych (idealnych) oraz referencyjnych antyidealnych	150
Tabela 105. Odległość wariantu decyzyjnego od rozwiązania referencyjnego idealnego oraz antyidealnego	150
Tabela 106. Końcowy ranking wariantów	151
Tabela 107. Macierz decyzyjna	151
Tabela 108. Znormalizowana macierz decyzyjna	152
Tabela 109. Macierz znormalizowana z uwzględnieniem wag (macierz ocen skorygowanych)	152
Tabela 110. Zestawienie rozwiązań referencyjnych idealnych oraz antyidealnych	152
Tabela 111. Odległość wariantu decyzyjnego od rozwiązania idealnego oraz antyidealnego	153
Tabela 112. Końcowy ranking wariantów	153
Tabela 113. Macierz decyzyjna	154
Tabela 114. Znormalizowana macierz decyzyjna	154
Tabela 115. Macierz znormalizowana z uwzględnieniem wag (macierz ocen skorygowanych)	155
Tabela 116. Zestawienie rozwiązań referencyjnych idealnych oraz antyidealnych	155
Tabela 117. Odległość wariantu decyzyjnego od rozwiązania idealnego oraz antyidealnego	155
Tabela 118. Końcowy ranking wariantów	156
Tabela 119. Macierz decyzyjna	156
Tabela 120. Znormalizowana macierz decyzyjna	157

Tabela 121. Macierz znormalizowana z uwzględnieniem wag (macierz ocen skorygowanych)	157
Tabela 122. Zestawienie rozwiązań referencyjnych idealnych oraz antyidealnych	157
Tabela 123. Odległość wariantu decyzyjnego od rozwiązania idealnego oraz antyidealnego	158
Tabela 124. Końcowy ranking wariantów	158
Tabela 126. Zestawienie zbiorcze scenariuszy decyzyjnych dla metropolii jako inwestora	159
Tabela 126. Zestawienie zbiorcze scenariuszy decyzyjnych dla metropolii jako „klienta” operatorów usług car-sharingu	160
Tabela 127. Zestawienie zbiorcze scenariuszy decyzyjnych dla operatora usług car-sharingu	160
Tabela 128. Zestawienie zbiorcze scenariuszy decyzyjnych dla użytkownika usług car-sharingu	161
Tabela 129. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 1. kryterium – metoda AHP	163
Tabela 130. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 1. kryterium – metoda ELECTRE III	164
Tabela 131. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 1. kryterium – metoda TOPSIS	164
Tabela 132. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 2. kryterium – metoda AHP	164
Tabela 133. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 2. kryterium – metoda ELECTRE III	165
Tabela 134. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 2. kryterium – metoda TOPSIS	165
Tabela 135. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 3. kryterium – metoda AHP	165
Tabela 136. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 3. kryterium – metoda ELECTRE III	166
Tabela 137. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 3. kryterium – metoda TOPSIS	166
Tabela 138. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 4. kryterium – metoda AHP	166
Tabela 139. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 4. kryterium – metoda ELECTRE III	167
Tabela 140. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 4. kryterium – metoda TOPSIS	167
Tabela 141. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 5. kryterium – metoda AHP	167
Tabela 142. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag kryterium 5 – metoda ELECTRE III	168
Tabela 143. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag kryterium 5 – metoda TOPSIS	168
Tabela 144. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 6. kryterium – metoda AHP	168
Tabela 145. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 6. kryterium – metoda ELECTRE III	169
Tabela 146. Wyniki analizy wrażliwości dla zmiany wektora wag 6. kryterium – metoda TOPSIS	169

