POLITECHNIKA POZNAŃSKA
Wydział Maszyn Roboczych i Transportu
Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych

Metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji w problematyce zarządzania transportem miejskim

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Mirosław Kruszyński

Promotor:

Prof. PP, dr hab. inż. Jacek Żak

Poznań, luty 2014

Spis treści

Streszczenie **8**

Summary **10**

1. Wprowadzenie **12**

1.1. Obszar zainteresowań badawczych *12*

1.2. Wnioski z przeglądu literatury *16*

1.3. Sformułowanie problemu badawczego, cel, zakres oraz tezy badawcze pracy *18*

2. Transport miejski **22**

2.1. Pojęcie, zakres, klasyfikacja i istota funkcjonowania transportu miejskiego *22*

2.2. Polityka transportowa w odniesieniu do miast *25*

2.3. Zarządzanie transportem miejskim, jako element zarządzania miastem *29*

2.3.1. Istota zarządzania miastem 29

2.3.2. Istota zarządzania transportem miejskim 34

2.4. Sposoby oceny transportu miejskiego *42*

2.4.1. Metodyki oceny projektów transportowych 42

2.4.2. Analiza kosztów i korzyści 46

2.4.3. Analiza wielokryterialna 48

2.4.4. Zalety i wady metodyk CBA i MCDA 50

2.4.5. Zastosowanie metodyk CBA i MCDA do oceny projektów transportowych 54

2.4.6. Przykładowe kryteria stosowane do oceny projektów transportowych 56

2.5. Podsumowanie *58*

3. Wielokryterialne wspomaganie decyzji (WWD) **59**

3.1. Istota WWD *59*

3.2. Przegląd i klasyfikacja metod WWD, opis wybranych metod (ELECTRE III; AHP; PROMETHEE I; UTA) *68*

3.2.1. Klasyfikacja metod WWD 68

3.2.2. Metoda ELECTRE III 71

3.2.3. Metoda AHP 74

3.2.4. Metoda PROMETHEE I 76

3.2.5. Metoda UTA 79

3.3. Analiza mocnych i słabych stron wybranych metod WWD *81*

3.4. Indywidualne i grupowe podejmowanie decyzji *86*

3.5. Przegląd zastosowań metod wielokryterialnego wspomagania decyzji *88*

3.6. Podsumowanie *91*

4. Propozycja metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego **93**

4.1. Przesłanki wynikające z przeglądu literatury do określenia luki badawczej *93*

4.2. Ogólna charakterystyka proponowanej metodyki ... 93

4.3. Szczegółowy opis proponowanej metodyki ... 96

5. Weryfikacja opracowanej metodyki ... 108

5.1. Poziom I – rozwiązywanie specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych dotyczących transportu miejskiego ... 108

5.1.1. Wybór lokalizacji parkingów typu parkuj i jedź –problem decyzyjny Pr-1 ... 109

5.1.1.1. Identyfikacja i opis werbalny problemu decyzyjnego Pr-1 ... 109

5.1.1.2. Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego dla problemu decyzyjnego Pr-1 ... 110

5.1.1.3. Analiza oraz wybór metody pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego Pr1 ... 115

5.1.1.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe dla sytuacji decyzyjnej Pr1 ... 116

5.1.1.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla problemu decyzyjnego – Pr1 ... 119

5.1.2. Ranking różnych rozwiązań transportowych dla wybranego odcinka sieci drogowej – problem decyzyjny Pr-2 ... 120

5.1.2.1. Identyfikacja i opis werbalny problemu decyzyjnego – Pr-2 ... 120

5.1.2.2. Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego dla problemu decyzyjnego Pr-2 ... 121

5.1.2.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego – Pr-2 ... 125

5.1.2.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe dla sytuacji decyzyjnej – Pr-2 ... 126

5.1.2.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla sytuacji decyzyjnej Pr-2 ... 131

5.1.3. Wybór modelu tramwaju niskopodłogowego dla systemu miejskiego transportu publicznego – problem decyzyjny Pr-3 ... 132

5.1.3.1. Identyfikacja i opis werbalny problemu decyzyjnego Pr-3 ... 132

5.1.3.2. Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego dla problemu decyzyjnego Pr-3 ... 133

5.1.3.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego Pr-3 . 136

5.1.3.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe dla problemu decyzyjnego Pr-3 ... 138

5.1.3.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla problemu decyzyjnego Pr-3 ... 140

5.2. Poziom II – uzyskanie rankingu merytorycznego projektów transportu miejskiego ... 141

5.2.1. Identyfikacja i opis werbalny podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) rozważanego na poziomie II ... 141

5.2.2. Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego dla podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) ... 142

5.2.2.1. Charakterystyka wariantów na poziomie II ... 142

5.2.2.2. Kryteria merytoryczne ... 146

5.2.2.3. Macierz ocen wariantów dla podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) ... 150

5.2.2.4. Model preferencji decydenta/interwenientów – poziom II – merytoryczny ... 151

5.2.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie podproblemu decyzyjnego dla poziomu II merytorycznego ... 152

5.2.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe na poziomie II – merytorycznym ... 156

5.2.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla uzyskania rankingu merytorycznego 168

5.3. Poziom III – wygenerowanie rankingu sektorowego projektów transportu miejskiego 170

5.3.1. Identyfikacja i opis werbalny podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) rozważanego na poziomie III 171

5.3.2. Konstrukcja modelu matematycznego podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) 172

5.3.2.1. Charakterystyka wariantów – poziom III – sektorowy 172

5.3.2.2. Kryteria sektorowe 172

5.3.2.3. Macierz ocen dla podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) 173

5.3.2.4. Model preferencji decydenta/interwenientów – poziom III – sektorowy 174

5.3.3. Analiza i wybór metody WWD pozwalającej na rozwiązanie podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) 175

5.3.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe na poziomie III – sektorowym 177

5.3.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla uzyskania rankingu sektorowego 181

5.4. Poziom IV – uzyskanie rankingu strategicznego projektów transportu miejskiego 183

5.4.1. Identyfikacja i opis werbalny podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St) 183

5.4.2. Konstrukcja modelu matematycznego podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD- St) 184

5.4.2.1. Charakterystyka wariantów – poziom IV – strategiczny 184

5.4.2.2. Kryteria strategiczne 184

5.4.2.3. Macierz ocen dla podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St) 186

5.4.2.4. Model preferencji decydenta – poziom IV – strategiczny 187

5.4.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St) 187

5.4.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe na poziomie strategicznym 188

5.4.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla uzyskania rankingu strategicznego 192

5.5. Poziom V – uzyskanie rankingu końcowego projektów transportu miejskiego 194

5.5.1. Identyfikacja i opis werbalny problemu decyzyjnego na poziomie V 195

5.5.2. Konstrukcja modelu matematycznego problemu decyzyjnego rozważanego na poziomie V 196

5.5.2.1. Charakterystyka wariantów – poziom V – ranking końcowy 197

5.5.2.2. Kryteria oceny wariantów na poziomie V 197

5.5.2.3. Macierz ocen dla problemu decyzyjnego rozważanego na poziomie V 197

5.5.2.4. Model preferencji decydenta/interwenientów – poziom V 198

5.5.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego na poziomie V 199

5.5.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe związane z uzyskaniem rankingu końcowego 199

5.5.4.1. Podejście I – przy pomocy oryginalnej formuły agregacji funkcji użyteczności 200

5.5.4.2. Podejście II – z wykorzystaniem metody AHP 203

5.5.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) 207

6. Podsumowanie i wnioski 210

6.1. Spełnienie założonego celu 210

6.2. Weryfikacja postawionych tez ... 213

6.3. Wnioski i rekomendacje końcowe ... 214

6.4. Kierunki dalszych badań ... 216

Spis rysunków ... 218

Spis tabel ... 220

Bibliografia ... 221

Załączniki ... 241

Streszczenie

Niniejsza rozprawa doktorska dotyczy problematyki oceny projektów z zakresu transportu miejskiego, dotyczących różnych jego rodzajów, lokującej się w ramach szerszej problematyki zarządzania transportem miejskim. Autor niniejszej dysertacji postawił hipotezę, iż metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji może posłużyć do rozwiązania wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego z zakresu zarządzania transportem miejskim, związanego z ustaleniem kolejności realizacji projektów transportu miejskiego o różnym charakterze.

Z uwagi na powyższe, nadrzędnym celem pracy jest opracowanie uniwersalnej, spójnej metodyki ustalania kolejności realizacji projektów transportowych, mających na celu doskonalenie, rozwój i usprawnienie systemu transportu miejskiego, z wykorzystaniem narzędzi wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) i uwzględniającej zarówno cele (kryteria) merytoryczne, jak i cele (kryteria) miejskiej polityki transportowej oraz cele (kryteria) strategiczne miasta / aglomeracji miejskiej.

W konsekwencji, cele podrzędne sformułowano, jako: wykazanie wielopoziomowego, wielokryterialnego charakteru problemów decyzyjnych występujących w zarządzaniu miastem, a w szczególności w sferze transportu miejskiego (różne grupy interesów, różne aspekty oceny – techniczne, ekonomiczne, społeczne, środowiskowe, bezpieczeństwa itd.), skonstruowanie hierarchii celów (kryteriów) w sferze zarządzania transportem miejskim na trzech jego poziomach oraz wykazanie związku pomiędzy realizacją owych celów (kryteriów) a realizacją celów strategicznych miasta.

W toku pracy zrealizowano szereg zadań badawczych. Po pierwsze, dokonano wszechstronnego przeglądu literatury w zakresie zarządzania miastem i transportem miejskim, oceny transportu miejskiego oraz wielokryterialnego wspomagania decyzji. Następnie sformułowano problem badawczy, jako zadanie wielopoziomowego, wielokryterialnego szeregowania wariantów oraz przeprowadzono jego dogłębne studium i analizę. Rozważany problem decyzyjny zamodelowano matematycznie, definiując warianty, spójne rodziny kryteriów ich oceny na różnych poziomach analizy oraz modele preferencji decydenta i interesariuszy. Dokonano analizy i wyboru metod obliczeniowych, ze szczególnym uwzględnieniem wielokryterialnych metod szeregowania/rankingu wariantów. Kolejno, przeprowadzono serię eksperymentów obliczeniowych prowadzących do ostatecznego uszeregowania projektów transportu miejskiego z wykorzystaniem oryginalnej formuły agregacji wyników. Ostatecznie, dokonano wszechstronnej analizy uzyskanych rezultatów i wyboru rozwiązania kompromisowego wraz z rekomendacjami metodycznymi i utylitarnymi.

Niniejsza rozprawa doktorska zawiera sześć niżej scharakteryzowanych rozdziałów. We wprowadzeniu zdefiniowano problematykę pracy oraz sformułowano hipotezę, cel i główne zadania badawcze. Odniesiono się do podstawowych pojęć i zjawisk związanych z funkcjonowaniem transportu miejskiego. Na podstawie wniosków

z przeglądu literatury określono lukę badawczą i zakres pracy. W kolejnych dwóch rozdziałach teoretycznych (Rozdziały 2 i 3) dokonano przeglądu literatury z zakresu transportu miejskiego i wielokryterialnego wspomagania decyzji. W Rozdziale 2 scharakteryzowano pojęcia i zasady funkcjonowania transportu miejskiego oraz zjawiska z nim związane. Opisano politykę transportową w odniesieniu do miast, a także ulokowano zarządzanie transportem miejskim w sferze zarządzania miastem. Przedstawiono sposoby i metody oceny transportu miejskiego, a w szczególności oceny projektów transportowych. W Rozdziale 3 zaprezentowano istotę wielokryterialnego wspomagania decyzji oraz przeprowadzono przegląd i klasyfikację metod WWD. Szczegółowo scharakteryzowano wybrane wielokryterialne metody szeregowania wariantów. Odniesiono się również do relacji pomiędzy wielokryterialnym i grupowym podejmowaniem decyzji. Ostatecznie, przedstawiono aktualny stan zastosowań WWD w wielu dziedzinach, w tym w szczególności w transporcie. W Rozdziale 4 przedstawiono oryginalną metodykę wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów z zakresu transportu miejskiego. Rozdział ten stanowi twórczy wkład autora niniejszej dysertacji i zawiera szczegółowy opis zaproponowanej metodyki wraz z jej graficzną prezentacją. W najszerszym Rozdziale 5 dokonano praktycznej weryfikacji opracowanej metodyki. W tej części przedstawiono całą procedurę postępowania związaną z rozwiązywaniem problemu decyzyjnego na pięciu poziomach. Na poziomie I zaprezentowano rozwiązanie trzech odrębnych, specyficznych problemów decyzyjnych, tj.: problemu optymalizacji lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź", problemu rankingu różnych rozwiązań transportowych dla wybranego odcinka sieci drogowej oraz problemu oceny i wyboru modelu tramwaju dla systemu transportu publicznego. Na tej podstawie, oraz w wyniku dodatkowych analiz, stworzono listę osiemnastu projektów transportowych poddanych ocenie i uszeregowaniu. Na poziomach II-IV przeprowadzono wszechstronną ocenę rozważanych projektów ze względu na kryteria merytoryczne (operacyjne), sektorowe (taktyczne) i ogólno-miejskie (strategiczne). Na poziomie V przeprowadzono oryginalną agregację wyników i uzyskano ranking końcowy projektów transportu miejskiego. Eksperymenty obliczeniowe uzupełniono o analizę wrażliwości i stabilności rankingu. W Rozdziale 6 wyprowadzono wnioski końcowe, w tym scharakteryzowano najważniejsze osiągniecia metodyczne i praktyczne oraz wskazano możliwe kierunki dalszych prac badawczych.

W toku niniejszej rozprawy wykazano, iż zastosowanie metodyki wielopoziomowego, wielokryterialnego wspomagania decyzji pozwala na przeprowadzenie kompleksowej, wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego z uwzględnieniem celów (kryteriów) merytorycznych, celów (kryteriów) strategicznych, celów (kryteriów) polityki transportowej miasta, różnych aspektów oceny i interesów wielu podmiotów, a także na znalezienie rozwiązań kompromisowych będących wskazaniem/rekomendacją dla decydenta (władz miejskich).

Summary

The presented doctoral dissertation deals with the evaluation of urban transportation projects, involving various transportation modes. All considerations are carried out within a wider framework of urban transportation management. The author has formulated the hypothesis that the methodology of multiple-criteria decision aiding may be successfully used in the process of solving a multiple-level, multiple-criteria decision problem in the field of urban transportation management, concerning the determination of the sequence of executing diverse urban transportation projects.

Thus, the major / principal objective of the presented thesis is the development of a universal, coherent methodology of establishing a sequence of implementing urban transportation projects, focused on enhancement, development and efficiency increase of an urban transportation system, with the application of multiple-criteria decision aiding (MCDA) methods / tools, and taking into consideration: technical / operational / project-specific objectives (criteria), the objectives (criteria) defined by the urban transportation policy as well as the city / metropolitan area strategic objectives (criteria).

Consequently, the subordinate objectives have been formulated as follows: demonstrating a multiple-level and multiple-criteria character of the decision problems encountered in city management, and specifically in the area of urban transportation management (various interest groups, various evaluation aspects – technical, economic, social, environmental, safety-related etc.), constructing a hierarchy of objectives (criteria) in the area of urban transportation management on its three levels, as well as demonstrating the existing relationship between satisfying these objectives (criteria) and fulfilling / reaching the city's strategic objectives.

Several research tasks have been completed in the course of this project. Firstly, a comprehensive review of the literature in the fields of city administration / management, urban transportation management and evaluation of urban transportation as well as a multiple-criteria decision aiding has been carried out. Then, the research problem has been formulated as a multiple-level, multiple-criteria ranking problem and, subsequently, its in-depth study and analysis have been performed. The considered decision problem has been expressed in terms of a mathematical model. This included the definition of variants and consistent families of criteria for their evaluation at different levels of analysis. Also, the models of preferences of the decision-makers and stakeholders have been defined. The analysis and selection of computational methods have been performed, with a special emphasis on multiple-criteria ranking methods. Then, a series of computational experiments, resulting in the final ranking of urban transportation projects, generated with the application of an original formula of results' aggregation has been carried out. Finally, an extensive analysis of the generated results has been performed and a compromise solution has been selected. The analysis has been accompanied by methodological and practical recommendations.

The thesis is composed of six chapters outlined below. In the introduction the problems that the thesis deals with have been defined, and the main hypothesis, the objective and the main research tasks have been presented. The author has referred to the key terms and phenomena associated with the operation of urban transportation.

Looking at the conclusions from the existing literature on the subject, the research gap and the scope of the presented thesis have been defined. In the next two theoretical chapters (Chapters 2 and 3) a review of the literature on urban transportation and on multiple-criteria decision aiding has been carried out. In Chapter 2 the terms and the principles of how urban transportation operates, as well as related with it phenomena have been characterized. A description of urban transportation policy has been offered, and urban transportation management has been located in the sphere of city administration / management. Ways and methods of evaluating urban transportation have been presented with special reference to the evaluation of transportation projects. In Chapter 3 the essence of multiple-criteria decision aiding has been presented together with a review and classification of the MCDA methods. Also, the selected multiple-criteria ranking methods have been characterized in a detailed way. There have also been made references to the relations between the multiple-criteria and group decision-making. Finally, the up-to-date state of MCDA application in diverse areas, especially in transportation, has been shown. In Chapter 4 the original methodology of the multiple-level, multiple-criteria evaluation of urban transportation projects has been presented. This chapter represents the author's unique creative input and contains a detailed description of the proposed methodology, complete with a graphic presentation. In the widest Chapter 5 a practical verification of the developed methodology has been carried out. In this section the entire procedure of resolving a decision-making problem on five different levels has been described. At the first (I) level the solution of three separate, specific decision-making problems, namely the optimisation of locating "Park & Ride" car parks problem, the problem of ranking various transportation solutions for a selected section of a road network, and the problem of evaluating and selecting the most suitable tram model for the public transportation system have been presented. On this basis and as a result of additional analyses, a list of eighteen, then evaluated and ranked, transportation projects has been created. At levels II-IV a comprehensive evaluation of the considered projects bas been carried out with reference to the technical / operational / project-specific criteria, sectorial (tactical) and overall municipal (strategic) criteria. At level V an original aggregation of results has been carried out and the final ranking of urban transportation projects has been obtained. The computational experiments have been supplemented with the ranking sensitivity and stability analysis. In Chapter 6 the final conclusions have been presented, especially the most important methodological and practical achievements have been characterized, and then potential directions for further research have been identified.

In the course of the presented thesis, it has been proved that the utilisation of a multiple-level, multiple-criteria decision aiding methodology enables to carry out a comprehensive, multiple-level, multiple-criteria evaluation of urban transportation projects, taking into consideration the technical / operational / project-specific objectives (criteria), the strategic objectives (criteria), the objectives (criteria) of the urban transportation policy, various aspects of evaluation and interests of a number of stakeholders, as well as to identify compromise solutions that may be an indication / recommendation for the decision-maker (municipal authorities).

1. Wprowadzenie

1.1. Obszar zainteresowań badawczych

Określenie obszaru zainteresowań badawczych rozwijanych w niniejszej dysertacji wymaga zestawienia krótkich objaśnień odnoszących się do dwóch obszarów zagadnień – z jednej strony metodyki wielokryterialnego podejmowania decyzji, a z drugiej, problematyki zarządzania transportem miejskim. Problematyka zarządzania transportem miejskim może być poprawnie scharakteryzowana wyłącznie przy zwróceniu uwagi na bardziej podstawowe pojęcia, jakimi są „transport miejski", wcześniej „zarządzanie miastem", a ostatecznie „miasto".

Przez pojęcie „miasto" (ang. „*city*") należy rozumieć intensywnie zabudowany obszar o dobrze rozwiniętej infrastrukturze technicznej (wodociągowej, gazociągowej, kanalizacyjnej, drogowej, transportowej) oraz dużej gęstości zaludnienia, który zamieszkuje ludność nie wykonująca prac rolniczych [226], [340]. Ponieważ miasto nie zawsze zamyka się w granicach administracyjnych, a liczba ludności często nie oddaje jego rzeczywistych rozmiarów, stosuje się dodatkowe pojęcia: „aglomeracja miejska", „konurbacja", „metropolia", „region miejski" i inne [340].

Problematyka zarządzania miastem, jest związana z problematyką zarządzania publicznego i poruszana jest przez wielu autorów na świecie [6], [46], [203], [237]. Zarządzanie miastem postrzega się, jako złożony proces decyzyjno-kontrolny, w którym władze miejskie przejmują odpowiedzialność za wszystkie aspekty funkcjonowania miasta [6]. Cel zarządzania miastem to zapewnienie jego efektywnego funkcjonowania, które z kolei ma istotny wpływ na rozwój ekonomiczny miasta, zapewniając społeczności lokalnej/użytkownikom miasta zabezpieczenie w zakresie świadczonych usług komunalnych i publicznych [237]. Wielu autorów jest zgodnych, co do tego, że zarządzanie miastem powinno być odnoszone do klasycznej teorii zarządzania. Autorzy [130], [329] dostrzegają również bardziej złożony charakter zarządzania miastem niż zarządzania przedsiębiorstwem – stąd istnieje konieczność dostosowania klasycznych metod zarządzania do warunków funkcjonowania sektora publicznego i specyfiki problematyki miejskiej. Zarządzanie miastem powinno również mieć charakter procesowy i być nastawione na działania (projekty), a także uwzględniać szeroki (znacznie szerszy niż w przypadku organizacji w sektorze prywatnym [130]) wachlarz osób i podmiotów (ang. *stakeholders*) zainteresowanych sprawnym działaniem i rozwojem miasta. Zarządzanie miastem powinno także polegać na realizacji: strategii rozwoju miasta, konkretyzujących je polityk sektorowych (np. polityki transportowej) i pozostających na największym stopniu szczegółowości planowania w mieście, programów i projektów.

W literaturze przedmiotu [42], [53], [103], [106], [176], [224], można znaleźć trzy zasadnicze podejścia do zarządzania publicznego stosowanego w miastach: tradycyjne zarządzanie publiczne (ang. *Traditional Public Administration* – TPA), czyli koncepcję

zarządzania opartą na modelu biurokratycznym; nowe zarządzanie publiczne (ang. *New Public Management* – NPM), czyli koncepcję zarządzania opartą na metodach i technikach stosowanych w sektorze prywatnym; oraz – zalecane przez Unię Europejską, jako obecnie najbardziej pożądane podejście do zarządzania publicznego – dobre zarządzanie publiczne (ang. *Good Governance* – GG), czyli koncepcję zarządzania opartą na partycypacyjnym modelu podejmowania decyzji.

W każdym mieście, wśród wielu współistniejących systemów, będących przedmiotem zarządzania, bardzo istotną rolę pełni system transportu miejskiego (ang. *urban transportation system*), który zapewnia codzienne przemieszczanie się osób i ładunków [74]. System transportu miejskiego obejmuje takie komponenty jak: infrastruktura transportowa, tabor, ludzie oraz przepisy, zasady i regulacje funkcjonowania i kontroli [114] [318], [347]. Aby system transportu miejskiego mógł funkcjonować prawidłowo, gwarantując dostępność usług przewozowych oraz ich wysoką jakość/standard, niezbędna jest odpowiednia koordynacja i kontrola wyżej wymienionych komponentów [350]. Zdaniem wielu badaczy [39], [257], [258], [259], [335], współczesny transport miejski powinien się charakteryzować: ograniczoną, kontrolowaną dostępnością samochodem centralnych obszarów miasta (również obszarów chronionych ze względu na ich wartość kulturową); rekompensowaną obsługą środkami transportu zbiorowego oraz dobrymi warunkami dla ruchu niezmotoryzowanego [257]; wysoką jakością transportu publicznego, zapewniającego atrakcyjność czasu podróży; niezawodnością i dużą częstotliwością; czystością i komfortem podróży; łatwo dostępną i aktualną informacją oraz dogodnym systemem biletowym [259]; zdolnością do zaspokojenia potrzeb mobilności bez zagrażania zdrowiu i ekosystemom (poprzez zużywanie odnawialnych zasobów na poziomie ich odtwarzania, a nieodnawialnych, na poziomie zastąpienia ich odnawialnymi substytutami) [39]. Powyższe cele wydają się w dzisiejszych czasach jednym z kluczowych zagadnień i priorytetów osób i instytucji zarządzających transportem miejskim i miastami [74].

Ze względu na fakt, iż wśród wielu współistniejących systemów w mieście występuje system transportu miejskiego, problematyka zarządzania transportem miejskim wiąże się ściśle z problematyką zarządzania miastem. Stąd także problematyka zarządzania transportem miejskim charakteryzująca się dużą złożonością (ze względu na wieloelementową budowę systemu transportu miejskiego), wymaga również – tak, jak zarządzanie miastem – wzięcia pod uwagę wielu aspektów o charakterze ekonomicznym, technicznym, społecznym czy środowiskowym [35], [264], [319], [348]. W zarządzaniu transportem miejskim istotne jest również – podobnie, jak w zarządzaniu miastem – poszukiwanie rozwiązań kompromisowych uwzględniających interes różnych podmiotów (ang. *stakeholders*): mieszkańców (użytkowników) miasta, pasażerów, operatora transportu publicznego i infrastruktury, organizatora transportu miejskiego, władz lokalnych, zainteresowanych sprawnym działaniem miejskiego systemu transportowego i jego rozwojem [6], [349], [350].

Kluczową rolę w zarządzaniu transportem miejskim odgrywa polityka transportowa miasta definiowana, jako zbiór celów sformułowany przez władze miasta, odnoszący się do systemu transportu miejskiego oraz sposobów i środków służących do ich osiągania, zgodna z celami strategii rozwoju miasta, stanowiąca drogowskaz dla wszystkich podmiotów odpowiedzialnych za jej realizację. Polityka transportowa miasta powinna nie tylko objąć transport miejski, którego organizacja w całości należy do władz miejskich, ale także związane z miastem/aglomeracją miejską elementy transportowego systemu: regionalnego, krajowego, kontynentalnego. Opcje podziału zadań przewozowych, rozwój układu drogowo-ulicznego, rozwój sieci tramwajowej, polityka parkingowa, związek z polityką przestrzenną to tylko niektóre aspekty miejskiej polityki transportowej [257].

W kontekście zarządzania współczesnym transportem miejskim, w pracach wielu badaczy [39], [66], [74], [39], [145], [208], [259], [293], [335], [349] poruszane jest zagadnienie zrównoważonego rozwoju transportu miejskiego. Właśnie zrównoważony rozwój jest przez nich wskazywany jako rozwiązanie problemów (m. in. rosnącej liczby wypadków śmiertelnych, opóźnień w transporcie miejskim, zanieczyszczenia powietrza [154]) powstających w wyniku wzmożonego ruchu ulicznego, będącego skutkiem wzrostu mobilności i motoryzacji. Zasady zrównoważonego rozwoju określają pewne ramy i standardy polityki transportowej – np. jedna z najważniejszych reguł głosi, że konieczna jest integracja różnych rodzajów transportu, a zwłaszcza transportu prywatnego i publicznego. Wiele miast europejskich wprowadziło politykę transportową wykorzystującą owe zasady [228], [257].

Realizacji strategii rozwoju miasta oraz powiązanych z nią polityk sektorowych (w tym polityki transportowej), planów i programów, powinna towarzyszyć ich ocena, najlepiej sparametryzowana i skwantyfikowana. Poszczególne działania (projekty) podejmowane w mieście, służące realizacji jego strategicznych planów, powinny być poddane ocenie z punktu widzenia różnych celów zawartych w różnych dokumentach opracowywanych w procesie zarządzania miastem. Stąd też zdaniem autora niniejszej dysertacji konieczne jest, przy ocenie różnorodnych projektów służących miastu (także tych, które dotyczą różnych rodzajów transportu miejskiego), stworzenie pewnej hierarchii/struktury kryteriów oceniających, obejmujących: poziom globalny, tzn. strategiczny (kryteria oceniające działania z perspektywy strategii rozwoju miasta); poziom taktyczny, tzn. obszarowy/sektorowy (kryteria oceniające ze względu na interes realizowany w poszczególnych obszarach/sektorach działalności miejskiej, np.: jakość warunków mieszkaniowych, jakość transportu, poziom nauczania, jakość opieki medycznej, możliwość wypoczynku i rekreacji); oraz poziom operacyjny, tzn. merytoryczny – związany z realizacją konkretnych projektów (np. kryteria merytoryczne oceniające jakość i parametry realizacji: remontów i napraw obiektów, dróg, budowy trasy tramwajowej, przyznawania stypendiów, współorganizowania imprez masowych, renowacji budynków itp.). Ustalenie kolejności realizacji projektów w mieście, ze względu na ograniczone zasoby, z jednoczesnym odniesieniem do

nakreślonych celów strategii rozwoju miasta, celów wielu polityk sektorowych oraz celów merytorycznych, związanych z realizacją danego projektu, jest wielopoziomowym, wielokryterialnym problemem decyzyjnym, którego rozwiązanie nie jest zadaniem łatwym i wymaga odpowiedniego podejścia i odpowiednich narzędzi.

Powyższe rozważania w naturalny sposób prowadzą do konstatacji, że zarówno strategiczne zarządzanie miastem, jak i zarządzanie transportem miejskim, wymaga korzystania z różnych metodyk wspomagających podejmowanie decyzji, takich jak: panel ekspertów, analiza wielokryterialna, benchmarking, analiza kosztów i korzyści czy analiza efektywności kosztowej [94], [95], [96]. W zakresie stosowania metodyk oceny projektów z przeglądu literatury wynika, że najczęściej stosowanymi metodykami są analiza kosztów i korzyści oraz analiza wielokryterialna [33], [78], [80], [180], [209], [216], [314], [316].

Wielokryterialne wspomaganie decyzji (WWD), na którym autor niniejszej dysertacji koncentruje swoją uwagę, nazywane również analizą wielokryterialną (franc. *analyse multicritère,* ang. *Multiple Criteria Analysis* – MCA) lub wielokryterialnym podejmowaniem decyzji (ang. M*ultiple Criteria Decision Making* – MCDM), jest dziedziną naukową wywodzącą się z badań operacyjnych. Dyscyplina ta [243], [247], [264], [316], [339], [349], zmierza do wyposażenia decydenta w narzędzia umożliwiające rozwiązywanie złożonych problemów decyzyjnych, wymagających uwzględnienia wielu, często przeciwstawnych punktów widzenia. Przy rozwiązywaniu tego rodzaju problemów mało przydatne staje się klasyczne rozumienie optymalności, gdyż niemożliwe jest uzyskanie wyników (rozwiązań) optymalnych, czyli najlepszych ze wszystkich punktów widzenia. W takiej sytuacji znacznie bardziej uzasadnione jest dążenie do rozwiązania kompromisowego, uwzględniającego jednocześnie preferencje decydenta/decydentów oraz analizę strat i zysków (ang. *trade-offs*) w odniesieniu do różnych kryteriów [316].

W opinii B. Roya [247] wielokryterialne wspomaganie decyzji jest działalnością analityka (eksperta, doradcy), który w procesie decyzyjnym pomaga decydentowi, czyli podmiotowi podejmującemu decyzję, znaleźć odpowiedź na pytanie związane z poszukiwaniem najbardziej pożądanych rozwiązań przy uwzględnieniu wielości celów (kryteriów), jakie ów podmiot sobie stawia. Decydent określa cele procesu decyzyjnego, wyraża preferencje i ostatecznie ocenia uzyskane rozwiązania. Analityk, będący podmiotem zewnętrznym w stosunku do rozważanego problemu decyzyjnego, jest odpowiedzialny za przebieg procesu wspomagania decyzji. Warto zauważyć, że metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji pozwala na spełnienie wszystkich reguł partycypacyjnego modelu podejmowania decyzji w procesie zarządzania transportem miejskim (wspomniane *Good Governance*) [176].

WWD służy do rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, czyli sytuacji, w której mając zdefiniowany zbiór zadań (rozwiązań, wariantów) oraz spójną rodzinę kryteriów oceny, decydent dąży do rozwiązania: wielokryterialnego problemu wyboru albo wielokryterialnego problemu klasyfikacji lub wielokryterialnego problemu

szeregowania. We wszystkich trzech przypadkach ogólna metodyka postępowania oparta jest na scharakteryzowanych w Rozdziale 3 sześciu fazach [349].

Metodyka WWD ma charakter uniwersalny i może być zastosowana w wielu obszarach i dziedzinach życia. Jest ona generycznym narzędziem umożliwiającym rozwiązywanie różnorodnych problemów decyzyjnych o charakterze wielokryterialnym. Doniesienia wielu autorów [2], [10], [51], [63], [76], [99], [107], [142], [164], [195], [218], [249], [250], [272], [280], [305] wskazują, że może być ona wykorzystywana w takich obszarach, jak: sprzedaż i marketing [10], [218], [272], zarządzanie zasobami ludzkimi [2], [99], [280], zarządzanie produkcją [63], [76], [142], transport i logistyka [164], [249], [250], działalność finansowa przedsiębiorstw [51], [105], [195]. Obserwuje się również coraz większe zainteresowanie badaczy wykorzystaniem metodyki WWD zarówno do zarządzania miastem jak i zarządzania transportem miejskim [203], [237], [329], [347], [350] [358]. W zakresie zarządzania transportem miejskim metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji stosowana jest przy rozwiązywaniu między innymi takich zagadnień jak: ocena systemu transportu miejskiego, wybór rodzajów środków transportowych i skojarzenie z nimi projektowania sieci transportowej, wybór przebiegu trasy transportowej oraz wyznaczenie linii transportowej [303], [311], [353].

1.2. Wnioski z przeglądu literatury

Z przeglądu literatury – przeprowadzonego przez autora pracy – wynika, że:

- metodyka WWD ma charakter uniwersalny i może być zastosowana w wielu obszarach i dziedzinach życia [2], [10], [51], [63], [76], [99], [107], [142], [164], [195], [218], [249], [250], [272], [280], [305] takich jak:
  - sprzedaż i marketing [10], [218], [272],
  - zarządzanie zasobami ludzkimi [2], [99], [280],
  - zarządzanie produkcją [63], [76], [142],
  - transport i logistyka [164], [249], [250],
  - działalność finansowa przedsiębiorstw [51], [105], [195],
- w pracach wielu badaczy [39], [66], [71], [74], [136], [145], [208], [214], [257], [259], [293], [335], [349], można dostrzec eksponowanie następujących zagadnień związanych z zarządzaniem transportem miejskim:
  - prowadzenie spójnej polityki transportowej,
  - integracja transportu miejskiego,
  - zrównoważony rozwój transportu,
- obserwuje się coraz większe zainteresowanie badaczy wykorzystaniem metodyki WWD zarówno do zarządzania miastem jak i do zarządzania transportem miejskim [203], [237], [329], [347], [350], [358],
- w zakresie zarządzania transportem miejskim, metodyka WWD stosowana jest przy rozwiązywaniu, między innymi, takich zagadnień, jak [31], [36], [303], [311], [349], [353]:
  - ocena systemu transportu miejskiego,
  - wybór rodzajów środków transportowych i skojarzenie z nimi projektowania sieci transportowej,

  - wybór przebiegu trasy transportowej,
  - wyznaczenie linii transportowej,
  - ocena projektów transportowych,
- w zakresie stosowania metodyk oceny projektów najczęściej stosowanymi metodykami są: w pierwszej kolejności – analiza kosztów i korzyści [80], [81], [180], [216], – oraz w drugiej kolejności – analiza wielokryterialna [33], [78], [209], [314],[316],
- wielu autorów dostrzega potrzebę poszukiwania rozwiązań wielokryterialnych problemów decyzyjnych z uwzględnieniem preferencji nie tylko decydenta – w postaci władz miasta, ale również mieszkańców (użytkowników miasta) mających odmienne aspiracje i interesy [71], [255], [258], [284], [304], [349], [358]; w tym kontekście metodyka WWD jest postrzegana przez niektórych autorów, jako najbardziej odpowiednia do zastosowania [190], [191], [308], [327],
- kompleksowa analiza systemów transportu miejskiego, jak i proponowanych usprawnień (projektów transportowych) [255], [304], powinna obejmować między innymi aspekty techniczne, ekonomiczne, społeczne i środowiskowe [347], [348],
- w pracach A. Rudnickiego [258], [304] oraz J. Żaka [347], [348], [349] wskazano szereg kryteriów służących do oceny systemów transportu miejskiego obejmujących m.in. czas podróży, punktualność, wskaźnik przesiadkowości, komfort podróży w pojazdach transportu publicznego, bezpieczeństwo, kryteria środowiskowe, niezawodność, gęstość sieci transportowej, również inni autorzy proponują zestawy kryteriów służących do oceny usprawnień systemu transportu miejskiego [44], [58], [77], [82], [98], [180], [261], [264], [303], [311],
- do zarządzania miastem/transportem miejskim stosowane są komputerowe systemy wspomagania decyzji (SWD) [6], [16], [130], [309], [310], [349].

Nie dostrzeżono natomiast w literaturze przykładu rozwiązania wielokryterialnego problemu decyzyjnego o wielopoziomowej strukturze (tym bardziej związanego z projektami dotyczącymi różnych rodzajów transportu miejskiego), a co z tym się wiąże, połączenia kryteriów obejmujących: poziom globalny – strategiczny (kryteria oceniające strategię rozwoju miasta), poziom taktyczny – obszarowy/sektorowy (kryteria oceniające poszczególne obszary działalności miejskiej, np.: transport) oraz poziom operacyjny – merytoryczny, związany z konkretnym działaniem (kryteriów merytorycznych oceniających poszczególne działania). Pewną propozycję w tym zakresie wskazał A. Skulimowski [274], niemniej dotyczyła ona przydziału środków UE i nie odnosiła się do zarządzania miastem ani transportem miejskim. Taka potrzeba połączenia kryteriów z poziomu operacyjnego z kryteriami poziomu obszarowego/ sektorowego i strategicznego występuje przy rozwiązywaniu problemu ustalenia kolejności realizacji projektów transportowych w mieście/aglomeracji miejskiej. Konkludując, opisane braki, niedostatki stanowią lukę badawczą będącą przedmiotem zainteresowania niniejszej dysertacji.

1.3. Sformułowanie problemu badawczego, cel, zakres oraz tezy badawcze pracy

Wnioski płynące z przeglądu literatury oraz własnych doświadczeń autora niniejszej dysertacji, prowadzą do sformułowania problemu badawczego polegającego na opracowaniu metodyki kompleksowej, wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów z zakresu transportu miejskiego, dotyczących różnych jego rodzajów. Metodyka ta ma charakteryzować się uwzględnianiem złożoności problemu oceny projektów transportu miejskiego, jak również wielopoziomowego, wielokryterialnego charakteru oceny tych projektów oraz z zastosowaniem do tej oceny zaawansowanych i wiarygodnych narzędzi, procedury oceny wielokryterialnej. Autor niniejszej dysertacji stawia zatem hipotezę, iż metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji może posłużyć do rozwiązania wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego z zakresu zarządzania transportem miejskim, związanego z ustaleniem kolejności realizacji projektów transportu miejskiego o różnym charakterze.

Powyższe pozwala zdefiniować cel nadrzędny pracy: opracowanie uniwersalnej, spójnej metodyki ustalania kolejności realizacji projektów transportowych mających na celu doskonalenie, rozwój i usprawnienie systemu transportu miejskiego (publicznego i prywatnego) funkcjonującego w wybranym mieście/aglomeracji miejskiej, z wykorzystaniem narzędzi wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD), uwzględniającej zarówno cele (kryteria) merytoryczne jak i cele (kryteria) strategiczne oraz cele (kryteria) polityki transportowej miasta.

Zdefiniowanie celu nadrzędnego pracy prowadzi do określenia celów podrzędnych, jakimi są: wykazanie wielopoziomowego, wielokryterialnego charakteru problemów decyzyjnych występujących w zarządzaniu miastem w sferze transportu miejskiego (różne grupy interesów, różne aspekty oceny – techniczne, ekonomiczne, społeczne, środowiskowe, bezpieczeństwa itd.), skonstruowanie hierarchii celów (kryteriów) w sferze zarządzania transportem miejskim na trzech poziomach zarządzania miastem oraz wykazanie związku pomiędzy realizacją celów (spełnieniem kryteriów) w sferze transportu miejskiego a celami strategicznymi miasta.

Realizacja celu nadrzędnego i celów podrzędnych wymaga przeprowadzenia szeregu zadań badawczych:

- dokonania krytycznego przeglądu literatury z takich obszarów wiedzy jak: zarządzanie, zarządzanie publiczne, zarządzanie miastem, transport miejski, zarządzanie transportem miejskim, ocena projektów transportowych, wielokryterialne wspomaganie decyzji, stosowane kryteria oceny,
- sformułowania i zamodelowania wielokryterialnego, wielopoziomowego problemu decyzyjnego,
- zdefiniowania zbioru wariantów w tym:
  - rozwiązania specyficznych wielokryterialnych problemów decyzyjnych dotyczących transportu miejskiego,

  - przeprowadzenia szczegółowej analizy i wybór projektów transportowych podlegających ocenie, ich klasyfikacja do klas projektów o odmiennym charakterze transportowym, połączona z pozyskaniem i obróbką danych źródłowych dotyczących wybranych projektów transportowych, stanowiące razem fazę definiowania wariantów,
- zdefiniowania spójnych rodzin kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych odpowiadających analizie na różnych poziomach wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego,
- skonstruowania macierzy ocen, poprzez wyznaczenie wartości przyjętych kryteriów w odniesieniu do analizowanych projektów transportowych,
- przeprowadzenia wywiadów z uczestnikami procesu decyzyjnego pozwalających na określenie oczekiwań decydentów i interwenientów oraz skonstruowanie ich modeli preferencji,
- dokonania przeglądu i oceny wybranych metod WWD do szeregowania wariantów i dokonania wyboru metody WWD pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego,
- opracowania formuł normalizacji i agregacji użyteczności wariantów,
- przeprowadzenia eksperymentów obliczeniowych,
- przeprowadzenia analizy wrażliwości wyników,
- stworzenia rekomendacji końcowej.

Wobec powyższego należy sformułować następującą tezę badawczą: zastosowanie metodyki wielopoziomowego, wielokryterialnego wspomagania decyzji pozwala na:

- przeprowadzenie kompleksowej, wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego z uwzględnieniem zarówno celów (kryteriów) merytorycznych, jak i celów (kryteriów) strategicznych oraz celów (kryteriów) polityki transportowej miasta,
- uwzględnienie specyficznych interesów wielu podmiotów: mieszkańców (użytkowników) miasta, władz miejskich, operatorów transportu publicznego oraz pasażerów transportu publicznego,
- znalezienie rozwiązań kompromisowych będących wskazaniem/rekomendacją dla decydenta (władz miejskich).

Odnosząc się do problemu badawczego sformułowanego na początku niniejszego podrozdziału, a rozwiązywanego w dalszych częściach pracy, w tym miejscu należy jeszcze wspomnieć, iż w sensie badawczym, autor podjął się rozwiązania problemu decyzyjnego o unikalnym charakterze i wysoce specyficznej strukturze. Istota rozważanego problemu decyzyjnego polega bowiem na uszeregowaniu zbioru wariantów ocenianych za pomocą różnych kryteriów wykorzystanych na trzech różnych poziomach oceny projektów. Warto nadmienić, że dodatkowym utrudnieniem realizowanych zadań badawczych był brak danych pozwalających na kwantyfikację niektórych kryteriów. Z problemem tym poradzono sobie dzięki zastosowaniu

eksperckiej, przybliżonej oceny wartości wybranych parametrów dla rozważanych wariantów.

Ponadto, w rozważaniach konieczne było uwzględnienie na poziomie merytorycznym odmiennych grup kryteriów stosowanych do oceny różniących się między sobą zestawów wariantów – projektów transportowych – odnoszących się do: transportu prywatnego, transportu publicznego (w zakresie transportu publicznego ograniczono się do jednej grupy/klasy projektów związanych z budową i modernizacją tras tramwajowych), integracji transportu oraz transportu niezmotoryzowanego. Dodatkowo, w przypadku zestawu kryteriów merytorycznych i sektorowych, konieczne było uwzględnienie faktu, że kryteriom o tych samych nazwach nadać trzeba inną interpretację: globalną na poziomie sektorowym, a lokalną na poziomie merytorycznym. Ponadto, na poziomie merytorycznym, mimo tego, że część kryteriów posiadała podobną zawartość znaczeniową, definiowana była odmiennie, w sposób charakterystyczny dla konkretnej grupy wariantów (projektów). Zatem złożoność problemu polegała na tym, że poszczególne warianty musiały zostać ocenione przy pomocy różnych zestawów wzajemnie przenikających się i znaczeniowo zbliżonych kryteriów, a jednocześnie konieczne było uzyskanie globalnej oceny wszystkich wariantów sprowadzonej do jednego, końcowego rankingu. W związku z powyższym niezbędne stało się opracowanie specyficznej formuły agregacji ocen, gwarantującej uzyskanie jednorodnej miary pozwalającej na globalne szeregowanie wariantów na tym poziomie (merytorycznym). Również w celu zaprezentowania rankingu końcowego konieczne było opracowanie i zastosowanie formuły agregacji wartości funkcji użyteczności wariantów z rankingów według kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych.