Spis rysunków

Rys. 1. Rozwój motoryzacji w Polsce w latach 1999-2019	9
Rys. 2. Liczba użytkowników korzystających z systemów car-sharingu w Europie, Azji i Ameryce Północnej w latach 2006-2018	17
Rys. 3. Liczba dostępnych do wypożyczenia pojazdów w ramach usług car-sharingu w Europie, Azji i Ameryce Północnej w latach 2006-2018.....	17
Rys. 4. Przykład aplikacji mobilnej car-sharingu	19
Rys. 5. Schemat usługi car-sharingu z punktu widzenia użytkownika	20
Rys. 6. Przykład systemów swobodnych z dodatkowymi bazami operacyjnymi punktach strategicznych, funkcjonujących na obszarach wokół Katowic oraz Berlina	22
Rys. 7. Przykładowe pojazdy stosowane w systemach car-sharingu: a) Fiat 500, system Ubeeq, Bruksela – Belgia; b) Renault Clio, system GetRound, Paryż – Francja; c) Bolloré Bluecar, system Blue SG, Singapur; d) Mercedes CLA, system Free Now, Berlin – Niemcy	23
Rys. 8. Zróżnicowanie pojazdów wykorzystywanych w systemach car-sharingu w Europie	24
Rys. 9. Stacje bazowe systemu 4Mobility funkcjonującego na terenie Warszawy	28
Rys. 10. Liczba zarejestrowanych użytkowników w systemach car-sharingu z prognozą do roku 2025.....	30
Rys. 11. Schemat podziału modeli matematycznych systemów transportowych	35
Rys. 12. Schemat procesu modelowania systemu transportowego	36
Rys. 13. Podział metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji	43
Rys. 14. Hierarchia funkcjonalna w metodzie AHP	50
Rys. 15. Algorytm procedury w modelu kształtowania i wdrażania usług car-sharingu.....	60
Rys. 16. Minimalna liczba pojazdów w systemach car-sharingu w zależności od liczby mieszkańców analizowanego obszaru.....	68
Rys. 17. Zależność minimalnej liczby pojazdów od gęstości zaludnienia badanego obszaru	69
Rys. 18. Schemat konstruowania scenariuszy funkcjonowania systemów car-sharingu.....	70
Rys. 19. Przykładowy fragment arkusza oceny z wykorzystaniem macierzy porównań parami	96
Rys. 20. Obszar Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii	100
Rys. 21. Centrum przesiadkowe Katowice „Sądowa”	104
Rys. 22. Centrum przesiadkowe Katowice „Brynów”	105
Rys. 23. Funkcjonujące na terenie GZM stacje ładowania pojazdów elektrycznych	106
Rys. 24. Planowanie stacje ładowania pojazdów elektrycznych na terenie GZM.....	107
Rys. 25. Strefy obowiązku pakowania hulajnóg	108
Rys. 26. Strefa ograniczonej prędkości dla hulajnóg do 15 km/h.....	108
Rys. 26. Obszar funkcjonowania Traficar wraz ze strefą wyłączoną z możliwości zwrotu pojazdu w centrum Katowic.....	109
Rys. 27. Obszar funkcjonowania systemów a) eCar Tauron, b) GreenGoo	110
Rys. 28. Zmiany wartości pozycji rankingowych w analizie wrażliwości - legenda.....	163

Załączniki

1. Załącznik nr 1.

KWESTIONARIUSZ BADANIA EKSPERCKIEGO

Posiedzenie Zespołu ds. nowoczesnej mobilności na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii

Katowice, 09.01.2019 r.

Szanowni Państwo,

W ramach realizacji rozprawy doktorskiej poświęconej tematyce car-sharingu opracowano zbiór kryteriów, które mogą mieć wpływ na wdrażanie oraz funkcjonowanie usług car-sharingu na danym obszarze. Jako studium przypadku realizowany jest model wdrażania usług car-sharingu dla obszaru Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. Do jego poprawnej realizacji niezbędnym jest określenie wartości wag poszczególnych kryteriów przez grono ekspertów związanych z kształtowaniem nowoczesnej mobilności na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii.