Zaproponowane podejście do rozwiązywania problemów decyzyjnych związanych z zarządzaniem transportem miejskim można rozpatrywać w szerszym kontekście i traktować, jako uniwersalną metodykę podejmowania decyzji w zarządzaniu miastem. Warto zatem podkreślić, że dalsze badania mogą posłużyć do stworzenia zintegrowanego systemu zarządzania miastem, składającego się z różnych przedstawionych modułów tematycznych, dla których nadrzędnym szkieletem metodycznym jest metodyka WWD, pozwalająca na osiąganie celów merytorycznych danego zagadnienia, ale co najważniejsze, na osiąganie celów strategii rozwoju miasta i przyjętych przez władze miasta polityk sektorowych.

Niniejsza praca składa się z sześciu rozdziałów. W rozdziale pierwszym, sformułowano problem badawczy, określono cel i zakres pracy, zasygnalizowano problematykę transportu miejskiego i problematykę zarządzania nim, a w szczególności opisano problem badawczy oraz zarysowano istotę metodyki wielokryterialnego wspomagania decyzji. W rozdziale drugim zaprezentowano istotę transportu miejskiego. W dalszej kolejności zostało opisane zarządzanie miastem i związane z nim zarządzanie transportem miejskim oraz sposoby oceny stosowane w usprawnianiu systemu transportu miejskiego. Rozdział trzeci został poświęcony na

przegląd metodyki i metod wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) stosowanych w kontekście szeregowania (rankingu), wyboru (optymalizacji) i klasyfikacji na zbiorze rozwiązań (wariantów). W czwartym rozdziale, zaproponowano koncepcję zarządzania transportem miejskim, której oryginalność polega na wielopoziomowej, wielokryterialnej ocenie projektów transportu miejskiego z wykorzystaniem metodyki wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) przy pomocy spójnych rodzin kryteriów: merytorycznych, sektorowych (obszarowych) oraz strategicznych. W rozdziale tym wskazano na uniwersalny charakter tej metodyki. W przedostatnim – piątym – rozdziale dokonano weryfikacji opracowanej koncepcji i analizy uzyskanych wyników. Zaprezentowano tam rozważane warianty oraz kryteria strategiczne na podstawie Strategii Rozwoju Miasta Poznania do roku 2030 [290], kryteria sektorowe na podstawie Polityki Transportowej Miasta Poznania [228] i kryteria merytoryczne specyficzne ze względu na poszczególne grupy/klasy projektów. Przeprowadzono analizę metod WWD odpowiednich do szeregowania wariantów i dokonano wyboru metody WWD przy pomocy, której przeprowadzono eksperymenty obliczeniowe. Ostatni rozdział zawiera podsumowanie i wnioski z przeprowadzonych badań. Praca zakończona jest spisem rysunków, tabel, i bibliografią oraz wykazem załączników.

2. Transport miejski

2.1. Pojęcie, zakres, klasyfikacja i istota funkcjonowania transportu miejskiego

Jedną z najważniejszych funkcji realizowanych przez miasta/aglomeracje miejskie w celu ciągłego zaspokajania potrzeb mieszkańców, organizacji gospodarczych i instytucji, niezależnie od systemów politycznych, położenia geograficznego czy warunków klimatycznych, jest transport miejski. Ma on istotny wpływ na atrakcyjność i nowoczesność miast/aglomeracji miejskich oraz sprawność i jakość życia mieszkańców [85], [179], [185], [255], [282]. Sytuacja transportowa miast/aglomeracji miejskich na świecie jest zróżnicowana, ponieważ transport miejski/aglomeracyjny uzależniony jest od wielu czynników, wśród których za najważniejsze uznać należy: strukturę przestrzenną miasta/aglomeracji miejskiej, gęstość zaludnienia, koszt podróży, a także mentalne przekonania i przyzwyczajenie mieszkańców (użytkowników) miasta do określonego sposobu podróżowania [239].

Specyfika transportu miejskiego/aglomeracyjnego powoduje trudności w jednoznacznym zdefiniowaniu tego pojęcia. W literaturze przedmiotu określany jest on w sposób różnorodny [335] i może być rozumiany jako:

- specyficzny rodzaj transportu przeznaczony do masowego przewozu osób (pasażerów) w sposób zorganizowany, najczęściej regularny w obrębie określonej aglomeracji miejskiej [318],
- regularny, publiczny transport zbiorowy wykonywany na zlecenie samorządowego organizatora transportu, wyłącznie na obszarze miasta, miasta i gminy/gmin na podstawie porozumień międzygminnych lub na zasadzie międzygminnego związku komunalnego [335],
- wszystkie formy przemieszczania wewnątrz obszarów aglomeracyjnych, za pomocą zbiorowych oraz indywidualnych środków transportu [54],
- zespół czynności związanych z przemieszczaniem osób i dóbr materialnych przy użyciu odpowiednich środków, obejmujący zarówno samo przemieszczanie z miejsca na miejsce, jak i wszelkie czynności konieczne do osiągnięcia tego celu, tj. czynności ładunkowe (załadunek, wyładunek, przeładunek) oraz czynności manipulacyjne (opłaty) [340],
- umiejętność radzenia sobie z gęstością ludzi, działań, struktur, podczas ruchu osób i towarów [276],
- zapewnienie dostępu i mobilności ludziom i towarom, łącząc początek miejsce/punkt pochodzenia (nadania) i cele, wewnętrzne i zewnętrzne w obszarze miejskim, przy użyciu wielu elementów [62],
- sfera działalności gospodarczej polegającej na wykonywaniu usług przewozowych na terenie miasta oraz obszarach podmiejskich [9].

Definicje te ukazują jak zróżnicowane jest podejście badaczy do transportu miejskiego/aglomeracyjnego i jak niejasny i często mylący jest to termin. Transport miejski w literaturze przedmiotu jest również określany przy pomocy różnych innych

pojęć, takich jak: „transport publiczny", „transport lokalny", „transport aglomeracyjny", „transport zbiorowy", czy „transport pasażerski" [74], [317].

Zdaniem autora niniejszej dysertacji, jedną z podstawowych cech transportu miejskiego jest współistnienie przewozów pasażerskich i towarowych, dokonywanych przy pomocy transportu multimodalnego, stąd trudno zgodzić się z poglądem, że transport ten jest wyłącznie transportem osób wykonywanym tylko przy pomocy środków transportu publicznego czy zbiorowego. Dlatego właśnie transport miejski nie podlega tradycyjnej, gałęziowej – pionowej klasyfikacji transportu, która dzieli transport na gałęzie (kolejowy, lotniczy, morski, rurociągowy, samochodowy, wodny śródlądowy), wyróżnione z powodu odmienności drogi i techniki poruszanie się po niej [350]. Jest wyróżniony spośród innych kategorii transportu w ramach jego klasyfikacji poziomej (przeprowadzonej ze względu na kryterium zasięgu terytorialnego) [261].

Niemniej jednak podstawą wyodrębnienia zagadnień transportu miejskiego/ aglomeracyjnego spośród innych zagadnień transportu i stawiania go na równi z gałęziami transportu jest nie tyle terytorialny zasięg działania, ile specyfika problematyki eksploatacyjno-ekonomicznej, wynikającej z charakteru potrzeb przewozowych i sposobu ich zaspokojenia [334]. Również transport wykraczający poza obszar granic administracyjnych miasta i obejmujący swym zasięgiem obszary funkcjonalnie powiązane z centralnym ośrodkiem miejskim, tzn. transport aglomeracyjny, będzie traktowany w niniejszej dysertacji jednakowo z transportem miejskim, gdyż wiąże się z nim podobna specyfika problematyki eksploatacyjno-ekonomicznej.

Transport miejski można podzielić według różnych kryteriów [210]: ze względu na środowisko; przedmiot przewozu; rodzaj środka transportu; rodzaj taboru; poziom nawierzchni, na której on jest prowadzony w stosunku do powierzchni terenu; rodzaj trakcji; rozmiar obsługi przewozowej.

Ze względu na środowisko można wyróżnić transport miejski: lądowy, powietrzny, wodny. W obrębie podziału środowiskowego, ze względu na kryterium drogi, można dokonać głębszego podziału na: transport miejski lądowy – bezszynowy i szynowy; transport miejski powietrzny – lotniczy; transport miejski wodny – rzeczny i morski [210].

Ze względu na przedmiot przewozu wyróżniamy transport miejski pasażerski i towarowy [9], [74].

Ze względu na rozmiary obsługi przewozowej wyróżniamy transport miejski: zbiorowy i indywidualny [335].

Z uwagi na rodzaj środka transportu, transport miejski można podzielić w oparciu o podział gałęziowy na transport: szynowy, drogowy, lotniczy, wodny [210].

Ze względu na środek transportu miejskiego, wyróżnia się transport miejski: tramwajowy, trolejbusowy, autobusowy, kolejowy, samochodowy, rowerowy [127], [128].

Ze względu na poziom nawierzchni, na której transport miejski jest prowadzony w stosunku do terenu, wyróżniamy transport miejski: nadziemny, naziemny, podziemny [210].

Ze względu na rodzaj trakcji wyróżniamy transport miejski: parowy, spalinowy, elektryczny [210].

Zbierając powyższe rozważania, dla potrzeb niniejszej pracy doktorskiej przyjęto, że transport miejski to rodzaj aktywności/działalności związanej z przemieszczaniem osób i ładunków z określonych punktów nadania (źródłowych) do określonych punktów odbioru (docelowych), zlokalizowanych na terenie miasta/aglomeracji miejskiej za pomocą indywidualnych (prywatnych) środków transportu tj. samochodów czy rowerów, i środków transportu publicznego (zbiorowego), tj. autobusów, tramwajów, trolejbusów, metra, lekkiej kolei miejskiej, promów itp., z wykorzystaniem, miejskiej/aglomeracyjnej infrastruktury transportowej obejmującej drogi, sieć szynową (tramwajową i kolejową), drogi wodne, porty lotnicze.

Bazując na powyższej definicji transportu miejskiego można określić istotę miejskiego systemu transportu. Jak już wspomniano we wprowadzeniu, jest to zespół sprzężonych komponentów, obejmujący [114]:

- osoby, użytkowników (pieszych, rowerzystów, pasażerów, kierowców, motorniczych, pracowników obsługi, kadrę kierowniczą zarządzającą systemem),
- infrastrukturę transportową (sieć drogową i szynową, ciągi piesze, ścieżki rowerowe, sieć energetyczną, zajezdnie, przystanki, urządzenia zabezpieczenia ruchu i sterowania ruchem, parkingi),
- tabor pojazdów (samochody osobowe i towarowe, rowery, tramwaje, autobusy, trolejbusy, kolej miejską, metro),
- procesy transportowe,
- zasady i przepisy funkcjonowania i kontroli transportu miejskiego (kodeks drogowy, marszruty pojazdów, regulaminy pracy, rozkłady jazdy, znaki i sygnalizatory, zasady eksploatacji infrastruktury),

których wspólne, zorganizowane działanie, zmierza do zapewnienia obsługi przewozów towarów i osób, a osób w ruchu indywidualnym i zbiorowym, tj. z określonych punktów początkowych (źródłowych) do określonych punktów końcowych (przeznaczenia).

System transportu miejskiego/aglomeracyjnego obejmuje następujące podsystemy: transportu drogowego (samochodowego), transportu szynowego (tramwajowego, kolejowego – kolei miejskiej), transportu lotniczego, transportu wodnego śródlądowego, transportu intermodalnego, transportu rowerowego oraz ruchu pieszego [27].

Wymagania w stosunku do sposobu funkcjonowania systemu transportu miejskiego na całym świecie są takie same i sprowadzają się do minimalizacji kosztów i czasu podróżowania, maksymalizacji przepustowości systemu, oraz ograniczania

negatywnego oddziaływania na środowisko [147], [153], [221]. System transportu miejskiego, powinien zapewniać wysoki poziom mobilności ludziom i przedsiębiorstwom, ułatwiając podróż do pracy, miejsc świadczenia usług (w tym przede wszystkim edukacyjnych), obiektów handlowych, centrów rekreacji. Powinien również zapewniać sprawne przewożenie ładunków.

Zakres i istota transportu miejskiego wynika z charakteru ruchu miejskiego, który obejmuje wszystkie rodzaje transportu osobowego i towarowego na terenie miasta/aglomeracji miejskiej. Ze względu na potrzeby przewozowe, do najważniejszych cech ruchu miejskiego możemy zaliczyć [210]:

- dużą liczbę źródeł ruchu i duże jego rozproszenie (również ruch tranzytowy),
- duże zróżnicowanie ruchu (podział): potoki ruchu pieszego, potoki ruchu rowerowego, potoki ruchu pasażerskiego indywidualnego i zbiorowego, potoki ruchu towarowego,
- dużą dynamikę ruchu przejawiającą się zmiennością natężeń, kierunków i czasu występowania,
- dużą liczbę punktów stykania się i przecinania różnych potoków ruchu,
- możliwość oddziaływania na potoki ruchu czynnikami organizacyjno-technicznymi.

Należy zwrócić również uwagę na ogromne, „zewnętrzne" znaczenie transportu miejskiego, jako że miasto/aglomeracja miejska jest nieodłącznym elementem kontynentalnych, krajowych i regionalnych sieci transportowych oraz węzłem łączącym różne środki transportu. Większość przewozów osób i towarów rozpoczyna się i kończy w mieście [118], [150], [156]. Obszary miejskie/aglomeracyjne, powinny zapewniać wspomnianym sieciom transportowym (np. transeuropejskiej sieci transportowej) sprawny węzeł połączeniowy oraz wydajny transport miejski na jego ostatnim odcinku (ang. *last mile*), zarówno w przypadku transportu towarowego, jak i pasażerskiego [84], [150], [156], [151], [156].

2.2. Polityka transportowa w odniesieniu do miast

Jak już we wprowadzeniu wspomniano, polityka transportowa miasta to sformułowany przez władze miasta zbiór celów odnoszący się do systemu transportu miejskiego oraz sposobów i środków służących do ich osiągania [257]. Polityka transportowa miasta pozwala świadomie, trafnie i skutecznie konstruować program rozwoju systemu transportu miejskiego i zarządzać owym systemem. Określa ona hierarchię potrzeb i priorytety działań z uwzględnieniem dostępnych zasobów inwestycyjnych i eksploatacyjnych [257], [301]. Złożona natura tej polityki wynika z konieczności uwzględnienia wielu aspektów tj. społecznego, politycznego, środowiskowego, ekonomicznego [35], [264], [319], [348] oraz przestrzennego i horyzontu czasowego [116], [175], jak również uwzględnienia interesów różnych podmiotów [6], [349], [350]. Brak polityki transportowej w mieście/aglomeracji

miejskiej może oznaczać poddawanie się żywiołowości zachodzących procesów i rezygnację ze sterowania systemem transportu miejskiego, a w konsekwencji i z jego rozwoju [257].

Polityka transportowa miasta powinna być spójna ze strategią rozwoju miasta [109], gdyż ta, z racji swojej ogólności, powinna być podstawą do opracowania polityk branżowych oraz programów operacyjnych. Opracowanie odrębnej strategii branżowej w odniesieniu do transportu miejskiego jest konieczne, ze względu na to, że system transportowy miasta, determinuje sprawne funkcjonowanie pozostałych elementów (systemów) w mieście [220], [295].

Polityka transportowa miasta powinna rozstrzygać następujące kwestie: stosunek do motoryzacji; stosunek do transportu publicznego, rowerowego i ruchu pieszego; stosunek do inwestycji drogowych; proporcje między wydatkami na inwestycje (rozwój i modernizację), a wydatkami na bieżącą eksploatację i utrzymanie infrastruktury transportu miejskiego; politykę taryfową w transporcie publicznym wraz z zakresem ulg i politykę opłat za dostęp do infrastruktury transportowej; politykę parkingową; zakres regulacji i sposób organizowania transportu zbiorowego; a także zasady polityki przestrzennej i sposób oddziaływania na społeczeństwo w celu uzyskania akceptacji dla założeń np. zrównoważonego rozwoju [257], [294], [296].

Treścią polityki transportowej miasta powinno być określenie jej celów (krótko-, średnio- i długookresowych), w tym spełnianych przez poszczególne podsystemy systemu transportu miejskiego [257] oraz wskazanie konkretnych działań, których realizacja zapewniłaby osiągnięcie wytyczonych celów. Można wyróżnić dwa rodzaje celów, które formułowane są w politykach transportowych na obszarach zurbanizowanych [92], [117], [257], [335]: związane z wpływem/oddziaływaniem na wielkość ruchu, oraz z podziałem ruchu między różne środki transportu miejskiego (z podziałem zadań przewozowych pomiędzy transport publiczny i indywidualny). Jednocześnie można w oparciu o te rodzaje celów przeprowadzić wariantowanie polityki transportowej miasta.

Pierwszy sposób wariantowania polityki transportowej miasta zakłada wpływanie na wielkość ruchu miejskiego poprzez: rozwój zagospodarowania przestrzennego i gospodarczego, rozłożenie szczytów przewozowych, rozwój telematyki oraz zarządzanie zachowaniami transportowymi [12], [231], [302], [335].

Polityka transportowa miasta w odniesieniu do planów zagospodarowania przestrzennego i gospodarczego, zaleca uwzględnienie istnienia trzech stref związanych z rolą samochodu w mieście [27], [109], [335]:

- Strefa A (ścisłe centrum), charakteryzująca się dużą koncentracją obiektów stanowiących cele podróży; strefa ta może mieć także podstrefy, np. dla dodatkowego wyodrębnienia obszarów cennych historycznie. W strefie tej podstawową rolę winien odgrywać transport zbiorowy i ruch pieszy oraz rowerowy, a ruch samochodów powinien być ograniczony do minimum.
- Strefa B (pośrednia), charakteryzuje się średnią intensywnością zabudowy. W strefie tej należy ograniczać ruch samochodów na rzecz transportu

zbiorowego, jednak z zachowaniem odpowiedniej przepustowości układu drogowego.

- Strefa C (zewnętrzna), charakteryzuje się małą intensywnością zagospodarowania przestrzennego. W strefie tej nie ogranicza się ruchu samochodów.

Ograniczenie potoków ruchu w godzinach szczytu np. poprzez zróżnicowanie godziny rozpoczynania pracy i nauki, nie wpływa na ogólną wielkość ruchu w mieście, ale oddziałuje na zwiększenie płynności ruchu i na prędkość transportową, a tym samym zmniejsza zużycia paliwa i emisji [335].

Kolejnym sposobem pozwalającym oddziaływać na wielkość ruchu miejskiego jest telematyka. Telematyka transportu jest dziedziną wiedzy i działalności technicznej integrującej informatykę z telekomunikacją w zastosowaniu do systemu transportu [331]. Celem stosowania telematyki transportu w systemach transportu miejskiego – oprócz wpływania na wielkość ruchu miejskiego – jest umożliwienie współdziałania poszczególnych elementów systemu i interakcji z jego użytkownikami, zapewniając znaczące zwiększenie bezpieczeństwa podroży osób i przewozów towarów, zwiększenie niezawodności transportu miejskiego, lepsze wykorzystanie infrastruktury i uzyskiwanie lepszych wyników ekonomicznych, a także ograniczenie degradacji środowiska [37], [132], [331].

Zarządzanie zachowaniami transportowymi to przede wszystkim, zorientowane na kształtowanie popytu, podejście do przewozów pasażerskich i towarowych, które wprowadza zestaw służących mu metod do wspierania i nakłaniania do zmian w użytkowaniu środków transportu miejskiego. Metody te są zwykle oparte na wykorzystaniu informacji, organizacji i koordynacji oraz na działaniach promocyjnych [231], [302].

Drugi sposób wariantowania polityki transportowej miasta ma na celu podział ruchu pomiędzy różne środki transportu miejskiego i prowadzi do sformułowania polityki w oparciu o kryterium wielkości udziału samochodu osobowego w obsłudze podróży w mieście [72], [335]. W przypadku miejskich systemów transportu można wskazać trzy podstawowe polityki, określające podział ruchu pomiędzy różne środki transportu miejskiego [27], [109], [335]:

- Politykę pro-samochodową (ang. *car is the king policy*), w której zakłada się dominującą rolę transportu indywidualnego i ograniczanie środków finansowych przeznaczonych na transport publiczny. Przykładem takiego podejścia są niektóre miasta amerykańskie, japońskie, ale także miasta basenu Morza Śródziemnego,
- Politykę pro-ekologiczną (ang. *car free city policy*), w której zakłada się silne ograniczanie roli samochodu, a w szczególności ograniczanie liczby i długości podróży realizowanych samochodem; w obsłudze podróży zmotoryzowanych do 5% na rzecz ekologicznych form podróżowania (transport publiczny, rowerowy i ruch pieszy),
- Politykę zrównoważonego rozwoju transportu miejskiego (ang. *sustainable development policy*), w której zakłada się umiarkowaną swobodę użytkowania samochodu osobowego w obsłudze podróży zmotoryzowanych, zapewniającą transportowi indywidualnemu i zbiorowemu odpowiednio 25% i 75% udziału

w podróżach miejskich i gwarantującą równowagę pomiędzy rozwojem gospodarczym, osiąganiem celów społecznych i ochroną środowiska.

Wielu badaczy [257], [259], [283], [293], [335], [349], a także Komisja Europejska [147], [148], [149], [150], [152], [154], [217], opowiadają się za polityką zrównoważonego rozwoju transportu miejskiego. Polityki transportowe miast, oparte o zasadę zrównoważonego transportu miejskiego, powinny zmierzać do tego, aby system transportu miejskiego spełniał ekonomiczne, społeczne, przestrzenne i środowiskowe potrzeby mieszkańców (użytkowników) miasta/aglomeracji miejskiej [147], [148], [149], [150], [151], [153], [154], [156], [221], [283], [302].

W celu zapewniania jak najwyższego stopnia realizacji uchwalonej polityki transportowej, w literaturze przedmiotu [109], [127], [227], [228], [234], [235], [257], [259], [291], [341], wskazuje się na konieczność wprowadzania procedur oceny zgodności polityki transportowej miasta z: budżetem miasta, wieloletnim planem finansowym, planami miejscowymi oraz projektami inwestycyjnymi i organizacyjnymi. Równie ważne jest opracowanie programów operacyjnych, dotyczących m.in.: programu obsługi parkingowej miasta, programu poprawy bezpieczeństwa ruchu, programu odnowy taboru, programu budowy infrastruktury rowerowej, itp., oraz dokonywanie parametryzacji celów polityki transportowej miasta, z optymalizacją horyzontów czasowych osiągania założonych standardów, z uwzględnieniem prognozy dostępności środków finansowych oraz wyniku rachunku efektywności ekonomicznej, w tym kosztów zewnętrznych.

Kolejnym obszarem związanym z realizacją polityki transportowej miasta jest jej usprawnianie. Obszar ten składa się z trzech elementów: monitorowania realizacji polityki transportowej we wszystkich aspektach z nią związanych, oceniania okresowego i aktualizowania w sytuacji zmieniających się uwarunkowań.

Ważną rolę w realizacji polityki transportowej miasta, odgrywają następujące instrumenty [72], [109], [173], [174], [259], [335]:

- ekonomiczne, np. ustalanie taryf biletowych, dotowanie transportu publicznego, stanowienie cen urzędowych i opłat za dostęp do infrastruktury,
- prawne, tj. miejscowe plany zagospodarowania, jak również decyzje administracyjne w zakresie zagospodarowania terenu, przepisy dotyczące ruchu, regulaminy np. parkowania,
- administracyjne, np. priorytet dla transportu publicznego i wsparcie dla ruchu pieszego i rowerowego, określanie zasad organizacji i zarządzania transportem miejskim, integracja transportu miejskiego, organizacja i zarządzanie ruchem,
- informacyjne, np. związane z przygotowywaniem opracowań i analiz na temat pożądanych i przewidywanych kierunków rozwoju transportu miejskiego,
- moralne, np. mające na celu propagowanie określonych zachowań transportowych chociażby przez uczestniczenie w programach edukacyjno-szkoleniowych,
- infrastrukturalne, np. związane z planowaniem i realizacją inwestycji drogowych, parkingowych i dotyczących infrastruktury transportu zbiorowego.

Zestaw narzędzi polityki transportowej miasta musi być rozwijany z uwzględnieniem zdobytego doświadczenia oraz zmian zachodzących w technice transportowej, w polityce i w stosunkach międzynarodowych. Wdrażanie polityki

transportowej miasta wiąże się z doniosłą rolą kampanii informacyjnych i podnoszenia świadomości w zakresie zachowań związanych z mobilnością, skierowanych do określonych grup społecznych. Aby sprostać wyzwaniu, jakie niesie kwestia wdrażania polityki transportowej w miastach, Komisja Europejska, wskazuje na zarządzanie wielopoziomowe, które może przynieść wiele korzyści z opartej na partnerstwie i poszanowaniu wszystkich zaangażowanych podmiotów współpracy na szczeblu lokalnym, regionalnym, krajowym i europejskim [151], [154], [221], [283], [302].

2.3. Zarządzanie transportem miejskim, jako element zarządzania miastem

2.3.1. Istota zarządzania miastem

Zarządzanie, jako nauka, powiązane jest z ekonomią, z której się wywodzi, matematyką i informatyką, naukami społecznymi, tj. filozofią, psychologią, socjologią, oraz z prawem. Pojęcie zarządzania w literaturze przedmiotu definiowane jest w różny sposób. Do najpopularniejszych definicji należą następujące sformułowania:

- zarządzanie jest procesem koordynowania zbiorowych wysiłków dla osiągania celów organizacyjnych przez ludzi, przy wykorzystaniu techniki, w zorganizowanych strukturach, w oparciu o wyznaczone zadania [131],
- zarządzanie to zestaw działań, obejmujący: planowanie i podejmowanie decyzji, organizowanie, przewodzenie, tj. kierowanie ludźmi, i kontrolowanie, skierowanych na zasoby organizacji i wykonywanych z zamiarem osiągnięcia celów organizacji w sposób sprawny i skuteczny [55], [90], [288],
- zarządzanie jest procesem uzyskiwania, rozmieszczania i stosowania wielu różnorodnych istotnych zasobów dla osiągania celów organizacji [18],
- zarządzanie to: swego rodzaju „wędrówka przez chaos", której istotą jest panowanie nad różnorodnością i przekształcanie potencjalnego konfliktu we współpracę; konstruowanie rzeczywistości z dostępnych zarządzającemu elementów tj. pomysłów, ludzi i relacji między nimi, instytucji formalno-prawnych, środków materialnych (maszyn, urządzeń, budynków, materiałów, wyrobów gotowych itp.) i pieniężnych, a także praw do dysponowania nimi [168].

Można zatem zarządzanie zdefiniować jako działanie lub proces: analizy, planowania, wdrażania (organizowania, kierowania, koordynowania), pobudzania do działania (motywowania) i kontroli wyników, wykorzystujący wszelkie zasoby organizacji/systemu z zamiarem osiągnięcia jej/jego celów w sposób sprawny i skuteczny [166], [200]. Zarządzanie oznacza także sekwencyjny, wieloetapowy proces podejmowania decyzji [90], [160], [289], [342], [343], [344], [349].

Problematyka zarządzania miastem/aglomeracją miejską jest poruszana przez wielu autorów na świecie [6], [46], [196], [203], [237], i jest związana z problematyką zarządzania publicznego. Jak już wspomniano we wprowadzeniu, w literaturze przedmiotu [53], [106], [167], [277], [297], [298], [297], [336], można znaleźć trzy

zasadnicze podejścia do zarządzania publicznego, stosowanego w miastach/aglomeracjach miejskich [176]:

- tradycyjne zarządzanie publiczne (ang. *Traditional Public Administration* – TPA), stanowiące koncepcję zarządzania opartą na modelu biurokratycznym,
- nowe zarządzanie publiczne (ang. *New Public Management* – NPM), będące koncepcją zarządzania opartą na metodach i technikach stosowanych w sektorze prywatnym,
- dobre zarządzanie publiczne (ang. *Good Governance* – GG), tworzące koncepcję zarządzania opartą na partycypacyjnym modelu podejmowania decyzji.

Tradycyjne zarządzanie publiczne w dużej mierze opiera się na zdefiniowanym przez M. Webera modelu biurokratycznym, w którym podkreśla się potrzebę ciągłości, podziału i specjalizacji pracy [298], [321]. Formuła ta umożliwia pracownikom osiągnięcie wysokiej specjalizacji w realizacji zadań i pozwala im zostać ekspertami w odniesieniu do wąskiego zakresu obowiązków i systematycznie wykonywanych czynności. W modelu tym realizowane przez pracownika zadania stanowią niewielką część wszystkich zadań organizacji. Specjalizacja pracowników powoduje, że często wykonują oni swoje działania niezależnie od innych. A zatem, aby cała organizacja mogła funkcjonować prawidłowo, konieczna jest koordynacja rozproszonych aktywności, którą w systemie biurokratycznym zapewnia struktura funkcjonalna oparta na hierarchicznej więzi nadrzędności i podporządkowania. Hierarchia z kolei wymaga, aby funkcje i zadania były jednoznacznie przyporządkowane do poszczególnych jednostek i stanowisk organizacyjnych, w przeciwnym razie dochodzi bowiem do nakładania się uprawnień i kompetencji, co może powodować konflikty. Organizacja biurokratyczna charakteryzuje się wysokim stopniem sformalizowania, co w praktyce oznacza szczegółowe określanie zadań i czynności każdego stanowiska pracy (pracownika), podejmowanie decyzji na podstawie ustanowionych generalnych norm postępowania oraz pisemne dokumentowanie podejmowanych działań. W modelu tym zarówno pracownicy administracji, jak również jej petenci, zostają „odpersonalizowani" i w imię zapewnienia deklaratywnej efektywności przekształceni w strony i sprawy [176].

Nowe zarządzanie publiczne, zwane zarządzaniem menedżerskim, polega na adaptacji metod i technik stosowanych w sektorze prywatnym do warunków zarządzania organizacjami publicznymi [170], [171], [176]. W podejściu tym, chodzi zwłaszcza o zarządzanie poprzez cele, czyli nastawienie organizacji publicznych na osiąganie wyników, delegowanie uprawnień na niższe szczeble zarządzania, decentralizację zarządzania, przyjęcie przez organizacje publiczne perspektywy strategicznej oraz wykorzystanie mechanizmów rynkowych. Ma to doprowadzić do zapewnienia gospodarności, efektywności i skuteczności organizacji publicznych [297], [336]. Aby osiągnąć wyniki, administracja publiczna powinna korzystać z takich rozwiązań, jak np. prywatyzacja czy outsourcing. Wiążą się one z dezagregacją sektora publicznego i tworzeniem mniejszych jednostek organizacyjnych, co sprawia, że łatwiej

jest określić ich zadania, a miejsce urzędników zajmują menedżerowie, którym łatwiej jest przypisać odpowiedzialność za realizowane czynności. Zauważyć należy, że nowe publiczne zarządzanie sektorem publicznym, korzysta w dużym stopniu z koncepcji rynkowego wyboru produktów i podmiotów świadczących usługi. Koncepcja ta postrzega jednostkę – petenta, jako klienta i konsumenta oferowanych przez administrację publiczną usług. Zakłada przy tym, że stworzenie konsumentowi możliwości dokonania wyboru prowadzi do podniesienia efektywności administracji publicznej oraz wymusza podniesienie jakości świadczonych usług. Zgodnie z tą koncepcją jednostki organizacyjne administracji publicznej muszą ubiegać się, tak jak organizacje z sektora prywatnego, o dokonanie przez klienta zakupu towarów i usług. A zatem koncepcja ta odnosi się do zasad konkurencji rynkowej. Zakłada ona ponadto, że administracja publiczna nie powinna dokonywać regulacji w zakresie świadczonych usług, lecz działać w warunkach konkurencji rynkowej, podobnie jak sektor prywatny [106], [277], [298], [336].

Dobre zarządzanie publiczne oparte na modelu partycypacyjnym, w odróżnieniu od dwóch wcześniej opisanych, zakłada rozwiązywanie złożonych problemów decyzyjnych z partnerami (mieszkańcami, organizacjami pozarządowymi, stowarzyszeniami zawodowymi, gospodarczymi, biznesowymi) reprezentującymi różne punkty widzenia [41], [53], [91], [330]. W modelu tym, petent – klient, traktowany jest podmiotowo. Koncepcja ta zakłada partnerstwo i konsultacje z obywatelami i uczestnikami życia publicznego, dzięki czemu dąży się do osiągnięcia porozumienia społecznego. Podejmowane działania ukierunkowane są na potrzeby, co odpowiada podejściu marketingowemu, a nie sprzedażowemu w klasycznej teorii zarządzania marketingowego [165]. W dokumentach wydanych przez Komisję Europejską [40] oraz Ministerstwo Rozwoju Regionalnego [158], [337], zdefiniowano cechy dobrego zarządzania publicznego, tj. *otwartość* (transparentność instytucji publicznych względem obywateli i opinii publicznej), *partycypacyjność* (szeroki udział społeczeństwa w podejmowaniu decyzji o charakterze publicznym), *rozliczalność* (precyzyjne określenie zakresu odpowiedzialności poszczególnych instytucji), *efektywność* (optymalny i oszczędny sposób realizowania celów publicznych) oraz *koherencję* (integrację zarządzania między różnymi obszarami i poziomami władzy publicznej) [40].

Wyżej opisane koncepcje zarządzania publicznego były i są przedmiotem zainteresowania wielu badaczy, zarówno krajowych, jak i zagranicznych [40], [104], [134], [167], [176], [277]. Na podstawie ich prac, w tabeli 1 zestawiono porównawczo charakterystyczne cechy trzech analizowanych koncepcji zarządzania w mieście.

Tabela 1. Porównanie koncepcji zarządzania miastem [176]

Wyszczególnienie	Tradycyjne zarządzanie publiczne	Nowe zarządzanie publiczne	Dobre zarządzanie publiczne
Struktura organizacyjna	Scentralizowana, funkcjonalna, hierarchiczna struktura zależności	Orientacja prorynkowa, zasady marketingowej obsługi klienta	Społeczeństwo obywatelskie, zasady współdecydowania – uczestnictwo obywateli w podejmowaniu decyzji
Styl kierowania	Biurokratyczny – intuicyjne, administrowanie zarządzanie	Menedżerski – profesjonalne zarządzanie	Partnerski – konsultowanie, poszukiwanie kompromisu
Ukierunkowanie działań	Procedury	Efekty	Potrzeby
Rola społeczności	Znikome zaangażowanie społeczności	Wzmożona konsultacja społeczna	Zaangażowanie społeczności i umożliwienie jej działania
Cel działań	Utrwalanie porządku	Wywoływanie zmian	Budowanie porozumienia społecznego
Dokumenty kształtujące sposoby działania	Prawo administracyjne; plany i strategie	Business plany; regulaminy zarządzania menedżerskiego i kontrakty	Filozofia współdziałania i partycypacyjnego podejmowania decyzji
Charakter relacji	Dominacja i podporządkowanie	Konkurencja i współpraca	Równość i współzależność
Cel realizacyjny	Zarządzanie nakładami	Zarządzanie nakładami i produktami	Wielorakie cele: wytworzenie usługi; satysfakcja mieszkańca; wyniki; zaufanie i budowanie lojalności
Rozliczalność /odpowiedzialność	Pionowa - w górę, za pośrednictwem jednostek organizacyjnych, przed organami wyższych rzędów	Pionowa - w górę, za pośrednictwem kontraktów realizacyjnych; czasem na zewnątrz, przed klientami za pośrednictwem mechanizmów rynkowych	Wieloraka: przed obywatelami jako kontrolerami władz; klientami jako odbiorcami usług; podatnikami

Komisja Europejska zaleca model dobrego zarządzania publicznego, jako model zarządzania w administracji publicznej, zarówno na poziomie miasta, regionu, jak i kraju czy wręcz, współpracy międzynarodowej [40]. Dobre zarządzanie publiczne ma pomóc w lepszym formułowaniu i realizowaniu polityk publicznych oraz w zmianie samego podejścia do procesu rządzenia.

Komitet Regionów (będący organem doradczym reprezentującym samorządy lokalne i regionalne w Unii Europejskiej) wskazuje na wielopoziomowe zarządzanie (ang. *multilevel governance*), jako gwarancję realizacji zasad dobrego zarządzania oraz rozwoju tych zasad [155]. Wielopoziomowe zarządzanie polega na ścisłej współpracy i koordynacji działań między rządem wraz z całą administracją rządową, samorządami regionów i samorządami lokalnymi/miejskimi, w układzie pionowym, oraz poziomej współpracy jednostek samorządu terytorialnego np. miasta i sąsiadujących z nim gmin, oraz innych podmiotów, np. organizacji społecznych i podmiotów gospodarczych, dla osiągania wyznaczonych celów [337].

Zarządzanie miastem jest zarządzaniem publicznym i jest postrzegane, jako przejęcie przez władze miejskie odpowiedzialności za rozwój miasta i sprawne jego funkcjonowanie we wszystkich jego aspektach [6], [93], [237], [328]. Wielu autorów [130], [196], [329], jest zgodnych, co do tego, że zarządzanie miastem powinno być odniesione do klasycznej teorii zarządzania (definiującej zarządzanie jako sekwencję działań zdefiniowanych przez H. Fayola, na którą składają się planowanie, organizowanie, decydowanie, motywowanie i kontrolowanie [90], [129], [178], [288]), a także z uwzględnieniem zarządzania wielopoziomowego [141], [155], [224], [337], jednak przy uwzględnieniu specyfiki funkcjonowania urzędów miejskich, dostrzegając ich znacznie bardziej złożony charakter niż w przypadku zarządzania przedsiębiorstwami [130], [196], [325], [329].

Zarządzanie miastem cechuje wysoka złożoność, gdyż jest to zarządzanie wieloma systemami (np. transportu miejskiego, oświaty, zagospodarowania przestrzennego) pełniącymi zróżnicowane funkcje, przede wszystkim związanymi z zaspokajaniem zbiorowych potrzeb mieszkańców (użytkowników) miasta w sposób ciągły, optymalny i ogólnie dostępny [172], [175]. Systemy te są wzajemnie ze sobą powiązane, dlatego do władz miasta należy ich koordynacja, tak by niedorozwój jednego nie wpływał negatywnie na pozostałe [328].

Proces zarządzania miastem może być rozpatrywany w ujęciu podmiotowym, instrumentalnym oraz horyzontu czasowego [196]. W ujęciu podmiotowym kryterium stanowi rodzaj podmiotów zaangażowanych w proces zarządzania miastem. Ze względu na strukturę własności, wyróżnić można podmioty: komunalne, państwowe (skarbu państwa), spółdzielcze, prywatne, non-profit [328]. Ujęcie instrumentalne pozwala na wyróżnienie najważniejszych narzędzi wykorzystywanych w procesie zarządzania miastem. Zaliczyć do nich należy: planowanie, partnerstwo, organizację, finansowanie, informację. W literaturze przedmiotu, w odniesieniu do różnych organizacji, w tym również do miasta, a także w odniesieniu do narzędzi planistycznych, biorąc pod uwagę kryterium horyzontu czasowego należy wskazać na trzy zasadnicze okresy czasowe powiązane z odpowiadającymi im poziomami zarządzania miastem, tj. długookresowy – strategiczny, średniookresowy – taktyczny i krótkookresowy – operacyjny [90], [204].

Zarządzanie miastem na poziomie strategicznym jest definiowane, jako system działań długookresowych (powyżej 5 lat), ukierunkowanych na realizację wyznaczonych celów bezpośrednio związanych z kreowaniem misji i wizji działania miasta [200]. Decyzje o charakterze strategicznym podejmowane są na najwyższym szczeblu zarządzania miastem (planowanie strategiczne) [178]. Zarządzanie na poziomie taktycznym, dotyczy realizacji średniookresowych celów, rozpatrywanych zazwyczaj w perspektywie od jednego roku do pięciu lat [90]. Decyzje są podejmowane na średnim szczeblu zarządzania (planowanie taktyczne). Ostatni, operacyjny poziom zarządzania miastem, jest związany z realizacją zadań o charakterze cząstkowym i dotyczy krótkiego horyzontu planowania - do 1 roku [288]. Decyzje te są podejmowane na najniższym szczeblu zarządzania (planowanie operacyjne), czyli na tzw. poziomie wykonawczym, np. samodzielne stanowiska pracy [351].

Jak wynika z przedstawionej specyfiki zarządzania miastem, przy podejmowaniu decyzji wymagane jest uwzględnienie interesu wielu podmiotów, interwenientów, interesariuszy (ang. *stakeholders*) [196], oraz posługiwanie się zestawem różnorodnych kryteriów (wskaźników, parametrów), odnoszących się do wielu aspektów funkcjonowania miasta, w tym: ekonomicznych, technicznych, społecznych, środowiskowych i innych [6], [130], [329]. Wspomniane podmioty, grupy interesu, mogą być zainteresowane zarówno ogólnymi efektami funkcjonowania miasta, jak również jego działaniami w poszczególnych obszarach, sektorach. Często rozważani interwenienci mogą mieć sprzeczne interesy i konieczne jest wówczas ich pogodzenie, czyli poszukiwanie rozwiązań kompromisowych [349]. Sytuacja taka jaskrawo występuje w obszarze transportu miejskiego i miejskiej polityki transportowej, gdzie interesy pasażerów korzystających z transportu publicznego, kierowców korzystających z prywatnych środków transportu, mieszkańców miasta, władz miejskich, operatora miejskiego transportu publicznego pozostają w konflikcie. Części z wymienionych podmiotów, zależy przede wszystkim na bardzo wysokiej jakości usług transportowych w mieście, natomiast innym, na racjonalnym poziomie kosztów finansowych ponoszonych dla zapewnienia usług transportowych. W innych sektorach, takich jak edukacja, kultura, zdrowie itp., sytuacja jest podobna [356].

2.3.2. Istota zarządzania transportem miejskim

Jak wspomniano we wprowadzeniu, celem zarządzania transportem miejskim jest zaspokojenie potrzeb transportowych mieszkańców (użytkowników) miasta/aglomeracji miejskiej, poprzez zapewnienie efektywnego funkcjonowania transportu miejskiego, przy uwzględnieniu ograniczonych zasobów i konieczności realizacji często przeciwstawnych celów związanych z rozwojem gospodarczym, ochroną środowiska oraz obowiązkiem respektowania interesów różnych podmiotów.

Proces zarządzania transportem miejskim może być rozpatrywany w ujęciu klasycznej teorii zarządzania [90], [288], [342], [343], [344], a także w ujęciu

równoważenia podaży i popytu, w ujęciu obszarowym i horyzontu czasowego. Rozwijając pierwsze ujęcie procesu zarządzania transportem miejskim wyróżnić można:

- Planowanie – jako proces formułowania polityki transportowej miasta, ustalania celów i odpowiednich działań pozwalających na ich osiągnięcie [324]. Zgodnie z tym rozumieniem, fazami planowania w transporcie miejskim/aglomeracyjnym są [335]: określanie celów transportowych, analiza popytu z podziałem na transport prywatny i transport publiczny, projektowanie infrastruktury i tras, przydział pojazdów do tras, przydział pracowników/załogi.
- Organizowanie – jako proces doprowadzania do współpracy wielu podmiotów, instytucji i osób, działających w ramach transportu miejskiego, pozwalający na osiągnięcie celu lub zbioru celów [324] przyjętych w polityce transportu miejskiego. W zakresie organizowania można wyróżnić następujące modele organizacji transportu miejskiego [335]:
  - model zderegulowany zgodnie, z którym usługi (w tym transport osób i towarów) realizowane są na zasadzie konkurencyjności, m.in. trasy wytyczane są przez przewoźników, regulacje prawne występują w wąskim zakresie, istnieje nieograniczony dostęp do infrastruktury transportowej, koszty publiczne są zminimalizowane,
  - model regulowany, zgodnie z którym władze publiczne: realizują cele w zakresie polityki społecznej i gospodarczej ustalając ceny i opłaty (w transporcie zbiorowym – ceny biletów, w transporcie indywidualnym – opłaty za: wjazd do miasta lub śródmieścia, pozostawienie pojazdu w strefie parkowania lub na parkingu); wprowadzają regulacje prawne w szerokim zakresie; ograniczają dostęp do infrastruktury; wytyczają trasy; budują instytucje do zarządzania infrastrukturą transportową i organizowania przewozów; wyłaniają w drodze przetargów operatorów (lub jednego operatora publicznego); a koszty w dużej mierze pokrywają ze środków publicznych.
- Przewodzenie/motywowanie – proces pobudzania do określonego działania lub zachowania się, czyli proces uruchamiania motywów (motyw to uruchomiona i ukierunkowana potrzeba), związanych z wykonywaniem zadań, a także wywierania wpływu na motywy [324]. Przewodzenie/motywowanie ma zatem podstawowe i zarazem bardzo istotne znaczenie dla współczesnego zarządzania transportem miejskim, zarówno w zarządzaniu zasobami ludzkimi organizatora transportu, operatorów transportu publicznego (zbiorowego) i zarządców infrastruktury transportowej, oraz w zarządzaniu mobilnością mieszkańców (użytkowników) miasta/aglomeracji miejskiej. Zwiększa ono sprawność systemu transportu miejskiego, skuteczność oraz wydajność podejmowanych działań, a także prawdopodobieństwo realizacji wytyczonych celów w polityce transportowej miasta. W przypadku braku tego elementu zwiększa się czasochłonność zarządzania transportem miejskim, potrzebna jest nieustanna

kontrola, narastają konflikty i ogólny chaos w transporcie miejskim [189]. Pobudzanie/motywowanie w transporcie miejskim polega m.in. na:

- wyjaśnianiu celów przyjętych w polityce transportowej miasta, oraz celów związanych z realizacją poszczególnych projektów transportowych,
- uzasadnianiu określonych działań związanych z transportem osób i towarów, tj. zakazów i nakazów,
- zachęcaniu i pobudzaniu mieszkańców (użytkowników) miasta/aglomeracji miejskiej do pożądanych zachowań transportowych,
- nagradzaniu pracowników wykonujących sprawnie, skutecznie i wydajnie zadania realizowane w transporcie miejskim.

- Kontrolowanie – proces zmierzający do zapewnienia zgodności działań rzeczywistych z planowanymi [324]. Kontrola pełni sześć podstawowych funkcji, które w transporcie miejskim realizowane są poprzez konkretne działania [110], [111]:
  - informacyjne – polegające na dostarczaniu danych o realizowanych przewozach (dane te zbierane są na podstawie badania ruchu, analiz z przeprowadzonych kontroli, raportów czy skarg pasażerów i kierowców),
  - profilaktyczne – służące zapobieganiu zjawiskom niekorzystnym i eliminowaniu ich za pomocą działań kontrolnych i sankcji, np. kar finansowych,
  - kreatywne – polegające na inspirowaniu do krytycznej analizy sposobu działania i szukaniu usprawnień, (np. poprzez publikację zestawień i rankingów awarii, uchybień),
  - instruktażowe – polegające na instruowaniu, w jaki sposób unikać odchyleń od norm oraz wskazywaniu prawidłowych sposobów postępowania,
  - korygująco-ochronne – mające powodować podejście ograniczające prawdopodobieństwo wystąpienia uchybień (motywacja pozytywna, np. premie za brak uchybień),
  - pobudzające – mające na celu przywracanie stanu pożądanego, np. przez prowadzenie analiz najczęściej występujących uchybień wraz z ich przyczynami.

Zarządzanie transportem miejskim w ujęciu równoważenia popytu i podaży, wyróżnia zarządzanie popytem i podażą. Popyt, jako jeden z determinantów rynku, wyraża ujawnione potrzeby transportowe. W transporcie miejskim, charakteryzuje się on określonymi specyficznymi cechami, którymi są [261], [332], [335]: koncentracja na ograniczonym przestrzennie obszarze, niewielka średnia odległość podróży, powszechność i masowość występowania, nierównomierność czasoprzestrzenna. Wyrazem realizacji popytu są podróże (pasażerskie) [261] i przewozy (towarowe). System zarządzania popytem obejmuje wiele środków, do których można zaliczyć [201]:

- informacyjne – stosowane głównie w odpowiedzi na zapotrzebowanie na transport osób i towarów (w tym potencjalne zapotrzebowanie), tj. schematy sieci, rozkłady jazdy, komunikaty o zatorach z wykorzystaniem różnych mediów,

- promocyjne – u podstaw tej kategorii środków w transporcie osób leży idea zachęcania do samodzielnej zmiany zachowań, poprzez podnoszenie świadomości, promowanie określonych środków transportu oraz dostarczanie odpowiednich informacji, a w transporcie towarów, zachęcanie do przewozów towarów poza szczytem transportowym, a także do lepszej organizacja przewozu,
- organizacyjne i koordynacyjne – jak sugeruje nazwa, w ramach tej kategorii organizowane i koordynowane są usługi transportowe: na danym obszarze, w zakresie sposobów podróży alternatywnych w odniesieniu do przemieszczana się samochodem i w zakresie sposobów organizowania przewozów towarów; oraz do konkretnych obiektów – generatorów ruchu, tj. firm, szkół, szpitali, miejsc organizacji koncertów, meczów, targów, do obiektów administracji publicznej i ośrodków rekreacyjnych itp.,
- edukacyjne i szkoleniowe – ta kategoria środków obejmuje integrację zarządzania popytem z systemem edukacji oraz szkoleniem: pracowników w zakresie zagadnień związanych z zarządzaniem popytem, oraz mieszkańców (użytkowników) miasta/aglomeracji miejskiej w zakresie mobilności,
- teleinformatyczne – ta kategoria obejmuje działania promujące wśród podmiotów gospodarczych i osób pracujących w tych podmiotach, stosowanie środków pozwalających na wykonywanie pracy na odległość oraz zmianę godziny rozpoczynania pracy i elastycznej organizacji pracy.

Zarządzanie popytem w dużym stopniu związane jest z ofertą transportową miasta/aglomeracji miejskiej, która powinna być kształtowana na zasadach zarządzania marketingowego. Oznacza to, że organizatorzy i operatorzy w transporcie zbiorowym, oraz w transporcie towarów, jak również zarządzający infrastrukturą transportową w transporcie publicznym i prywatnym, powinni opracowywać strategie marketingowe, służące realizacji celów wyznaczonych w polityce transportowej miasta. Strategia marketingowa transportu miejskiego, powinna być zbudowana w oparciu o reguły wynikające z marketingu-mix dla usług. Koncepcja ta, została opracowana przez McCarthy'ego i tworzy kompozycję siedmiu instrumentów marketingowych, tzw. *7P*. Do instrumentów tych w marketingu transportu miejskiego, zaliczane są [211]:

- produkt (ang. *product*), ujmowany jako sama usługa transportowa w rozumieniu jej cech, z uwzględnieniem takich aspektów jak: np. szybkość podróży, stan techniczny środków transportu publicznego, dostępność usług w transporcie miejskim, jak również bezpieczeństwo oraz jakość z nimi związana,
- cena (ang. *price*), np. polityka taryfowa w transporcie publicznym, cena usług parkingowych, opłata za wjazd do centrum, rabaty, upusty, jak i sposób płatności,
- dystrybucja (ang. *place*), np. ilość punktów sprzedaży biletów w transporcie publicznym, ilość przystanków, skomunikowanie, długość tras,
- promocja (ang. *promotion*), związana jest: z reklamą (np. nowej linii tramwajowej); z PR (ang. *public relations*) (np. szybkie, sprawne informowanie

mieszkańców/ użytkowników miasta przez operatorów transportu miejskiego o opóźnieniach),

- ludzie (ang. *people*), mieszkańcy/użytkownicy miasta korzystający z infrastruktury i środków transportu miejskiego, a także personel operatorów, organizatora transportu publicznego oraz zarządców infrastruktury transportowej i zarządu ruchem,
- proces świadczenia (ang. *process*), składa się na niego cała procedura świadczenia usługi transportowej, od zainteresowania mieszkańców/ użytkowników miasta (np. podróżami transportem publicznym), poprzez dobrą informację (np. o aktualnej sytuacji związanej z ruchem miejskim), aż do obsługi związanej ze zgłaszanymi uwagami,
- materialne warunki świadczenia usług (ang. *physical evidence*), instrument związany z: np. stanem technicznym środków transportu publicznego, ich materialnym wyposażeniem, małą architekturą wzdłuż ciągów pieszych.

Ważnym elementem zarządzania podażą i popytem, a nawet opracowywania polityki transportowej i planów jej wdrażania, jak również zarządzania marketingowego są przede wszystkim badania potrzeb transportowych i popytu oraz zachowań i preferencji transportowych [255], np. kompleksowe badania ruchu (KBR), które stanowią zestaw różnorodnych badań, pomiarów i analiz, których celem jest uzyskanie pełnego obrazu ruchu osób i pojazdów w wybranym obszarze (miasto/aglomeracja miejska). Szczególne znaczenie mają badania ankietowe (bezpośrednie wywiady z osobami ankietowanymi, w czasie, których zbiera się informacje o pojazdach przekraczających granice obszaru w typowym dniu roboczym), oraz pomiary kordonowe (pomiar natężeń ruchu na wszystkich trasach transportowych przecinających granicę obszaru). Badaniami kordonowymi obejmuje się także pasażerów w środkach transportu publicznego (zbiorowego). Pasażerowie są pytani między innymi o miejsce zamieszkania, o miejsce rozpoczęcia i zakończenia podróży, oraz o motywację podróży [73], [177]. Wyniki z tych badań obejmują przede wszystkim określenie podziału zadań przewozowych pomiędzy transport zbiorowy, grupowy i indywidualny, oraz czynników determinujących ten podział [157]. W ramach badań wyróżnia się grupy tematyczne, obejmujące realizację podróży miejskich, podział zadań przewozowych, dojazdy do miejsc pracy i nauki, strukturę podróży w przeciętnym dniu, rangę ważności postulatów przewozowych oraz ocenę transportu zbiorowego i czynniki determinujące wybór sposobu realizacji podróży miejskich [110], [111].

W zakresie zarządzania podażą, w odniesieniu do transportu miejskiego, należy wskazać na zarządzanie infrastrukturą transportową i na zarządzanie środkami transportu miejskiego. Specyfika infrastruktury i środków transportu miejskiego, wynika z dostosowania jej do obsługi potrzeb transportowych osób i towarów występujących wewnątrz obszarów zurbanizowanych [261]. Na infrastrukturę transportu miejskiego składa się infrastruktura liniowa (drogi i ulice wraz z całym trwałym wyposażeniem, służącym do organizacji ruch kołowego i pieszego, rzeka,

kanały wodne, morze, torowiska metra, kolei i tramwajów, sieć energetyczna zasilająca metro, koleje, tramwaje i trolejbusy, podstacje energetyczne) i punktowa (przystanki, stacje i węzły przesiadkowe, zajezdnie autobusowe, tramwajowe i trolejbusowe, parkingi, lotniska i lądowiska) [210], [226], [261], [332]. Organizacja i zarządzanie infrastrukturą transportu miejskiego jest układem rozwiązań prawnych i organizacyjnych dzielących kompetencje oraz odpowiedzialność między różne poziomy zarządzania transportem miejskim (operacyjny, taktyczny i strategiczny) za rozwój (budowę) i utrzymanie (remontowanie) wszystkich jej elementów w ustalonym standardzie. W ramach transportu miejskiego są eksploatowane środki transportu miejskiego należące do różnych gałęzi transportu: szynowego (np. metro, kolej miejska i tramwaj), drogowego (np. autobus, trolejbus, samochód osobowy, rower), wodnego (np. autobus wodny, taksówka wodna) oraz powietrznego (np. helikopter) [261]. W zakresie zarządzania środkami transportu miejskiego istotnymi jego elementami są ustalenie liczebności, dobór i wymiana taboru dla transportu publicznego odpowiadający potrzebą przewozowym, efektywności ekonomicznej realizowanych podróży oraz określonego stanu środowiska i preferencji podróżnych [349], [350]. Zarządzanie podażą w transporcie miejskim wymaga również spełnienia potrzeb wypływających z integracji transportu miejskiego.

Proces zarządzania transportem miejskim w ujęcie obszarowym pozwala na wyróżnienie najważniejszych problemów/aspektów, związanych z transportem miejskim i ich uwzględnienie w procesie zarządzania. Do wspomnianych problemów/aspektów zaliczyć należy: bezpieczeństwo, środowisko, integracje i informacje.

Bezpieczeństwo w transporcie miejskim jest obszarem istotnym z punktu widzenia mieszkańców/użytkowników miasta ze względu na rozmiar i znaczenie skutków wywołanych różnego rodzaju zagrożeniami, jak i ze względu na trudności w zapobieganiu im. W obszarze bezpieczeństwa w transporcie miejskim, można wyróżnić następujące podobszary [210]: bezpieczeństwo drogowe, bezpieczeństwo osobiste pasażerów, bezpieczeństwo taboru, bezpieczeństwo infrastruktury, przeciwdziałanie terroryzmowi, bezpieczeństwo wypadkowe (z punktu widzenia przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy).

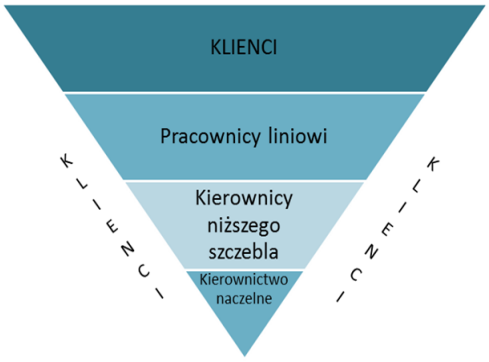
Istotnym aspektem, który powinien być brany po uwagę w procesie zarządzania transportem miejskim jest uwzględnienie jego wpływu na środowisko, w tym kwestii związanych z jakością życia w mieście [52]. W zakresie transportu osób ważną kwestią jest konieczność przejścia z transportu opartego o samochody na transport niezmotoryzowany (podróże piesze i rowerowe) i transport publiczny w połączeniu z wdrażaniem niskoemisyjnych technologii, efektywnym planowaniem przestrzennym w celu ograniczenia konieczności podróży i opłat za wjazd do centrum miasta. W zakresie transportu towarów istotnymi kwestiami są konieczność poprawy logistyki i zwiększenie udziału niskoemisyjnych i nieemisyjnych środków transportu [108].

Integracja transportu miejskiego, jest jednym z ważniejszych elementów polityki zrównoważonego rozwoju. J. Preston i inni [232], [233], definiuje integrację transportu miejskiego jako proces planowania, organizacji i reorganizacji systemu transportu miejskiego w sposób umożliwiający spójne funkcjonowanie różnych gałęzi i środków transportowych oraz operatorów i instytucji transportowych [202]. Integracja transportu miejskiego może być różnie rozumiana, inaczej przez specjalistów w zakresie transportu, inaczej przez ekonomistów, a jeszcze inaczej przez użytkowników systemu transportu miejskiego [212], [232], [233]. Z punktu widzenia inżynierii, integracja transportu miejskiego rozumiana jest jako zastosowanie rozwiązań infrastrukturalno-organizacyjnych, prowadzących do poprawy funkcjonowania systemu transportu miejskiego, a z perspektywy ekonomii, jako integrację rynku transportowego, przy czym zakłada się interwencję podmiotów publicznych [241]. Użytkownicy systemu transportu miejskiego postrzegają integrację transportu miejskiego, jako integrację fizyczną (np. odpowiednie zaprojektowanie węzłów przesiadkowych, skoordynowanie rozkładów jazdy), integrację taryfową (ujednolicenie wysokości i zasad uiszczania opłat za korzystanie z infrastruktury, za przejazd środkami transportu publicznego) oraz integrację logiczną oznaczającą spójność wszystkich działań w celu zintegrowania systemu transportu publicznego [108]. W polskiej literaturze przedmiotu autorzy odnoszą się przede wszystkim do integracji między różnymi środkami transportu publicznego. A. Rudnicki [255] rozróżnia w tym zakresie integrację: przestrzenną, infrastrukturalną, organizacyjną, ekonomiczno-finansową oraz informacyjną. W. Starowicz [282] stosuje następujący podział integracji transportu publicznego: integrację informacyjną, integrację oferty przewozowej oraz integrację taryfowo-biletową.

Informacja dla mieszkańców (użytkowników) miasta/aglomeracji miejskiej korzystających z transportu miejskiego, powinna przede wszystkim ułatwić dostęp do infrastruktury transportowej i usług transportowych oraz bezpieczne korzystanie z nich. Informacja musi być ukierunkowana na dany etap (fazę) realizowanej podróży/usługi przewozowej. Każdej podróży/usłudze przewozowej, a szczególnie tej, która odbywa się kilkoma środkami transportu miejskiego, informacje dostarczone na dany etap, powinny tworzyć spójny, całościowy przekaz. Ze względu na etap podróży/usługi transportowej można wyróżnić informacje: poprzedzające podróż/usługę transportową, ze względu na planowanie podróży/usługi transportowej, wybór środka transportu, przekazywane podczas trwania podróży, przydatne po zakończeniu podróży, ze względu na podróż powrotną i/lub usługi dodatkowe [210]. Do najważniejszych cech informacji przekazywanych w transporcie miejskim, należy zaliczyć: kompletność, czytelność, zrozumiałość, aktualność, precyzyjność, niezawodność. Każda informacja powinna uwzględniać potrzeby osób niepełnosprawnych [210].

Proces zarządzania transportem miejskim w ujęciu horyzontu czasowego wiąże się z trzema zasadniczymi poziomami zarządzania oraz z uwzględnieniem narzędzi

planistycznych występujących na każdym z nich [90], [204], [288], [324], [333]. Jednocześnie można przyjąć, iż zarządzanie transportem miejskim odzwierciedla zarządzanie przedsiębiorstwem (Rysunek 1).



Rysunek 1. Schemat organizacji przedsiębiorstwa[166]

Zarządzanie transportem miejskim (Rysunek 2) na poziomie strategicznym jest definiowane jako system działań długookresowych (powyżej 5 lat) ukierunkowanych na realizację wyznaczonych celów w polityce transportowej miasta [299], [335]. Decyzje o charakterze strategicznym podejmowane są na najwyższym szczeblu zarządzania (planowanie strategiczne) [178]. Kierownictwu naczelnemu w zarządzaniu przedsiębiorstwem, do którego zadań należy zarządzanie na poziomie strategicznym, odpowiada prezydent miasta, radni, dyrektorzy zarządzający organizatorem i operatorami transportu miejskiego w zarządzaniu transportem miejskim. Realizują oni funkcje zarządcze związane najczęściej z formułowaniem i wykonywaniem (osiąganiem celów) polityki transportowej miasta, z zarządzaniem projektami i procesami realizowanymi w transporcie miejskim. Formułując strategię rozwoju miasta, a także na jej podstawie politykę transportową miasta oraz programy i projekty pozwalające na osiągnięcie celów w nich zapisanych, kierownictwo szczebla strategicznego współdziała z mieszkańcami (użytkownikami) miasta oraz instytucjami użyteczności publicznej, organizacjami pozarządowymi, organizacjami gospodarczymi i innymi, poznając ich potrzeby transportowe i preferencje [351].

Zarządzanie na poziomie taktycznym, dotyczy realizacji średniookresowych celów transportowych, poprzez np. planowanie i realizowanie inwestycji transportowych, rozpatrywanych zazwyczaj w perspektywie od jednego roku do pięciu lat [90]. Decyzje są podejmowane na średnim szczeblu zarządzania transportem miejskim (planowanie taktyczne). Odpowiednikiem kierowników średniego szczebla w zarządzaniu przedsiębiorstwem, występujących na poziomie zarządzania taktycznego, jest kadra kierownicza zatrudniona w urzędzie miejskim, u organizatora i operatorów transportu miejskiego w zarządzaniu transportem miejskim. Najczęściej są to dyrektorzy i wicedyrektorzy wydziałów, dyrektorzy biur, wicedyrektorzy i kierownicy wydziałów zatrudnieni w jednostkach budżetowych, wicedyrektorzy i kierownicy oddziałów zatrudnieni u operatorów. W ramach realizacji powierzonych im zadań kontaktują się

oni z mieszkańcami mi (użytkownikami) miasta poznając ich preferencje w zakresie funkcjonowania i rozwoju systemu transportu miejskiego [351].

Ostatni, operacyjny poziom zarządzania transportem miejskim jest związany z realizacją działań o charakterze cząstkowym i dotyczy krótkiego horyzontu planowania, do 1 roku [288]. Decyzje te są podejmowane na najniższym szczeblu zarządzania (planowanie operacyjne), czyli na tzw. poziomie wykonawczym, np. samodzielne stanowiska pracy i są związane np. z realizacją zadań przewozowych [351]. Na tym poziomie występują urzędnicy i pracownicy niższego szczebla zatrudnieni w urzędzie miejskim i u organizatora i operatorów transportu miejskiego, mający bezpośredni kontakt z mieszkańcami (użytkownikami) miasta/aglomeracji miejskiej i pracownikami instytucji publicznych, organizacji pozarządowych i organizacji gospodarczych (Rysunek 2). Podejmowane są na nim bieżące decyzje, np. związane z bieżącym utrzymaniem infrastruktury transportowej i z eksploatacją środków transportu miejskiego, a także z zarządzaniem ruchem [351].

Rysunek 2. Schemat organizacji zarządzania transportem miejskim [351]

Zarządzanie transportem miejskim, można odnieść do dobrego zarządzania publicznego oparte na modelu partycypacyjnym (z uwzględnieniem wszystkich cech dobrego zarządzania tj. otwartości, partycypacyjności, rozliczalności, efektywności i koherencji), które w odróżnieniu od modelu biurokratycznego i modelu opartego na zarządzaniu menedżerskim, zakłada rozwiązywanie złożonych problemów decyzyjnych z partnerami (mieszkańcami/użytkownikami miasta/aglomeracji miejskiej, pasażerami, kierowcami, przewoźnikami – operatorami, organizacjami pozarządowymi, stowarzyszeniami zawodowymi, gospodarczymi, biznesowymi) reprezentującymi różne punkty widzenia [40], [41], [53], [91], [158], [330], [337], [158].

2.4. Sposoby oceny transportu miejskiego

2.4.1. Metodyki oceny projektów transportowych

W procesie zarządzania transportem miejskim, jednym z głównych zadań w ramach, którego pojawia się wiele problemów decyzyjnych, jest monitorowanie stanu systemu transportu miejskiego i dokonywanie jego usprawnień przy pomocy konkretnych projektów [5] [32], [35], [60], [88], [115], [146], [255], [319]. Wybór proponowanych usprawnień, a wcześniej wybór konkretnego wariantu danego

usprawnienia, albo uszeregowanie pożądanych usprawnień od najbardziej pożądanego do mniej ważnego, w porównaniu do stanu obecnego (stanu sprzed usprawnienia) wymaga przeprowadzenia odpowiedniej analizy z wykorzystaniem wybranej/ wybranych metodyki/metodyk dostarczającej/dostarczających właściwych narzędzi (metod). Metodyka analizy oraz kryteria z nią związane są ściśle zależne od tego czy analiza dotyczy oceny systemu transportu miejskiego w stanie obecnym czy też projektu usprawniającego ten system.

Metodyki oceny projektów (systemów) za T. Grzeszczykiem [94], [95], [96], można podzielić na dwie grupy. Pierwsza grupa, to metodyki ogólne, do której należy zaliczyć: panel ekspertów (ang. *Expert Panel* – EP) oraz analizę wielokryterialną/wielokryterialne wspomaganie decyzji (ang. *Multiple Criteria Analysis* – MCA / *Multiple Criteria Decision Aiding* – MCDA). Druga grupa to metodyki szczegółowe, tj. punkt odniesienia – standard (ang. *benchmarking* – B), analiza kosztów i korzyści (ang. *Cost Benefit Analysis* – CBA), analiza kosztów i efektywności (ang. *Cost Effectiveness Analysis* – CEA), analiza kosztów i użyteczności (ang. *Cost Utiliy Analysis* – CUA), analiza wpływu ekonomicznego (ang. *Economic Impact Analysis* – EIA) oraz społeczny zwrot z inwestycji (ang. *Social Return On Investment* – SROI) [94].

Panel ekspertów (EP) należy do najtańszych i najprostszych sposobów oceny. Eksperci formułują swoje wnioski na podstawie wartości kryteriów odnoszących się do ocenianych rozwiązań (usprawnień), projektów, wariantów projektu [135]. Czasem wykorzystuje się analizę porównawczą tzw. punkt odniesienia (B), polegającą na porównywaniu ocenianego projektu z projektem uznanym za wzorcowy [95], według Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (ang. *Organisation for Economic Co-operation and Development* – OECD): punkt odniesienia lub standard, według którego można ocenić wynik lub osiągnięcie, odnosi się do ostatnich osiągnięć własnych lub porównywalnego podmiotu.

Analizę kosztów i korzyści (CBA) wykorzystuje się najczęściej przy wyborze jednej z wielu wersji projektu. Ocenie podlegają potencjalne korzyści, wynikające z wdrożenia projektu (w określonej wersji), widziane z perspektywy koniecznych do poniesienia nakładów (kosztów). Te pozytywne (korzyści) i negatywne (koszty) efekty projektu są analizowane po przypisaniu im ich wartości finansowych. Metodyka CBA jest stosowana przy ocenie stosunkowo dużych projektów infrastrukturalnych [95], [96], [146], [159], [192], [207], [285].

Problem z zastosowaniem analizy kosztów i korzyści, pojawia się w tych sytuacjach, gdzie koszty projektu nie są uzasadnione korzyściami, ale przedsięwzięcie powinno być zrealizowane np. ze względu na to, że stanowi część programu, który prowadzi do poprawy dobrobytu społecznego [95], [96]. W takich przypadkach ocenę prowadzi się przy pomocy następujących metodyk: analizy efektywności kosztowej (CEA), analizy kosztów i użyteczności (CUA), analizy wpływu ekonomicznego (EIA), a także poprzez metodykę społecznego zwrotu z inwestycji (SROI). Te metodyki są z reguły prostsze i tańsze w przygotowaniu niż analiza kosztów i korzyści, ważne jest jedynie, aby

z istniejących możliwości realizacji inwestycji wybrać tę, która gwarantuje uzyskanie określonego efektu przy możliwie najniższych kosztach. Choć analizy te są rzeczywiście prostsze, nie znaczy to, że są wolne od kontrowersji. Wynikają one głównie z nieporównywalności alternatywnych projektów (mają one zwykle różne efekty towarzyszące) i różnych okresów ich eksploatacji [7], [95].

Jeżeli jednak próba wyceny pieniężnej nie powiedzie się, lub wydaje się mało wiarygodna, pozostaje jeszcze inne podejście, jakim jest analiza wielokryterialna (MCA)/wielokryterialne wspomaganie decyzji (MCDA – skrót polski WWD). Wielokryterialne wspomaganie decyzji jest jedną z najpopularniejszych metodyk stosowanych w procesie oceny projektów, wariantów projektu, uszeregowania zbioru projektów od najlepszego do najgorszego, w której jest dokonywany osąd na podstawie rezultatów uzyskanych z etapu analizy danych [94]. Wielokryterialne wspomaganie decyzji stosowane do wybierania rozwiązań alternatywnych, lub ich szeregowania (od najlepszego do najgorszego), lub ich klasyfikowania (do różnych klas), dysponuje zestawem algorytmów pozwalających na uwzględnienie w analizie, zbioru różnych kryteriów i wag odzwierciedlających ich ważność. W przeciwieństwie do analizy kosztów i korzyści, skupiającej się na pojedynczym kryterium (maksymalizacji dobrobytu społecznego), wielokryterialne wspomaganie decyzji jest metodyką służącą do analizy zbioru różnych celów, które nie mogą być zagregowane przez ceny dualne (według W. Samuelsona [267], cena dualna jest to przyrost wartości funkcji celu związany ze zwiększeniem o jednostkę nakładu danego czynnika) i wagi dobrobytu, jak w standardowej analizie kosztów i korzyści [7], [95], [96].

W wielu przypadkach, zwłaszcza dużych projektów transportowych, obserwuje się zainteresowanie poszczególnych grup interesariuszy i/lub obywateli tymi projektami, jak również wywieranie przez nich wpływu na proces decyzyjny, co jest naturalne, oczywiste, choć niekiedy w idiosynkratyczny sposób. Interesariusze i/lub obywatele, zazwyczaj wyrażają swoje poglądy biorąc udział w procesie decyzyjnym, w fazie poprzedzającej np. zatwierdzenie/wybór projektu, czyli na etapie oceny alternatywnych wariantów projektu, lub oceny różnych projektów w celu ich uszeregowania [48]. Decydenci mogą wybierać spośród wielu sposobów pozwalających na ocenę alternatywnych projektów, wariantów projektu, w tym m.in., analizy kosztów i korzyści, analizy wielokryterialnej, analizy kosztów i efektywności. W ostatnich latach, podejmowane są działania w celu zwiększenia „partycypacyjnego charakteru" metodyk oceny projektów. S. Stagl wyraził aprobatę dla takiego podejścia [281].

W każdym przypadku oceny o „partycypacyjnym charakterze", celem jest wzbogacenie proces oceny, łącząc merytoryczny udział ekspertów z preferencjami obywateli oraz interesariuszy. K. De Brucker, C. Macharis i A. Verbeke [48] zaproponowali zmodyfikowaną wersję metodyki MCDA, czyli analizę wielopodmiotową, wielokryterialną (ang. *Multi-Actor Multi-Criteria Analysis* – MAMCA), która może być traktowana, jako instytucjonalne podejście do oceny projektów transportowych. Idea tego podejścia oparta jest na rozwijaniu różnych modułów metodyki MCDA dla każdego podmiotu w ramach całościowego modelu procesu decyzyjnego. Zatem każdy z zaangażowanych podmiotów, np. użytkownicy

systemu transportowego, wspólnota lokalna, władze miejskie i przedsiębiorcy, mogą zdefiniować swój własny zbiór kryteriów i specyficznych parametrów.

Inny przykład, to zaproponowana przez C. Spasha [279] deliberatywna ocena monetarna (ang. *deliberative monetary evaluation* – DME). Dotyczy ona formalnych technik narady, podczas której przypisywane są wielkości monetarne do skutków środowiskowych. Społeczną, wielokryterialną analizę (ang. *Social Multi-Criteria Evaluation* – SMCE) łączącą w sobie techniki metodyki MCDA i uczestnictwa interesariuszy i obywateli, w celu ułatwienia podejmowania decyzji (biorąc pod uwagę sprzeczne interesy i wielość kryteriów), zaproponował w swoim artykule G. Munda [213]. Kolejna wersja „partycypacyjnego charakteru" metodyki MCDA zakłada, że zainteresowane strony wybierają kryteria, następnie analityk prezentuje informacje o ich wpływie na osiąganie celu/celów, a panel obywatelski porównuje osiągnięte wyniki liczbowe z własnym osądem holistycznym [238]. Taki „partycypacyjny" charakter metodyki MCDA zapewnia wielokryterialne i deliberatywne odwzorowanie. Wielokryterialne odwzorowanie (ang. *Multi-Criteria Mapping* – MCM) przedstawili O. Renn, T. Vebler, P. Dienel i B. Jonson [238]. Jest ono wywiadem opartym na metodyce MCDM/A, przeznaczonym do zbadania i udokumentowania oczekiwanych wyników alternatyw/wariantów. Deliberatywne odwzorowanie (ang. *Deliberative Mapping* – DM) łączy w sobie techniki metodyki MCDA i uczestnictwa interesariuszy z wykorzystaniem delibratywnej narady, w celu podjęcia decyzji [47]. Wreszcie, analiza decyzyjna zainteresowanych stron (ang. *Stakeholder Decision Analysis* – SDA), zaproponowana przez J. Burgessa, łączy wykorzystanie technik na poziomie narady grupy i metodyki MCDM/A [30].

Należy jednak zauważyć, że procesy związane z uczestnictwem interesariuszy i/lub obywateli w ocenie projektów, mogą być wprowadzone bez konieczności przyjmowania formalnych instrumentów oceny, takich jak metodyka MCDM/A czy metodyka CBA. Typowe przykłady takich procesów partycypacyjnych, to m.in. francuski i belgijski systemy „społecznych debat", a także szwajcarskie referendum potwierdzające [48].

Z przeglądu literatury w zakresie stosowania metodyk oceny projektów wynika, że najczęściej stosowanymi metodykami są analiza kosztów i korzyści (CBA) i wielokryterialne wspomaganie decyzji (MCDA) [33], [78], [80], [180], [209], [216], [314], [316], a spośród tych dwóch częściej stosowaną metodyką jest analiza kosztów i korzyści (CBA) niż wielokryterialne wspomaganie decyzji (MCDA) [33], [81], [209], [314]. Wydaje się, że zwolennicy jednej metodyki, nie dostrzegają zalet drugiej – wręcz przeciwnie, widzą drugą metodykę, jako konkurencyjną dla „własnej". Zadaniem autora niniejszej pracy doktorskiej, nie jest przedstawienie rozważań w zakresie stosowania metodyk CBA i MCDA jako konkurencyjnych, alternatywnych do oceny projektów transportowych, a raczej uznanie ich indywidualnych, zalet, jak i słabości [80]. W kolejnych dwóch częściach niniejszego podrozdziału zaprezentowane zostaną w sposób ogólny, a następnie porównane, wspomniane dwie najpopularniejsze

metodyki. Następnie, z uwagi na fakt, że do rozwiązania hierarchicznego problemu decyzyjnego będącego przedmiotem niniejszej dysertacji, wykorzystana została (przywołana także w tytule) metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji, zostanie ona szczegółowo opisana w rozdziale 3.

2.4.2. Analiza kosztów i korzyści

Podstawową zasadą w analizie kosztów i korzyści jest maksymalizacja społeczno-ekonomicznych korzyści netto z projektu, które to korzyści mogą być postrzegane, jako wzmocnienie dobrobytu społeczeństwa [19], [33], [146]. Wszystkie koszty i korzyści są wyrażane w jednostkach monetarnych z uwzględnieniem zmian w czasie, a kryterium decyzyjne wyrażone jest wskaźnikiem BCR (ang. *Benefit – Cost* Ratio), czyli jako stosunek korzyści do kosztów. Takie podejście zakłada, że społeczeństwo, w pewnym sensie, to suma jego jednostek. Przy takim założeniu, naturalne jest widzenie zmiany w dobrobycie społeczeństwa w wyniku realizacji danego projektu, jako łącznej wartości poszczególnych korzyści jednych osób i strat innych. Z tego punktu widzenia, konstruowanie miary dobrobytu społecznego, użytej w metodyce CBA, może być w zasadzie podzielone na dwa etapy [161]. W pierwszym etapie próbuje się opracować miarę dobrobytu dla poszczególnych jednostek w społeczeństwie. W drugim etapie, łączy się miary indywidualnego dobrobytu w miarę dobrobytu społecznego.

Indywidualne miary dobrobytu oparte są na podstawowym, ekonomicznym założeniu, że zaspokojenie indywidualnych preferencji prowadzi do dobrobytu indywidualnego [161]. W założeniu tym stwierdza się, że biorąc pod uwagę dostępny dla jednostki zbiór rozwiązań, jednostka ta zawsze dokona wyboru w sposób, który maksymalizuje jej dobrobyt (lub użyteczność). Oznacza to, że osoba ta wie, co jest dobre dla niej, że jej preferencje odzwierciedlają tę wiedzę, a ona sama będzie działać w sposób zgodny z nimi w chęci zwiększenia swojego dobrobytu. Ekonomiści przyjmują założenie takich „racjonalnych konsumentów", leży ono u podstaw większości, jeśli nie wszystkich teorii ekonomicznych. Jednakże inne podejścia, zwłaszcza psychologów, kwestionują takie podejście, gdyż nie zostawia ono odpowiedniego miejsca dla wzięcia pod uwagę nastawienia altruistycznego [81]. Niemniej jednak metodyka CBA oparta jest wyłącznie na elementach ekonomicznych, stąd przy ocenie alternatywnych rozwiązań przyjmuje się właśnie założenie ekonomistów o „racjonalnych konsumentach".

Drugim krokiem, jak już wspomniano, jest łączenie indywidualnych miar dobrobytu, w jedną miarę społecznego dobrobytu (użyteczności), czyli zsumowanie indywidualnych zysków i strat. Taka funkcja dobrobytu nazywana jest utylitarianistyczną, i opiera się na efektywności Kaldora-Hicksa sformułowanej w ramach teorii dobrobytu, która mówi, że rozwiązanie może być wsparte pod warunkiem, że ci, którzy osiągnęli dobrobyt/zysk, mogą, co do zasady, skompensować go z tymi, którzy tracą dobrobyt/osiągnęli stratę, nawet, jeśli jednostki są traktowane anonimowo [14]. Oznacza to, że polityka, która zwiększa dobrobyt ludzi bardziej

bogatych i pomniejsza dobrobyt ludzi biednych, może być uznana za ulepszenie społecznego dobrobytu. Przykład ten pokazuje jedną ze słabości metodyki CBA, ponieważ ignoruje ona ważne kwestie dotyczące równości i podziału dóbr [81].

Założeniem analizy kosztów i korzyści jest dokładność indywidualnego oszacowania każdego kosztu i każdej korzyści [146]. Badania porównawcze wskazują, że tego typu szacowanie jest często błędne, uniemożliwiając poprawę w sensie optimum Pareto i efektywności Kaldora-Hicksa. Powody tych nieścisłości wynikają: ze zbytniego polegania na danych z poprzednich projektów (często znacznie różniących się w funkcji, rozmiarze i poziomie kwalifikacji członków zespołu), z wykorzystania subiektywnych wrażeń przy ocenianiu przez członków zespołu, z niewłaściwego użycia heurystyki do określania pieniężnych kosztów elementów niematerialnych, z błędu konfirmacji wśród zwolenników projektu (szukanie powodów do kontynuacji) [19].

W celu obliczenia korzyści ekonomicznych netto dla danego projektu P należy odliczyć koszty tego projektu P od kosztów wariantu bezinwestycyjnego WB [146]. Obliczona różnica stanowi korzyści społeczno-ekonomiczne netto dla danego projektu P. Suma wszystkich korzyści netto wraz z korzyściami ekonomicznymi netto związanymi z kosztami eksploatacji i utrzymania stanowi korzyści społeczno-ekonomiczne całego projektu P. Po ustaleniu wszystkich strumieni społeczno-ekonomicznych netto, należy zdyskontować wartości przepływów netto w każdym kolejnym roku analizy, stosując społeczną stopę dyskontową i zsumować przepływy pieniężne z każdego roku. W taki sposób obliczona wartość przepływów pieniężnych jest zdyskontowaną wartością łączną (brutto) projektu P.

W celu dokonania oceny ekonomicznej projektu P należy posłużyć się:

- ekonomiczną wartością bieżącą netto (ENPV), która powinna być większa od 0 i wyznaczoną wzorem:

$$ENPV = \sum_{t=0}^{n} a_t \, S_t^E = \frac{S_0^E}{(1+r)^0} + \frac{S_1^E}{(1+r)^1} + \cdots + \frac{S_n^E}{(1+r)^n} \tag{2.1}$$

  gdzie:
  S_t^E – salda strumieni społeczno-ekonomicznych kosztów i korzyści generowanych przez dany projekt P w poszczególnych latach *t* przyjętego w analizie okresu odniesienia *n*,
  n – okres odniesienia (liczba lat), przy czym *t=0, 1, …, n,*
  a_t – ekonomiczny współczynnik dyskontowy, przy czym: $a_t = \frac{1}{(1+r)^t}$
  r – przyjęta ekonomiczna stopa dyskontowa,

- ekonomiczną stopą zwrotu (EIRR), która powinna przewyższać przyjętą stopę dyskontową:

$$EIRR = \sum_{t=0}^{n} \frac{S_t^E}{(1+r)^t} = 0 \tag{2.2}$$

gdzie oznaczenia jak we wzorze (2.1),

- wskaźnik BCR (ang. *Benefit – Cost Ratio*) relacja korzyści do kosztów, która powinna być wyższa od jedności, ustala się jako stosunek zdyskontowanych korzyści generowanych przez dany projekt P w okresie odniesienia:

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^{n} a_t B_t^E}{\sum_{t=0}^{n} a_t \, C_t^E} \tag{2.3}$$

gdzie:
B_t^E – strumienie korzyści społeczno-ekonomicznych generowanych przez projekt P w poszczególnych latach *t* przyjętego okresu odniesienia analizy,
C_t^E – strumienie kosztów społeczno-ekonomicznych generowane przez projekt P w poszczególnych latach *t* przyjętego okresu odniesienia analizy,
Pozostałe oznaczenia jak we wzorze (2.1).

Analiza kosztów i korzyści (CBA) przeprowadzana jest według określonej metodyki składającej się z następujących etapów [19]: definicja wariantów danego projektu P; identyfikacja interwenientów; zdefiniowanie i wyznaczenie wartości wszystkich kosztów i wszystkich korzyści; wyznaczenie kosztów i korzyści dla całego cyklu życia projektu P w jednakowej mierze monetarnej; zdyskontowanie kosztów i korzyści do postaci wartości bieżącej; wyznaczenie wartości bieżącej netto oraz przeprowadzenie weryfikacji poprawności założeń i wykonanie analizy wrażliwości.

2.4.3. Analiza wielokryterialna

Analiza wielokryterialna (ang. *Multiple Criteria Analysis* – MCA) lub wielokryterialne wspomaganie decyzji (ang. *Multiple Criteria Decision* Aiding – MCDA) wywodzi się z dziedziny wiedzy dotyczącej teorii decyzji i badań operacyjnych [349]. Metodyka MCDA wyposaża decydenta w odpowiednie procedury, narzędzia i metody matematyczno-informatyczne, przy pomocy, których podejmuje decyzje. Zazwyczaj problem decyzyjny ma więcej niż jeden cel/jedno kryterium, mówimy wtedy, że problem decyzyjny jest wielokryterialnym problemem decyzyjnym. Rozwiązanie wielokryterialnego problemu decyzyjnego zawsze wiąże się z kompromisem pomiędzy różnymi celami/kryteriami, przy analizie, których konieczne jest uwzględnienie wielu, często przeciwstawnych punktów widzenia popieranych przez różne zainteresowane strony, tj. interesariuszy, decydentów [15]. A. Rudnicki [255], W. Starowicz [284] oraz G. Tzeng i T. Shiau [311] wskazują, że podmiotami, które powinny być zaangażowane w taką ocenę są uczestnicy ruchu (pasażerowie, kierowcy, rowerzyści, piesi), operatorzy transportu publicznego oraz władze miejskie. W tym kontekście metodyka MCDM/A jest postrzegana przez niektórych autorów, jako najbardziej odpowiednia do

zastosowania przy rozwiązywaniu wielokryterialnych problemów decyzyjnych np. do oceny projektów transportowych [190], [191], [308], [327].

Atrybutami wielokryterialnych problemów decyzyjnych są: zbiór rozwiązań oraz zbiór kryteriów służących do ich oceny. Trzecim ważnym atrybutem metodyki MCDM/A jest struktura preferencji decydenta, interesariuszy czy obywateli, odzwierciedlona np. w wagach kryteriów, w wrażliwości na zmianę wartości poszczególnych kryteriów, wyrażonej przez mniej lub bardziej silną preferencję jednego wariantu względem porównywanego. Można przyjąć, że zbiór opcji/rozwiązań/wariantów i zbiór kryteriów, stanowią obiektywną część procesu decyzyjnego, podczas gdy subiektywną jego częścią jest struktura preferencji decydenta, interesariuszy i obywateli [80], [81]. Należy podkreślić, że przyjęcie takiej a nie innej struktury preferencji, zależy w dużej mierze od osobowości decydenta czy interwenientów i okoliczności, w których odbywa się proces podejmowania decyzji [79]. Jak zostało to omówione w pracy S. Gissela [79] oraz w pracy P. Berii, I. Maltesa i I. Mariottiego [15], kiedy tylko jest to możliwe, powinno się preferować miary oceny, które odpowiadają postawionemu celowi, jak również powinny być wymierne aby zapewniać możliwość porównywalności pomiędzy wariantami. W sytuacji, kiedy miary oceny nie można wyrazić ilościowo należy stosować zastępcze wskaźniki zamiast stosowania subiektywnych ocen. Głównym argumentem jest to, aby ograniczyć subiektywizm w procesie podejmowania decyzji do elementów, przy których może nastąpić konstruktywna wymiana opinii. Jednakże w przypadku, w którym dane kryterium nie może być wyrażone ilościowo, oczywistym sposobem jest, aby decydent i interwenienci dokonywali subiektywnej oceny tego kryterium np. metodą punktową [183].

Ogólna metodyka postępowania przy rozwiązywaniu wielokryterialnych problemów decyzyjnych według A. Guitouniego i J. Martelego [97], składa się z czterech podstawowych faz: strukturyzacja problemu decyzyjnego; opis werbalny i modelowanie preferencji decydenta; agregacja wielokryterialnych ocen (preferencji); rekomendacje. J. Żak [349] przedstawia bardziej szczegółową procedurę rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych opartą na sześciu fazach: identyfikacja i werbalny opis problemu decyzyjnego; konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego; analiza oraz wybór metod i algorytmów pozwalających na rozwiązanie problemu decyzyjnego; opracowanie komputerowej implementacji wybranych metod i algorytmów; komputerowe eksperymenty obliczeniowe, a także analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego). W podrozdziale 3.1. scharakteryzowano fazy zaproponowane przez J. Żaka.