W ramach modelu zdefiniowano następujące kryteria:

- **Kryterium 1 – średni koszt usługi car-sharingu K_u [zł]** – określa średnie koszty podróży w kształtowanych systemach car-sharingu. Uwzględnia ono: średni koszt usługi za 1 minutę, średni koszt usługi za 1 kilometr, średni koszt usługi „stop over³⁵” za 1 minutę w taryfie dziennej oraz średni koszt usługi „stop over” za 1 min w taryfie nocnej.
- **Kryterium 2 – standardu usługi car-sharingu K_{stu} [-]** – określa wymagania potencjalnych użytkowników systemu car-sharingu w nawiązaniu do najlepszych warunków podróżowania za ich pośrednictwem. Kryterium określa dostępność usługi wyrażonej w liczbie pojazdów przypadających na m² obszaru funkcjonowania systemu. Kryterium uwzględnia także typ oferowanej w danym systemie floty, jak również jej zróżnicowanie pod względem klasy pojazdu (od segmentu A miejskich, ekonomicznych pojazdów po segment pojazdów premium). Kryterium uwzględnia także przystępność oferowanego systemu dla użytkowników poprzez różnorodność sposobu rejestracji. Ponadto, odnosi się także do dostępności systemu dla obcokrajowców.
- **Kryterium 3 – poziom ochrony środowiska na danym obszarze K_{os} [-]** – określa wymagania stawiane wdrażanym systemom car-sharingu z uwagi na aspekty ochrony środowiska, jak również aktualny stan powietrza na danym obszarze. Kryterium uwzględnia poziom jakości powietrza na danym obszarze charakteryzowany poprzez indeks jakości powietrza, poziom emisyjności stosowanej w systemie floty pojazdów, czyli jej przyjazność dla środowiska, jak również występowanie opłat ekologicznych za wjazd do centrum miasta.
- **Kryterium 4 – poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu K_{pd} [-]** – swoim zakresem obejmuje występowanie na badanym terenie usług shared-mobility w tym usług: bike-sharing, scooter-sharing, moped-sharing. Odnosi się także do występowania infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych oraz bierze pod uwagę występowanie bus-pasów, po których mogłyby przemieszczać się pojazdy elektryczne. Uwzględnia także poziom wysokości opłaty parkingowej.

³⁵ Opłata ponoszona za czas postoju, kiedy użytkownik opuszcza pojazd, ale nie kończy jego wynajmu.

- **Kryterium 5 – średni koszt innych usług transportowych K_t [zł]** – kryterium ekonomiczne, określa ono średni koszt przejazdu innymi od usług car-sharingu formami transportu na analizowanym obszarze. Kryterium uwzględnia takie aspekty, jak średni koszt usługi: TAXI, ride-sharing np. Uber, sharing economy w tym bike-sharing, moped-sharing oraz scooter-sharing. Ponadto bierze także pod uwagę średni koszt podróży indywidualnym pojazdem, jak i koszt biletu normalnego upoważniającego do przejazdów transportem zbiorowym na analizowanym obszarze.
- **Kryterium 6 – średnie koszty inwestycyjne usług car-sharingu K_{inv} [zł]** – kryterium ekonomiczne. Związane jest z uogólnionymi kosztami niezbędnymi do poniesienia podczas tworzenia systemów car-sharingu na określonym obszarze. Uwzględnia ono koszt zakupu pojazdów do floty car-sharingu, koszty dostosowania pojazdów do używania ich w systemie, koszty związane z oprogramowaniem oraz koszty dotyczące funkcjonowania systemu takie, jak koszt utrzymania pojazdów oraz koszt utrzymania biura obsługi użytkowników systemu.