Istnieje duża różnorodność metod stosowanych w MCDA, reprezentujących odpowiadającą im różnorodność podejść metodologicznych [88]. Jednak zasadnicza struktura tych metod jest generalnie taka sama – potrójna struktura opisana powyżej

tj. zbiór wariantów, zbiór kryteriów oraz struktura preferencji np. struktura wag kryterialnych [80], [81].

Klasyfikacja metod stosowanych w analizie wielokryterialnej (MCA), może być przeprowadzona z zastosowaniem wielu kryteriów np. w zależności od charakteru ograniczeń problemu decyzyjnego, jako metody bezpośrednie lub pośrednie, albo w zależności od charakteru wyników, jako metody deterministyczne lub losowe [88], [308].

Istnieje wiele metod, które mogą być stosowane do oceny projektów transportowych. W przypadku wielokryterialnego szeregowania wariantów, np. ranking projektów transportowych, jako najbardziej odpowiednie można wskazać [1], [88], [307], wielokryterialną metodę hierarchicznej analizy (ang. *Analytic Hierarchy Process* – AHP), analityczny proces sieciowy (ang. *Analytic Network Process* – ANP), analizę systemową (ang. *REGIME Analysis* – RA), rodzinę metod ELECTRE – ELECTRE I, II, III i IV oraz ELECTRE IS i ELECTRE TRI (ang. *Elimination and Choice Expressing Reality* – ELECTRE) – oraz wieloatrybutową funkcję użyteczności (ang. *Multi Attribute Utility Theory* – MAUT).

2.4.4. Zalety i wady metodyk CBA i MCDA

W poprzednich dwóch podrozdziałach niniejszej dysertacji (2.4.2. i 2.4.3.), opisano istotę metodyk: MCDA i CBA. Celem tej części dysertacji jest zaprezentowanie wskazywanych w literaturze ich mocnych i słabych stron, szeroko opisanych w pracach [11], [15], [19], [61], [80], [81], [88].

Do podstawowych cech metodyk CBA i MCDA, które wpływają na ich odmienność, można zaliczyć: charakter danych, rodzaj kryteriów i ich mierników [15], 61], [80], [81]. W przypadku metodyki CBA dopuszczalne są jedynie dane ilościowe, analiza oparta jest na kryteriach efektywności ekonomicznej (np. ekonomiczna wartość bieżąca netto – ENPV i ekonomiczna stopa zwrotu EIRR), a alternatywy/warianty, mierzone są jedynie w pieniądzu [61]. Metodyka MCDA dopuszcza zarówno dane ilościowe jak i dane jakościowe, albo kombinacje obu tych rodzajów, uwzględnia także różne rodzaje kryteriów, tj. słusznościowe (np. sprawiedliwość społeczna), ekologiczne itd. Ocena alternatyw/wariantów nie jest prowadzona wyłącznie, jak to ma miejsce w metodyce CBA, w kategoriach pieniężnych [61].

Ze względu na rozmiary oddziaływania projektów, który ma zostać poddany ocenie, w literaturze przedmiotu [15], [61], [81], sugerowane jest zastosowanie metodyki CBA, w przypadku dużej skali oddziaływania projektu, natomiast metodyka MCDA okazuje się być bardziej użyteczna w mikro-skali oddziaływania projektu, kiedy to wszyscy zainteresowani mogą być łatwo zidentyfikowani, zapytani o zdanie i mogą wyrazić opinie dotyczące swoich priorytetów.

Jeśli chodzi o to, kiedy dana analiza może być prowadzona, P. Beria, I. Maltes i I. Mariotti [15] wskazują, że metodyka CBA jest używana raczej jako narzędzie analizy *ex-ante*, tymczasem metodyka MCDA stosowana jest zarówno do oceny *ex-ante*, jak

i *ex-post*. Jeżeli celem metodyki CBA jest efektywność kosztów/wydatków społecznych, a metodyki MCDM/A znalezienie jak najlepszego rozwiązania (kompromisowego), to w takim przypadku ocena projektów może być prowadzona jako ocena *ex-ante*, a jeśli celem jest osiągnięcie poziomu efektywność np. ekonomicznej (metodyka CBA nie nadaje się do oceny funkcjonowania stanu istniejącego [19]), to w takim przypadku należy prowadzić ocenę projektów stosując metodykę MCDA, jako ocenę *ex-post* [15].

Ostatecznie, jeżeli metodyka CBA jest wykorzystywana do wygenerowania rankingu wariantów, który pomoże decydentowi w wyborze (ranking oczywiście może się różnić od stworzonego przy użyciu metodyki MCDA), metodyka MCDA włącza osobisty ranking decydenta, jako jego wkład, i waży go razem z rankingami innych uczestników procesu decyzyjnego [15].

P. Berii, I. Maltesowi i I. Mariottiemu [15] metodyka CBA jawi się jako bardziej rygorystyczna, transparentna i formalna, zapewniająca racjonalne ramy/struktury oceny projektów (rezultaty mogą być łatwo zakomunikowane/zaprezentowane – tym samym można się nimi łatwo dzielić i łatwo je wykorzystywać). Niemniej jednak, dostrzegają oni pewne słabości – techniczne procedury służące zastosowaniu metodyki CBA są bardziej złożone i kosztowne, a proces wyceny (w pieniądzu) jest kontrowersyjny w przypadku wartości niematerialnych.

Jednocześnie P. Beria, I. Maltese i I. Mariotti [15] uważają, że metodyka MCDA jest prowadzona w bardziej nieformalnym procesie, ale uwzględnia to, co każdy z uczestników ma do powiedzenia na temat projektu, który ma zostać oceniony – używając terminów debaty publicznej, pozwala na zwiększenie „demokracji". Co więcej, może być użyteczna do rozstrzygnięcia argumentów i zebrania ujawnionych preferencji i priorytetów.

Do zalet metodyki CBA, inni badacze, S. Goldbach i S. Leleur [80], [81] zaliczyli: transparentność, porównywalność/spójność oraz „uczenie się" poprzez systematyczne gromadzenie informacji. Transparentność, dlatego że metodyka CBA, przekształca wszystkie uwarunkowania społeczne w wartość pieniężną. Pożądane jest, aby można było zsumować wszystkie aspekty problemu decyzyjnego w jedną prostą wartość [80], [81]. Porównywalność, ponieważ metodyka CBA, dostarcza metodologicznych narzędzi, do porównywania np. projektów, co czyni ją silnym narzędziem wsparcia decyzyjnego w procesie planowania. Wartości dotyczące kosztów i zysków są spójne pomiędzy inwestycjami niezależnie od czasu. To oznacza, że społeczna opłacalność projektów może być porównywana pomiędzy sektorami i w różnych momentach czasowych [80], [81]. Proces „uczenia się" w metodyce CBA, zachodzi dzięki zebraniu i gromadzeniu szczegółowych informacji finansowych, a także kosztów i korzyści społecznych. To zbieranie i gromadzenie informacji poprawia podstawy, na których podejmowane są decyzje, jak również może budować wiedzę na temat ważnych aspektów ocenianego projektu [80], [81].

Obok zalet, jakie niewątpliwie ma metodyka CBA, istnieją także jej wady. W skrócie można je sklasyfikować następująco: subiektywność wyceny, praktyczne problemy

pomiarowe, problemy dotyczące międzypokoleniowej sprawiedliwości oraz problemy dotyczące sprawiedliwości społecznej [80], [81]. Subiektywność wyceny wynika z trudności zachowania spójności pomiędzy teoretycznymi założeniami metodyki CBA i praktycznym ich zastosowaniem, ze względu na fakt, że mogą wystąpić problemy przy szacowaniu cen jednostkowych dla trudno wycenianych skutków, tj. podróż, bezpieczeństwo, oszczędność czasu, zmniejszenie emisji np. zanieczyszczeń, itp. W praktyce, często są stosowane podejścia kompromisowe przy wycenie takich skutków, co oznacza, że wynikające z ceny jednostkowej wartości są z natury subiektywne [80], [81]. Praktyczne problemy pomiarowe, wynikają z istnienia skutków, które trudno skwantyfikować, a nawet niemożliwe jest wyrażenie ich wartości w postaci monetarnej (oszacowanie cen jednostkowych). Są to przede wszystkim skutki bardziej długoterminowe i/lub mające charakter strategiczny np. skutki dla środowiska [80], [81].

Problemy dotyczące międzypokoleniowej sprawiedliwości związane są z oceną długoterminową – kiedy obecne pokolenie dokonuje oceny skutków jakiejś opcji/alternatywy, którego nie będzie mogło ocenić w przyszłości z doświadczenia. Oznacza to, że skutki te, są wyceniane w imieniu przyszłych pokoleń [80], [81]. Definicja zrównoważonego rozwój zakłada, że rozwój, który zaspokaja potrzeby obecnego pokolenia, nie może umniejszać szans przyszłych pokoleń [11]. Jednak dyskontowanie kosztów i korzyści, które jest podstawowym elementem metodyki CBA, nie uwzględnia pragnień i potrzeb przyszłych pokoleń, a więc nie zapewnia miedzy pokoleniowej równości. Dlatego długoterminowe koszty, jak np. wyczerpanie zasobów naturalnych, jest skutecznie pomijane w metodyce CBA [80], [81].

Kolejnym problemem, jaki jest związany ze stosowaniem metodyki CBA, jest problem z równością społeczną. Pierwsza uwaga dotyczy pomiarów indywidualnych miar dobrobytu. Przy wycenie kosztów i korzyści, w celu ustalenia indywidualnych miar dobrobytu, często stosuje się metody, które oparte są na gotowości ludzi do zapłaty, w oparciu o dane pochodzące bezpośrednio (lub wnioskowane) z rynków towarów i usług. W takiej sytuacji miary jednostkowe dobrobytu, jak wskazuje S. Beder, odzwierciedlają istniejący podział dochodu [11]. Druga uwaga dotyczy sumowania poszczególnych, indywidualnych miar dobrobytu w jedną miarę społecznego dobrobytu. W konwencjonalnym podejściu prezentuje się zagregowane (i nieważone) koszty i korzyści, i nie zajmuje się kwestią, w jaki sposób korzyści i koszty się rozkładają – jest to niezwykle istotne przy rozpatrywaniu równości społecznej. Trzecia uwaga związana jest z agregacją indywidualnych „gotowości do zapłaty", a mianowicie nie ma faktycznej zapłaty, a tym samym nie ma rzeczywistej redystrybucji pieniędzy. Stąd ze względów sprawiedliwościowych można kwestionować optimum społeczno-gospodarcze wynikające z metodyki CBA [80], [81].

Odnośnie metodyki MCDA, do jej głównych zalet, można zaliczyć: pokonanie większości problemów pomiarowych, udział decydenta, interesariuszy i obywateli oraz dostosowane do wymagań sprawiedliwości [80], [81].

Pokonanie większości problemów pomiarowych, metodyka MCDA osiąga przy pomocy względnych wag, co pozwala przezwyciężyć trudności prezentacji wszystkich wartości w jednostkach pieniężnych. Oba rodzaje wskaźników, jakościowe i ilościowe, mogą być stosowane w zależności od kryteriów, oraz czasu i środków. Jeśli jakieś oddziaływanie nie może zostać określone ilościowo, np. ze względu na brak czasu lub środków, aby dokonać kosztownych obliczeń, czy też z innych powodów, może być jednak reprezentowane przez pewnego rodzaju wskaźniki zastępcze [80], [81].

Zainteresowane strony, decydent i interwenienci, mogą brać udział w całym procesie podejmowania decyzji, od określenia zbioru rozwiązań, poprzez ustalenie zbioru kryteriów i preferencji decydenta/decydentów, aż po wskazanie rozwiązania kompromisowego. Technika ta oferuje – w rzeczywistości często ona nawet tego wymaga – podejście bardziej partycypacyjne, ponieważ odbiera podejmowanie decyzji analitykom i przekazuje zainteresowanym stronom [80], [81].

Metodyka MCDA odpowiada na postulaty sprawiedliwości społecznej, poprzez włączenie do analizy kryteriów pozwalających na dokonanie całościowej oceny i przyznaje każdej jednostce taki sam stopień reprezentacji, inaczej niż to się dzieje w metodyce CBA, gdzie ci posiadający większe zasoby pieniężne posiadają większy wpływ [80], [81].

Oczywiście, istnieją również problemy związane ze stosowaniem metodyki MCDM/A. S. Goldbach i S. Leleur [80], [81] w skrócie, przedstawiają je następująco: partycypacyjny charakter metodyki MCDA czyni ją czasochłonną i zasobochłonną oraz istnieją trudności w ustaleniu wag kryteriów.

Aktywne zaangażowanie decydenta (-ów) i interesariuszy, czyni z wielokryterialnego wspomagania decyzji (MCDA), metodologię czasowo- i zasobochłonną, ponieważ wymaga udziału wielu decydentów, jak również interwenientów. Preferencje ich bardzo rzadko są obiektywne, jeśli więc istnieją subiektywne sądy, powinno to być transparentne – przynajmniej dla osoby podejmującej decyzję. Właśnie metodyka MCDA oferuje narzędzie do osiągnięcia takiej transparentnej perspektywy, mimo kosztów związanych z czasem i zastosowanymi zasobami [80], [81].

Istnieje zagrożenie pojawienia się problemów z ustaleniem wag kryteriów. Analityk powinien być świadomy, że ich ustalenie jest fundamentalnym i krytycznym krokiem w metodyce MCDA. Różne metody stosowane w tej metodyce, mogą wymagać różnych typów wag ustalonych w różny sposób (globalny lub lokalny). W procesie ustalania wag powinno się pomóc decydentowi i interwenientom w zrozumieniu znaczenia przypisanych przez nich wag, tak, aby zwiększyć zrozumienie i akceptację dla metodyki MCDM/A. Owo zrozumienie i akceptacja są kluczowe dla stosowalności metodyki MCDM/A [80], [81].

2.4.5. Zastosowanie metodyk CBA i MCDA do oceny projektów transportowych

Metodyka CBA została wykorzystana do oceny projektów transportowych początkowo w Wielkiej Brytanii w roku 1960 (ocena wariantów projektu autostrady M1) [315]. Później została zastosowana do oceny projektów transportowych (i innych) na całym świecie (między innymi w USA, Kanadzie, Japonii, kraje UE) [102], [180]. Metodyka CBA nie obejmuje wszystkich możliwych rodzajów wpływu/oddziaływań danego projektu. Metodyka ta, może być doskonale stosowana w wielu przypadkach, gdy koszty i korzyści mierzone w metodyce CBA są miarą ogólnego efektu [187]. W innych przypadkach mogą być istotne „szersze skutki ekonomiczne", tzn. szerszy wpływ na działalność gospodarczą, niż te, które są tradycyjnie mierzony w metodyce CBA. Są to wpływy, oddziaływania np. na: zatrudnienie, ceny, wzrost gospodarczy na szczeblu lokalnym, regionalnym, krajowym lub międzynarodowym. Ponadto, istnieją inne efekty niż ekonomiczne, np. strategiczne, albo skutki dla środowiska, a te, bardzo trudno wyrazić w pieniądzu [80], [81].

W praktyce, metodyka CBA reprezentuje tylko część procesu podejmowania decyzji. Inne, niewyrażone w pieniądzu wpływy/skutki, reprezentuje druga część tego procesu, z uwzględnieniem innej metodyki, i ostateczny wybór/ranking oparty jest na uwzględnieniu tych różnych części. Ocena projektów przy wykorzystaniu tylko metodyki CBA, mogłoby być niepełna. Metodyka MCDA oferuje metody pozwalające na uwzględnienie preferencji decydenta i interwenientów w procesie podejmowania decyzji i na osiąganie decyzji w metodologiczny i transparentny sposób. W metodyce MCDA zarówno wyrażane w pieniądzu wpływy/skutki jak w metodyce CBA, a także bardziej strategiczne, czy środowiskowe wpływy/skutki, które nie mogą być wyrażone w pieniądzu, mogą zostać uwzględnione w jednym podejściu [80], [81].

H. Morisugi w swoim artykule [209], jak również wspólnie z Y. Hayashi [102] przedstawili ocenę metodyk stosowanych do oceny projektów transportowych w Japonii, gdzie wykorzystywane są zarówno metodyka CBA, jak i metodyka MCDA. Metodyka CBA jest stosowana głównie w celu osądzenia, czy projekt powinien być uwzględniony na liście projektów do realizacji, podczas gdy metodologia MCDA stosowana jest do tworzenia rankingu pierwszeństwa w obrębie tej listy. Jednym z najistotniejszych zagadnień wyróżnionych w obu pracach, jest istnienie wielu niespójności wśród kluczowych składników procedury oceny projektów transportowych, które wskazują różne rodzaje transportu. Te niespójności ujawniają trudności opracowania wspólnych ram oceny dla multimodalnych projektów transportowych.

Według S. Goldbacha i S. Leleura [80], [81], metodyka CBA jest najbardziej odpowiednia w przypadkach, gdy dystrybucja kosztów i korzyści nie powoduje problemów w zakresie sprawiedliwości społecznej. Ponadto, dla stosowania metodyki CBA ważne jest, aby wpływy/oddziaływania projektu, które nie mogą być podane w wartości ekonomicznej, występowały w minimalnym zakresie. Gdy jednak wpływy/

oddziaływania projektu, które są wyrażone jakościowo i ewentualnie ilościowo, ale nie w pieniądzu, i są silne, wówczas ocena projektów winna być dokonana metodyką MCDA [80], [81].

Analizując zwłaszcza projekty infrastruktury transportowej, można zauważyć, iż istnieją różne uwarunkowania, np. strategiczne czy środowiskowe, zależne w dużym stopniu od wielkości projektu. Ponadto, dostępność danych ilościowych jest zależna od fazy planowania – w początkowej fazie, istnieje tylko ograniczona ilość danych ilościowych. Według S. Goldbacha i S. Leleura [80], [81], można odczytać rolę metodyki MCDM/A w dwojaki sposób. Z jednej strony, jako narzędzie do badań przesiewowych we wczesnych fazach planowania, gdzie nie zawsze jest możliwość pozyskania danych liczbowych. A z drugiej strony, w połączeniu z solidną podstawą metodyki CBA, ale również samodzielnie, w ocenie projektów z różnorodnymi uwarunkowaniami, np. strategicznymi i/lub politycznymi, środowiskowymi, społecznymi.

P. Beria, I. Maltes, I. Mariotti [15] podsumowują zastosowanie metodyk CBA i MCDM/A do typowego zakresu polityk dotyczących zrównoważonej mobilności. W rzeczywistości nie wszystkie czynności mogą być łatwo ocenione poprzez metodykę CBA, jak np. wszystkie czynności modyfikujące stosunek mieszkańców (wskaźniki pośrednie), albo korzyści z kampanii informacyjnych dotyczących zrównoważonej mobilności, ponieważ korzyści te są efektami drugiej kolejności i powstają w dłuższej perspektywie czasu. Natomiast metodyka MCDA według autorów pracy [15] nie ocenia efektywnie pewnych prywatnych lub publicznych kosztów, np. prawie nie ocenia społecznych kosztów wzrostu czasu podróży ze względu na restrykcyjną regulację/przepisy (np. strefa wolna od ruchu samochodowego).

Do oceny projektów transportowych w Holandii stosuje się głównie ocenę wpływów/skutków ekonomicznych, które są oparte na analizie kosztów i korzyści. W Wielkiej Brytanii łączy się metodykę CBA z oceną oddziaływania na środowisko (ang. *Environmental Impact Assessment* – EIA). Podejście to opiera się na pięciu celach: ochrona środowiska, bezpieczeństwo, gospodarka, dostępność i integracja. W Niemczech łączy się analizę kosztów i korzyści (CBA) z analizą jakościową, a w Austrii z otwartą dyskusją z odpowiednim politykiem. W Japonii, USA, Hiszpanii ocena projektów transportowych w miastach prowadzona jest w dwóch etapach: najpierw przeprowadzana jest analiza finansowo-ekonomiczna, a następnie jest uzupełniona analizą wielokryterialną (MCA), która obejmuje analizę skutków społecznych [33], [209], [205], [271], [314], [275], [205], [271], [180].

Wniosek jest, zatem niezmiernie ważny. Te dwie metodyki nie dostarczają tych samych informacji w odniesieniu do rozwiązywanego problemu decyzyjnego. Metodyka MCDA „podsumowuje" domniemane priorytety decydenta/decydentów, wszystkich uczestników procesu decyzyjnego, wyważając preferencje uczestników, biorąc pod uwagę ich znaczenie w podejmowaniu decyzji, podczas gdy metodyka CBA stanowi przeniesienie na miarę funkcji społecznego dobrobytu, zmierzonych niezależnie przy użyciu fizycznych miar/jednostek, wartości wyrażonych w pieniądzu.

Produktem nie jest decyzja, ale jeden z wkładów dla decydenta w sytuacji, podejmowania decyzji.

2.4.6. Przykładowe kryteria stosowane do oceny projektów transportowych

Kompleksowa analiza systemów transportu miejskiego, jak i proponowanych usprawnień systemu [255], [304], powinna obejmować między innymi aspekty techniczne, ekonomiczne, społeczne, środowiskowe [347], [348]. Z takiego punktu oceny wynika możliwość dokonania podziału kryteriów na kryteria o charakterze: technicznym, ekonomicznym, społecznym, środowiskowym i marketingowym [264], [347], [353]. E. Cascetta [34] rozszerza ten zestaw o kryteria związane z zagospodarowaniem przestrzennym. Ocena ta powinna uwzględniać możliwość porównania właściwości (charakterystyk) propozycji różnych rozwiązań transportowych, z oczekiwaniami podmiotów oceniających [255], [284], [311], [350].

Pasażer (podmiot indywidualny) dokonuje oceny systemu wyrażając jednocześnie swoje preferencje, podczas gdy organy władzy (podmiot instytucjonalny) traktują ocenę, jako miernik efektywności zarządzania systemem oraz kontroli standardu oferowanej usługi transportowej [255]. Ocena jakości rozwiązania transportowego z punktu widzenia przewoźnika i organizatora transportu stanowi narzędzie analizy benchmarkingowej i oceny aktualnej pozycji konkurencyjnej [64], [270]. J. Żak [350] zauważa, że rola władz miejskich, które są odpowiedzialne za ważne decyzje transportowe, również w obszarze aglomeracyjnym/metropolitalnym, jest potrójna tzn., że władze te są jednocześnie: decydentami w zakresie transportu miejskiego, interesariuszami oraz organizatorami transportu publicznego. Mają one do spełnienia, przynajmniej do pewnego stopnia, sprzeczne interesy i wymagania zarówno pasażerów, jak i innych interesariuszy i/lub mieszkańców, oraz własne preferencje i ograniczenia [347], dlatego też muszą szukać kompromisowych rozwiązań [247], [316].

Ocena systemu transportu miejskiego jak i projektów związanych z jego rozwojem jest szeroko dyskutowana przez badaczy z całego świata [31], [34], [36], [48], [64], [102], [139], [140], [187], [205], [270], [271], [275], [311], [315], [326], [349]. Miarą takiej oceny są kryteria, które mogą być definiowane, jak już wyżej wspomniano, ilościowo lub jakościowo poprzez różnego rodzaju wskaźniki i parametry. Do oceny projektów transportowych należy wykorzystać kryteria charakterystyczne dla rodzaju transportu, którego one dotyczą. J. Żak i inni [354] zaproponowali podział kryteriów oceny projektów transportowych na kryteria związane z oceną projektów transportu indywidualnego, transportu publicznego, mobilności niezmotoryzowanej oraz integracji transportu. Również brytyjski Departament Transportu w „nowym podejściu do oceny transportu" (ang. *The New Approach to Transport* Appraisal – NATA) wyróżnia integrację transportu.

A. Rudnicki [255], [258] przedstawia kompleksowy przegląd polskich badań nad kryteriami oceny (cechami) systemów transportu publicznego. Klasyfikację kryteriów

oceny jakości systemów transportu miejskiego i jego usprawnień, przedstawiają m.in. W. Rydzkowski i K. Wojewódzka-Król [261] wyróżniając 4 grupy: czas podróży, koszt, bezpieczeństwo i wygoda (komfort). A. Rudnicki [255] rozszerza ten zakres o następujące aspekty: dostępność, niezawodność oraz ekologię podróży. W. Starowicz [284] uwzględnia dodatkowo, jako kryterium oceny projektów transportu publicznego, dostępność informacji oraz dostępność ekonomiczno-finansową. M. Dytczak i W. Przybyło w swej pracy [58] do wielowymiarowej oceny systemów miejskiego transportu, użyli 3 grup kryteriów: środowiskowych, funkcjonalnych i ekonomicznych. Kryteria środowiskowe oceny systemów transportowych i jego usprawnień obejmują: zagrożenie hałasem, zanieczyszczanie powietrza, naruszanie krajobrazu, zmiany w infrastrukturze. Kryteria funkcjonalne ujmują: dostępność systemu, ogólny czas podróży, komfort podróży, ilość przesiadek, punktualność, bezpieczeństwo, trudność wprowadzania systemu, częstotliwość funkcjonowania [354]. Kryteria ekonomiczne wiążą się z kosztami: budowy, wyposażenia, eksploatacji i osobowymi, a także z możliwością etapowania inwestycji, dostępem do wyposażenia, trudnościami likwidacji oraz wpływem na wartość terenu [357].

Do oceny transportu publicznego J. Żak [347] zastosował spójną (tzn. pozwalającą na wszechstronną ocenę) rodzinę kryteriów składającą się z dziewięciu kryteriów. Kryteria te to: czas oczekiwania (średni czas spędzony przez pasażera na przystanku początkowym), czas jazdy, niezawodność (udział kursów podjętych zgodnie z przedefiniowanym rozkładem jazdy), bezpieczeństwo (w punktach; bezpieczeństwo ruchu i bezpieczeństwo sytuacyjne), bezpośredniość połączeń, komfort podróży, efektywność finansowa, opłacalność inwestycji, przyjazność środowisku. Natomiast do wyboru tramwajów dla systemu publicznego transportu miejskiego, J. Żak [350] zastosował również zestaw dziewięciu kryteriów: komfort podroży, charakterystyka trakcyjno-eksploatacyjna, niezawodność, trwałość, koszty eksploatacji, przyjazność dla środowiska, użyteczność i funkcjonalność, cena oraz doświadczenie dostawcy tramwaju.

D. Lee [180] proponuje uwzględniać do oceny projektów transportowych takie kryteria jak: koszt wewnętrzny i zewnętrzny, czas podróży, bezpieczeństwo, nadwyżka odbiorców, aspekty środowiskowe, komfort podróży, bezpieczeństwo sytuacyjne, wygoda i niezawodność.

A. Gupta [98] proponuje zestaw dwudziestu kryteriów, które umożliwiają dokładną ocenę funkcjonowania transportu autobusowego. Inne raporty badawcze [44], [264], [311] dowodzą, że ocena transportu powinna obejmować analizę ośmiu do dwudziestu jeden kryteriów. Najczęściej stosowane cechy to: punktualność, częstotliwość kursów, bezpieczeństwo, komfort, dostępność, czas jazdy i koszt podróży. Amerykańskie prawo federalne (Transportation Equity Act for the 21st Century – TEA-21) [326] wskazuje na konieczność przeprowadzenia kompleksowej oceny projektów transportowych przy pomocy następujących kryteriów: zmiana czasu podróży, zmiana pracy przewozowej, koszt inwestycji, wewnętrzna stopa zwrotu, zmiana podziału modalnego, dostępność

transportu zbiorowego i częstotliwość jego kursowania, napełnienie samochodu osobowego oraz udział długości dróg wzdłuż których przebiegają ścieżki rowerowe.

Gdy ocena odnosi się do scenariuszy rozwoju systemu transportu miejskiego lub do projektów transportowych usprawniających system transportu miejskiego w określonym horyzoncie czasowym, wielu autorów [77], [82], [303], uzupełnia wyżej wymienioną listę według różnych kryteriów finansowych, politycznych i społeczno-środowiskowych. W zależności od lokalnych warunków, definicje niektórych kryteriów różnią się, ich znaczenie może być węższe lub szersze [36], [311], [349]. W wielu przypadkach dwa lub trzy kryteria są łączone w jeden, lub jeden parametr zostaje zastąpiona przez inny, np. aktualność, prawidłowość i rzetelność usług [311], [349].

2.5. Podsumowanie

Zebrane na początku rozdziału rozważania dotyczące pojęcia transportu miejskiego ukazały istotne trudności definicyjne w zakresie wspomnianego pojęcia i stały się podstawą do przyjęcia przez autora własnej definicji, stworzonej na potrzeby niniejszej dysertacji. Następnie ukazano jak, ze względu na wielość podmiotów uczestniczących w procesie podejmowania decyzji oraz wielość funkcji realizowanych w procesie zarządzania miastem, złożonym i niełatwym zadaniem jest zarządzanie transportem miejskim. Wobec faktu, iż pojęcie zarządzania transportem miejskim zawiera się w pojęciu zarządzania miastem, te same względy decydują o złożoności i trudności zarządzania transportem miejskim. Istota transportu miejskiego implikuje konieczność ciągłego modernizowania, poprawiania i udoskonalania tego systemu w oparciu o konkretne projekty. Do wyboru projektów, wariantów projektów, szeregowania wariantów/projektów można stosować wiele metodyk. Przegląd literatury prowadzi do wniosku, iż najczęściej wykorzystywane są metodyki CBA i MCDA. Zostały one w sposób ogólny opisane, porównane (przy zanegowaniu poglądu jakoby były to metodyki konkurencyjne i wzajemnie się wykluczające), a także zaprezentowano przykłady ich zastosowania.

W ramach dokonanego przeglądu literatury, autor niniejszej dysertacji nie dostrzegł opracowań, w których ocena projektów transportowych zawierałaby wielopoziomową hierarchię celów powiązanych ściśle z celami operacyjnymi projektów transportowych, z celami miejskiej polityki transportowej i celami strategii rozwoju miasta. Autor nie odnalazł także sposobów oceny multimodalnych projektów transportowych, ani przykładów ulokowania oceny projektów transportowych w ogólnych zasadach zarządzania miastem.

3. Wielokryterialne wspomaganie decyzji (WWD)

3.1. Istota WWD

Wielokryterialne wspomaganie decyzji (WWD) zwane też analizą wielokryterialną (MCA) lub wielokryterialnym podejmowaniem decyzji (MCDA), jest dziedziną wiedzy wywodzącą się z badań operacyjnych. Dziedzina ta zmierza do wyposażenia decydenta w procedury, narzędzia i metody matematyczno-informatyczne umożliwiające rozwiązywanie złożonych problemów decyzyjnych, przy analizie, których konieczne jest uwzględnienie wielu, często przeciwstawnych punktów widzenia [349]. Według B. Roya [247] WWD jest działalnością analityka, który w procesie decyzyjnym pomaga decydentowi znaleźć odpowiedzi na pytania związane z poszukiwaniem najbardziej pożądanych rozwiązań, przy uwzględnieniu wielości celów (kryteriów), jakie stawia sobie decydent.

W procesie decyzyjnym wyróżnia się głównych uczestników, tj. [247], [349]:

- decydenta,
- analityka,
- inne podmioty (interwenientów) zainteresowane rozwiązaniem określonego problemu decyzyjnego.

Decydent, indywidualny lub zbiorowy, określa cele procesu decyzyjnego, wyraża preferencje, ocenia sytuację decyzyjną i ostatecznie ocenia uzyskane rozwiązania. Interwenient jest to uczestnik procesu decyzyjnego zaangażowany w analizowaną sytuację decyzyjną. Zwykle w procesie decyzyjnym występuje kilku interwenientów (np. zleceniodawcy – klienci, społeczność lokalna lub pracownicy), którzy prezentują różne punkty widzenia, mające przeciwstawny charakter. Analityk, będący podmiotem zewnętrznym w stosunku do rozważanego problemu decyzyjnego, jest odpowiedzialny za rozpoznanie problemu decyzyjnego i za przebieg procesu wspomagania decyzji. Konstruuje on model decyzyjny, dokonuje wyboru odpowiednich metod i narzędzi pozwalających rozwiązać problem decyzyjny, poszukuje odpowiedzi na pytania stojące przed decydentem, wyjaśnia mu konsekwencje określonych działań (decyzji) i ostatecznie wspomaga go przy wyborze najbardziej pożądanego rozwiązania [247], [349].

Jak już wcześniej wspomniano, metodyka WWD służy do rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych. Podstawowymi atrybutami tych problemów są: zbiór rozwiązań (wariantów) A oraz spójna rodzina kryteriów oceny F. Zbiór rozwiązań A to zbiór obiektów, decyzji, kandydatów, wariantów lub czynności, które mają być poddane analizie i ocenie w trakcie procedury decyzyjnej. Zbiór rozwiązań A może być definiowany w sposób bezpośredni (gdy zbiór jest skończony i dostatecznie mały) i pośredni (gdy zbiór jest nieskończony lub skończony, ale bardzo liczny). Zbiór A może być stały, tzn. zdefiniowany z góry (*a priori*), lub ewoluujący – zmienny, tzn. modyfikowany w toku procedury decyzyjnej [349].

Przez spójną rodzinę kryteriów *F* należy rozumieć taki zbiór kryteriów, który według B. Roya [247] powinien spełniać wymagania:

- wyczerpywalności oceny, polegającej na uwzględnieniu wszystkich możliwych aspektów rozważanego problemu,
- spójności oceny, polegającej na właściwym kształtowaniu przez każde kryterium globalnych preferencji decydenta,
- nieredundancji, czyli niepowtarzalności zakresów znaczeniowych kryteriów.

Powyższe wymagania zmuszają do zastanowienia się nad kwestią liczebności uwzględnianych w *F* kryteriów oceny. Ze względu na istotę wielokryterialnych problemów decyzyjnych liczba kryteriów musi wynosić minimum dwa (problemy bikryterialne). Z drugiej strony, zbiór kryteriów nie powinien być zbyt liczny, ze względu na ograniczone możliwości percepcyjne przeciętnego decydenta oraz negatywny wpływ czynników psychologicznych na racjonalność podejmowanych decyzji w przypadku dużej liczby parametrów oceniających. Zaleca się, by maksymalna liczebność zbioru kryteriów nie przekraczała „magicznej liczby" 7 ± 2, przy której osiąga się najwyższą jakość procesu decyzyjnego [349].

Każde kryterium występujące w zbiorze *F* jest funkcją *f* zdefiniowaną na zbiorze *A*, służącą do oceny zbioru *A* i reprezentującą preferencje decydenta w odniesieniu do określonego aspektu (wymiaru) problemu decyzyjnego [349]. Wszystkie kryteria powinny mieć charakter ilościowy i wyraźnie określony kierunek preferencji (kryteria minimalizowane lub maksymalizowane). Wyróżnia się trzy rodzaje kryteriów [254], [316]:

- kryterium prawdziwe (ang. *true criterion*), oparte na strukturze preferencji związanej z preporządkiem zupełnym („model tradycyjny"),
- semikryterium (ang. *semi-criterion*), oparte na strukturze preferencji związanej z semiporządkiem („model progowy"),
- pseudokryterium (ang. *pseudo-criterion*), oparte na strukturze preferencji związanej z pseudoporządkiem („model podwójnych progów").

W modelu opartym na kryterium prawdziwym zakłada się, że wszystkie rozwiązania danego problemu są porównywalne, tzn. że w sytuacji, w której decydent dokonuje porównania dwóch rozwiązań (wariantów) *a* i *b*, może on preferować jedno rozwiązanie względem drugiego, co zapisujemy *aPb* (*a* jest preferowane względem *b*) lub *bPa* (*b* jest preferowane względem *a*), lub ocenić oba rozwiązania, jako równoważne, co zapisujemy *aIb* (*a* jest równoważne *b*) [349].

Funkcja kryterialna *f*(*x*) jest zdefiniowana poniższym wzorem [247], [316]:

$$f_j(a) \geq f_j(b) \quad = \begin{cases} aIb \text{ jeśli } f_j(a) = f_j(b) \\ aPb \text{ jeśli } f_j(a) > f_j(b) \end{cases} \tag{3.1}$$

W modelu opartym na semikryterium zakłada się, że decydent ma określoną zdolność do rozróżnienia wariantów. Stąd też uzasadnione jest wprowadzenie pewnej

wartości progowej, poniżej której nie wyczuwa on różnicy między wariantami lub nie może określić przewagi jednego wariantu nad drugim. Każda wartość różnicy pomiędzy wariantami, wyższa od progu *q*, jest interpretowana, jako preferencja jednego wariantu względem porównywanego. Ponadto zakłada się, że wartość progu q jest stała. Przez wprowadzenie dodatniego progu równoważności *q*, funkcja kryterialna jest zdefiniowana poniższym wzorem [247], [316]:

$$f_j(a) \geq f_j(b) \quad = \quad \begin{cases} aIb \text{ jeśli } \left|f_j(a) - f_j(b)\right| \leq q \\ aPb \text{ jeśli } f_j(a) > f_j(b) + q \end{cases} \tag{3.2}$$

Rozwinięciem powyższego modelu jest model oparty na kryterium przedziałowym, ze zmienną wartością progową, w którym zamiast stałej wartości *q* wprowadza się funkcję progową $q(f_j(b))$. Funkcja ta wyznacza zakres tolerancji, dla którego nie ma różnicy między porównywanymi wariantami, gdy różnica ocen wariantu *a* i wariantu *b* mieści się w granicach tolerancji. Funkcja kryterialna jest zdefiniowana poniższym wzorem [247], [316]:

$$f_j(a) \geq f_j(b) = \begin{cases} aIb \text{ jeżwli } \left|f_j(a) - f_j(b)\right| \leq q\left(f_j(b)\right) \\ aPb \text{ jeżeli } \quad f_j(a) > f_j(b) + q\left(f_j(b)\right) \end{cases} \tag{3.3}$$

W modelu opartym na pseudo-kryterium (model z podwójnymi progami) zakłada się, że pomiędzy obszarami preferencji i równoważności istnieje strefa pośrednia w obrębie, której decydent ma wątpliwości, czy porównywane warianty są równoważne, czy też jeden z nich jest preferowany względem drugiego. Model ten oparty jest na dwóch progach: równoważności *q* i preferencji *p*. Poniżej progu równoważności decydent jest przekonany, że warianty są równoważne, a powyżej progu preferencji uznaje, że jeden z nich jest preferowany względem drugiego. Strefę wahań decydenta, występującą pomiędzy wyżej wymienionymi progami *q* i *p*, B. Roy [247] nazywa obszarem słabej preferencji. W obszarze tym występuje relacja słabej preferencji *Q*, czyli niewielkiej lub wątpliwej przewagi jednego wariantu nad drugim. Wartości progów *q* i *p* mogą być wyrażone, jako wartości stałe lub w postaci funkcji. Funkcja kryterialna w modelu dwuprogowym jest zdefiniowana poniższym wzorem [247], [316]:

$$f_j(a) \geq f_j = \begin{cases} aIb \text{ jeżeli } \left|f_j(a) - f_j(b)\right| \leq q\left(f_j(b)\right) \\ aQb \text{ jeżeli } f_j(b) + p\left(f_j(b)\right) \geq f_j(a) > f_j(b) + q\left(f_j(b)\right) \\ aPb \text{ jeżeli } f_j(a) > f_j(b) + q\left(f_j(b)\right) \end{cases} \tag{3.4}$$

Istota ww. rodzajów kryteriów została szczegółowo opisana w pracy J. Żaka [349]. Dla każdego z kryteriów ustala się przedział jego zmienności, czyli tzw. skalę kryterium. Elementami skali są wartości lub oceny kryterium wyrażane najczęściej w postaci liczbowej lub opisowej (werbalnej). Skale te mogą mieć charakter jakościowy, zwany również porządkowym (ang. *ordinal scale*) lub ilościowy, zwany również głównym lub kardynalnym (ang. *cardinal scale*) [242]. W pierwszym przypadku (skala porządkowa) różnica pomiędzy punktami (wartościami) na skali nie ma czytelnego odniesienia do sposobu różnicowania preferencji. W drugim przypadku (skala kardynalna), zakres zmienności kryterium mierzony jest w specyficznych jednostkach miary, a różnice odległości pomiędzy punktami na skali są interpretowane, jako stopnie różnicowania preferencji [349].

Każdy z wariantów uzyskuje swoje oceny względem poszczególnych kryteriów poprzez odniesienie własnych parametrów, osiągów i charakterystyk do skali poszczególnych kryteriów. Uzyskane w ten sposób wartości tworzą zbiór ocen kryterialnych dla określonych wariantów (macierz ocen wariantów) [349].

Wielokryterialne problemy decyzyjne można sklasyfikować według różnych kryteriów podziału. J. Żak [349], zaproponował klasyfikację w oparciu o szeroki zestaw kryteriów klasyfikacyjnych, tj. cel procesu decyzyjnego; postać zbioru wariantów; rodzaj informacji, która jest dostępna w fazie strukturyzowania i rozwiązywania problemu decyzyjnego; szczebel organizacyjny i horyzont czasowy podejmowania decyzji; zakres przedmiotowy (obszar merytoryczny) problemu decyzyjnego i zmienność czasowa problemu decyzyjnego. Zgodnie z pierwszym kryterium klasyfikacyjnym można wyróżnić następujące wielokryterialne problemy decyzyjne [349], [351]:

- wyboru (optymalizacji wielokryterialnej), w którym decydent dąży do określenia wariantu uważanego za najlepszy (najczęściej formułowany, jako zagadnienie wielokryterialnego programowania matematycznego),
- klasyfikacji (przydział wariantów do predefiniowanej kategorii), w którym decydent dąży do dokonania podziału wariantów na określone klasy,
- szeregowania (rankingu), w którym decydent dąży do uszeregowania wariantów od najlepszego do najgorszego.

W przypadku wielokryterialnego problemu wyboru, sformułowanego najczęściej jako zadanie optymalizacji wielokryterialnej, poszczególne warianty scharakteryzowane są przez wartości zmiennych decyzyjnych *x*, tworzących tzw. przestrzeń zmiennych decyzyjnych *X* [339]. Rozwiązania te, oceniane za pomocą

zestawu kryteriów $f_j(x)$ tworzą zbiór ocen kryterialnych, zwany przestrzenią kryterialną Y. Ponieważ wszystkie kryteria $f_j(x)$ wyrażone są, jako funkcje zmiennej decyzyjnej x oraz parametrów stałych c, dla określonych wartości x uzyskuje się konkretne wartości kryteriów $f_j(x)$. Oznacza to, że w sytuacji wielokryterialnych problemów optymalizacji wartości kryteriów uzyskuje się w wyniku przeprowadzonej procedury obliczeniowej, przy czym zbiór dopuszczalnych wartości $x \epsilon X$ jest zdefiniowany przez zestaw warunków ograniczających [349], [351].

W przypadku wielokryterialnego problemu klasyfikacji, rozważane warianty, zwane często obiektami x, charakteryzowane są również przez zestaw kryteriów $f_j(x)$. Oceny wariantów Y tworzą tzw. macierz ocen w układzie $X{:}x \rightarrow Y{:}\ f_j(x)$ [316], [349]. Dodatkowo, w problemie klasyfikacji stosuje się reguły klasyfikacyjne, często formułowane, jako wartości graniczne kryteriów, definiujące obszary (klasy), do których przydziela się rozważane obiekty [349].

W przypadku wielokryterialnego problemu szeregowania, rozważane obiekty X są również (podobnie jak w sytuacji wielokryterialnego problemu klasyfikacji) oceniane za pomocą znanego z góry zestawu kryteriów $f_j(x)$. Stąd w problemie szeregowania wykorzystuje się również macierz ocen [316], [349], która jest zbiorem indywidualnych wartości poszczególnych wariantów dla wszystkich rozważanych kryteriów decyzyjnych. Przy budowaniu powyższej macierzy, niektóre oceny kryteriów dla poszczególnych wariantów są znane bezpośrednio i podawane, jako dokładne wartości ich parametrów lub charakterystyk. W innym przypadku konieczne jest zastosowanie określonej procedury obliczeniowej w celu uzyskania wartości kryterium. Może to być prosta kalkulacja ocen na podstawie innych danych lub bardziej złożony proces modelowania [349].

Z istoty dotychczasowych rozważań wynika, że wielokryterialne problemy decyzyjne należą do tak zwanych problemów matematycznie źle zdefiniowanych (ang. *ill-defined mathematical problems*) [97], [349]. Przy ich rozwiązywaniu dąży się bowiem do wyznaczenia takich rozwiązań, które maksymalizują/minimalizują wielokryterialną funkcję celu. Cechą naturalną dwóch porównywanych wariantów a i b jest to, że a może być lepsze względem b w przypadku niektórych kryteriów i gorsze względem innych. W praktyce nie istnieje rozwiązanie, które byłoby jednocześnie najlepsze ze względu na wszystkie kryteria oceny. Zamiast tego wprowadza się pojęcie rozwiązania niezdominowanego lub sprawnego, czyli takiego, które nie jest zdominowane przez żadne inne rozwiązanie, zwanego również rozwiązaniem paretooptymalnym lub optymalnym w sensie Pareto, [287], [316]. Istnieje wiele metod pozwalających na wygenerowanie zbioru rozwiązań niezdominowanych, paretooptymalnych [4], [75], [286], [287], [339], [349]. Najważniejsze z nich to [349]: metoda optymalizacji parametrycznej z wykorzystaniem funkcji skalaryzującej, w tym norm Czybyszewa; metoda leksykograficzna; metoda dodatkowych ograniczeń oraz metoda punktu odniesienia.

Spośród rozwiązań paretooptymalnych decydent wybiera rozwiązanie najbardziej go satysfakcjonującego, czyli kompromisowego. Dzięki zastosowaniu metodyki WWD możliwe jest uzyskanie rozwiązań kompromisowych, tj. takich, które uwzględniają preferencję decydenta oraz analizę strat i zysków względem różnych kryteriów [247], [316]. Wybór rozwiązania kompromisowego zależy od osobowości decydenta, okoliczności, w których podejmowana jest decyzja, rozważanego problemu decyzyjnego oraz wybranej metody wspomagania decyzji. Stąd w literaturze prezentowanych jest kilka pojęć odnoszących się do rozwiązań kompromisowych, tj. [242], [247], [316]:

- relacja dominacji, czyli sytuacja, w której rozwiązanie *a* dominuje nad rozwiązaniem *b* (*aDb*), wtedy, gdy dla każdego kryterium $f_j(a) \geq f_j(b)$ i przynajmniej jedna z nierówności jest ostra, gdzie $f_j(a)$ i $f_j(b)$ są ocenami rozwiązań odpowiednio *a* i *b* względem kryterium *j*,
- punkt *idealny* (ang. *ideal point*) i punkt *nadir* (and. *nadir point*), czyli rozwiązanie skrajne stanowiące odpowiednio najlepszy i najgorszy punkt ze względu na wszystkie rozważane kryteria (w praktyce punkty te nie istnieją, jako osiągalne rozwiązania w obszarze rozwiązań dopuszczalnych).

Ważną kwestią, przy rozwiązywaniu wielokryterialnych problemów decyzyjnych, jest przeprowadzenie uogólnionej, czyli zagregowanej oceny wariantów, uwzględniającej w sposób kompleksowy ich cząstkowe oceny względem poszczególnych kryteriów [349].

W większości przypadków, w celu przeprowadzenia wyżej wymienionej agregacji, stosowane są tzw. procedury agregacji wielokryterialnej [242] wykorzystujące zaawansowane algorytmy matematyczne. W procedurach agregacji uwzględnia się takie elementy, jak [242]:

- wagi kryteriów, stałe skalowania, poziomy aspiracji decydentów, progi różnicowania wariantów (korespondujące z wrażliwością decydentów), poziomy eliminacji (odrzucenia) wariantów itp., które pozwalają określić rolę każdego kryterium względem pozostałych;
- logikę i formułę agregacji, uwzględniające rodzaje zależności pomiędzy kryteriami oraz warunki kompensacji pomiędzy „złymi” i „dobrymi” osiągami (rezultatami).

Wśród istniejących procedur agregacji istnieją dwie podstawowe procedury [242]:

- procedura wykorzystująca kryterium syntetyczne,
- procedura wykorzystująca system relacji syntetyzujących preferencje.

Pierwsza z wymienionych procedur należy do tradycyjnego podejścia [68]. Zakłada się w nim, że znając zbiór wariantów/rozwiązań oraz znając osiągi wariantów/ rozwiązań, możliwe jest zdefiniowanie pozycji każdego wariantu (najczęściej w postaci liczbowej) na określonej skali. Procedura agregacji pozwala na zdefiniowanie preporządku zupełnego na zbiorze wariantów. Preporządek ten jest ustalany na podstawie obliczeń (formuł matematycznych), które pozwalają na zdefiniowanie

kryterium syntetyzującego *j* kryteriów szczegółowych. W podejściu tym nie jest uwzględniona sytuacja nieporównywalności wariantów. Zakłada się natomiast występowanie wspólnej skali np.: skali monetarnej, skali użyteczności, na której każde kryterium $f_j(x)$ musi być ocenione [349].

Druga z wymienionych procedur oparta jest na porównaniu parami każdego wariantu/ rozwiązania z każdym [68]. Procedura agregacji nie jest zatem oparta na preporządku zupełnym, ale na preporządku częściowym. Badana jest relacja preferencji pomiędzy porównywanymi parami wariantów/rozwiązań. W tym celu wykorzystywane są wartości progowe dla poszczególnych kryteriów. W procedurze tej wykorzystywana jest także relacja nieporównywalności [349].

Kolejną ważną kwestią przy rozwiązywaniu wielokryterialnych problemów decyzyjnych jest model preferencji decydenta. Jest on ich trzecim atrybutem, obok wspomnianych dwóch podstawowych: zbioru rozwiązań (wariantów) *A* oraz spójnej rodziny kryteriów oceny *F* [349].

Model preferencji decydenta może być definiowany w różny sposób. Zdefiniowanie modelu preferencji decydenta może skutkować koniecznością wyboru określonej metody decyzyjnej lub odwrotnie, wybór metody może wyraźnie wpłynąć na sposób formułowania preferencji decydenta. Konstruowanie modelu preferencji decydenta polega na poszukiwaniu takiego ich wzorca, który najpełniej odzwierciedla oczekiwania i aspiracje, a jednocześnie wyraźnie wiąże konstruowanie preferencji z potencjalną metodą WWD. Model preferencji decydenta najczęściej uwzględnia wagę poszczególnych kryteriów oraz wrażliwość podejmującego decyzję na zmiany ich wartości. Niekiedy opiera się na ustalonym przez decydenta wstępnym, wzorcowym porządku wariantów (lub ich próbek) [351], [349].

We wszystkich trzech przypadkach wielokryterialnych problemów decyzyjnych, tj. wielokryterialnego problemu wyboru, klasyfikacji i szeregowania [349], [351], ogólna metodyka postępowania oparta jest na scharakteryzowanych w podrozdziale 2.4.3., czterech fazach rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych [97]. Kategoria i specyfika problemu decyzyjnego decydują o ewentualnych odpowiednich modyfikacjach i adaptacjach opisanej procedury postępowania. J. Żak [349], przedstawia bardziej szczegółową procedurę rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, która składa się w ogólności z sześciu następujących faz:

- Faza I: Identyfikacja i werbalny opis problemu decyzyjnego.
- Faza II: Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego.
- Faza III: Analiza oraz wybór metod i algorytmów pozwalających na rozwiązanie problemu decyzyjnego.
- Faza IV: Opracowanie komputerowej implementacji wybranych metod i algorytmów.
- Faza V: Komputerowe eksperymenty obliczeniowe.
- Faza VI: Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego).

Faza I polega na wszechstronnym rozpoznaniu problemu decyzyjnego i zbadaniu wszystkich zjawisk towarzyszących mu oraz wpływających na jego właściwe rozwiązanie. W efekcie powstaje werbalny opis problemu decyzyjnego, zawierający szczegółową prezentację rozważanej sytuacji decyzyjnej. Wyjaśnia się w nim, na czym polegają podejmowane decyzje, jaki mają charakter, co je kształtuje i ogranicza; definiuje się decydenta i okoliczności, w których musi podejmować decyzje; przedstawia się specyficzne warunki, które muszą być spełnione, aby podjęta decyzja była racjonalna. W opisie werbalnym określa się również wszystkie podmioty zainteresowane rozwiązaniem danego zagadnienia i precyzuje się ich interesy, czyli wymagania i oczekiwania. Dzięki temu dochodzi do zdefiniowania etapów procesu decyzyjnego oraz sprecyzowania roli wszystkich jego uczestników. Ważne jest, aby opis werbalny obejmował te elementy, które są niezbędne dla prawidłowej prezentacji sytuacji decyzyjnej [349].

Faza II, polegająca na tworzeniu opisu matematycznego problemu decyzyjnego, jest to możliwe dzięki wcześniej zdefiniowanemu i przedstawionemu opisowi werbalnemu problemu decyzyjnego. W fazie tej, zwanej modelowaniem matematycznym, następuje skonstruowanie modelu matematycznego rozważanej sytuacji decyzyjnej, czyli przedstawienie obserwowanych zjawisk w postaci formuł i reguł matematycznych [22], [182], [349]. Model matematyczny zostaje określony, jeśli są zdefiniowane występujące w nim wielkości (ich miary, zakresy zmienności) oraz podane związki wiążące je w postaci wyrażeń matematycznych [22], [182]. W procesie modelowania matematycznego wykorzystuje się elementy analizy systemowej [70], [265], oraz różnorodny aparat matematyczny [22], [105], [188]. Postać modelu matematycznego bezpośrednio zależy od kategorii i specyfiki rozważanego problemu decyzyjnego [349], [351].

W przypadku analizowanego w niniejszej dysertacji zadania wielokryterialnego szeregowania (porządkowania) wariantów, model matematyczny obejmuje następujące elementy: zbiór wariantów, spójną rodzinę kryteriów oceniających, macierz ocen wariantów, model preferencji decydenta [349], [351].

Przechodząc do fazy III algorytmu rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, należy podkreślić, że polega ona na analizie i wyborze metod oraz narzędzi komputerowych pozwalających na rozwiązanie problemów decyzyjnych opisanych za pomocą modeli matematycznych skonstruowanych w fazie II [349]. W fazie tej mogą wystąpić dwa alternatywne scenariusze. Pierwszy z nich polega na analizie i wyborze takich metod i narzędzi komputerowych, które nie wymagają adaptacji i mogą być bezpośrednio zastosowane do przeprowadzenia eksperymentów obliczeniowych. Drugi wiąże się z analizą i wyborem metod oraz algorytmów wymagających dostosowania i implementacji komputerowej. Stąd też w przypadku drugim, faza III musi być skojarzona z fazą IV, polegającą na opracowaniu komputerowej implementacji metod i algorytmów [349].

Wybór metod WWD powinien być oparty na analizie preferencji decydenta i analizie problemu decyzyjnego. Stąd w literaturze prezentowanych jest wiele metod WWD, których kryteria podziału są związane z rozważaną problematyką decyzyjną. Następujące kryteria klasyfikacyjne zaproponował J. Żak [349]:

- cel procesu decyzyjnego, (w oparciu o to kryterium wyróżniane są wielokryterialne metody wyboru, klasyfikacji i szeregowania wariantów/rozwiązań),
- postać zbioru wariantów, (wyróżniane są metody ze znanym z góry zbiorem wariantów np. wielokryterialne metody klasyfikacji, oraz ze zbiorem zdefiniowanym pośrednio np. metody wielokryterialnego programowania matematycznego),
- rodzaj dostępnej informacji, (wyróżniane są metody deterministyczne oraz metody niedeterministyczne – stochastyczne, rozmyte),
- sposób i moment definiowania lokalnych preferencji decydenta, (wyróżniane są metody z preferencjami wyrażanymi *a priori*, *a posteriori*, progresywnie),
- sposób syntezy globalnych preferencji decydenta, (wyróżniane są metody wieloatrybutowej teorii użyteczności i metody wykorzystujące relację przewyższania),
- zmienność czasowa analizowanych i przetwarzanych parametrów, (wyróżniane są wielokryterialne metody statyczne i wielokryterialne metody dynamiczne),
- dokładność generowanych rozwiązań, (wyróżniane są metody dokładne i przybliżone).

Autor pracy [268], poszerzył ten zbiór kryteriów klasyfikacyjnych o kryterium dotyczące liczby decydentów zaangażowanych w proces podejmowania decyzji. W oparciu o to kryterium wyróżniane są wielokryterialne metody indywidualnego wspomagania decyzji oraz wielokryterialne metody grupowego wspomagania decyzji.

Faza IV odnosi się wyłącznie do tych metod, które takiej implementacji wymagają. Implementacja komputerowa jest konkretnym sposobem wykonania programistycznego (realizacji programistycznej) pewnej koncepcji, metody lub algorytmu, przedstawionych w postaci słownej, logicznej lub matematycznej. Komputerowa implementacja metod rozwiązywania problemów decyzyjnych polega na zapisaniu ich w postaci odpowiednich instrukcji w określonym języku programowania, z charakterystyczną dla tego języka składnią i semantyką, czyli na przetworzeniu werbalnego i matematycznego zapisu metody w jej odpowiednik przyswajalny przez komputer [120], [349].

Po dokonaniu implementacji komputerowych następują dwie ostatnie fazy rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, komputerowe eksperymenty obliczeniowe (faza V) oraz analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań wraz z wyborem rozwiązania kompromisowego (faza VI). W fazie VI uzyskane rozwiązania podlegają ocenie decydenta/decydentów. Na podstawie własnych preferencji dokonuje on/dokonują oni wyboru rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego [349].

Obie te fazy są ze sobą ściśle powiązane i prowadzą do końcowego efektu, jakim jest rozwiązanie określonego problemu decyzyjnego [349], [351]. W przypadku problemów wielokryterialnego szeregowania wariantów faza obliczeniowa polega na wygenerowaniu rankingu albo uszeregowaniu wszystkich rozważanych wariantów od najlepszego do najgorszego. Faza przeglądu rozwiązań polega na analizie pozycji poszczególnych wariantów w uszeregowaniu końcowym [268], [349], [351]. Naturalnym wyborem decydenta powinien być wariant najlepszy, choć nie zawsze jest to wybór właściwy. Dlatego bardzo cenne jest przeprowadzenie w tej fazie analizy wrażliwości, stabilności rankingu przy zmieniającym się modelu preferencji decydenta (np. zmiana ważności poszczególnych kryteriów). Cenne jest także porównanie wyników rankingu uzyskanych różnymi wielokryterialnymi metodami szeregowania wariantów [349], [351].

3.2. Przegląd i klasyfikacja metod WWD, opis wybranych metod (ELECTRE III; AHP; PROMETHEE I; UTA)

3.2.1. Klasyfikacja metod WWD

W celu rozwiązania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, wykorzystuje się wybrane wielokryterialne metody i narzędzia wspomagania decyzji. Większość tych metod została opracowana w celu rozwiązania konkretnych, rzeczywistych problemów decyzyjnych, powstających w różnych sferach życia politycznego, gospodarczego czy społecznego [169]. W związku z tym metody te pojawiały się w sposób dość rozproszony, z czego wynika pewna trudność w ich klasyfikacji. Stąd też wielość kryteriów klasyfikacji metod WWD. Ich wypadkową jest akceptowany przez wielu specjalistów, choć nie wolny od pewnych niespójności klasyfikacyjnych, podział metod wielokryterialnego wspomagania decyzji na trzy grupy [316]:

- metody wieloatrybutowej teorii użyteczności, zwane przez B. Roya metodami syntezy do pojedynczego kryterium, pomijającymi nieporównywalność [247],
- metody oparte na relacji przewyższania, które B. Roya nazywa metodami syntezy przewyższającej z uwzględnieniem nieporównywalności [247],
- metody interaktywne, wg B. Roya nazywane metodami dialogowej oceny lokalnej, opartej na podejściu prób i błędów w poszczególnych iteracjach [247].

Pierwsza grupa metod, wywodząca się z tradycji amerykańskiej i oparta na aparacie wieloatrybutowej teorii użyteczności [133], polega na agregowaniu różnych kryteriów (punktów widzenia) do jednej funkcji użyteczności, która jest maksymalizowana [316]. Ostatecznie, wiele kryteriów (atrybutów) zostaje sprowadzonych do jednego kryterium globalnego. Funkcję użyteczności U można, zatem zapisać, w postaci ogólnej, jako [349]:

$$U = U(f) = U(f_1, f_2, \ldots, f_n), \tag{3.5}$$

gdzie: $f_1, f_2, \ldots, f_n$ są poszczególnymi kryteriami.

Wieloatrybutowa teoria użyteczności opiera się na założeniu, że wszystkie warianty danego problemu są porównywalne, tzn. że dla każdej pary wariantów decydent zawsze będzie preferował jeden z nich lub uzna je za równoważne, co matematycznie można przedstawić za pomocą następującego zapisu [349]:

$$\begin{aligned} &aPb, \text{ tj. } a \text{ jest preferowane nad } b, \\ &bPa, \text{ tj. } b \text{ jest preferowane nad } a, \\ &aIb, \text{ tj. } a \text{ i } b \text{ są równoważne.} \end{aligned} \tag{3.6}$$

Relacje preferencji i równoważności są określane w następujący sposób [316]:

$$\begin{aligned} aPb &\Leftrightarrow U(z_a) > U(z_b), \\ aIb &\Leftrightarrow U(z_a) = U(z_b), \end{aligned} \tag{3.7}$$

gdzie: z_a i z_b są odpowiednio obrazami wariantów a i b w przestrzeni kryteriów,
$U(z_a)$ i $U(z_b)$ są odpowiednio wartościami użyteczności wariantów a i b.

Z modelu tego wynikają następujące właściwości relacji preferencji P i równoważności I [349]:

$$\begin{aligned} &aPb \Rightarrow -bPa, && \text{tj. } P \text{ jest asymetryczna,} \\ &aIa, && \text{tj. } I \text{ jest zwrotna,} \\ &aIb \Rightarrow bIa, && \text{tj. } I \text{ jest symetryczna,} \\ &aPb \text{ i } bPc \Rightarrow aPc, && \text{tj. } P \text{ jest przechodnia,} \\ &aIb \text{ i } bIc \Rightarrow aIc, && \text{tj. } I \text{ jest przechodnia.} \end{aligned} \tag{3.8}$$

Typowymi reprezentantami w tej grupie są metody UTA [113], [273], i AHP [262], [263].

Druga grupa metod, oparta na relacji przewyższania, powstała we Francji, dając podwaliny europejskiej szkole wielokryterialnego wspomagania decyzji. Za twórcę tego kierunku uznawany jest B. Roy [244], [245], [246], [247], [248], [251], [252], [253]. W metodach tej grupy globalne preferencje decydenta modeluje się za pomocą tak zwanej relacji przewyższania, która dopuszcza występowanie nieporównywalności wariantów, czyli sytuacji, w której decydent nie może wskazać podobieństw i różnic pomiędzy wariantami. Stąd nie jest w stanie ani uznać je za równoważne, ani wskazać lepszego z dwóch wariantów.

Relacja przewyższania S jest binarną relacją zdefiniowaną na zbiorze wariantów A, taką że aSb, jeżeli dostępna informacja dotycząca preferencji decydenta, jakości ocen poszczególnych wariantów oraz natury problemu dostarcza wystarczająco dużo argumentów aby uznać, że wariant a jest co najmniej tak dobry jak b, przy

jednoczesnym braku znaczących powodów aby odrzucić to założenie.

P. Vincke [316] definiuje relację przewyższania *S*, jako sumę relacji równoważności *I* i preferencji *P*, tj.: $S = P \cup I$. Na podstawie relacji *S* możliwe jest określenie preferencji decydenta w następujący sposób [316]:

$$\begin{aligned} aPb &\Leftrightarrow aSb \ \ i \ \ -bSa \\ aIb &\Leftrightarrow aSb \ \ i \ \ bSa \\ aRb &\Leftrightarrow -aSb \ \ i \ \ -bSa \end{aligned} \tag{3.9}$$

gdzie: *aRb* oznacza relację nieporównywalności pomiędzy wariantami *a* i *b*.

Z modelu tego wynikają następujące właściwości relacji preferencji *P* oraz równoważności *I* [316]:

$$\begin{aligned} aPb &\Rightarrow -bPa, \quad \text{tj. } P \text{ jest asymetryczna,} \\ aIa, &\quad \text{tj. } I \text{ jest zwrotna,} \\ aIb &\Rightarrow bIa, \quad \text{tj. } I \text{ jest symetryczna.} \end{aligned} \tag{3.10}$$

Z kolei relacja przewyższania ma następujące właściwości [316]:

$$\begin{aligned} aSa, &\quad \text{tj. } S \text{ jest zwrotna,} \\ aSb \text{ i } bDc &\Rightarrow aSc, \\ aDb \text{ i } bSc &\Rightarrow aSc, \\ aI_j b \ \ \forall j \neq q &\Rightarrow aSb \Leftrightarrow aS_q b, \end{aligned} \tag{3.11}$$

gdzie:

D – relacja dominacji,

I_j – relacja równoważności ze względu na kryterium *j*,

S_q – relacja przewyższania ze względu na kryterium *q*.

Do grupy metod opartych na relacji przewyższania należą na przykład metody: Electre I –IV [23], [244], [246], [248], [316], Promethee I i II [23], [24], [25], [26], oraz Oreste [222], [240]. Specyficzną grupę stanowią metody będące kombinacją obu tych podejść, to znaczy wykorzystujące zarówno metodykę opartą na relacji przewyższania, jak i wieloatrybutową teorię użyteczności. Do grupy tej należą metody: Mappac [198], Pragma [199] i Idra [86].

Dla trzeciej, najnowszej grupy, tj. grupy interaktywnych metod WWD, charakterystyczne jest przeplatanie się fazy obliczeniowej oraz fazy podejmowania decyzji, czyli dialogu z decydentem. W pierwszym etapie decydent uzyskuje próbkę rozwiązań (najczęściej niezdominowanych – paretooptymalnych) lub rozwiązania przykładowe, w drugim zaś poddaje je ocenie, wprowadzając dodatkowe informacje

preferencyjne [87], [316], [349].

Metody dialogowe zyskują w ostatnim okresie coraz większą popularność [247], [312], [313]. W grupie tej można wyróżnić następujące metody:

- zorientowane na poszukiwanie, np.: LBS [124], [123], [125], STEM [163];
- zorientowane na uczenie: Wierzbickiego [323] dialogowe programowanie celowe [181].

Wśród metod WWD, które odpowiadają kryterium klasyfikacyjnemu jakim jest cel procesu decyzyjnego, można wyróżnić [349], [351]:

- wielokryterialne metody wyboru (optymalizujące),
- wielokryterialne metody klasyfikacji (sortujące),
- wielokryterialne metody szeregowania (rankingowe).

Warto zauważyć, że podział ten odpowiada ogólnej kategoryzacji wielokryterialnych problemów decyzyjnych (patrz rozważania powyżej). W dalszej części pracy scharakteryzowano wybrane metody wielokryterialnego szeregowania wariantów, czyli wielokryterialne metody rankingowe, ze względu na charakter problemu decyzyjnego, tj. szeregowania projektów transportu miejskiego. Analizę metod szeregowania wariantów ograniczono do przedstawienia reprezentantów dwóch zasadniczych nurtów WWD, tj. metod opartych na relacji przewyższania (ELECTRE III [68], [244], [246], [316], PROMETHEE I [23], [24], [25], [26]) oraz metod opartych na wieloatrybutowej teorii użyteczności (UTA [113], [273] i AHP [262], [263]).

3.2.2. Metoda ELECTRE III

Metoda ELECTRE III [68], [244], [246], [316], jest wielokryterialną metodą szeregowania skończonego zbioru wariantów, ocenianego za pomocą zestawu kryteriów. J. Żak [349], przedstawia algorytm obliczeniowy metody ELECTRE III, który obejmuje trzy podstawowe fazy:

- faza I – konstrukcja macierzy ocen oraz definicja modelu preferencji decydenta,
- faza II – konstrukcja relacji przewyższania,
- faza III – wykorzystanie relacji przewyższania.

Faza I rozpoczyna się od określenia zbioru wariantów *A* oraz zdefiniowania spójnej rodziny kryteriów *F*. Dla wszystkich wariantów określa się wartości poszczególnych funkcji kryterialnych f_j. Następnie za pomocą progów równoważności q_j, preferencji p_j i weta v_j oraz współczynników ważności w_j, dla każdego kryterium *j* definiowany jest model preferencji decydenta. Obowiązuje przy tym zasada, że $q_j < p_j < v_j$ [349].

W fazie II dla każdej pary wariantów (*a*, *b*) wyznacza się kolejno [349]:

- współczynniki zgodności $c_j(a, b)$, które określają, w jakim stopniu, zgodnie z kryterium *j* „wariant *a* jest co najmniej tak dobry jak *b*” (Rysunek 3):

$$c_j(a,b) = \begin{cases} 1 \; jeżeli \; f_j(a) + q_j\left(f_j(a)\right) \geq f_j(b), \\ 0 \; jeżeli \; f_j(a) + p_j\left(f_j(a)\right) \leq f_j(b), \\ funkcja \; liniowa \; o \; wartości \; pomiędzy \; 0 \; i \; 1 \end{cases} \tag{3.12}$$

- indeks zgodności, tworzący tzw. macierz zgodności:

$$C(a,b) = \frac{1}{W}\sum_{j=1}^{n} w_j c_j(a,b), \qquad \text{gdzie:} \qquad W = \sum_{j=1}^{n} w_j \tag{3.13}$$

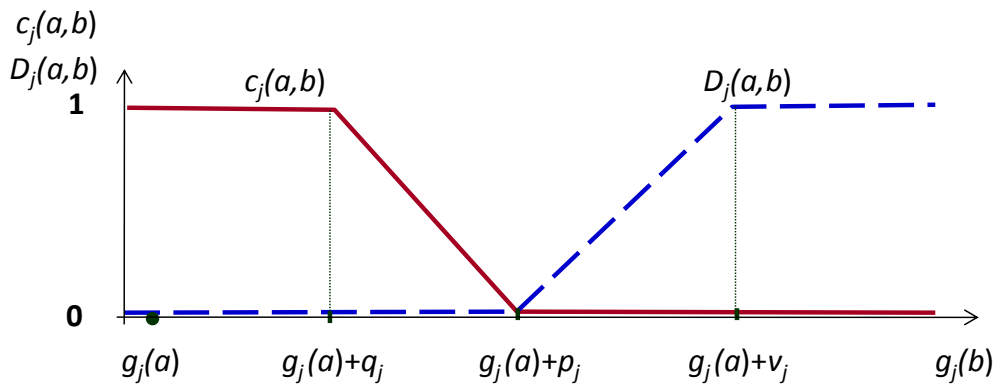
- współczynniki niezgodności $D_j(a, b)$ (Rysunek 3):

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 0 \text{ jeżeli } f_j(b) \leq f_j(a) + p_j(f_j(a)), \\ 1 \text{ jeżeli } f_j(b) \geq f_j(a) + v_j(f_j(a)), \\ \text{funkcja liniowa o wartości pomiędzy } 0 \text{ i } 1. \end{cases} \tag{3.14}$$

- relację przewyższania, zdefiniowaną poprzez stopień przewyższania $S(a, b)$:

$$S(a,b) = \begin{cases} C(a,b) \text{ jeżeli } D_j(a,b) \leq C_j(a,b) \\ C(a,b) \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1 - D_j(a,b)}{1 - C_j(a,b)} \end{cases} \tag{3.15}$$

gdzie: $J(a, b)$ jest zbiorem kryteriów, dla których $D_j(a, b) > C(a, b)$.



Rysunek 3. Sposób definiowania współczynników: zgodności c_j *(a, b)* i niezgodności D_j *(a, b)* w metodzie ELECTRE III [316]

W fazie III następuje porządkowanie wariantów na podstawie uzyskanych stopni przewyższenia *S(a, b)*. Etap ten rozpoczyna się od zdefiniowania wartości [316]:

$$\lambda = \max_{a,b \in A} S(a,b) \tag{3.16}$$

Dalszej analizie poddaje się tylko te pary wariantów *(a, b),* dla których *S(a, b)* jest „wystarczająco bliskie" *λ.* Bliskość tę określa się za pomocą różnicy *λ – s(λ),* gdzie *s(λ)* jest tzw. poziomem odcięcia [316]. Na podstawie wartości *λ* oblicza się tzw. współczynnik kwalifikacji każdego wariantu *Q(a),* czyli różnicę pomiędzy liczbą wariantów, które dany wariant *a* przewyższa, a liczbą wariantów, przez które dany wariant *a* jest przewyższany [316].

Szeregowanie wariantów oparte jest na dwóch algorytmach klasyfikowania: destylacji zstępującej i destylacji wstępującej. Obie destylacje zmierzają do uszeregowania wariantów od najlepszego (o najwyższym współczynniku kwalifikacji *Q(a)*) do najgorszego, czyli posiadającego najniższy współczynnik kwalifikacji. W przypadku destylacji zstępującej proces szeregowania rozpoczyna się od wyboru wariantu najlepszego i umieszczeniu go na szczycie klasyfikacji. W dalszej kolejności, spośród pozostałych wariantów ponownie wybierany jest wariant najlepszy i umieszczany na kolejnym miejscu klasyfikacji. Procedura ta jest powtarzana do wyczerpania zbioru *A*. W przypadku destylacji wstępującej proces szeregowania rozpoczyna się od wyboru wariantu najgorszego i umieszczeniu go na końcu rankingu. Dalej postępowanie przebiega podobnie, jak w przypadku destylacji zstępującej, z tym, że w kolejnych iteracjach z pozostających do rozważenia wariantów wybierany jest zawsze element najgorszy i umieszczany na kolejnych pozycjach uszeregowania „od dołu" [349], [351].

Końcowym krokiem fazy III jest tworzenie rankingu finalnego na podstawie preporządku zstępującego i wstępującego, w oparciu o następujące zasady [349], [351]:

- wariant *a* jest uważany za lepszy od wariantu *b (aPb),* jeżeli w co najmniej jednym z preporządków zupełnych *a* jest umieszczony przed *b*, a w drugim *a* jest co najmniej tak dobrze sklasyfikowany jak *b*,
- wariant *a* jest oceniany równorzędnie względem *b (aIb),* jeżeli oba warianty należą do tej samej klasy w każdym z dwóch uszeregowań,
- warianty *a* i *b* są nieporównywalne *(aRb)*, jeżeli w jednym z dwóch uszeregowań wariant *a* jest na lepszej pozycji niż *b* w preporządku wstępującym, natomiast wariant *b* jest na lepszej pozycji od *a* w drugim uszeregowaniu.

W rezultacie powstaje końcowe uszeregowanie wariantów, w którym pomiędzy wariantami mogą wystąpić sytuacje: równoważności – *I*, preferencji – *P* i nieporównywalności *R* [349], [351]. W macierzy rankingowej, relacje przedstawione są pomiędzy parami wariantów i zapisane w postaci symboli: równoważności – *I*, preferencja – *P*, odwrotność preferencji – *(P)* oraz nieporównywalności – *R* [349], [268].

3.2.3. Metoda AHP

Metoda AHP (z ang. *Analytic Hierarchy Process*) [133], [262], [263], jest wielokryterialną metodą hierarchicznej analizy problemu, wykorzystującą zasady wieloatrybutowej teorii użyteczności. Metoda ta pozwala na dekompozycję złożonego problemu decyzyjnego i uporządkowanie skończonego zbioru wariantów decyzyjnych *A*. Algorytm metody składa się z V zasadniczych faz [83], [349]:

- faza I – konstrukcja hierarchicznej struktury procesu decyzyjnego,
- faza II – definiowanie preferencji decydenta,
- faza III – obliczanie znormalizowanych ocen ważności elementów hierarchii,
- faza IV – badanie globalnej spójności macierzy,
- faza V – konstrukcja uszeregowania końcowego wariantów.

W fazie I konstruowana jest hierarchiczna struktura procesu decyzyjnego, poprzez zdefiniowanie jej następujących poziomów:

- poziom 0, określający cel procesu decyzyjnego (np. uporządkowanie wariantów decyzyjnych od najlepszego do najgorszego i wybór wariantu najlepszego),
- poziom 1, zawierający kryteria i podkryteria oceny,
- poziom 2, przedstawiający zestawienie wariantów decyzyjnych.

Dzięki realizacji fazy I możliwe jest precyzyjne zdefiniowanie i ustrukturyzowanie problemu decyzyjnego [268], [349].

W fazie II na każdym poziomie hierarchii uczestnicy procesu decyzyjnego podają informację preferencyjną w postaci względnych ocen ważności, dokonywanych dla par kryteriów i wariantów decyzyjnych. Porównywane elementy hierarchii (kryteria, podkryteria i warianty) uzyskują oceny w skali od 1 do 9 punktów. Im element jest bardziej preferowany (ważniejszy), tym wyższa jest jego ocena punktowa. Ocenę 1 uzyskują elementy równoważne. Wartość 9 przypisuje się elementowi, który jest niezwykle silnie preferowany względem drugiego elementu porównywanego. Wartości pośrednie od 2 do 8 oddają proporcjonalne nasilenie względnej przewagi jednego elementu nad drugim. Przykładowo wartość 2 oznacza „przewagę umiarkowaną", a wartość 5 „przewagę bardzo silną". Wszystkie współczynniki mają charakter kompensacyjny, tzn. wartość oceny dla elementu mniej ważnego (mniej preferowanego) w danej parze jest odwrotnością wartości przypisanej elementowi ważniejszemu (bardziej preferowanemu). Stąd wartości 1/2, 1/5 czy 1/7 są przypisywane elementom gorszym (mniej pożądanym) lub mniej istotnym [349], [351]. Uzyskane zbiory porównań są prezentowane parami w macierzach ocen, w których w wierszach i kolumnach znajdują się kolejne kryteria, podkryteria (określane dla każdego kryterium) i warianty (określone dla kryteriów i podkryteriów). Kierunek zapisu informacji preferencyjnych w macierzach jest zawsze ten sam, tj. prezentowana jest relacja elementu znajdującego się w wierszu względem elementu znajdującego się w kolumnie [268], [349].

Istotą obliczeń w fazie III, na podstawie macierzy ocen, jest kalkulacja ocen ważności poszczególnych elementów hierarchii. W tym celu rozwiązuje się tzw. problem poszukiwania wartości własnej macierzy (ang. *eigenvalue*) [263]. Oceny ważności są następnie normalizowane tj. ich suma na każdym poziomie hierarchii wynosi 1 [349].

W fazie IV algorytmu metody AHP następuje badanie spójności poszczególnych macierzy ocen na wszystkich poziomach hierarchii, czyli sprawdzanie jak dalece logiczna i jednorodna jest informacja preferencyjna podana przez decydenta. W tym celu wykorzystuje się współczynnik spójności (ang. *Consistency Ratio* – CR), którego wartość nie powinna przekraczać 0,1. Jeżeli wartość indeksu spójności przekracza 0,1 wówczas konieczna jest weryfikacja informacji preferencyjnej podanej przez decydentów, gdyż charakteryzuje się ona zbyt dużą niespójnością lub popełniono błąd (we wprowadzaniu danych, obliczeniach). W takiej sytuacji następuje powrót do fazy II algorytmu metody AHP [263], [262]. Jednakże jeżeli decydent jest przekonany o poprawnym zdefiniowaniu preferencji, to dopuszczalne są wyższe wartości indeksu spójności [20], [349].

W fazie V algorytmu, znormalizowane wagi wariantów, podkryteriów i kryteriów, uzyskane w fazie III, agreguje się za pomocą addytywnej funkcji użyteczności, syntetyzującej udziały wagowe elementów z poszczególnych poziomów [263], [349]. Wagi reprezentują udział elementu w globalnym celu procesu decyzyjnego. Użyteczność *i* tego wariantu $U_{i(t-2)}$ występującego w hierarchii na poziomie *t–2*, obliczana jest jako suma iloczynów wag poszczególnych elementów występujących na drodze od każdej gałęzi hierarchii, z którą związany jest wariant *i* (poziom *t – 2*), poprzez podkryteria (poziom *t – 1*) i kryteria (poziom *t*) do celu (poziom *0*). Użyteczność $U_{i(t-2)}$ stanowi zagregowaną ocenę, której wartość dana jest wzorem:

$$U_{i(t-2)} = \sum_{t-2}^{t} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{l} w_{i(t-2)}^{k(t-1),j(t)} \cdot w_{k(t-1)}^{j(t)} \cdot w_{j(t)}^{0} \tag{3.17}$$

gdzie:

$w_{j(t)}^{0}$ – znormalizowana ocena ważności (waga) elementu hierarchii *j* na poziomie *t* względem elementu hierarchii poziomie *0* (cel procesu decyzyjnego),

$w_{k(t-1)}^{j(t)}$ – znormalizowana ocena ważności (waga) elementu hierarchii *k* (podkryterium) na poziomie *t – 1*, względem elementu hierarchii *j* na poziomie *t* (kryterium),

$w_{i(t-2)}^{k(t-1),j(t)}$ – znormalizowana ocena ważności (waga) elementu hierarchii *i* (wariantu) na poziomie *t – 2* względem elementu hierarchii *k* (podkryterium) na poziomie *t – 1* oraz elementu hierarchii *j* (kryterium) na poziomie *t*.

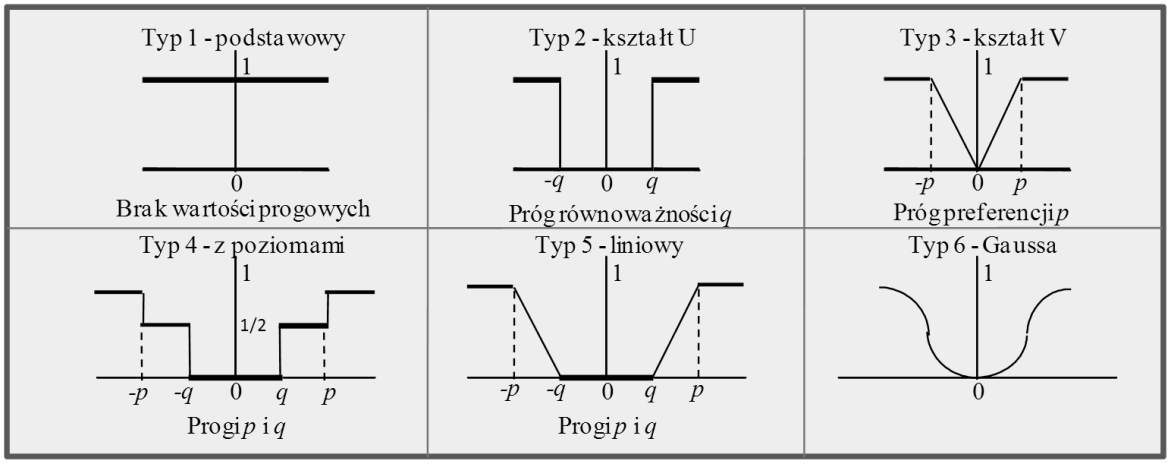
Rezultatem końcowym algorytmu metody AHP jest ranking, czyli uszeregowanie wariantów od najlepszego do najgorszego, zgodnie z obliczonymi wartościami ich użyteczności, od największej do najmniejszej. Z informacji przedstawionych powyżej wynika, że relacje występujące pomiędzy wariantami w hierarchii końcowej wariantów mogą być następujące: równoważności *I* oraz preferencji *P* [349].

3.2.4. Metoda PROMETHEE I

Metoda PROMETHEE I [23], [24], [25], [26], jest wielokryterialną metodą szeregowania skończonego zbioru wariantów, ocenianego za pomocą zestawu kryteriów. W algorytmie metody można wyróżnić III fazy:

- faza I – konstrukcja macierzy ocen oraz definicja modelu preferencji decydenta,
- faza II – konstrukcja relacji przewyższania (wielokryterialny indeks preferencji),
- faza III – wykorzystanie relacji przewyższania.

W pierwszej fazie metody konieczne jest zatem zdefiniowanie zbioru wariantów *A* oraz spójnej rodziny kryteriów *F*. Dla wszystkich wariantów określa się wartości poszczególnych funkcji kryterialnych f_j. Następnie, zgodnie z założeniem J. Bransa [23], twórcy metody PROMETHEE I, dla każdego kryterium określana jest tzw. funkcja preferencji $H_j(a,b)$. Definiowana jest ona jako intensywność preferencji wariantu *a* względem wariantu *b*, dla każdego kryterium *j*, wyrażona w postaci funkcji będącej różnicą wartości porównywanych wariantów względem danego kryterium, czyli $f_j(a)$-$f_j(b)$. Funkcja ta przyjmuje wartości z przedziału od *0* do *1* i może występować w jednej z sześciu podstawowych postaci preferencji, co zostało zobrazowane na rysunku 4 [26].



Rysunek 4. Postacie funkcji preferencji $H_j(a,b)$ dla metody PROMETHEE I wraz z relacjami *I, Q, P,* pomiędzy wariantami [26]

Typ 1 – podstawowy funkcji preferencji odpowiada sytuacji, w której wariant *a* i wariant *b* są równoważne wtedy i tylko wtedy, gdy $f_j(a) = f_j(b)$. W przeciwnym razie mówimy o silnej preferencji jednego wariantu względem drugiego.

Typ 2 – kształt U funkcji preferencji oznacza, że dwa warianty *a* i *b* są równoważne

wtedy i tylko wtedy, gdy różnica ich wartości $f_j(a)$ i $f_j(b)$ nie przekracza progu równoważności *q*. W przeciwnym razie mówimy o silnej preferencji jednego wariantu względem drugiego.

Typ 3 – kształt V funkcji preferencji reprezentuje sytuację, w której dla różnicy wartości $f_j(a)$ i $f_j(b)$ dwóch wariantów *a* i *b* mniejszej niż wartość progu preferencji *p*, preferencje decydenta wzrastają liniowo. Jeśli różnica ta jest większa od wartości progu *p*, wtedy mówimy o silnej preferencji jednego wariantu względem drugiego.

Typ 4 – z poziomami funkcji preferencji przedstawia sytuację, w której konieczne jest zdefiniowanie progu równoważności *q* i progu preferencji *p*. Jeśli różnica wartości $f_j(a)$ i $f_j(b)$ przekracza próg równoważności *q* i nie przekracza progu preferencji *p*, mówimy o słabej preferencji jednego wariantu względem drugiego, a wartość funkcji preferencji wynosi *0,5*.

Typ 5 – liniowy funkcji preferencji odpowiada sytuacji, w której konieczne jest zdefiniowanie progu równoważności *q* i progu preferencji *p*. Ponadto decydent uznaje, że jego preferencje wzrastają liniowo w przedziale pomiędzy progiem równoważności *q* i preferencji *p*.

Typ 6 – Gaussa funkcji preferencji reprezentuje sytuację, w której preferencje decydenta można wyrazić za pomocą krzywej Gaussa. Konieczne jest zatem zdefiniowanie wartości odchylenia standardowego σ (na podstawie rozkładu normalnego $N(\mu, \sigma)$, przy założeniu, że wartość średnia μ=0.

Budowa modelu preferencji decydenta polega zatem na wyborze odpowiedniego kształtu funkcji preferencji oraz określeniu parametrów charakterystycznych dla tej funkcji. Funkcje te są symetryczne względem różnicy wariantów równej zero [26]. Oznacza to, że dla dodatniej różnicy, czyli gdy $f_j(a) > f_j(b)$, wartość funkcji preferencji wynosi $H_j(a,b)$, podczas gdy $H_j(b,a) = 0$. Tym samym, jeśli $f_j(a) < f_j(b)$, wartość funkcji preferencji wynosi $H_j(b,a)$, podczas gdy $H_j(a,b) = 0$.

W II fazie metody określany jest wielokryterialny indeks preferencji π wariantu *a* względem wariantu *b.* Jest on definiowany poniższym wzorem [26]:

$$\pi(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^{k} \pi_j H_j(a,b)}{\sum_{j=1}^{k} \pi_j} \tag{3.18}$$

gdzie:

$\pi(a,b)$ – wielokryterialny indeks preferencji decydenta dla wariantu *a* względem wariantu *b* dla wszystkich rozważanych kryteriów,

$j = 1,2, \ldots k$ – zbiór kryteriów oceny wariantów,

$H_j(a,b)$ – funkcja preferencji określona dla kryterium *j.*

Wielokryterialny indeks preferencji $\pi\ (a,b)$ odpowiada indeksowi zgodności $C(a,\ b)$, zdefiniowanemu dla metody ELECTRE III. Warto w tym miejscu podkreślić, że typ 5 funkcji preferencji dla metody PROMETHEE I odpowiada modelowi preferencji dla stałych wartości progowych q_j i p_j w metodzie ELECTRE III. Jednakże nie oznacza to, że indeks preferencji jest równy indeksowi zgodności. Wartość indeksu zgodności $C(a,\ b)$ maleje od 1, gdy $f_j(b) - f_j(a) > q_j$, podczas gdy wartość indeksu preferencji $\pi\ (a,b)$ maleje od 1, gdy $f_j(a) - f_j(b) < p_j$. Oznacza to, że zależność pomiędzy indeksami wyraża równość $\pi(a,b) = 1 - C(b,a)$ [26].

Fazą III metody PROMETHEE I jest wyznaczenie dodatniego i ujemnego wskaźnika przepływu przewyższającego, wyrażonego odpowiednio jako [26]:

$$\Phi^{+}(a) = \sum_{b \in A} \pi(a,b)$$

$$\Phi^{-}(a) = \sum_{b \in A} \pi(a,b) \tag{3.19}$$

Sumy dotyczą wszystkich rozważanych wariantów.