Bardzo serdecznie proszę o dokonanie porównania parami przedstawionych w tabelach kryteriów z punktu widzenia 4 różnych interesariuszy:

- metropolii jako potencjalnego inwestora w system usług car-sharingu,
- metropolii jako „klienta” operatorów usług car-sharingu,
- operatorów usług zainteresowanych wdrożeniem usług car-sharingu na terenie metropolii dla celów biznesowych,
- użytkowników zainteresowanych korzystaniem z usług car-sharingu na terenie metropolii

odpowiadając na przedstawione w kolejnych punktach pytania. Podczas dokonywania porównań bardzo proszę o przyporządkowanie odpowiednich ocen od 1 do 9 (preferowane wartości 1,3,5,7,9) bazując na oznaczeniach poniższej skali:

Wartość	Opis
1	takie samo znaczenie
2	bardzo słaba przewaga
3	słaba przewaga
4	więcej niż słaba przewaga, mniej niż mocna
5	mocna przewaga
6	więcej niż mocna przewaga, mniej niż bardzo mocna
7	bardzo mocna przewaga
8	więcej niż bardzo mocna przewaga, mniej niż ekstremalna
9	ekstremalna, całkowita przewaga

Przykład: Które z kryteriów są Pani/Pana zdaniem najważniejsze podczas wdrażania usługi car-sharingu na danym obszarze? Proszę dokonać oceny od 1 do 9 (preferowane wartości 1,3,5,7,9), gdzie 1 oznacza, że kryteria posiadają taką samą wagę, a 9, że dane kryterium jest absolutnie bardziej ważne względem drugiego. Proszę pominąć zaczernione miejsca.

	Kryteria TECHNICZNE	Kryteria ŚRODOWISKOWE
Kryteria EKONOMICZNE	3	5
Kryteria ŚRODOWISKOWE	1	1

Z przykładu wynika, że kryteria EKONOMICZNE są ważniejsze od Kryteriów TECHNICZNYCH i nadano im wagę 3. Kryteria ŚRODOWISKOWE są ważniejsze od kryteriów EKONOMICZNYCH i nadano im wagę 5. Nadanie wagi 1 oznacza, że kryteria są tak samo ważne.

Bardzo serdecznie dziękuję Państwu za pomoc oraz poświęcony czas.

mgr inż. Katarzyna Turoń

Politechnika Śląska,
Wydział Transportu

- 1) **Które z kryteriów Pani/Pana zdaniem są ważniejsze podczas wdrażania usługi car-sharingu na danym obszarze z punktu widzenia metropolii jako potencjalnego inwestora w system usług car-sharingu?** Metropolia rozumiana jest w tym przypadku jako reprezentant poszczególnych władz gmin wchodzących w jej skład.

Proszę dokonać porównania parami przy porządkując oceny od 1 do 9 (preferowane wartości 1,3,5,7,9) bazując na oznaczeniach poniższej skali:

Wartość	Opis
1	takie samo znaczenie
2	bardzo słaba przewaga
3	słaba przewaga
4	więcej niż słaba przewaga, mniej niż mocna
5	mocna przewaga
6	więcej niż mocna przewaga, mniej niż bardzo mocna
7	bardzo mocna przewaga
8	więcej niż bardzo mocna przewaga, mniej niż ekstremalna
9	ekstremalna, całkowita przewaga

Proszę pominąć zaczerńnione miejsca.

	Średni kosztu usługi car-sharingu	Standard usługi car-sharingu	Poziom ochrony środowiska na danym obszarze	Poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu	Koszty innych usług transportowych	Koszty inwestycyjne systemu car-sharingu
Średni kosztu usługi car-sharingu						
Standard usługi car-sharingu						
Poziom ochrony środowiska na danym obszarze						
Poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu						
Koszty innych usług transportowych						
Koszty inwestycyjne systemu car-sharingu						

- 2) Które z kryteriów Pani/Pana zdaniem są ważniejsze podczas wdrażania usługi car-sharingu na danym obszarze z punktu widzenia metropolii jako „klienta” operatorów usług car-sharingu? Metropolia rozumiana jest jako organ reprezentujący gminy wchodzące w jej skład, na terenie których system car-sharingu miałby być wdrożony. Założono, że metropolia jest ona otwarta na dowolnych operatorów i jednocześnie NIE chce tworzyć własnego systemu car-sharingu.