Dodatni wskaźnik przepływu przewyższającego wyraża siłę przewyższania wariantu *a* względem pozostałych wariantów, a ujemny – siłę przewyższania pozostałych wariantów nad wariantem *a*. Obydwa wskaźniki określają preporządki zupełne wariantów, na przecięciu których znajduje się preporządek częściowy, stanowiący ranking końcowy. Można zatem stwierdzić, że [26]:

- *a* przewyższa *b*, jeżeli:

$$\Phi^{+}(a) > \Phi^{+}(b) \quad i \quad \Phi^{-}(a) < \Phi^{-}(b), \tag{3.20}$$

lub

$$\Phi^{+}(a) > \Phi^{+}(b) \quad i \quad \Phi^{-}(a) = \Phi^{-}(b), \tag{3.21}$$

lub

$$\Phi^{+}(a) = \Phi^{+}(b) \quad i \quad \Phi^{-}(a) < \Phi^{-}(b), \tag{3.22}$$

- *a* jest równoważne *b*, jeżeli:

$$\Phi^{+}(a) = \Phi^{+}(b) \quad i \quad \Phi^{-}(a) = \Phi^{-}(b), \tag{3.23}$$

- *a* i *b* są nieporównywalne, jeżeli:

$$\Phi^{+}(a) > \Phi^{+}(b) \quad i \quad \Phi^{-}(b) < \Phi^{-}(a), \tag{3.24}$$

lub

$$\Phi^{+}(b) > \Phi^{+}(a) \quad i \quad \Phi^{-}(a) < \Phi^{-}(b). \tag{3.25}$$

Z informacji przedstawionych powyżej wynika, że podobnie, jak w metodzie ELECTRE III relacje występujące pomiędzy wariantami w uszeregowaniu końcowym mogą być następujące: równoważność *I*, preferencja *P* oraz nieporównywalność *R* [268], [349].

3.2.5. Metoda UTA

Metoda UTA (z franc. *Utilité Additive*) [113], [273] należy do grupy metod wykorzystujących aparat matematyczny wieloatrybutowej teorii użyteczności. Zakłada ona syntezę wielu kryteriów do pojedynczego kryterium globalnego, zwanego funkcją użyteczności i nie uwzględnia nieporównywalności między wariantami [349], [351].

Algorytm metody składa się z 3 faz:

- faza I – Określenie danych wejściowych,
- faza II – Konstruowanie funkcji użyteczności,
- faza III – Ustalenie rankingu końcowego wariantów.

W fazie I konstruowane są dane wejściowe niezbędne do realizacji procedury obliczeniowej. Są to: skończony zbiór wariantów *A*, spójna rodzina kryteriów *F*, a także uporządkowanie części zbioru *A – A'*, stanowiące jednocześnie definicję modelu preferencji, w którym wykorzystana jest relacji preferencji *P* i równoważności *I*.

W fazie II na podstawie powyższych danych wejściowych określana jest „optymalna" funkcja użyteczności o następującej postaci ogólnej [113], [273], [349]:

$$U(a) = \sum_{j=1}^{n} u_j(f_j(a)) \tag{3.26}$$

gdzie:

$u_j(f_j(a)) = w_j \cdot f_j(a)$ - użyteczność cząstkowa wariantu *a,*

w_j – waga (współczynniki wymiany albo kompensacji) kryterium *j*, określająca ile jednostek danego kryterium *j* kompensuje jednostkę innego kryterium.

Przez „optymalność" funkcji użyteczności, należy rozumieć taką jej postać, która najlepiej wyraża preferencje decydenta. W tym celu przedział [x_j, y_j], tj. zakres

zmienności kryterium *j,* zostaje podzielony na r_j jednakowych odcinków $\left[u_j^l, u_j^{l+1}\right]$ gdzie $l = 1, \ldots, r_j$, oraz:

$$u_j^l = x_j + \frac{l-1}{r_j}(y_j - x_j) \tag{3.27}$$

W dalszej kolejności określone są wartości funkcji kryterialnych $U_j(u_j^l)$, w punktach u_j^l i dokonuje się interpolacji liniowej pomiędzy tymi punktami. Stąd, jeżeli $z_j \in \left[u_j^l, u_j^{l+1}\right]$, to [113]:

$$U_j(z_j) = U_j(u_j^l) + \frac{z_j - u_j^l}{u_j^{l+1} - u_j^l}\left[U_j(u_j^{l+1}) - U_j(u_j^l)\right] \tag{3.28}$$

Jeżeli liczba elementów w zbiorze jest stosunkowo niewielka wówczas elementy te przyjmują wartość u_j^l. Ostatecznie:

$$U(a) = \sum_{j=1}^{n} U_j(x_j^a) + \delta(a), \tag{3.29}$$

gdzie: $x_j^a = f_j(a)$ i $\delta(a)$ jest błędem związanym z estymacją wartości *U(a).*

Zakładając, że znany jest podzbiór *A'* wariantów, dla którego preferencje decydenta są określone, i który tworzy preporządek zupełny, można określić warunki ograniczające, które muszą być spełnione $\forall a, b \in A'$ [113], [273], [349]:

$$U(a) - U(b) > 0 \qquad \text{jeżeli } aPb \tag{3.30}$$

$$U(a) - U(b) = 0 \qquad \text{jeżeli } aIb \tag{3.31}$$

$$U_j\left(u_j^{l+1}\right) - U_j\left(u_j^l\right) > 0 \qquad \forall j, \forall l \tag{3.32}$$

$$\sum_{j=1}^{n} U_j\left(y_j\right) = 1 \qquad \text{(normalizacja)} \tag{3.33}$$

$$U_j(x_j) = 0 \qquad \forall j \tag{3.34}$$

$$U_j(u_j^l) \geq \delta(a) \geq 0 \tag{3.35}$$

gdzie:

U(a) i *U(b)* są wyrażone w postaci funkcji zmiennych decyzyjnych $u_j^l, \delta(a)\ i\ \delta(b)$. Zmienne te określają postać funkcji użyteczności. Metoda zmierza do wyznaczenia tych zmiennych w taki sposób, żeby zminimalizować $\sum_{a \in A} \delta(a)$.

W rezultacie przeprowadzonej optymalizacji uzyskuje się funkcję *U*, która jest sumą odcinkami liniowych cząstkowych funkcji użyteczności.

W fazie III wszystkie warianty zostają ostatecznie uszeregowane od najlepszego do najgorszego zgodnie z uzyskanymi cząstkowymi wartościami funkcji użyteczności *U(a).* Miarą zgodności rankingu finalnego, wygenerowanego na podstawie uzyskanej funkcji użyteczności *U*, z porządkiem zadanym przez decydenta (uporządkowanie wzorcowe *A'*) jest wielkość zwana współczynnikiem Kendalla – τ. Wielkość ta dana jest wzorem:

$$\tau = 1 - 4 \cdot \frac{d_k(R, R^*)}{m(m-1)}, \tag{3.36}$$

gdzie:

R – macierz o rozmiarach [m×m], związana z porządkiem zadanym przez decydenta,

R^* – macierz o rozmiarach [m×m], związana z porządkiem określonym przy pomocy funkcji użyteczności,

$d_k(R,R^*)$ – odległość Kendala, określająca różnice pomiędzy poszczególnymi elementami *R i R*.*

Ranking finalny jest akceptowalny dla $\tau > 0{,}75$.

3.3. Analiza mocnych i słabych stron wybranych metod WWD

Na podstawie przedstawionej analizy wybranych metod WWD szeregowania wariantów w podrozdziale 3.3. oraz na podstawie przeglądu literatury [352], możliwe jest zaprezentowanie słabych i mocnych stron metod, które zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Analiza porównawcza wybranych metod szeregowania wariantów

Metody WWD	Mocne strony / Słabe strony	
1	2	3
ELECTRE III	**Mocne strony**	**Słabe strony**
	- precyzyjne modelowanie preferencji decydenta – preferencje względem wariantów wyrażone są względem każdego kryterium, - wartość każdego progu może być wyrażona, jako wielkość stała lub proporcjonalna względem wartości kryterium, - model preferencji decydenta zawiera różne progi tj. równoważności, preferencji, weta, dając możliwość ujęcia i zdefiniowania szerokiego spektrum preferencji, - decydent definiuje wagi kryteriów, - w trakcie modelowania i prowadzenia eksperymentów obliczeniowych wykorzystywane są rzeczywiste wartości ocen kryterialnych, co eliminuje ryzyko popełnienia błędu podczas przekształcania danych i wpływania na zwiększenie wiarygodności uzyskanych rezultatów, - łatwość zastosowania metody potwierdzona jej szerokim wykorzystaniem w praktyce	- precyzyjne modelowanie preferencji decydenta jest czasochłonne, wymaga rozważenia wielu kwestii, min. takich jak: rodzaj kryteriów występujących w problemie decyzyjnym (kryteria prawdziwe, semi-kryteria, kryteria przedziałowe, pseudo-kryteria); jeżeli są rozważane pseudo-kryteria to konieczne jest zdefiniowanie wartości progowych (*q, p*); jeżeli wartości progowe są większe od 0, to należy sprecyzować ich wielkość, w tym równię określić czy ich wartość jest stała czy proporcjonalna do wartości oceny kryterialnej, a jeżeli jest proporcjonalna to względem, którego z pary kryteriów, - dodanie lub usunięcie jednego wariantu może zwiększyć siłę preferencji pomiędzy pozostałymi wariantami [320], co wynika z procedury obliczenia destylacji – zstępującej i wstępującej – w której w celu ustalenia pozycji wariantu brany jest pod uwagę cały zbiór wariantów, - relatywna pozycja wariantów w preporządku może ulec zmianie poprzez dodanie lub usunięcie wariantu, co wynika z procedury agregacji ocen, - brak możliwości bezpośredniego zastosowania podkryteriów, - ranking finalny wariantów nie zawiera informacji o odległości pomiędzy wariantami,

1	2	3
	Mocne strony	**Słabe strony**
AHP	-hierarchiczna reprezentacja problemu, dająca możliwość sformalizowania struktury rozważanego zagadnienia; szczególnie użyteczna dla złożonych problemów [83], - precyzyjne modelowanie preferencji decydenta – porównania pomiędzy kryteriami, podkryteriami i wariantami, które umożliwiają rozważenie każdego elementu problemu decyzyjnego, - możliwość zastosowania podkryteriów, - możliwość zastosowania werbalnych (jakościowych) porównań [222], - zadanie decydenta polegające na porównaniu parami kryteriów, podkryteriów i wariantów jest relatywnie proste, - możliwość sprawdzenia spójności ocen, - hierarchia wariantów zawiera informację o odległości pomiędzy wariantami, - łatwość zastosowania metody potwierdzona szerokim jej wykorzystaniem w praktyce [13], [223], - ranking referencyjny wariantów ma charakter globalny i nie jest powiązany z kryteriami oceny wariantów, - konstrukcja rankingu referencyjnego nie jest czasochłonna, nie wymaga zgromadzenia dużej liczby informacji, a decydent wykorzystuje do jego stworzenia relację równoważności i preferencji, - ranking finalny wariantów zawiera odległości pomiędzy wariantami,	- porównania pomiędzy kryteriami, podkryteriami i wariantami są przeprowadzane przy użyciu skali, dla której punktem referencyjnym jest wartość zero; nie dla wszystkich kryteriów punkt odniesienia jest na tym poziomie np.: temperatura, - niespójność w interpretacji ocen przyznawanych przez decydenta w odniesieniu do skali 1-9, np.: jeśli wariant A jest 5 razy lepszy niż wariant B, oraz wariant B jest 5 razy lepszy niż wariant C, to w celu zapewnienia spójności ocen, wariant A powinien być 25 razy lepszy względem wariantu C; sytuacja ta nie może być odzwierciedlona w metodzie AHP [83], - niepewność, co do wiarygodności fazy porównania parami spowodowana w/w niespójnością powoduje u decydenta niepewność względem otrzymanej hierarchii wariantów, - wartość wskaźnika spójności CI jest często wyższa niż 0,1 a konieczność jej poprawy jest niejednoznaczna – różne opinie badaczy, co do zasadności poprawy ocen decydenta [69], [186], - niejednoznaczność przejścia z werbalnej skali ocen na skalę numeryczną [13], - jeżeli liczba kryteriów, podkryteriów i wariantów wzrasta, liczba poziomów i elementów hierarchii również wzrasta, co powoduje, że liczba porównań parami przez decydenta jest także większa zmniejszając atrakcyjność metody i zwiększając jej pracochłonność [206], - w trakcie modelowania i prowadzenia eksperymentów obliczeniowych nie są wykorzystywane wartości ocen kryterialnych, co wpływa na zwiększenie ryzyka popełnienia błędu podczas przekształcania danych,

1	2	3
	Mocne strony	**Słabe strony**
UTA	- ranking referencyjny wariantów ma charakter globalny i nie jest powiązany z kryteriami oceny wariantów, co wpływa na całościowe ujęcie zagadnienia bez konieczności przeprowadzania porównań wariantów parami oraz odnoszenia ich do kryteriów oceny, -konstrukcja rankingu referencyjnego wariantów nie jest czasochłonna, nie wymaga zgromadzenia dużej liczby informacji, a decydent wykorzystuje do jego stworzenia relację równoważności i preferencji, - metoda może być zastosowana dla relatywnie dużego zbioru wariantów, - w trakcie modelowania i prowadzenia eksperymentów obliczeniowych wykorzystywane są rzeczywiste wartości ocen kryterialnych, co eliminuje ryzyko popełnienia błędu podczas przekształcania danych i wpływa na zwiększenie wiarygodności uzyskanych rezultatów, - ranking finalny wariantów zawiera odległości pomiędzy wariantami, jak również wartości użyteczności wariantów.	- niejednoznaczność przejścia z werbalnej skali ocen na skalę numeryczną [13], - jeśli liczba kryteriów, podkryteriów i wariantów wzrasta, liczba poziomów i elementów hierarchii również wzrasta, co powoduje że liczba porównań parami przez decydenta jest także większa zmniejszając atrakcyjność metody i zwiększając jej pracochłonność [219], - zbiór referencyjny wariantów jest użyteczny dla dużej liczby wariantów tj. przynajmniej 10 [13]; z drugiej jednak strony dla bardzo dużego zbioru wariantów wyłonienie rankingu referencyjnego może stanowić problem dla decydenta, - liczba punktów charakterystycznych (ang. breakpoints) jest ograniczona i określana arbitralnie [89], - ze względu na ocenę globalną stanowiącą podstawę budowy modelu preferencji decydenta, nie ma możliwości odwzorowania cząstkowej informacji preferencyjnej (np. preferencje związane z porównaniami wariantów parami), a tym samym szczegółowej, odnoszącej się do każdej pary wariantów, odpowiedniej interpretacji otrzymanych rezultatów,

1	2	3
	Mocne strony	**Słabe strony**
PROMETHEE I	- precyzyjne modelowanie preferencji decydenta – preferencje względem wariantów wyrażone są względem każdego kryterium, - możliwość zdefiniowania funkcji preferencji dla każdego kryterium, - decydent ma możliwość zdefiniowania wag dla każdego kryterium, - model preferencji zawiera wagi kryteriów oraz progi równoważności i preferencji, dając możliwość ujęcia i zdefiniowania szerokiego spektrum preferencji, - wagi kryteriów odzwierciedlają kompromis pomiędzy kryteriami, - w trakcie modelowania i prowadzenia eksperymentów obliczeniowych wykorzystywane są rzeczywiste wartości ocen kryterialnych, co eliminuje ryzyko popełnienia błędu podczas przekształcania danych i wpływa na zwiększenie wiarygodności uzyskanych rezultatów.	-precyzyjne modelowanie preferencji decydenta jest czasochłonne, wymaga rozważenia wielu kwestii, min. takich jak: rodzaj kryteriów występujących w problemie decyzyjnym (kryteria prawdziwe, semi-kryteria, kryteria przedziałowe, pseudo-kryteria); jeżeli są rozważane pseudo-kryteria to konieczne jest zdefiniowanie wartości progowych (*q, p*); jeżeli wartości progowe są większe od 0, to należy sprecyzować ich wielkość, w tym równię określić czy ich wartość jest stała czy proporcjonalna do wartości oceny kryterialnej, a jeżeli jest proporcjonalna to względem, którego z pary kryteriów; ustalenia jednego z VI typów funkcji kryterialnych dla każdego kryterium, - wartości dodatnie i ujemne wskaźników przepływu przewyższającego zależą od całego zbioru wariantów [13], - decydent wyraża swoje preferencje pomiędzy wariantami względem danego kryterium wykorzystując skalę wartości [49], - relatywna pozycja wariantów w preporządku może ulec zmianie poprzez dodanie lub usunięcie wariantu [49], co wynika z procedury wyznaczania wartości dodatnich i ujemnych wskaźników przepływu przewyższającego, które są obliczone dla każdego wariantu względem całego zbioru wariantów [13], [49], - brak możliwości bezpośredniego zastosowania podkryteriów, - nieporównywalność pomiędzy wariantami zależy od tego, czy w zbiorze występują (lub nie) inne warianty [49].

3.4. Indywidualne i grupowe podejmowanie decyzji

Jak już wspomniano istotą metodyki WWD jest uwzględnienie w analizie dowolnego problemu decyzyjnego interesów (punktów widzenia) różnych podmiotów zainteresowanych jego rozwiązaniem. W rezultacie rozważenie wielu, często przeciwstawnych punktów widzenia prowadzi do konieczności ich agregacji i wzajemnej kompensacji. Istnieją przy tym dwa odrębne nurty postępowania decyzyjnego tj. nurt oparty na indywidualnym podejmowaniu decyzji lub nurt opary na grupowym podejmowaniu decyzji.

W pierwszym przypadku decyzje są podejmowane przez pojedynczego decydenta (decyzja ma charakter indywidualny). W procesie decyzyjnym decydent uwzględnia zarówno swoje własne preferencje, jak i preferencje innych podmiotów, podejmując ostatecznie decyzję satysfakcjonującą wszystkie strony [247], [349]. Przegląd metod wielokryterialnego wspomagania decyzji, w których występuje pojedynczy decydent przedstawiono w podrozdziale 3.3.

W drugim podejściu, opartym na grupowym podejmowaniu decyzji, decyzje podejmowane są przez kilku decydentów, którzy mają różne systemy wartości [214]. Często poszczególni decydenci reprezentują interesy odrębnych interwenientów. Stąd ostateczna decyzja jest najczęściej wynikiem interakcji pomiędzy uczestnikami procesu decyzyjnego i ich indywidualnych preferencji [184]. Obserwuje się przy tym konflikt interesów, który jest wynikiem odmiennej, subiektywnej oceny rozważanego zagadnienia. B. Roy [247] przedstawia kilka zasadniczych źródeł tego konfliktu, tj. odmienne poglądy etyczne i ideologiczne, różne specyficzne cele (np.: dla problemu wyboru tramwajów, operator będzie przywiązywał znacznie wyższą wagę dla ceny pojazdów niż pasażerowie, dla których niezwykle istotne znaczenie będzie miał komfort podróży – aspekt mniej istotny dla operatora), różne role pełnione przez interwenientów w organizacji. Niezależnie od rodzaju reprezentowanego przez interwenientów systemu wartości, najczęściej ma on wpływ na proces podejmowania decyzji i jego rezultaty. W tym kontekście metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji może być skutecznym narzędziem wspomagającym proces decyzyjny. W literaturze istnieje wiele doniesień na temat zastosowania różnych metod wielokryterialnego wspomagania decyzji w procesach grupowego podejmowania [50], [57], [119], [126], [137], [138], [184], , [193], [194]. Istnieją również przypadki łączenia metodyki WWD z teorią negocjacji w celu osiągnięcia najlepszego kompromisu w grupowym procesie podejmowania decyzji [126], [138]. Niektórzy autorzy stosują wielokryterialne programowanie matematyczne w celu optymalizacji grupowego procesu podejmowania decyzji [137], [193], [194] . Z innych doniesień dowiadujemy się, że specjalizowane wersje wielokryterialnych metod szeregowania wariantów (ELECTRE [184], AHP [50], UTA [57]) są rozwijane i dostosowywane do specyfiki grupowych procesów decyzyjnych.

Zastosowanie metod WWD dla rozwiązania grupowych problemów decyzyjnych

połączonych z teorią negocjacji wynika z tego, że dostrzeżono iż podejście to może być skutecznym narzędziem w przezwyciężaniu interpersonalnych konfliktów, dając szansę na osiągnięcie kompromisu. W pracy T. Jelassiego, G. Kerstena i S. Ziontsa [126] przedstawiony jest przegląd modeli decyzji grupowych i negocjacji, omówione są zależności, podobieństwa i różnice występujące pomiędzy grupowym podejmowaniem decyzji, a negocjacjami, wraz z przykładami zastosowania systemów wspomagania decyzji grupowych i systemów wspomagania negocjacji. Przykładem systemu wspomagania negocjacji (ang. Negotiation Support System) połączonego z zastosowaniem wielokryterialnej metody szeregowania wariantów UTA jest MEDIATOR [119]. Jest to system oparty na projektowaniu systemu ewolucyjnego (ang. *Evolutionary System Design*), który wspomaga prowadzenie negocjacji poprzez poszukiwanie kompromisu na podstawie wymiany informacji pomiędzy uczestnikami negocjacji. Uczestnicy negocjacji występują w roli graczy, którzy osiągając wspólny cel (konsensus) mogą tworzyć koalicje. Poszukiwanie konsensusu oparte jest zatem o wspólne działanie osób negocjujących. W całym procesie podejmowania decyzji uczestniczy mediator, którego zadaniem jest wspomaganie grupy negocjujących, a narzędziem wspomagającym mediatora jest system MEDIATOR. Problem decyzyjny jest przedstawiany w tym systemie w postaci graficznej, jako obszar składający się z trzech części. W pierwszej znajduje się przestrzeń kontrolna, w drugiej przestrzeń użyteczna, do której stworzenia wykorzystywana jest marginalna funkcja użyteczności oraz w trzeciej – przestrzeń celu. Indywidualne marginalne funkcje użyteczności tworzone są w oparciu o metodę UTA. Negocjacje kończą się, gdy uczestnicy osiągną identyczne indywidualne marginalne funkcje użyteczności. Kolejnym przykładem zastosowania systemu wspomagania negocjacji z wielokryterialnymi metodami szeregowania wariantów jest Co-oP [29]. Procedura postępowania przy rozwiązywaniu problemów decyzyjnych z wykorzystaniem tego systemu składa się z sześciu etapów. W pierwszym, definiowany jest problem decyzyjny; w drugim – definiowane są normy postępowania dla grupy decydentów, w trzecim ustalane są wagi kryteriów oceniających wstępnie zdefiniowany zbiór wariantów, w czwartym – decydenci weryfikują (każdy indywidualnie) zbiór wariantów (może być on bardziej liczny niż dotychczas ustalony lub zawężony względem już istniejącego), w piątym – ustalany jest grupowo zbiór wariantów i w szóstym – poszukiwane jest porozumienie pomiędzy decydentami, które najczęściej jest oparte o negocjacje, mające doprowadzić do uszeregowania i wyboru wariantu. T. Bui i M. Jarke [29] sugerują, aby w celu stworzenia rankingu wariantów wykorzystać metodę wielokryterialnego wspomagania decyzji AHP lub ELECTRE III.

Interesujące podejście do wspomagania grupowych problemów decyzyjnych przedstawia A. Lewandowski [182]. Autor prezentuje system SCDAS (ang. *Selection Committee Decision Analysis and Support*), wspomagający wybór najlepszego wariantu ze skończonego zbioru wariantów w oparciu o określony poziom satysfakcji decydentów. W podejściu tym każdy decydent definiuje dwa poziomy dla określonych

celów. Pierwszy z nich, to poziom aspiracji, który jest interpretowany, jako satysfakcjonująca wartość dla każdego celu. Drugi, jest to poziom rezerwowy, określany poprzez najniższą, akceptowalną przez decydenta wartość dla każdego celu. Następnie definiowane są poszczególne kroki procesu decyzyjnego. Przy pomocy narzędzia komputerowego obliczane są różne wskaźniki wspomagające realizację tego procesu oraz oceniające niezgodność z założonymi poziomami: aspiracji i rezerwowym. W kolejnym etapie procedury przyznawane są indywidualne oceny wariantów (względem poszczególnych kryteriów). Na tej podstawie tworzone są rankingi wariantów, w których każdy wariant uzyskuje pewną ocenę. W celu stworzenia globalnego rankingu wariantów, indywidualne oceny wariantów są uśredniane.

3.5. Przegląd zastosowań metod wielokryterialnego wspomagania decyzji

Jak już wspomniano we wstępie do niniejszej dysertacji, metody WWD są wykorzystywane w wielu obszarach, wśród których można wyróżnić: zagadnienia środowiskowe [45], [193], [266]; zagadnienia o charakterze projektowym [28], [101], [215]; problemy występujące w różnych gałęziach przemysłu [22], [100]; zagadnienia związane ze sprzedażą i marketingiem [10], [218], [272]; z zarządzaniem zasobami ludzkimi [2], [99], [280]; z zarządzaniem produkcją [63], [76], [142]; oraz z działalnością finansową przedsiębiorstw [51], [105], [195]. W literaturze można także spotkać doniesienia dotyczące ich zastosowania w transporcie i logistyce miejskiej [164], [249], [250], [355], co ściśle wiąże się z tematyką niniejszej dysertacji. A. Toloie-Eshlaghy i M. Homayonfor [305] zaprezentowali przegląd literatury opublikowanej w latach 1999-2009, prezentującej szerokie zastosowanie metod WWD do rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w wielu różnych dziedzinach np.: w transporcie i logistyce (51 publikacji), zarządzaniu i bankowości (31 publikacji), ochronie środowiska (30 publikacji), produkcji (20 publikacji), energetyce (16 publikacji), wojskowości (7 publikacji), i wielu innych (30 publikacji).

Poniżej przedstawiono kilka przykładów zastosowań różnych metod WWD (często połączonych z innymi metodami/narzędziami) dla rozwiązywania problemów, w których decyzje są podejmowane indywidualnie lub grupowo (występuje pojedynczy decydent lub kilku decydentów).

T. Saaty [264] zaprezentował zastosowanie metody AHP do rozwiązania pięciu wielokryterialnych problemów decyzyjnych związanych z transportem. Wśród nich były m.in. wybór drogi przejazdu dla osób dojeżdżających do pracy, wybór najkorzystniejszej kombinacji dróg przejazdu na nowe międzynarodowe lotnisko w Pittsburghu, wybór najkorzystniejszego środka transportu biorąc pod uwagę analizę kosztów i korzyści. N. Caliskan [32] zaprezentował zastosowanie metody AHP do rozwiązania wielokryterialnego problemu decyzyjnego związanego z inwestycją transportową dla układu transportowego w Cieśninie Bosfor. T. Arslan [8]

zaprezentował zastosowanie metody AHP do szeregowania wariantów stanowiących rozwiązania miejskiego systemu transportu autobusowego z modelem preferencji zbudowanym w oparciu o model preferencji władz miejskich i operatorów transportu autobusowego. Zastosowanie metody szeregowania wariantów AHP w połączeniu z modelowaniem matematycznym, do rozwiązania problemu zagospodarowania przestrzennego w Cape Region w Meksyku, w którym zostały wzięte pod uwagę interesy różnych podmiotów zainteresowanych tym obszarem, przedstawili J. Malczewski i inni [193]. Metoda AHP posłużyła do wyznaczenia względnych wag wariantów wyznaczonych na podstawie informacji preferencyjnej zebranej od różnych interwenientów. Następnie wagi te zostały wykorzystane, jako parametry funkcji celu (maksymalizacja konsensusu interwenientów), dla skonstruowanego liniowego modelu matematycznego.

J. Żak, S. Fierek i autor niniejszej dysertacji [354] zaprezentowali zastosowanie metody AHP i metody ELECTRE III do rozwiązania wielokryterialnego problemu decyzyjnego związanego z inwestycją transportową dla układu transportowego w Poznaniu. Wartością dodatkową tej pracy [354], było porównanie rozwiązań – ranking rozwiązań – otrzymanych przy zastosowaniu różnych metod: metody AHP i metody ELECTRE III. J. Żak [346] zastosował metodę ELECTRE III, jako narzędzie wspomagania decyzji, do rozwiązania problemu decyzyjnego przydziału pojazdów do zadań firmy transportowej, tworząc ranking dostępnych pojazdów. T. Trzaskalik [306] zaprezentował wykorzystanie metody ELECTRE III do porządkowania wniosków konkursowych zgłoszonych w ramach priorytetu II: „Kapitał dla innowacji" w działaniu 3.1: „Inicjowanie działalności innowacyjnej" (w ramach programu współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej). W pracy T. Trzaskalika [306] przedstawiono wyniki trzech wariantów wykorzystania metody ELECTRE III. Pierwszy wariant obliczeń przebiegał w ten sposób, że nie wykorzystano ani progów preferencji, ani progów weta. W drugim wariancie obliczeń z wykorzystaniem metody ELECTRE III wykorzystano dla wszystkich kryteriów progi preferencji, ale nie wykorzystano progów weta. W trzecim wariancie obliczeń zastosowano zarówno progi preferencji i progi weta. Otrzymane wyniki trzech wariantów obliczeń polegających na wykorzystaniu metody ELECTRE III, a różniących się zastosowaniem bądź nie, progów preferencji i progów weta, pozwalają na dogłębną analizę zależności pomiędzy wariantami decyzyjnymi. Ocenę wpływu transportu na środowisko z zastosowaniem metody ELECTRE III przedstawił J. Borken [21], wykorzystując wskaźniki i kryteria zdefiniowane w oparciu o zastosowanie metodyki oceny cyklu życia (ang. *Life Cycle Assessmet* – LCA) [225]. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych autor zaprezentował wnioski związane z oddziaływaniem transportu drogowego na środowisko.

Inne podejście do rozwiązania problemu decyzyjnego o charakterze grupowym, w którym wykorzystano metodę ELECTRE-GD przedstawiają J. Leyva-Lopez i E. Fernandez-Gonzalez [184]. Zaprezentowany przez autorów problem o charakterze

strategicznym dotyczy wyboru lokalizacji nowej elektrowni. Rozważanych jest sześć miejsc znajdujących się w sześciu krajach Unii Europejskiej. W problemie tym wyłoniono czterech decydentów, reprezentujących interesy (środowiskowe, finansowe etc.) różnych podmiotów. Zdefiniowano także zbiór jedenastu kryteriów oceny, którym decydenci przypisali różne wagi. Następnie wyznaczono modele preferencji decydentów i przeprowadzono eksperymenty obliczeniowe, uzyskując cztery rankingi finalne wariantów. Rankingi te znacząco różniły się od siebie, co wynikało między innymi z dużej rozbieżności ocen sytuacji decyzyjnej i konfliktowych interesów decydentów. W celu rozwiązania problemu decyzyjnego wykorzystano metodę ELECTRE-GD, stanowiącą rozwinięcie metody ELECTRE III. Na podstawie rankingów wariantów uzyskanych na podstawie wcześniej przeprowadzonych obliczeń, wyłonione zostały zasady dojścia do konsensusu, które następnie stały się podstawą do kolejnych obliczeń z wykorzystaniem ELECTRE-GD.

Z kolei R. Dulmina i V. Minnino [56] zaprezentowali rozwiązanie problemu decyzyjnego szeregowania dostawców usług transportowych dla przedsiębiorstwa funkcjonującego w publicznym transporcie drogowym i kolejowym z wykorzystaniem wielokryterialnej metody PROMETHEE. Również D. Radojevic i S. Petrovic [236] wykorzystali metodę PROMETHEE, a także teorię zbiorów rozmytych, do rozwiązania wielokryterialnego problemu decyzyjnego wyboru trasy na drodze między Belgradem a Birmingham. J. Martin, W. Fajardo, A. Blanco i I. Requena [197] zastosowali niedeterministyczną metodę PROMETHEE I i metodę PROMETHE II do rozwiązania wielokryterialnego problemu szeregowania lokalizacji przystanków.

E. Jacquet-Lagreze i J. Siskos [113] wykorzystali metodę UTA do rozwiązania wielokryterialnego problemu decyzyjnego szeregowania samochodów, a G. Scannella i M. Beuthe [269] zastosowali narzędzie MUSTARD, będące rozwinięciem o komponent stochastyczny metody UTA, do rozwiązania wielokryterialnego problemu decyzyjnego szeregowania wariantów inwestycji drogowych w Belgii.

W pracy J. Żaka [345] zostały opisane trzy różne problemy decyzyjne występujące w systemach transportu miejskiego. Autor wykorzystał metody ELECTRE III, Oreste, Mappac, AHP i UTA, jako narzędzia wspomagania decyzji dla problemu szeregowania scenariuszy rozwoju systemu transportu miejskiego dla zagadnienia szeregowania dostawców usług remontowych oraz dla problemu wyboru środków transportowych dla systemu transportu miejskiego.

Biorąc pod uwagę powyżej opisane zastosowanie różnych metod WWD do rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, istotnym zagadnieniem badawczym staje się wybór odpowiedniej metody wspomagania decyzji. Jego metodykę zaproponowała H. Sawicka [268]. Koncepcja doboru metody WWD do specyfiki wielokryterialnego problemu decyzyjnego, opisana w pracy [268] składa się z 5 etapów, tj.:

- etap 1 – rozpoznanie sytuacji decyzyjnej,
- etap 2 – szczegółowa analiza metod WWD,

- etap 3 – analiza aspektów doboru metody WWD,
- etap 4 – porównanie wyników analizy,
- etap 5 – wybór metody WWD.

Na początku rozpoznawany jest wielokryterialny problem decyzyjny, a ocenie zostaje poddana aktualna sytuacja decyzyjna zawierająca zarówno nieformalną, jak i formalną ocenę funkcjonowania systemu np. analiza SWOT (ang. *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) – podstawowa metoda analizy strategicznej, może być również wykorzystywana, jako sposób diagnozy [268].

Następnie przeprowadzana jest szczegółowa analiza metod WWD. Podejście oparte na analizie aksjomatycznej pozwala przede wszystkim na ich podział, biorąc pod uwagę różne kryteria klasyfikacji, analizę specyfiki działania metod, wyłonienie ich słabych i mocnych stron. Precyzyjna analiza metod WWD wpływa na prawidłowe modelowanie sytuacji decyzyjnej oraz odpowiednią interpretację uzyskanych rezultatów w wyniku eksperymentów obliczeniowych. Uporządkowanie metod usprawnia ich dobór do specyfiki analizowanego problemu decyzyjnego [268].

Kolejny etap doboru metody WWD, polega na analizie dwóch podstawowych aspektów, tj. dopasowania pomiędzy metodą WWD a problemem decyzyjnym, oraz dopasowania pomiędzy metodą WWD a preferencjami decydenta. W pierwszym przypadku ważnymi elementami są: struktura problemu decyzyjnego (określona przez zbiór wariantów, zbiór kryteriów i zbiór decydentów); dostępność informacji na wejściu do procesu podejmowania decyzji (pełna lub niepełna); charakter dostępnych informacji (deterministyczne, niedeterministyczne i mieszane, a także kardynalne, porządkowe i mieszane) [242]; kategoria problemu decyzyjnego (wyboru, sortowania lub szeregowania). W drugim przypadku ważnymi elementami są: przyjęcie przez decydenta strategii podejmowania decyzji (o charakterze kompensacyjnym, niekompensacyjnym lub częściowo kompensacyjnym) [97]; sposób wyrażania preferencji pomiędzy wariantami w oparciu o kryteria (równoważności, słabej i silnej preferencji oraz nieporównywalności) [242]; moment wyrażania preferencji (*a priori*, *a posteriori* oraz interaktywnie – dialogowo) [97]; forma prezentowanych rezultatów (graficzne, numeryczne lub mieszane).

Na podstawie przeprowadzonej analizy dopasowania metody WWD do specyfiki problemu decyzyjnego oraz do wyrażanych preferencji decydenta, ich wyniki są ze sobą porównywane. Wnioski, będące rezultatem analizy porównawczej uzyskanych informacji, są podstawą do rekomendacji metody WWD, która najlepiej odpowiada analizowanej sytuacji decyzyjnej [268].

3.6. Podsumowanie

W ramach niniejszego rozdziału dokonano przeglądu literatury w zakresie dziedziny wiedzy jaką jest WWD. Przedstawione zostały jej korzenie i rozwój, aż po osiągnięcia ostatniego dziesięciolecia. Następnie, wyjaśniono istotę WWD poprzez omówienie istotnych pojęć, a także procedury rozwiązywania wielokryterialnych problemów

decyzyjnych. W dalszej części zaprezentowano zestawienie metod WWD i ich klasyfikację, oraz opisano wybrane metody szeregowania wariantów, które zostaną poddane analizie i spośród których nastąpi wybór metody pozwalającej na rozwiązanie problemów decyzyjnych na poziomach II do V, czyli metodę ELECTE III, AHP, PROMETHEE I oraz UTA. Zaprezentowano również mocne i słabe strony wyżej wymienionych metod WWD. Na końcu dokonano przeglądu obszarów, a w ramach obszaru transportu, także przykładów problemów decyzyjnych, w których wykorzystuje się/wykorzystano konkretne metody WWD. W ten sposób zobrazowany został aktualny stan wiedzy w dziedzinie jaką jest WWD, z rozpoznaniem jej istoty/celu będącego wskazówką dla poszukiwań nowych rozwiązań, oraz analizą dostępnych narzędzi.

Należy wskazać, iż na gruncie badanej literatury, nie dostrzeżono ani definicji, ani opracowania metody rozwiązywania (jak i samego rozwiązania) wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego z zakresu transportu miejskiego, polegającego na ocenie projektów dotyczących różnych rodzajów transportu miejskiego. Nie dostrzeżono również konstrukcji zbioru takich wariantów (dotyczących różnych rodzajów transportu miejskiego) podlegających szeregowaniu ani definicji kryteriów do ich oceny (dla różnych poziomów – merytorycznego, sektorowego, strategicznego).

4. Propozycja metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego

4.1. Przesłanki wynikające z przeglądu literatury do określenia luki badawczej

W ramach dokonanego przeglądu literatury, autor niniejszej dysertacji nie dostrzegł opracowań, w których ocena projektów transportowych zawierałaby wielopoziomową hierarchię celów powiązanych ściśle z celami operacyjnymi projektów transportowych, z celami miejskiej polityki transportowej i celami strategii rozwoju miasta. Autor nie odnalazł także sposobów oceny multimodalnych projektów transportowych, ani przykładów ulokowania oceny projektów transportowych w ogólnych zasadach zarządzania miastem.

Należy wskazać, iż na gruncie badanej literatury, nie dostrzeżono ani definicji, ani opracowania metodyki rozwiązywania (jak i samego rozwiązania) wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego z zakresu transportu miejskiego, polegającego na ocenie projektów dotyczących rodzajów transportu miejskiego. Nie dostrzeżono również konstrukcji zbioru takich wariantów (dotyczących różnych rodzajów transportu miejskiego) podlegających szeregowaniu ani definicji wielopoziomowej struktury kryteriów do ich oceny (dla różnych poziomów – merytorycznego, sektorowego, strategicznego). Opisane braki wynikające z przeglądu literatury, jak już wyżej wspomniano, stanowią lukę badawczą będącą przedmiotem zainteresowania niniejszej dysertacji. W kolejnych dwóch podrozdziałach autor niniejszej dysertacji przedstawia, w pierwszej kolejności ogólną charakterystykę zaproponowanej metodyki, a w drugiej kolejności szczegółowy jej opis.

4.2. Ogólna charakterystyka proponowanej metodyki

W niniejszym podrozdziale przedstawiono propozycję metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego. Na podstawie rozważań przeprowadzonych w rozdziałach 2 i 3, sformułowano kilka postulatów dotyczących propozycji nowego podejścia do oceny projektów transportu miejskiego. Do najważniejszych z nich, z punktu widzenia niniejszej dysertacji, zaliczyć można:

- możliwość kompleksowej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego o różnym charakterze, uwzględniającej realizację celów: transportowych (merytorycznych), polityki transportowej miasta (sektorowych) oraz strategii rozwoju miasta (strategicznych), formułowanych na różnych poziomach zarządzania transportem miejskim i zarządzania miastem,
- możliwość przeprowadzenia oceny wariantów/projektów transportu miejskiego przed ich realizacją, a przede wszystkim, jako wsparcie dyskusji poprzedzającej zatwierdzanie budżetu miasta i wieloletniej prognozy finansowej,
- możliwość oceny dużej liczby wariantów/projektów transportu miejskiego o różnym charakterze,
- możliwość ustalenia kolejności realizacji projektów transportu miejskiego o różnym charakterze, które najlepiej odzwierciedlają cele transportowe, cele polityki transportowej miasta i cele strategii rozwoju miasta,

- możliwość oceny wariantów/projektów transportu miejskiego na wszystkich poziomach zarządzania transportem miejskim, tj. na poziomie operacyjnym, taktycznym i strategicznym,
- możliwość uwzględnienia przy ocenie wariantów/projektów transportu miejskiego interesu wielu podmiotów (mieszkańców i użytkowników miasta, władz miejskich, operatora transportu publicznego, pasażerów transportu publicznego), oraz znalezienie/wyboru rozwiązania najbardziej pożądanego/kompromisowego,
- możliwość czynnego udziału decydenta/interwenientów w procesie podejmowania decyzji,
- możliwość uwzględnienia do oceny wariantów/projektów transportu miejskiego wielu aspektów o charakterze ekonomicznym, technicznym, środowiskowym i społecznym,
- możliwość wykorzystania nowoczesnych i aktualnie dostępnych metod obliczeniowych, narzędzi i technik komputerowych do zarządzania transportem miejskim oraz do zarządzania miastem.

Proponowana w niniejszej dysertacji metodyka wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów, projektów transportu miejskiego o różnym charakterze, oparta jest na ogólnej metodyce rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych. Składa się ona w ogólności z pięciu poziomów (Rysunek 5), zaś na każdym z nich do rozwiązania wielokryterialnych problemów decyzyjnych stosowane jest ogólne podejście oparte na sześciu fazach rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, scharakteryzowanych w podrozdziale 3.1. oraz na niektórych w powiązaniu z metodyką grupowego podejmowania decyzji opisaną w podrozdziale 3.4. Rozwiązanie wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów (obejmujący kompleksową ocenę projektów transportowych o różnym charakterze w ujęciu globalnym) następuje na ostatnim poziomie (V) i jest poprzedzone rozwiązaniem wielokryterialnych podproblemów decyzyjnych wyodrębnionych z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów na poziomach II do IV oraz rozwiązaniem specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych na poziomie I.

Rysunek 5. Metodyka wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego

Zaproponowane reguły pozwalają na ogólną, uniwersalną ocenę przydatności projektów dla miejskiego sektora transportowego oraz zapewniają kompletność/kompleksowość tej oceny i jej obiektywny charakter. W rezultacie opracowana metodyka pozwala na priorytetyzację/hierarchizację rozważanych projektów transportowych, prowadzącą do wyboru najkorzystniejszych opcji i ustalenie kolejności realizacji projektów transportu miejskiego.

Do podstawowych cech opracowanej metodyki należą:

- uwzględnienie wielopoziomowego, wielokryterialnego charakteru rozważanej problematyki i wykorzystanie do jego analizy metodyki wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD),
- uwzględnienie możliwości powiązania metodyki wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) z metodyką grupowego podejmowania decyzji (GPD),
- wykorzystanie do hierarchizacji projektów transportu miejskiego oryginalnej formuły kalkulacji/agregacji ich użyteczności globalnej, opartej o użyteczności cząstkowe,
- wykorzystanie oryginalnej formuły normalizacji użyteczności wariantów/projektów transportu miejskiego o określonym charakterze do użyteczności wszystkich wariantów/projektów transportu miejskiego niezależnie od ich charakteru,
- zapewnienie kompletności/kompleksowości oceny wariantów/projektów transportu miejskiego wynikającej z uwzględnienia w analizie wielu aspektów o charakterze technicznym, ekonomicznym, społecznym, środowiskowym, politycznym oraz interesów różnych podmiotów (mieszkańców i użytkowników miasta, władz miejskich, operatora transportu publicznego, pasażerów transportu publicznego),

- dążenie do znalezienia rozwiązania kompromisowego, pozwalającego na usatysfakcjonowanie na zadowalającym poziomie decydentów i interesariuszy,
- uniwersalny charakter, gwarantujący szerokie możliwości zastosowania metodyki w różnych miastach/aglomeracjach miejskich do oceny projektów transportowych i doskonalenia systemów transportu miejskiego/ aglomeracyjnego, również w innych obszarach a nawet, po pewnej adaptacji do kompleksowego zarządzania miastem/aglomeracją miejską.

W wyniku zastosowania, metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego, uzyskuje się zestawienie projektów transportu miejskiego. To zestawienie prezentuje rozważane projekty w uszeregowaniu, od projektu, który najlepiej wpływa (ma najwyższą użyteczność) na osiąganie jednocześnie celów: specyficznych dla różnych rodzajów transportu miejskiego, polityki transportowej miasta oraz w odniesieniu do celów strategii rozwoju miasta, do projektu, który najsłabiej wpływa na osiąganie tych celów. Takie podejście pozwala na racjonalne zaangażowanie zasobów/środków publicznych przeznaczonych na funkcjonowanie i rozwój transportu miejskiego, z uwzględnieniem preferencji decydentów, mieszkańców (użytkowników) miasta i interwenientów.

4.3. Szczegółowy opis proponowanej metodyki

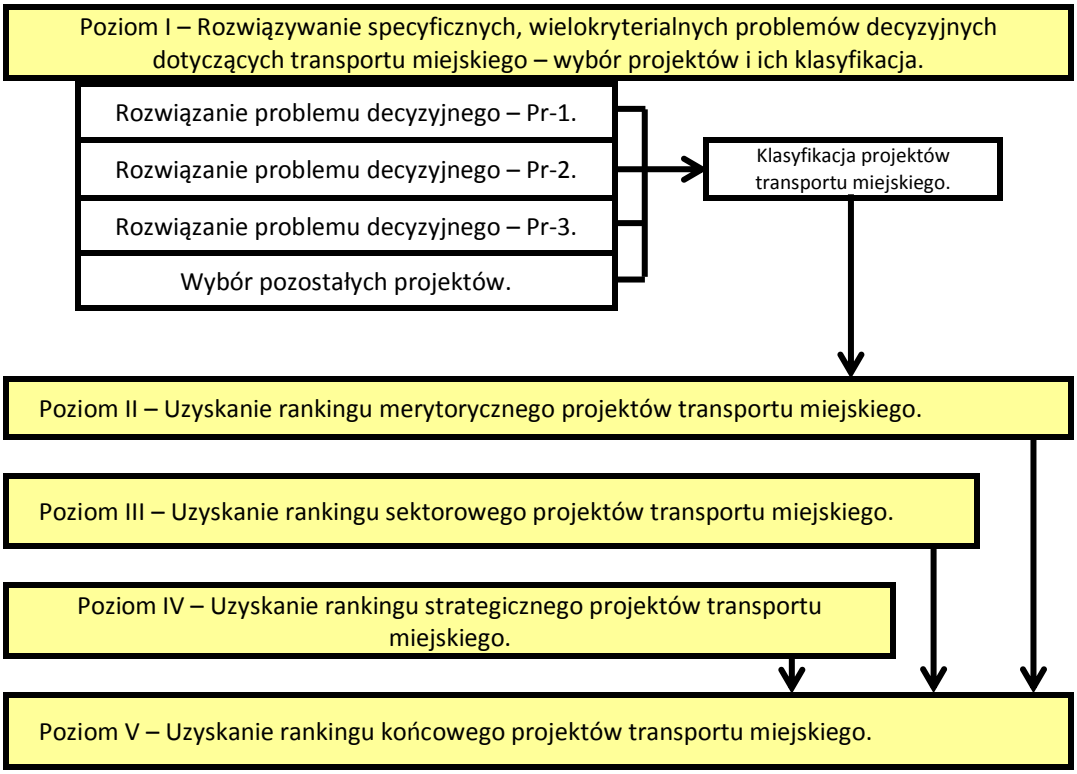
Analizowany w niniejszej dysertacji problem ustalania kolejności realizacji projektów transportu miejskiego o różnym charakterze, zdefiniowano, jako zagadnienie wielopoziomowego, wielokryterialnego szeregowania wariantów. Na rysunku 5 przedstawiono w formie graficznej ogólny schemat metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego. Procedura postępowania, jak już wspomniano, w zakresie stosowania tej metodyki, składa się w ogólności z pięciu poziomów, zaś na każdym z nich stosowane jest ogólne podejście do rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych oparte na sześciu fazach oraz na niektórych z nich w powiązaniu z metodyką grupowego podejmowania decyzji.

Poziom I – polega na rozwiązywaniu specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych dotyczących funkcjonowania transportu miejskiego i wyborze rozwiązań najbardziej pożądanych/kompromisowych, w tym wyborze/wyłanianiu i przydziału projektów do odpowiednich klas różniących się ze względu na rodzaj transportu miejskiego (Rysunek 6). Na tym poziomie, w przypadku analizowanym w niniejszej dysertacji, rozważono trzy przykładowe, specyficzne, wielokryterialne sytuacje decyzyjne, dotyczące: wyboru lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R) – Pr-1, szeregowania różnych rozwiązań transportowych dla wybranego segmentu (odcinka) sieci drogowej – Pr-2 oraz wyboru modelu tramwaju niskopodłogowego dla systemu miejskiego transportu publicznego – Pr-3. Definicje wielokryterialnych problemów decyzyjnych Pr-1, Pr-2 i Pr-3 (szczegółowo przedstawione w publikacjach autora niniejszej dysertacji [17], [65], [352], [354]) są następujące:

- Pr-1 – jest problemem decyzyjnym polegającym na wyborze najkorzystniejszej lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R), umożliwiających sprawny transport multimodalny w systemie „od drzwi do drzwi" z wykorzystaniem zarówno transportu indywidualnego jak i zbiorowego (publicznego). Problem decyzyjny Pr-1 należy do zagadnień zorientowanych na integrację systemu transportowego i został sformułowany, jako wielokryterialny problem programowania matematycznego, czyli optymalizacji wielokryterialnej. Rozwiązaniem problemu decyzyjnego Pr-1 jest wybór 3 lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź" ze zbioru 25 rozważanych parkingów. Zbiór 3 wybranych lokalizacji parkingowych stał się odrębnym projektem włączonym do klasy projektów zorientowanych na integrację transportu – IT (ang. *Transport Integration*) i został oznaczony symbolem IT-2. Opis wielokryterialnego problemu decyzyjnego Pr-1 oraz sposobu jego rozwiązania przeprowadzono w podrozdziale 5.1.1. w oparciu o pracę współautorską autora niniejszej dysertacji [65].
- Pr-2 – jest problemem decyzyjnym obejmującym ocenę i ranking rozwiązań transportowych związanych z przeprojektowaniem i przebudową ważnego węzła transportowego położonego w obrębie obwodnicy miejskiej wraz z zasilającymi go odcinkami drogowymi. Problem decyzyjny Pr-2 należy do zagadnień transportu prywatnego i został sformułowany, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów. Opis i sposób rozwiązania problemu decyzyjnego Pr-2, zaprezentowano w podrozdziale 5.1.2. Przyjęte rozwiązanie końcowe stało się jednym z projektów przewidzianych do realizacji i umieszczone w klasie projektów dotyczących transportu prywatnego – PrT (ang. *Private Transportation*) o symbolu PrT-5. Szczegółowy opis problemu decyzyjnego Pr-2 oraz sposobu jego rozwiązania przedstawiono w oparciu o kolejną publikację autora niniejszej dysertacji [354].
- Pr-3 – jest zagadnieniem oceny i wyboru najkorzystniejszego modelu tramwaju niskopodłogowego dla systemu miejskiego transportu publicznego w Poznaniu. Problem decyzyjny Pr-3 należy do zagadnień transportu publicznego i jest związany z rozstrzygniętym w 2010 roku przetargiem na zakup 40 tramwajów obsługujących ruch pasażerski w mieście. Został on sformułowany, jako zadanie wielokryterialnego szeregowania (rankingu) wariantów. Rozwiązaniem problemu decyzyjnego Pr-3 jest wybór konkretnego modelu tramwaju niskopodłogowego, przeznaczonego do zakupu. Wspomniany zakup 40 tramwajów wybranego modelu jest przedmiotem analizy i oceny w klasie projektów dotyczących transportu publicznego – PuT (ang. *Public Transportation*) i oznaczone symbolem PuT-4. Opis problemu decyzyjnego Pr-3 i sposobu jego rozwiązania został przedstawiony w podrozdziale 5.1.3. w oparciu o pracę współautorską autora niniejszej dysertacji [352].

Do oceny wariantów, w każdym z wyżej wymienionych specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych (Pr-1, Pr-2, Pr-3), zastosowano specyficzne rodziny kryteriów, charakterystyczne dla rozważanej problematyki transportowej. W procedurze rozwiązywania zdefiniowanych specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych, zastosowano poniżej opisane obliczeniowe metody: dla problemu Pr-1 – metodę optymalizacji wielokryterialnej, składająca się z obejmujących dwóch etapów omówionych w podrozdziale 3.1.: etap 1) wykorzystanie standardowego solwera MS Excel i metody dodatkowych ograniczeń (ang. ε-constraints) do generowania większej liczby rozwiązań/ wariantów paretooptymalnych, a później etap 2) zastosowanie interaktywnej (dialogowej) metody przeglądu wiązką światła (ang. *Light Beam Search* – LBS) do analizy i oceny wygenerowanych rozwiązań prowadzących do wyboru najlepszych lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź"; dla problemu Pr-2 – metody wielokryterialnego szeregowania (rankingu) wariantów, ze względu na zastosowanie alternatywnych podejść do rozwiązania specyficznego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego ex ante i ex post, odpowiednio metodę ELECTRE III i metodę AHP, prowadzą one do uszeregowania wariantów od najlepszego do najgorszego; dla problemu Pr-3 – metodę wielokryterialnego szeregowania (rankingu) wariantów AHP prowadzącą do uszeregowania wariantów. W rezultacie uzyskane rozwiązania, trzech wielokryterialnych sytuacji decyzyjnych Pr-1, Pr-2 i Pr-3, umieszczono w odpowiednich, spójnych tematycznie klasach projektów transportowych (odpowiednio IT, PrT i PuT), wzajemnie konkurujących ze sobą. Sposób postępowania w odniesieniu do zagadnień Pr-1, Pr-2 i Pr-3 ma charakter uniwersalny i stanowi wzorzec metodyczny dla przeprowadzenia oceny wszystkich projektów transportowych na poziomie I, a poddanych kompleksowej/globalnej ocenie na poziomach II – V. Pozostałe 15 wariantów/projektów transportu miejskiego zostało wyłonionych z: *Programu drogowego dla miasta Poznania na lata 2008 – 2015,* przyjętego w 2008 roku [234]; *Zrównoważonego planu rozwoju transportu publicznego Aglomeracji Poznańskiej,* z 2006 roku [341]; *Programu rowerowego Miasta Poznania na lata 2007 – 2015,* z 2007 roku [235] oraz *Polityki parkingowej Miasta Poznania,* z roku 2008 [227]. Warianty te podobnie jak rozwiązania wielokryterialnych problemów decyzyjnych Pr-1, Pr-2 i Pr-3, umieszczono w odpowiednich, spójnych tematycznie klasach projektów transportowych (PrT, PuT, MN i IT). Warto podkreślić, że w proponowanej metodyce poziom I jest konieczny, aby wytypować projekty transportowe oraz dokonać wyboru wariantu danego projektu będących przedmiotem oceny i w oparciu o ich specyfikę, zbudować spójne tematycznie klasy projektów transportowych, które następnie podlegają ocenie na pozostałych czterech poziomach opracowanej oryginalnej metodyki. Do sposobów przy pomocy, których dokonuj się wyboru projektów i wariantów projektów transportowych należą metody wielokryterialnego wyboru, szeregowania

i klasyfikowania, a także inne narzędzia analityczne, np. analizy kosztów i korzyści (ang. *Cost Benefit Analysis* – CBA), oraz uwzględniając inne specyficzne ograniczenia tj. decyzje podejmowane przez władze miejskie lub w procedurach demokratycznych przez mieszkańców, np. referendum zatwierdzające.

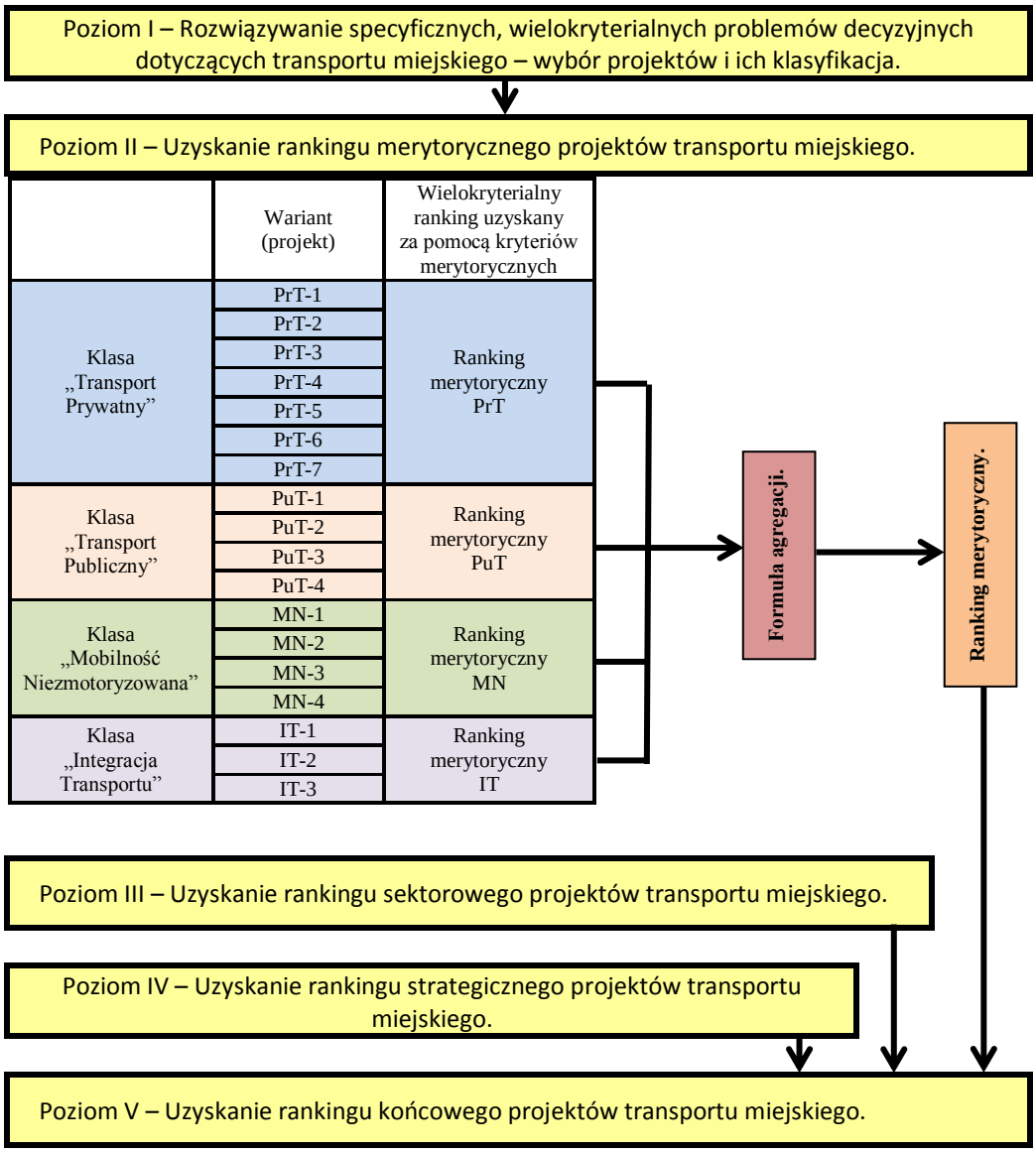


Rysunek 6. Poziom I metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego

Poziom II – polega na uzyskaniu rankingu merytorycznego projektów transportu miejskiego wszystkich projektów transportowych niezależnie od rodzaju transportu (Rysunek 7). Na tym poziomie problem decyzyjny został sformułowany, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów za pomocą kryteriów merytorycznych i jest podproblemem decyzyjnym – merytorycznym, wyodrębnionym z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW) i oznaczony skrótowo PPD-M. Na poziomie II zakłada się, że rozważania prowadzone są w pierwszej kolejności, w obrębie konkretnej klasy, a efektem tych rozważań są rankingi merytoryczne umieszczonych tam projektów transportowych. Do oceny wariantów w każdej klasie stosuje się odmienne kryteria merytoryczne (inną rodzinę kryteriów, charakterystyczną dla rozważanej problematyki transportowej), dlatego wymagane jest przeprowadzenie szeregowania projektów wewnątrz każdej klasy. Liczba rankingów pośrednich odpowiada liczbie rozważnych klas projektów transportowych i w niniejszej dysertacji wynosi 4. Następnie, w związku z różną liczebnością klas projektów, występuje

konieczność, zgodnie z zaproponowaną procedurą, przeprowadzenia normalizacji użyteczności wariantów/projektów transportu miejskiego w ramach poszczególnych rankingów pośrednich i agregację uzyskanych wyników do postaci jednego rankingu merytorycznego wszystkich projektów transportowych ze wszystkich klas. W tym zakresie autor rozprawy zaproponował oryginalną formułę agregacji uwzględniającą odmienną liczebność rozważanych klas. Rezultatem cząstkowym są, zatem rankingi merytoryczne projektów transportowych w poszczególnych klasach, a rezultatem końcowym, na tym poziomie (II), finalny ranking merytoryczny odnoszący się do wszystkich projektów, niezależnie od tego, z której klasy się wywodzą, tj. niezależnie od charakteru projektów transportu miejskiego. Na poziomie II, w niniejszej pracy, rozważono 18 projektów transportowych pogrupowanych w 4 klasy, których procedura wyłaniania i klasyfikowania do tych klas odbywa się na poziomie I. W prowadzonych rozważaniach uwzględniono:

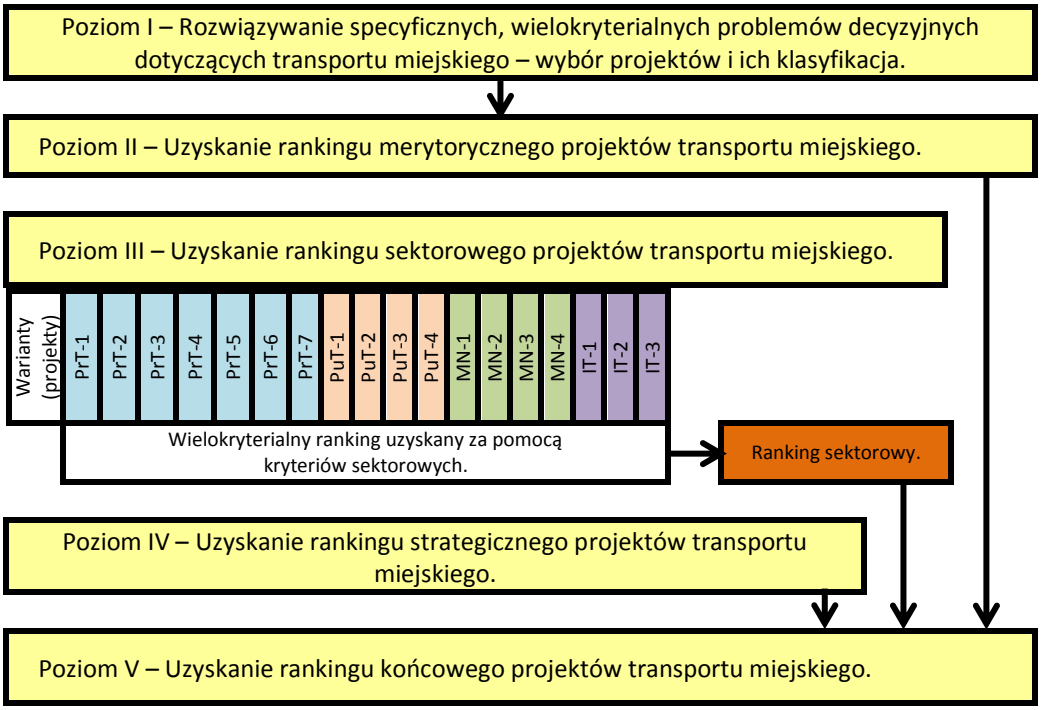
- klasa 1 – PrT – projekty zorientowane na transport prywatny (ang. *Private Transportation*) – siedem projektów opisanych symbolami PrT-1, PrT-2, ..., PrT-7,
- klasa 2 – PuT – projekty zorientowane na transport publiczny (ang. *Public Transportation*) – cztery projekty nazwane symbolami PuT-1, PuT-2, ..., PuT-4,
- klasa 3 – MN – projekty zorientowane na mobilność niezmotoryzowaną (ang. *Non – motorized Mobility*) – również 4 inne projekty o symbolach MN-1, MN-2, …, MN-4,
- klasa 4 – IT – projekty zorientowane na integrację transportu (ang. *Transport Integration*) – trzy projekty określone mianem IT-1, IT- 2 i IT-3.



Rysunek 7. Poziom II metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego

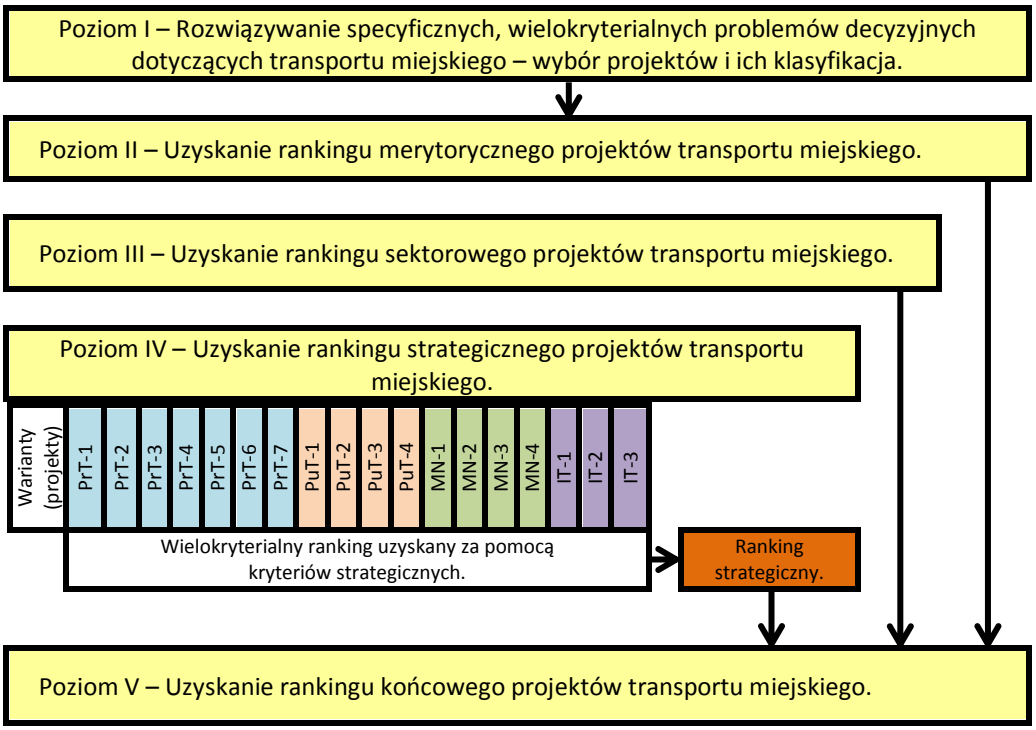
Poziom III – polega na uzyskaniu rankingu sektorowego projektów transportu miejskiego z uwzględnieniem kryteriów sektorowych związanych z ogólnymi kierunkami polityki transportowej miasta (**Rysunek 8**). Na tym poziomie problem decyzyjny formułowany jest, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów w odniesieniu do kryteriów sektorowych i stanowi podproblem decyzyjny – sektorowy, wyodrębniony z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW) oznaczony skrótowo PPD-Sr. Zgodnie z proponowaną metodyką, na poziomie III, wszystkie projekty należące do różnych klas, poddaje się jednolitej ocenie z wykorzystaniem jednego, wspólnego zestawu kryteriów sektorowych (jednej rodziny kryteriów sektorowych). W przypadku rozważanym w niniejszej dysertacji, rezultatem końcowym uzyskanym na poziomie III jest pojedynczy ranking wszystkich 18 projektów

dotyczących transportu miejskiego, uwzględniający ich wpływ na realizację celów polityki transportowej miasta.



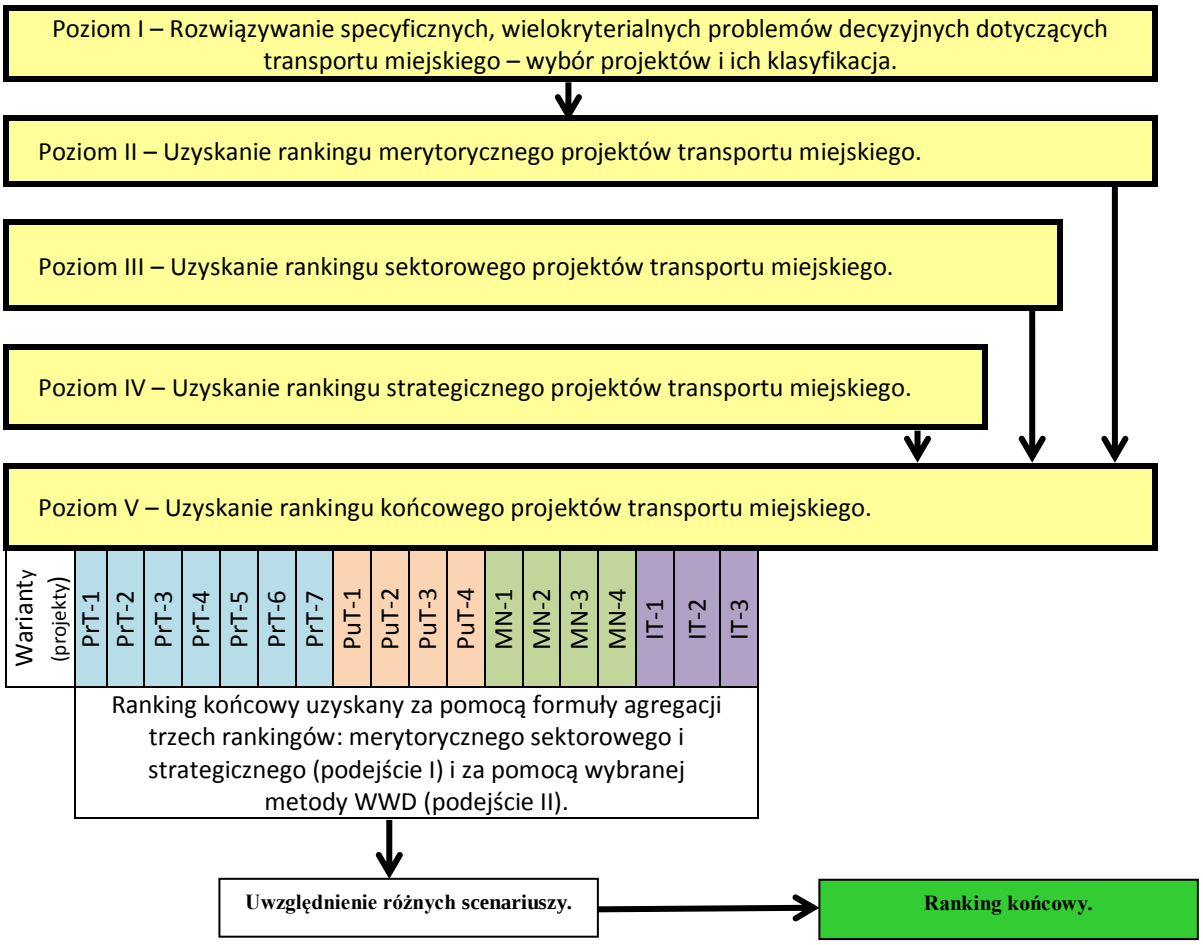
Rysunek 8. Poziom III metodyki wielopoziomowej wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego

Poziom IV – polega na uzyskaniu rankingu strategicznego projektów transportu miejskiego z uwzględnieniem kryteriów o charakterze strategicznym, wynikających z celów strategicznych miasta i odnoszących się do długofalowej (długookresowej) polityki jego rozwoju (Rysunek 9). Na tym poziomie problem decyzyjny zdefiniowano, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów w oparciu o kryteria strategiczne i stanowi on podproblem decyzyjny – strategiczny wyodrębniony z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów/ projektów transportu miejskiego (WWPSW) oznaczony skrótowo PPD-St. Zgodnie z proponowaną procedurą, na poziomie IV analizie należy poddać zestaw wszystkich rozważanych projektów (w analizowanym przypadku 18), niezależnie od ich podziału na klasy. Rezultatem końcowym uzyskanym na poziomie IV jest pojedynczy ranking projektów transportowych uwzględniający ich wpływ na realizację nadrzędnych, strategicznych celów miasta (Rysunek 9).



Rysunek 9. Poziom IV metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego

Poziom V – związany jest z uszeregowaniem rozważanych wszystkich projektów transportowych na podstawie trzech rankingów pośrednich, tj.: rankingu merytorycznego, sektorowego i strategicznego w oparciu o różne preferencje decydenta i interwenientów (Rysunek 10). Na tym poziomie rozważany problem decyzyjny sformułowano, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW). Według zasad proponowanej metodyki na poziomie V, należy dokonać obliczenia ostatecznych użyteczności wszystkich projektów oraz przeprowadzić analizę wrażliwości wyników pozwalającą na konstatacje dotyczące stabilności rankingu – uzyskanych wyników. Cel ten można osiągnąć za pomocą dwóch alternatywnych podejść, tj. podejścia opartego na agregacji funkcji użyteczności wariantów z trzech rankingów (merytorycznego, sektorowego i strategicznego) oraz podejścia opartego na użyciu wybranej metody WWD szeregowania wariantów. Analizę wrażliwości wyników przeprowadzono z wykorzystaniem podejścia scenariuszowego. Według zasad proponowanej metodyki scenariusze powinny różnić się wagami poszczególnych kryteriów. W rozważanym przypadku, w niniejszej dysertacji, rezultatem końcowym na poziomie V jest pojedynczy, ostateczny ranking wszystkich rozważanych projektów transportowych określający kolejność ich realizacji, uwzględniający ich wpływ na realizację: celów merytorycznych związanych ze specyficznym charakterem transportowych problemów decyzyjnych (uwzględniającym różne rodzaje transportu), celów sektorowych związanych z realizacją polityki transportowej miasta oraz celów strategicznych związanych z realizacją strategii rozwoju miasta.



Rysunek 10. Poziom V metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego

Poprzez zastosowanie do oceny, na poziomie II – czterech odrębnych rodzin kryteriów merytorycznych, na poziomie III – jednej rodziny kryteriów sektorowych i na poziomie IV – jednej rodziny kryteriów strategicznych, uwzględniono w niej odpowiednio: specyficznych charakter transportowych problemów decyzyjnych, ich wpływ na realizację polityki transportowej i ich oddziaływanie na aspekty ogólno transportowe oraz cele zdefiniowane w strategii rozwoju miasta. W tym rozumieniu prowadzone rozważania ściśle wiążą się ze strategicznym zarządzaniem miastem.

Na wszystkich poziomach proponowanej metodyki (od I do V), tj. do rozwiązywania rozważanych specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych na poziomie I, trzech wielokryterialnych podproblemów decyzyjnych (PPD-M, PPD-Sr i PPD-St) szeregowania (rankingu) wariantów na poziomach II od IV oraz wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego szeregowania (rankingu) wariantów/ projektów transportu miejskiego (WWPSW) na poziomie V, jak już wspomniano, zastosowano uniwersalną metodykę rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych opisaną w podrozdziale 3.1. We wszystkich rozważanych przypadkach, wyróżniono pięć faz, z sześciu stanowiących uniwersalną metodykę rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych. Ze względu na to, że autor wykorzystał

istniejące komputerowe implementacje metod WWD fazę IV wzmiankowanej, uniwersalnej procedury rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, czyli opracowanie komputerowej implementacji wybranych metod i algorytmów, można było pominąć. W rezultacie:

- Faza I: Identyfikacja i werbalny opis problemu decyzyjnego.
- Faza II: Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego.
- Faza III: Analiza oraz wybór metod i algorytmów pozwalających na rozwiązanie problemu decyzyjnego.
- Faza IV: Komputerowe eksperymenty obliczeniowe.
- Faza V: Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego).

Faza I polega na rozpoznaniu problemu decyzyjnego, jego istotnych cech, oraz zjawisk mu towarzyszących i jego werbalnym opisie. W przypadku analizowanym w niniejszej dysertacji, na poziomie I zidentyfikowano i dokonano werbalnego opisu trzech specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych, tj. Pr-1, Pr-2 i Pr-3. Zgodnie z proponowaną procedurą na poziomach II do V zdefiniowano i zaprezentowano werbalny opis wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów. Polega to na zidentyfikowaniu i werbalnym opisie, trzech wielokryterialnych podproblemów decyzyjnych (PPD-M, PPD-Sr i PPD-St) szeregowania (rankingu) wariantów, na poziomie II w odniesieniu do kryteriów merytorycznych, na poziomie III w odniesieniu do kryteriów sektorowych oraz na poziomie IV w odniesieniu do kryteriów strategicznych. Na poziomie V, w oparciu o podproblemy decyzyjne z poziomów II do IV, zidentyfikowano i dokonano werbalnego opisu wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów, ustalenia kolejności realizacji projektów transportu miejskiego (projektów opisanych symbolami: PrT-1, PrT-2, ..., PrT-7, PuT-1, PuT-2, ..., PuT-4, NM-1, NM-2, …, NM-4, TI-1, TI- 2 i TI-3). Faza I wyjaśnia istotę podejmowanych decyzji, oraz przedstawia warunki, które muszą być spełnione, aby podjęta decyzja była racjonalna.

Faza II polega na tworzeniu modeli matematycznych opisanych sytuacji decyzyjnych. W przypadku rozważanym w niniejszej dysertacji, na poziomie I dla opisanych trzech specyficznych sytuacji decyzyjnych, tj. Pr-1, Pr-2 i Pr-3, zostały sformułowane w postaci zadań: wielokryterialnego programowania matematycznego i wielokryterialnego szeregowania wariantów. Dla rozważanego na poziomach II do V wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów zostały sformułowane w postaci zadań wielokryterialnego szeregowania wariantów. W pierwszym przypadku wielokryterialnego programowania matematycznego, model matematyczny zawierał: zmienne decyzyjne i parametry stałe wykorzystane w formułach i wyrażeniach matematycznych tworzących kryteria optymalizacji i ograniczenia (warunki ograniczające). W przypadku drugim, wielokryterialnym szeregowaniu wariantów, model matematyczny zagadnienia, bazuje na: konstrukcji zbioru wariantów, konstrukcji spójnej rodziny kryteriów, konstrukcji macierzy ocen

(zawierającej ilościowe miary oceny wariantów za pomocą wszystkich kryteriów) oraz modelu preferencji decydenta/interwenientów obejmującego ważność kryteriów oraz wrażliwość decydenta na zmiany wartości kryteriów.

W przypadkach omawianych zadań wielokryterialnego szeregowania wariantów proces modelowania preferencji w ramach grupowego podejmowania decyzji (GPD), przeprowadzono na poziomie I przy rozwiązywaniu problemu decyzyjnego Pr-2 i Pr-3 oraz na pozostałych poziomach (II do V). W przypadku rozważanego problemu decyzyjnego Pr-1 na poziomie I, modelowanie preferencji przeprowadzono w ramach indywidualnego podejmowania decyzji (IPD).

Faza III polega na przeglądzie metod i algorytmów obliczeniowych, prowadzącym do wyboru procedur, które najbardziej nadają się do rozwiązania rozważanych zagadnień. W fazie III, badana jest wzajemna spójność pomiędzy specyfiką problemu decyzyjnego oraz cechami i aksjomatyką rozważanych procedur obliczeniowych. W analizie tej bardzo ważne jest odpowiednie dopasowanie metody obliczeniowej do charakteru problemu decyzyjnego (podproblemów decyzyjnych) i oczekiwanych przez decydenta rezultatów. W przypadku analizowanym w niniejszej dysertacji, jak już wcześniej wspomniano, na poziomie I problemy decyzyjne zostały sformułowane, jako zadania wielokryterialnego programowania matematycznego (dla Pr-1) i wielokryterialnego szeregowania wariantów (dla Pr-2 i Pr-3), a na pozostałych poziomach (od II do V), jako zadania wielokryterialnego szeregowania wariantów. Rozważono w przypadku wielokryterialnego programowania matematycznego, różnorodne metody generowania zbioru rozwiązań paretooptymalnych [316], [349], tj. metoda dodatkowych ograniczeń (ang. ε-constraints), metody metaheurystyczne – metoda paretosymulowanego wyżarzania (ang. *Pareto simulated annealing* - PSA) [43], algorytm paretomemetyczy (ang. *Pareto memetic algorithm* – PMA) [121], oraz metody przeglądu i analizy rozwiązań, w szczególności metody interaktywne, typu iteracyjnego – metoda przeglądu wiązką światła (ang. *Light Beam Search* – LBS) [125]. Z kolei w przypadku wielokryterialnych szeregowania wariantów, rozważano zbiór metod rankingowych, tj. metody oparte o wieloatrybutową teorię użyteczności (szkoła amerykańska) – AHP, UTA, oraz metody oparte o relację przewyższania (szkoła europejska) – Elektre III, Promethee I. Na poziomie I, w odniesieniu do rozwiązania problemu decyzyjnego Pr-1 wybrano i użyto, metodę dodatkowych ograniczeń (ang. ε-constraints) i metodę przeglądu wiązką światła LBS, a w odniesieniu do rozwiązania problemu decyzyjnego Pr-2 przy zastosowaniu dwóch alternatywnych podejść (ex ante i ex post) wybrano i użyto metodę ELECTRE III i metodę AHP, zaś dla rozwiązania problemu decyzyjnego Pr-3 wybrano i użyto metodę AHP. Na poziomach od II do V dla rozwiązania wielokryterialnych problemów (podproblemów) szeregowania wariantów/projektów transportowych wybrano i użyto metodę AHP.

Fazy IV i V polegają na przeprowadzeniu komputerowych eksperymentów obliczeniowych prowadzących do rozwiązań, przeglądzie i analizie uzyskanych wyników oraz wyborze rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego, czyli kompromisowego.

W przypadku analizowanym w niniejszej dysertacji, w fazach IV i V prowadzono liczne eksperymenty obliczeniowe, które realizowano z wykorzystaniem odpowiednich komputerowych implementacji metod WWD wybranych w fazie III. Rezultatem prowadzonych obliczeń jest zbiór rozwiązań, który następnie poddawany jest przez analityka, przeglądowi i ocenie. W przypadku zadania wielokryterialnego programowania matematycznego procedura obliczeniowa składa się z dwóch faz: faza I – generowanie zbioru rozwiązań paretooptymalnych, faza 2 – przegląd rozwiązań i wybór rozwiązania kompromisowego/najbardziej pożądanego. W zadaniach wielokryterialnego szeregowania wariantów, analityk, przy różnych założeniach i z wykorzystaniem określonej metody obliczeniowej, generuje zestaw rankingów końcowych, które poddaje analizie. Znajduje podobieństwa i różnice występujące między rankingami oraz argumenty przemawiające za wyborem konkretnego rozwiązania. Na poziomie I, fazy IV i V, doprowadzają do uzyskania rozwiązań problemów decyzyjnych Pr-1, Pr-2 i Pr-3, które umieszcza się, jak już wspomniano w odpowiednich klasach. Na poziomach II – IV, fazy IV i V, doprowadzają do uzyskania odpowiednio, rankingu merytorycznego, rankingu sektorowego i rankingu strategicznego, a na poziomie V do uzyskania rankingu końcowego wariantów/projektów transportu miejskiego.

Oryginalnym wkładem naukowym autora niniejszej dysertacji jest sformułowanie wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego, reprezentujących różne rodzaje transportu miejskiego (WWPSW) i zaproponowanie metodyki prowadzącej do jego rozwiązania. Metodyka ta pozwala na uwzględnienie: interesów różnych podmiotów zainteresowanych rozwiązaniem sformułowanego wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego oraz różnych aspektów o charakterze ekonomicznym, technicznym, społecznym i środowiskowym. Jednak unikalną/specyficzną cechą zaproponowanej metodyki jest prowadzenie oceny wariantów/projektów transportu miejskiego uwzględniającej wielopoziomową strukturę celów (kryteriów) odpowiadająca wielopoziomowej strukturze zarządzania transportem miejskim (zarządzania miastem). Weryfikację opracowanej metodyki przedstawiono w rozdziale 5.

5. Weryfikacja opracowanej metodyki

5.1. Poziom I – rozwiązywanie specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych dotyczących transportu miejskiego

Poziom I metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego polega na rozwiązywaniu specyficznych, wielokryterialnych transportowych problemów decyzyjnych, dotyczących funkcjonowania transportu miejskiego i wyborze rozwiązań najbardziej pożądanych. Jak już wcześniej wspomniano (w podrozdziale 4.2.), poziom I jest niezbędny, aby przy pomocy metodyki wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) z wykorzystaniem metod wielokryterialnego wyboru, szeregowania i klasyfikowania, lub przy pomocy analizy kosztów i korzyści (ang. *Cost Benefit Analysis* – CBA) albo innych sposobów wyboru projektów, wybrać warianty/projekty transportu miejskiego i w oparciu o ich specyfikę transportową zbudować spójne tematycznie klasy projektów, które dalej podlegają ocenie na pozostałych czterech poziomach.

Na poziomie I, w niniejszej dysertacji, rozważono trzy przykładowe wielokryterialne problemy decyzyjne, które powstały w trakcie zarządzania transportem miejskim w Poznaniu, a dotyczące: wyboru lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. Park & Ride) – PR-1, rankingu różnych rozwiązań transportowych dla wybranego odcinka sieci drogowej – Pr-2 oraz wyboru modelu tramwaju niskopodłogowego dla systemu miejskiego transportu publicznego – Pr-3. Rozwiązanie problemów decyzyjnych – Pr-1, Pr-2, Pr-3, pozwoliło wytypować warianty, odpowiednio – IT-2, PrT-5, PuT-4, które ze względu na swoją specyfikę transportową trafiły do różnych klas, tj. IT-2 do klasy IT, w której umieszczono projekty zorientowane na integrację transportu miejskiego; PrT-5 do klasy PrT, w której umieszczono projekty zorientowane na transport prywatny; PuT-4 do klasy PuT z projektami zorientowanymi na transport publiczny.

Pozostałe 15 wariantów zostało wyłonionych do tego badania z różnych programów przyjętych przez władze miejskie Poznania [227], [234], [235], [341]. Rozważane warianty/projekty transportu miejskiego o różnym charakterze, ze względu na swoją specyfikę zostały zakwalifikowane do różnych klas z odpowiednim ich oznakowaniem świadczącym o przynależności do danej klasy. Projekty do PrT-1 do PrT-4 oraz PrT-6 i PrT-7 zostały wybrane z *Program drogowy dla miasta Poznania na lata 2008 – 2015* [234] i trafiły do klasy PrT. Projekty od PuT-1 do PuT-3 zostały wybrane z *Zrównoważonego planu rozwoju transportu publicznego Aglomeracji Poznańskiej* [341] i trafiły do klasy PuT. Projekty od MN-1 do MN-4 zostały wybrane z *Polityki parkingowej Miasta Poznania* [227] i trafiły do klasy MN przeznaczonej na projekty zorientowane na mobilność niezmotoryzowaną. Projekty IT-1 i IT-3 zostały wybrane z *Programu rowerowego Miasta Poznania na lata 2007 – 2015* [235] i trafiły do klasy IT.

5.1.1. Wybór lokalizacji parkingów typu parkuj i jedź –problem decyzyjny Pr-1

5.1.1.1. Identyfikacja i opis werbalny problemu decyzyjnego Pr-1

Realizacja polityki transportowej miasta opartej o koncepcję zrównoważonego rozwoju transportu miejskiego, w której zakłada się umiarkowaną swobodę użytkowania samochodu osobowego w obsłudze podróży zmotoryzowanych, jako zapewnienie równowagi pomiędzy rozwojem gospodarczym, osiągnięciem celów społecznych i ochroną środowiska, może odbywać się między innymi poprzez restrykcyjną politykę parkingową, będącą skutecznym narzędziem ograniczania ruchu samochodów osobowych w mieście, a zwłaszcza w śródmieściu.

W Poznaniu, miejskie regulacje prawne związane z parkowaniem dotyczą przede wszystkim wprowadzonej w 1993 roku Strefy Ograniczonego Postoju (SOP) obecnie zwanej Strefą Płatnego Parkowania (SPP) [230]. Obejmuje ona na początku całe centrum miasta ograniczone od południa ulicą Królowej Jadwigi, od zachodu ulicą Roosevelta, od północy torami kolejowymi PKP, a od wschodu rzeką Wartą. Z czasem SPP rozszerzono na zachód, obejmując nią otoczenie Międzynarodowych Targów Poznańskich (fragmenty ulic Bukowskiej, Grunwaldzkiej i Śniadeckich oraz ulice: Konopnickiej, Orzeszkowej i Święcickiego). Płatne jest także parkowanie na fragmentach ul. Dąbrowskiego i Słowackiego w pobliżu Rynku Jeżyckiego oraz na odcinku ul. Zwierzynieckiej i na ul Gajowej. Liczba miejsc parkingowych w SPP oraz na parkingach buforowych (parkingi wokół SPP) wynosi łącznie 8121 miejsc.