Proszę dokonać porównania parami przy porządkując oceny od 1 do 9 (preferowane wartości 1,3,5,7,9) bazując na oznaczeniach poniższej skali:

Wartość	Opis
1	takie samo znaczenie
2	bardzo słaba przewaga
3	słaba przewaga
4	więcej niż słaba przewaga, mniej niż mocna
5	mocna przewaga
6	więcej niż mocna przewaga, mniej niż bardzo mocna
7	bardzo mocna przewaga
8	więcej niż bardzo mocna przewaga, mniej niż ekstremalna
9	ekstremalna, całkowita przewaga

Proszę pominąć zaczerńnione miejsca.

	Średni kosztu usługi car-sharingu	Standard usługi car-sharingu	Poziom ochrony środowiska w na danym obszarze	Poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu	Koszty innych usług transportowych	Koszty inwestycyjne systemu car-sharingu
Średni kosztu usługi car-sharingu						
Standard usługi car-sharingu						
Poziom ochrony środowiska na danym obszarze						
Poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu						
Koszty innych usług transportowych						
Koszty inwestycyjne systemu car-sharingu						

- 3) Które z kryteriów Pani/Pana zdaniem są ważniejsze podczas wdrażania usługi car-sharingu na danym obszarze z punktu widzenia operatorów usług zainteresowanych wdrożeniem usług car-sharingu na terenie metropolii dla celów biznesowych?

Proszę dokonać porównania parami przy porządkując oceny od 1 do 9 (preferowane wartości 1,3,5,7,9) bazując na oznaczeniach poniższej skali:

Wartość	Opis
1	takie samo znaczenie
2	bardzo słaba przewaga
3	słaba przewaga
4	więcej niż słaba przewaga, mniej niż mocna
5	mocna przewaga
6	więcej niż mocna przewaga, mniej niż bardzo mocna
7	bardzo mocna przewaga
8	więcej niż bardzo mocna przewaga, mniej niż ekstremalna
9	ekstremalna, całkowita przewaga

Proszę pominąć zaczernione miejsca.

	Średni kosztu usługi car-sharingu	Standard usługi car-sharingu	Poziom ochrony środowiska na danym obszarze	Poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu	Koszty innych usług transportowych	Koszty inwestycyjne systemu car-sharingu
Średni kosztu usługi car-sharingu						
Standard usługi car-sharingu						
Poziom ochrony środowiska na danym obszarze						
Poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu						
Koszty innych usług transportowych						
Koszty inwestycyjne systemu car-sharingu						

- 4) Które z kryteriów Pani/Pana zdaniem są ważniejsze podczas wdrażania usługi car-sharingu na danym obszarze z punktu widzenia użytkowników zainteresowanych korzystaniem z usług car-sharingu na terenie metropolii?

Proszę dokonać porównania parami przy porządkując oceny od 1 do 9 (preferowane wartości 1,3,5,7,9) bazując na oznaczeniach poniższej skali:

Wartość	Opis
1	takie samo znaczenie
2	bardzo słaba przewaga
3	słaba przewaga
4	więcej niż słaba przewaga, mniej niż mocna
5	mocna przewaga
6	więcej niż mocna przewaga, mniej niż bardzo mocna
7	bardzo mocna przewaga
8	więcej niż bardzo mocna przewaga, mniej niż ekstremalna
9	ekstremalna, całkowita przewaga

Proszę pominąć zaczernione miejsca.

	Średni kosztu usługi car-sharingu	Standard usługi car-sharingu	Poziom ochrony środowiska na danym obszarze	Poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu	Koszty innych usług transportowych	Koszty inwestycyjne systemu car-sharingu
Średni kosztu usługi car-sharingu						
Standard usługi car-sharingu						
Poziom ochrony środowiska na danym obszarze						
Poziom dostępności miejskiego systemu transportowego dla systemów car-sharingu						
Koszty innych usług transportowych						
Koszty inwestycyjne systemu car-sharingu						