W wielu krajach instrumentem kształtowania właściwej polityki transportowej w miastach jest odpowiednia relacja pomiędzy opłatą za parkowanie i ceną biletu za przejazd środkami transportu publicznego [300]. Wydaje się, że w warunkach polskich (również w Poznaniu) opłata za godzinę parkowania w centrum miasta w stosunku do ceny biletu za przejazd środkami transportu publicznego jest zbyt niska. Z badań ankietowych przeprowadzonych w Poznaniu wynika, że jedynym, zauważalnym przez kierowców elementem składającym się na koszty używania samochodu jest cena paliwa. Kierowcy nie zauważają kosztu wynikającego z potrzeby bieżącej eksploatacji (np. parkowania) i amortyzacji używanych przez siebie samochodów. Należy to brać pod uwagę podczas analizowania czynników mających wpływ na zachowania transportowe mieszkańców.

Wyżej opisana sytuacja, powoduje, że brakuje miejsc parkingowych w centrum Poznania, taka sytuacja ma miejsce również w centrach innych polskich miast. Jest to zjawisko naturalne, gdyż w centrach miast występuje największa koncentracja miejsc pracy, urzędów, punktów usług, a gęstość zabudowy jest największa. Dlatego zgodnie z polityką transportową Poznania opartą o koncepcję zrównoważonego rozwoju transportu miejskiego, w której zakłada się umiarkowaną swobodę użytkowania samochodu osobowego w obsłudze podróży zmotoryzowanych na terenie całego miasta a znacznego ograniczenia ruch samochodów osobowych w śródmieściu, zakłada

się osiągnięcie tego celu poprzez wprowadzenie systemu parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park & Ride* – P&R).

W związku z potrzebą realizacji powyżej opisanych założeń polityki transportowej miasta, władze miejskie Poznania postanowiły wprowadzić system parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R) z możliwością kontynuowania podróży transportem publicznym przez kierowców, w zamian za opłatę parkingową za pozostawienie samochodu na takim parkingu. Rozważania dotyczą 25 lokalizacji parkingów wspomnianego typu. Ograniczone środki budżetowe, jak i niewielka zdolność kredytowa miasta, pozwalają na wybudowanie jedynie 3 takich parkingów spośród wszystkich umieszczonych w *Polityce parkingowej Miasta Poznania*. W związku z tym powstał wielokryterialny problem decyzyjny, które 3 parkingi typu „Parkuj i Jedź" z 25 zaproponowanych, jako całościowy system parkingów tego typu, między innymi w *Polityce parkingowej Miasta Poznania*, należy zrealizować w pierwszej kolejności, aby zadysponowane środki budżetowe, w jak najlepszy sposób pozwalały osiągnąć cele *Polityki Transportowej Miasta Poznania*. Przy formułowaniu wielokryterialnego problemu lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź" uwzględniono interes decydenta (władze miejskie) i wielu podmiotów/interesariuszy (mieszkańcy miasta, operator transportu publicznego) oraz wiele aspektów (ekonomiczne, społeczne, środowiskowe).

Zgodnie z podziałem wielokryterialnych problemów decyzyjnych, wielokryterialny problem lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R), sformułowano, jako problem wyboru, czyli optymalizacji wielokryterialnej. Problem ten rozważono dla warunków Miasta Poznania, gdzie występuje zauważalna potrzeba wprowadzenia systemu parkingów typu „Parkuj i Jedź".

5.1.1.2. Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego dla problemu decyzyjnego Pr-1

W fazie II – konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego – w przypadku sformułowania problemu lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź", jako problemu wyboru, należy zdefiniować zadanie wielokryterialnego programowania matematycznego. Konstrukcja modelu matematycznego w przypadku wielokryterialnego programowania matematycznego zawiera: dane, zmienne decyzyjne i parametry stałe wykorzystywane w formułach i wyrażeniach matematycznych tworzących kryteria optymalizacji i ograniczenia (warunki ograniczające). Dlatego poniżej zdefiniowano dla sytuacji decyzyjnej Pr-1 zmienne decyzyjne, ograniczenia, zbiór wariantów i spójną rodzinę kryteriów, jak również zaprezentowano zestaw danych.

Dane dla sytuacji decyzyjnej Pr-1

W modelu matematycznym wykorzystano następujący zestaw danych:

- c_i – cena budowy parkingu w lokalizacji *i* wyrażona w [mln PLN],
- d_i – czas dojazdu środkami transportu publicznego z parkingu *i* do centrum miasta wyrażony w [min],
- t_i – czas (uśredniony dla wszystkich regionów, którymi są obszary przyporządkowane do każdego parkingu, z którego czas dojazdu do innego parkingu byłby dłuższy) dojazdu ze źródła podróży (punkt rozpoczęcia podróży transportem prywatnym) na parking w lokalizacji *i* wyrażony w [min],
- g_i – wielkość generowanego potoku ruchu w rejonach przyporządkowanych do poszczególnych parkingów, wyrażona w liczbie pojazdów transportu prywatnego na jednostkę czasu,
- l_{ij} – liczba linii transportu publicznego dostępna z parkingu w lokalizacji *i*,
- m_i – odległość parkingu *i* od przystanku transportu publicznego, wyrażona w [m],
- I=25 – liczba proponowanych lokalizacji parkingów,
- i – indeks lokalizacji parkingów (i = 1,2, …, 25)
- B_{min} – dolne ograniczenie budżetu wyrażone w [mln PLN],
- B_{max} – górne ograniczenie budżetu wyrażone w [mln PLN],
- z_j – liczba proponowanych parkingów w danej strefie,
- J = 3 – liczba stref, na które podzielono Poznań (północna, zachodnia i wschodnio-południowa),
- j – indeks stref (j = 1,2,3).

Zmienne decyzyjne dla problemu decyzyjnego Pr-1

Zmienna decyzyjna określa optymalne lokalizacje parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R). Ma ona charakter binarny i wyrażona jest w postaci:

$$x_i = \begin{cases} 1 \text{ jeżeli parking zawiera się w planie budowy} \\ 0 \text{ w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad \text{dla } i = 1, 2, \dots, I, \tag{5.1}$$

Zmienna decyzyjna x_{ij} dokonuje wyboru lokalizacji optymalnych spośród zbioru potencjalnych lokalizacji dopuszczalnych. Zbiór ten został skonstruowany w oparciu o *Politykę parkingową Miasta Poznania* [227] oraz doświadczenie autora, obejmujący lokalizacje opisane w tabeli 3.

Zbiór wariantów dla problemu decyzyjnego Pr-1

W tabeli 3 zestawiono lokalizacje 25 parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R) (*I*=25 – P1, P2, …, P25), które stanowią zbiór rozważanych wariantów – potencjalnych lokalizacji.

Tabela 3. Rozważane lokalizacje parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. Park and Ride – P&R)

	Opis lokalizacji parkingów.
P1	Parking przy pętli PST na os. Sobieskiego.
P2	Parking przy przystanku PST Szymanowskiego.
P3	Parking przy przystanku PST Lechicka.
P4	Parking przy projektowanym dworcu przy al. Polskiej.
P5	Parking przy pętli tramwajowej na Górczynie.
P6	Parking przy ul. Fabianowo.
P7	Parking w obszarze Klina Dębieckiego.
P8	Parking przy Rondzie Starołęka.
P9	Parking przy zajezdni autobusowej na Miłostowie.
P10	Parking przy Dworcu Wschodnim.
P11	Parking przy pętli tramwajowej Franowo.
P12	Parking na Os. Kopernika.
P13	Parking przy stacji kolejowej Poznań-Strzeszyn.
P14	Parking przy projektowanym „Centrum Łacina".
P15	Parking przy pętli autobusowej na ul. Grunwaldzkiej.
P16	Parking przy pętli tramwajowa „Junikowo".
P17	Parking w rejonie portu lotniczego „Ławica".
P18	Parking przy Dworcu kolejowym na Starołęce.
P19	Parking w okolicy skrzyżowania ulic: Lutyckiej i Dąbrowskiego.
P20	Parking przy wiadukcie w ciągu ulicy Obornickiej.
P21	Parking w okolicy pętli tramwajowej na ul. Piątkowskiej.
P22	Parking w rejonie skrzyżowania ulic Kresowa – Naramowice.
P23	Parking przy dworcu kolejowy Poznań-Wola.
P24	Parking przy ul. Szczepankowo.
P25	Parking w okolicy węzła autostrady A2 – Krzesiny.

Ograniczenia dla problemu decyzyjnego Pr-1

W modelu zaproponowano dwa rodzaje ograniczeń, tj.: ograniczenia *budżetowe* i ograniczenia *lokalizacyjne*:

- ograniczenia *budżetowe* definiują spodziewany koszt budowy parkingów; założono, że powinien on zawierać się w ustalonym przedziale np. między 15-25 [mln PLN], co zapisano postaci:

$$B_{min} \leq \sum_{i}^{I} x_i \, c_i \leq B_{max} \; dla \; i = 1, \dots I, \tag{5.2}$$

- ograniczenia *lokalizacyjne* – Poznań został podzielony na trzy strefy – północną, zachodnią oraz wschodnio – południową. Przyjęto, że w każdej ze stref powinien być usytuowany przynajmniej jeden parking.

$$\sum_{j}^{J}\sum_{i}^{I} x_{ij} \geq 1 \ dla\ j = 1, \dots, J\ oraz\ i = 1, \dots, I \tag{5.3}$$

Spójna rodzina kryteriów dla problemu decyzyjnego Pr-1

W modelu uwzględniono 6 kryteriów od K_1 do K_6, wyrażających interesy następujących podmiotów: uczestnika ruchu i potencjalnego użytkownika systemu transportu publicznego (K_2, K_3, K_4, K_5), władz miasta (K_1, K_2, K_3, K_4, K_6), operatora transportu publicznego (K_2, K_3, K_4). Tylko dla władz miasta kryteria K_1 i K_6 tzn. koszt budowy parkingów typu „Parkuj i Jedź" i wielkość generowanego ruchu, są ważne. Koszt budowy parkingów typu „Parkuj i Jedź" nie jest istotnym kryterium dla użytkownika systemu transportu publicznego, ponieważ to władzą miejskim zależy, aby użytkownicy pozostawili samochód na parkingu typu „Parkuj i Jedź" i kontynuowali podróż środkami transportu publicznego, a opłata parkingowa pokrywa tylko część kosztów parkowania i podróży transportem publicznym, również nie jest istotnym kryterium dla operatora transportu publicznego, który otrzymuje wynagrodzenie pokrywające w pełni jego koszty związane ze świadczoną usługą transportową. Podobnie jest w przypadku kryterium K_6 – wielkość generowanego ruchu, władze miejskie są zainteresowane jak największym ruchem, z którym wiąże się większe wypełnienie parkingów typu „Parkuj i Jedź", a niema to żadnego znaczenia dla operatora transportu publicznego ze względu na to, że niema on z tego tytułu żadnych korzyści, niema to również znaczenia dla użytkownika transportu publicznego a nawet jest on zainteresowany jak najmniejszym ruchem ze względu na komfort podróży. W przypadku kryterium K_5 – czas dojazdu ze źródeł podróży do parkingów typu „Parkuj i Jedź" tylko użytkownicy transportu publicznego są zainteresowani, aby jak najszybciej dojechać do parkingu typu „Parkuj i Jedź" i rozpocząć dalszą podróż środkami transportu publicznego i nie ma to żadnego związku z interesem operatora transportu publicznego jak również władz miasta. Pozostałe kryteria, choć w różnym stopniu, są ważne dla użytkowników systemu transportu publicznego, władz miejskich jak i operatora transportu publicznego. Każde z kryteriów nazwano również skrótowo tj. koszt budowy parkingów – koszt, dostępność linii transportu publicznego – linie, odległość od przystanku – odl_do, czas dojazdu do centrum – czas_z, czas dojazdu ze źródeł podróży do parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R) – czas_do, wielkość generowanego ruchu – potok, a zaproponowane skróty wykorzystano w procedurze obliczeniowej.

- Koszt budowy parkingów – K_1 (koszt) – [mln zł] kryterium określające całkowity koszt budowy parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R)

oszacowany proporcjonalnie do liczby miejsc parkingowych. Postać matematyczną tego kryterium prezentuje wzór 5.4. Kryterium jest minimalizowane.

$$MinK_1 = Min \sum_{i}^{I} c_i \, x_i \tag{5.4}$$

- Dostępność linii transportu publicznego – K_2 (linie) – liczba linii transportu publicznego, które mają swoje przystanki w pobliżu parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R). Postać matematyczną tego kryterium prezentuje wzór 5.5. Kryterium jest maksymalizowane.

$$MaxK_2 = Max \sum_{i}^{I} l_i \, x_i \tag{5.5}$$

- Odległość do przystanku – K_3 (odl_do) – [m] odległość parkingu od najbliższego przystanku transportu publicznego. Postać matematyczną tego kryterium prezentuje wzór 5.6. Kryterium jest minimalizowane.

$$MinK_3 = Min \sum_{i}^{I} m_i \, x_i \tag{5.6}$$

- Czas dojazdu do centrum – K_4 (czas_z)– [min] czas potrzebny na dotarcie do centrum miasta środkami transportu publicznego. Za centrum miasta przyjęto Rondo Kaponiera. Postać matematyczną tego kryterium prezentuje wzór 5.7. Kryterium jest minimalizowane.

$$MinK_4 = Min \sum_{i}^{I} d_i \, x_i \tag{5.7}$$

- Czas dojazdu ze źródeł podróży do parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R) – K_5 (czas_do) – [min] średni czas dotarcia do parkingu z rejonów przyporządkowanych do poszczególnych parkingów. Postać matematyczną tego kryterium prezentuje wzór 5.8. Kryterium jest minimalizowane.

$$MinK_5 = Min \sum_{i}^{I} t_i \, x_i \tag{5.8}$$

- Wielkość generowanego ruchu – K_6 (potok) – sumaryczna wielkość ruchu generowanego w rejonach przyporządkowanych do poszczególnych parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R). Postać matematyczną tego kryterium prezentuje wzór 5.9. Kryterium jest maksymalizowane.

$$MaxK_6 = Max \sum_{i}^{I} g_i \, x_i \tag{5.9}$$

5.1.1.3. Analiza oraz wybór metody pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego Pr1

Procedura optymalizacji wielokryterialnej przebiega dwuetapowo. W etapie I wygenerowano zbiór rozwiązań paretooptymalnych wykorzystując standardowy solwer MS Excel uzyskano macierz wypłat (ang. *payoff matrix*) [59]. Macierz wypłat pozwala zdefiniować punkt idealny i punkt nadir, które to pojęcia pozwalają znaleźć rozwiązanie kompromisowe. Punkt idealny i punkt nadir są jednym z dwóch sposobów poszukiwania rozwiązań kompromisowych (podrozdział 3.1.). Macierz ta zawiera więc oceny względem wszystkich kryteriów tych rozwiązań (wariantów), które gwarantują ekstremalizację – minimalizację lub maksymalizację – jednego kryterium [349]. W poszukiwaniu rozwiązań kompromisowych decydent może kierować się również wartościami kryteriów dla pewnych punktów charakterystycznych w obrębie rozwiązań dopuszczalnych [349]. Zastosowanie tego narzędzia (solwer MS Excel) jest uzasadnione, gdyż złożoność obliczeniowa problemu decyzyjnego w przypadku omawianym jest niewielka. Solwer MS Excel potrafi z powodzeniem rozwiązywać instancje problemów nieprzekraczające 200 zmiennych decyzyjnych. Do procesu optymalizacji Solwer MS Excel wykorzystuje wiele algorytmów obliczeniowych. W przypadku rozwiązywanego problemu lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R) , ze względu na jego liniowy i całkowitoliczbowy charakter wykorzystano metody: simpleks [349] oraz rozgałęzień i ograniczeń [112].

Generowanie rozwiązań paretooptymalnych przeprowadzone zostało zgodnie z ideą metody dodatkowych ograniczeń (ang. ε-constraints) [59]. Podejście to opiera się na optymalizacji jednej z funkcji kryterialnych, przy założeniu, że pozostałe funkcje formułuje się w postaci dodatkowych ograniczeń lub traktuje wynikowo. Wprowadzając stopniowe zmiany (o wartość ε) warunków ograniczających otrzymuje się kolejne wartości optymalizowanej funkcji celu. Postępowanie takie daje w konsekwencji liczny zbiór rozwiązań paretooptymalnych. Dzięki zastosowanej metodzie, wielokryterialny problem decyzyjny jest rozwiązywany metodami optymalizacji jednokryterialnej. Istotę metody dodatkowych ograniczeń (ang. ε-constraints) można zapisać w następującej postaci:

$$Min f_i(x) \tag{5.10}$$

przy ograniczeniach:

$$f_j(x) \leq \varepsilon_{j,} \qquad j = 1, \dots, w, \qquad i \neq j, \tag{5.11}$$

gdzie:
$f_i(x)$ – optymalizowana funkcja kryterialna,
$f_j(x)$ – pozostałe funkcje kryterialne, dla *j*=1,2,...*w*, przy ograniczeniu *i≠j*,
ε_j – parametr określający wartość warunku ograniczającego funkcji $f_j(x)$,
x – zmienna decyzyjna.,
w – liczba funkcji kryterialnych.

W etapie II eksperymentu wygenerowany zbiór rozwiązań paretooptymalnych poddano przeglądowi i ocenie. Do tego celu została wykorzystana interaktywna metoda przeglądu wiązką światła (ang. *Light Beam Search* – LBS). Jest to interaktywna metoda analizy wielokryterialnej, należąca do grupy nowoczesnych i efektywnych interaktywnych (dialogowych) procedur, umożliwiająca poszukiwanie rozwiązań kompromisowych dla wielokryterialnych problemów optymalizacyjnych, która została zaproponowana przez A. Jaszkiewicza i R. Słowińskiego [123], [124], [125], (podrozdział 3.2.). W każdej iteracji procedury obliczeniowej metody przeglądu wiązką światła (LBS) przeplatają się fazy generowania rozwiązań i podejmowania decyzji.

Metoda przeglądu wiązką światła (LBS) składa się z trzech kroków [349]. W kroku pierwszym wyznaczane są punkty: idealny (najlepszy) i nadir (najgorszy). Punkt ten jest rzutowany na zbiór rozwiązań paretooptymalnych za pomocą funkcji skalaryzującej w przestrzeni kryteriów.

Krok drugi stanowi ciąg iteracji, w których decydentowi prezentowana jest próba rozwiązań paretooptymalnych pochodzących z sąsiedztwa punktu środkowego [349]. Sąsiedztwo to składa się z rozwiązań paretooptymalnych, przewyższających punkt środkowy. Nie zawiera ono natomiast, punktów nieporównywalnych z punktem środkowym. W każdej iteracji decydentowi prezentowana jest próba, która zawiera punkt środkowy, oraz punkty sąsiednie reprezentujące możliwości poprawy poszczególnych kryteriów w otoczeniu przewyższającym. Decydent może podjąć dwa działania – przesunąć otoczenie po zbiorze rozwiązań paretooptymalnych i w ten sposób zdefiniować nowy punkt odniesienia lub wybrać najlepsze rozwiązanie z otoczenia przewyższającego. W pierwszym przypadku nowy punkt odniesienia jest rzutowany za pomocą funkcji skalaryzującej na zbiór rozwiązań paretooptymalnych, a tak znalezione rozwiązanie staje się nowym punktem środkowym. W drugim przypadku nowym punktem środkowym staje się punkt, rozwiązanie wybrane przez decydenta. Decydent może wielokrotnie definiować punkty odniesienia, a także zmieniać informację preferencyjną, co prowadzi do przeszukania i oceny wielu rozwiązań paretooptymalnych.

W kroku trzecim następuje ostateczny wybór rozwiązania kompromisowego, najbardziej satysfakcjonującego decydenta [349].

5.1.1.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe dla sytuacji decyzyjnej Pr1

Poniżej przedstawiono dwa etapy procedury obliczeniowej.

Etap I

Uwzględniając wymienione kryteria, dokonano pod względem każdego z nich optymalizacji przy narzuconych ograniczeniach. Wykorzystując solwer MS Excel uzyskano macierz wypłat [59], którą przedstawiono w tabeli 4. Punkt idealny zaznaczono pogrubioną kursywą.

Tabela 4. Macierz wypłat, czyli zestaw optymalnych rozwiązań dla poszczególnych kryteriów

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
	Min.	***Max.***	***Min.***	***Min.***	***Min.***	***Max.***
Rozw.1	***15,37***	22	700	127	65	7052
Rozw.2	24,4	***75***	1650	241	145	11555
Rozw.3	15,8	23	***350***	62	55	7015
Rozw.4	17,1	21	500	***41***	53	7613
Rozw.5	15,4	40	450	52	***44***	6926
Rozw.6	23,9	31	2800	379	188	***12718***

Stwierdzono, że zbiór sześciu rozwiązań, które uzyskano w procesie optymalizacji poszczególnych funkcji kryterialnych, jest zestawem tzw. rozwiązań początkowych, które są dalej rozwijane, w celu dokonania rzetelnej oceny oraz podjęcia ostatecznej decyzji o wyborze lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R). W dalszym postępowaniu, celem wygenerowania większej liczby rozwiązań paretooptymalnych zastosowano do procesu optymalizacji Solwer MS Excel, któremu poddane zostały poszczególne kryteria przy jednoczesnym zastosowaniu odpowiednich ograniczeń (metoda dodatkowych ograniczeń – ε-constraints). Tym sposobem wygenerowano zestaw 100 rozwiązań, którego część została zaprezentowana w tabeli 5.

Tabela 5. Zestaw przykładowych paretooptymalnych rozwiązań dla problemu decyzyjnego Pr-1 wygenerowany za pomocą Solwera MS Excel i zastosowaniu metody dodatkowych ograniczeń ε-constraints

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
	Min.	***Max.***	***Min.***	***Min.***	***Min.***	***Max.***
Rozw.1	15,37	22	700	127	65	7052
Rozw.2	24,4	**75**	1650	241	145	11555
Rozw.3	15,8	35	**350**	65	60	7013
Rozw.4	17,1	21	500	**41**	53	7613
Rozw.5	15,4	40	450	52	**44**	6926
…						
Rozw.29	24,8	33	2900	375	182	**12718**
…						
Rozw.56	24,1	51	700	85	83	10906
Rozw.57	24,1	38	650	72	67	10796
Rozw.58	23,9	44	600	64	66	10605
Rozw.59	22,3	37	600	59	65	10453
Rozw.60	18,9	25	450	44	51	8386
Rozw.61	17,1	21	500	**41**	53	7613
…						
Rozw.73	15,4	40	450	52	**44**	6926
Rozw.74	16,7	42	400	49	49	7486
Rozw.75	15,6	33	**350**	54	50	7011
Rozw.81	17,8	42	2000	291	139	9097
Rozw.82	18,4	43	2000	299	144	9335
Rozw.83	18,6	42	2150	293	141	9457
Rozw.84	18,8	40	2200	303	141	9569
Rozw.85	19,4	43	2200	288	144	9857
…						
Rozw.95	22,8	42	2450	333	159	11628
Rozw.96	23,3	41	2850	368	182	11869
Rozw.97	23,5	40	2750	362	177	12026
Rozw.98	24,0	45	2650	365	182	12238
Rozw.99	24,3	41	2700	364	184	12369
Rozw.100	24,6	46	2550	356	177	12502

Po wygenerowaniu wspomnianych 100 rozwiązań paretooptymalnych stwierdzono, że w zbiorze tym istnieją rozwiązania z wartościami poszczególnych funkcji kryterialnych zbieżnych z punktem idealnym i je również zaznaczono pogrubioną kursywą. Dla K_1 wartość funkcji kryterialnej jest równa i była 15,37; dla K_2 jest i była równa 75; również dla K_3 wartość jest taka sama jak była, czyli 350 jednak ta wartość funkcji kryterialnej pojawiła się w dwóch rozwiązaniach, tj. Rozw.3 i Rozw.75; dla K_4 i K_5 również wartości były takie same jak poprzednio, ale te same wartości funkcji kryterialnej pojawiły się w dwóch rozwiązania dla każdej z nich, odpowiednio Rozw.4 i Rozw.61 oraz Rozw.5 i Rozw.72; dla K_6 wartość funkcji kryterialnej była taka sama jak wartość punktu idealnego.

Etap II

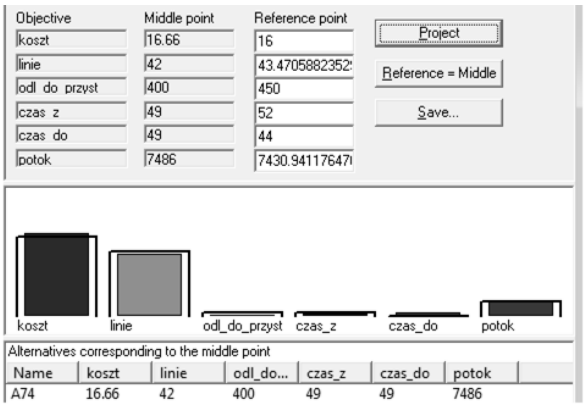
W etapie II do przeglądu zbioru rozwiązań paretooptymalnych, jak już wyżej wspomniano, wykorzystano metodę przeglądu wiązką światła (ang. *Light Beam Search* – LBS). W celu jej zastosowania ze zbioru otrzymanych rozwiązań skonstruowano pliki wsadowe do oprogramowania komputerowego metody przeglądu wiązką światła (ang. *Light Beam Search* – LBS) w formacie ASCII. W wyniku zastosowania tej metody, opierając się na 3-etapowej procedurze LBS opisanej w sekcji 5.1.1.3., w jej pierwszym kroku, uzyskano punkt idealny (ang. *Ideal Point*) i punkt nadir (ang. *Nadir Point*), które zaprezentowano na rysunku 11.

Ideal and nadir points

	koszt	linie	odl_do...	czas_z	czas_do	potok
Ideal point	d»ż15.37	75	350	41	44	12718
Nadir point	24.97	8	3100	406	210	6726

Rysunek 11. Punkt idealny i punkt nadir dla problemu lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź”(ang. Park and Ride – P&R)

W kolejnym kroku metody przeprowadzono serię iteracji, w których ustalono kolejno punkt odniesienia (referencyjny) oraz odpowiadający mu punkt środkowy. Finalnie otrzymano satysfakcjonujące rozwiązanie kompromisowe – A74, przedstawione na rysunku 12 (P1 – parking przy pętli os. Sobieskiego, P4 – parking przy projektowanym dworcu przy al. Polskiej, P14 – parking przy projektowanym „Centrum Łacina”).



Rysunek 12. Punkt referencyjny oraz rozwiązanie problemu

5.1.1.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla problemu decyzyjnego – Pr1

W wyniku zastosowania: solwera MS Excel, metody dodatkowych ograniczeń (ang. *ε-constraints*) oraz metody przeglądu wiązką światła (ang. *Light Beam Search* – LBS), zaprezentowano proces wielokryterialnej optymalizacji lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź” (ang. *Park and Ride* – P&R). Przeanalizowano zestaw 25 lokalizacji parkingów, skonstruowano model matematyczny problemu decyzyjnego oraz

przeprowadzono eksperymenty obliczeniowe. Przedstawione rezultaty dowodzą, że metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) jest przydatnym narzędziem umożliwiającym rozwiązanie problemu lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R) .

Łączny koszt budowy wybranych trzech parkingów wynosi 16,66 mln zł. Parkingi we wskazanych lokalizacjach cechuje dobra dostępność środków transportu publicznego, dla trzech parkingów liczba linii transportu publicznego wynosi 42 – średnia liczba linii transportu publicznego, dostępnych w sąsiedztwie jednego parkingu wynosi 14 linii, natomiast średnia odległość od parkingu do najbliższego przystanku ok. 133 [m] – dla wszystkich trzech parkingów suma odległości od parkingu do najbliższego przystanku wynosi 400 [m]. Średnie wartości kryteriów K_4 i K_5, czyli czasu potrzebnego na dotarcie samochodem osobowym ze źródeł podróży na parking oraz czasu potrzebnego na dotarcie z parkingu do centrum środkami transportu publicznego wynoszą po 16,3 [min] – dla obu kryteriów sumaryczny czas dotarcia ze źródeł podróży na trzy parkingi jak i z parkingów do centrum środkami transportu publicznego wynosi 49 [min]. Wielkość wybranych parkingów ustalona została na podstawie średniej wielkości ruchu generowanego w odpowiednich rejonach przyporządkowanych do poszczególnych parkingów – dla trzech parkingów wielkość generowanego ruchu wynosi 7486 samochodów na dobę. Założono, że parkingi typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R) zmniejszą o ok. 10% ruch w wyżej wymienionych rejonach, stąd średnia wielkość wybranych parkingów wynosi ok. 300 miejsc parkingowych.

5.1.2. Ranking różnych rozwiązań transportowych dla wybranego odcinka sieci drogowej – problem decyzyjny Pr-2

5.1.2.1. Identyfikacja i opis werbalny problemu decyzyjnego – Pr-2

Istota rozważanego problemu decyzyjnego Pr-2 wynika z potrzeby przebudowy ważnego odcinka ulicy Grunwaldzkiej w Poznaniu na odcinku od ulicy Smoluchowskiego do ulicy Malwowej. Przeprojektowanie obejmuje zmianę oraz dopasowanie ulicy i torów tramwajowych. Rozważane były rożne rozwiązania i koncepcje, również odrębne inwestycje infrastrukturalne. W rezultacie skonstruowano odmienne warianty przeprojektowania ulicy.

Proponowane zmiany zostały ściśle powiązane z przygotowaniem miasta do organizacji Mistrzostw Europy w Piłce Nożnej – Euro 2012. Ze względu na fakt, że ulica Grunwaldzka jest krytyczna ze względu na dojazd do stadionu piłkarskiego, jej przeprojektowanie odegrało kluczową rolę w skutecznej kontroli efektywności strumienia transportowego podczas Euro 2012. Celem przebudowy, był wzrost przepustowości ulicy w sąsiedztwie stadionu (jednego z sąsiednich skrzyżowań), ze względu na zwiększoną ilość użytkowników drogi oraz poprawa komfortu podróży.

Przeprojektowanie było również związane z budową wewnętrznej obwodnicy w tym obszarze.

Warianty przebudowy ulicy Grunwaldzkiej zostały modelowane heurystycznie i testowane w systemie symulacji badania ruchu. W tym celu poznański model ruchu był adaptowany i dopasowany do analizowanych wariantów. Na tej podstawie wykonano szereg eksperymentów, symulacji w oparciu o VISUM 11.0 dla każdego z oferowanych wariantów. W rezultacie powstał zestaw konkretnych, ilościowych wskaźników charakteryzujących warianty, tj. poziom strumienia pasażerów i pojazdów, wykorzystanie wskaźników gęstości, szybkość przemieszczania się przepływów pasażerów i pojazdów, wskaźnik wykorzystania mocy, prędkości przepływu w sieci. Ten zestaw wskaźników stanowi wkład dla zdefiniowania bardziej zagregowanych wielkości, zwanych kryteriami oceny.

Opisany powyżej problem decyzyjny został zdefiniowany, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingowy) wariantów. Rozważane warianty przebudowy ulicy Grunwaldzkiej powinny zostać ocenione przez spójną rodzinę kryteriów i ostatecznie uszeregowane od najlepszego do najgorszego w odniesieniu do kryteriów oceny i zakładanego modelu preferencji decydenta.

W rozważanym procesie decyzyjnym, decydentem była grupa miejskich urzędników reprezentujących Urząd Miejski i odpowiedzialnych za ostateczny kształt programu przebudowy ulicy Grunwaldzkiej. W skład tej grupy wchodzili: Zastępca Prezydent Miasta Poznania, Dyrektor Zarządu Dróg Miejskich, Dyrektor Zarządu Transportu Miejskiego, Dyrektor Wydziału Gospodarki Nieruchomościami, Dyrektor Wydziału Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej. Zaprezentowana grupa decydentów była odpowiedzialna, za podjęcie ostatecznej decyzji biorąc pod uwagę zakres i istotę przeprojektowania ulicy. Ta decyzja, aby mogła zostać zaakceptowana, powinna zaspokoić interesy różnych podmiotów (interesariuszy), w tym: pasażerów, inwestora, operatora transportu publicznego.

Proponowane warianty, spójna rodzina kryteriów, model preferencji decydenta i macierz ocen zostały przedstawione w kolejnej fazie ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych.

5.1.2.2. Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego dla problemu decyzyjnego Pr-2

Zbiór wariantów dla problemu decyzyjnego Pr-2

Pięć wariantów, opisanych symbolami V0 – V4, zawiera obecne rozwiązania transportowe dotyczące ulicy Grunwaldzkej (wariant V0) i cztery warianty (V1 – V4) opisane przez różne zmiany wprowadzone do aktualnego stanu ulicy. Te istotne zmiany obejmują:

- Wprowadzenie wiaduktu, skutkowałoby to przeprojektowaniem kluczowych skrzyżowań (ulica Grunwaldzka - wewnętrzna obwodnica) z istniejących rozwiązań jednopoziomowych do koncepcji na dwóch poziomach.
- Rozszerzenie pojedynczych dwupasmowych dróg (arterii) z różnymi projektami na poszczególnych segmentach.
- Przebudowa torowiska tramwajowego, który stanowi segment końcowy trasy tramwajowej, zakończonej pętlą tramwajową i autobusową.

Ogólnie pomysł przebudowy ulicy wynikał z faktu, że pozostała część ulicy Grunwaldzkiej została skonstruowana, jako dwie, dwupasmowe drogi, tak więc na krytycznym skrzyżowaniu Grunwaldzka – wewnętrzna obwodnica, ulica zwęża się co oznacza wąskie gardło. Eliminacja tego wąskiego gardła jest jednym z celów przebudowy ulicy Grunwaldzkiej.

Zbiór pięciu wariantów poddany analizie wielokryterialnej był następujący:

- **Wariant V0** jest rozwiązaniem jednopoziomowego transportu. Charakteryzowany, jako dwie drogi (dwa tory) z wydzieloną drogą tramwajową, która biegnie równolegle wzdłuż Grunwaldzkiej na odc. 1,7 km. Korytarz tramwajowy jest ulokowany po północnej stronie ulicy, nie krzyżuje się z drogą na rozważanym terenie. W tym wariancie obwodnica wewnętrzna, która przecina ulicę Grunwaldzką jest w obecnej formie niefunkcjonalna, słabo rozwinięta. (kolektor/dystrybutor dróg, pojedyncza droga z dwoma pasami ruchu).
- **Wariant V1** jest rozwiązaniem dwupoziomowym z estakadą nad wewnętrzną obwodnicą. Charakteryzuje się dwoma, dwupasmowymi drogami (1,7 km długości) i wydzieloną trasą tramwajową wzdłuż ul. Grunwaldzkiej. Trasa tramwajowa jest ulokowana między drogami i w pewnym punkcie przecina północną drogę by zapewnić połączenie z pętlą tramwajową. W tym wariancie obwodnica wewnętrzna występuje w rozwiniętej formie (kolektor/dystrybutor dróg, dwie dwupasmowe drogi).
- **Wariant V2** jest dwupoziomowym rozwiązaniem z wiaduktem ponad obwodnicą wewnętrzną. Charakteryzuje się dwoma, dwupasmowymi drogami na odcinku 1,2 km i pojedynczą dwujezdniową drogą w pozostałej, centralnej części (0,5 km). Tak więc dwie, dwupasmowe drogi łączą się w pojedynczą dwujezdniową drogę i potem dzielą się ponownie na dwie, dwujezdniowe drogi. Podobnie do wariantu V1, korytarz tramwajowy jest ulokowany między drogami i przecina północną drogę, zapewniając dostęp do pętli tramwajowej. W tym wariancie wewnętrzna obwodnica występuje w rozwiniętej formie.
- **Wariant V3** jest koncepcją jednopoziomowego transportu. Charakteryzuje się tymi samymi rozwiązaniami jak wariant V1, z wyjątkiem wiaduktu nad wewnętrzną obwodnicą, który w wariancie V3 został zastąpiony standardowym skrzyżowaniem.

- **Wariant V4** jest koncepcją jednopoziomowego transportu. Charakteryzuje się tymi samymi rozwiązaniami, co wariant V2, z wyjątkiem wiaduktu nad wewnętrzną obwodnicą, który w wariancie V4 został zastąpiony standardowym skrzyżowaniem.

Spójna rodzina kryteriów dla problemu decyzyjnego – Pr-2

W celu wyłonienia kryteriów oceny wariantów przeprowadzono analizę problemu decyzyjnego. Uwzględniała ona zarówno interesy podmiotów uczestniczących w procesie decyzyjnym, jak również różne aspekty rozważanych wariantów. W pierwszym przypadku uwzględniono interes pasażerów, przewoźnika (MPK Poznań), władz miejskich oraz inwestora. W drugim przypadku, definiując spójną rodzinę kryteriów, rozważano następujące aspekty analizowanych wariantów przebudowy ulicy Grunwaldzkiej na określonym odcinku:

- Organizacyjno-społeczne. W tym obszarze szczególną uwagę położono na komfort podróży, uznając, że jest to kluczowy czynnik oceny jakości systemu transportu miejskiego z punktu widzenia pasażerów.
- Techniczne. Aspekt ten, uwzględniają kryteria oceniające bezpieczeństwo oraz częściowo komfort podróży, mające znaczenie zarówno dla pasażera, jak i dla przewoźnika.
- Ekonomiczne. Aspekt uwzględniają kryteria, które są szczególnie ważne dla przewoźnika i dla władz miejskich.
- Ekologiczne. Kryteria szczególnie istotne dla pasażerów, jak również dla społeczności lokalnej (mieszkańców, osób pracujących) w analizowanym rejonie.

Kompletny zbiór 5 kryteriów uwzględniających wspomniane aspekty przedstawiono poniżej:

- Średni czas podróży – C1 [min] – kryterium minimalizowane. Kryterium oceniające komfort podróży, zostało wyrażone, jako uśredniony czas przejazdu analizowanym odcinkiem ulicy Grunwaldzkiej zarówno transportem publicznym (PuT) jak i prywatnym (PrT).
- Bezpieczeństwo w ruchu drogowym – C2 – kryterium minimalizowane. Kryterium oceniające poziom bezpieczeństwa oraz wpływ planowanej inwestycji na liczbę wypadków na analizowanym odcinku. Kryterium to wyrażone zostało, jako prognozowana roczna liczba wypadków na rozważanym odcinku ulicy w oparciu o wskaźnik ryzyka wystąpienia wypadków w zależności od rozwiązań infrastrukturalnych oraz natężenie ruchu pojazdów transportu publicznego (PuT) i prywatnego (PrT).
- Koszty inwestycyjne – C3 [mln PLN] – kryterium minimalizowane. Kryterium o charakterze ekonomicznym, ważne dla władz miejskich i inwestora,

oceniające wielkość nakładów finansowych niezbędnych dla zrealizowania konkretnego wariantu.

- Rentowność inwestycji – C4 [%] – kryterium maksymalizowane. Kryterium o charakterze ekonomicznym, który ocenia wyniki finansowe (efektywność) danego wariantu. Jest ono definiowane, jako wewnętrzna stopa zwrotu (IRR) lub innymi słowy, oprocentowanie, które zdyskontowane koszty inwestycji i dochody generowane przez system transportu miejskiego w badanym obszarze osiąga stan równowagi w określonym horyzoncie czasowym (25 lat).
- Przyjazność dla środowiska – C5 [pkt] – kryterium maksymalizowane. Kryterium charakteryzuje poziom obsługi środowiska rozważanych wariantów. Jest ono definiowane, jako ilość punktów przypisanych przez ekspertów, która odpowiada ocenie negatywnego wypływ rozważanych inwestycji na środowisko w jej sąsiedztwie. Definicja tego kryterium bierze pod uwagę zmiany w poziomie hałasu i zanieczyszczenia powietrza.

Macierz ocen dla problemu decyzyjnego – Pr-2

Dla każdego z wariantów zdefiniowanych powyżej wyznaczono wartości kryteriów uzyskując macierz ocen zaprezentowaną w tabeli 6.

Tabela 6. Macierz ocen wariantów przebudowy ulicy Grunwaldzkiej

Kryterium		Jednostka	Kierunek preferencji	V0	V1	V2	V3	V4
C1	Średni czas podróży	[min, sek]	min	5min 31sek	2min 39sek	3min 41sek	3min 13sek	4min 0sek
C2	Bezpieczeństwo w ruchu drogowym	[wypadki]	min	0,036	1,744	3,116	2,286	4,097
C3	Koszty inwestycjne	[mln PLN]	min	0	55,718	44,117	47,774	36,172
C4	Rentowność inwestycji	[%]	max	2,582%	3,279%	2,620%	2,857%	2,214%
C5	Przyjazność dla środowiska	[pkt]	max	2,00	7,98	8,01	8,04	7,97

Model preferencji decydenta dla problemu decyzyjnego – Pr-2

Decydenci i interwenienci (władze miejskie, operator miejskiego systemu transportu publicznego – występuje w podwójnej roli interwenienta i decydenta, inwestor i pasażerowie) są zgodni, co do tego, że dogodnym sposobem wyrażenia ważności kryteriów jest zróżnicowanie istotności poszczególnych kryteriów poprzez ich hierarchizację od najbardziej do najmniej istotnych, która może być wyrażona na pewnej skali ocen. Ponadto dostrzeżono dużą wrażliwość decydentów na zmiany

wartości poszczególnych kryteriów, wyrażaną poprzez mniej lub bardziej silną preferencję jednego wariantu względem porównywanego. Decydenci/interwenienci również uznali, że ważnym dla nich aspektem w trakcie modelowania preferencji jest możliwość określenia w rankingu końcowym ilościowej odległości między wariantami.

5.1.2.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego – Pr-2

Wybór metody WWD, która najlepiej odwzorowywałaby model preferencji decydenta oraz uwzględniałaby specyfikę analizowanego problemu decyzyjnego, został oparty na trzech zasadniczych filarach: analizie wybranych metod WWD, analizie problemu decyzyjnego oraz analizie modelu preferencji decydenta. Należy podkreślić, że wymienione elementy są ściśle ze sobą powiązane, a ich analiza została przedstawiona poniżej.

Analizę wybranych metod przeprowadzono na podstawie porównania dwóch wybranych metod szeregowania wariantów tj. AHP i ELECTRE III. Ich analiza porównawcza umożliwiła wyłonienie słabych i mocnych stron tych metod. Najbardziej istotne z nich zostały przedstawione w tabeli 2 – podrozdział 3.3.

Kolejnym aspektem podjętych rozważań była analiza problemu decyzyjnego, która została przedstawiona w sekcji 5.1.2.1. niniejszej dysertacji. Na jej podstawie można stwierdzić, że problem decyzyjny szeregowania wariantów przebudowy ulicy Grunwaldzkiej ma charakter strategiczny, a podjęte decyzje mają długofalowe konsekwencje. Problem decyzyjny jest zdefiniowany, jako zagadnienie wielokryterialnego szeregowania 5 wariantów ocenianych za pomocą zestawu 5 kryteriów. Ta podstawowa charakterystyka problemu decyzyjnego wskazuje, że obie analizowane metody WWD mogą być zastosowana do jego rozwiązania.

Typ informacji zawartych w modelu decyzyjnym jest kardynalny, co oznacza, że odstęp pomiędzy poszczególnymi miarami (w macierzach ocen) ma spójne znaczenie i może być wykorzystany w metodach ELECTRE III i AHP.

Biorąc pod uwagę sposób postrzegania przez decydenta/interwenientów sytuacji decyzyjnej oraz sposób modelowania ich preferencji dostrzeżono, że z ich punktu widzenia istotna jest możliwość nadania ważności kryteriom w ujęciu lokalnym. Sytuacja ta jest możliwa do zamodelowania w metodzie AHP gdzie preferencje są wyrażane – poprzez porównanie parami kryteriów i wariantów względem każdego kryterium. Decydenci/interwenienci uznali także za mocną stronę, w trakcie modelowania preferencji, możliwość określenia relacji nieporównywalności wariantów. Spośród dwóch rozważanych metod, metoda Electre III, pozwala na przedstawienie uszeregowania wariantów z uwzględnieniem nieporównywalności miedzy nimi poprzez określenia progu veta, jednak w metodzie AHP jest to również możliwe poprzez przyznanie 9 punktów przewagi jednego wariantu względem wariantu z nim porównywanego. Uwzględniając proces grupowego podejmowania

decyzji, decydenci i interwenienci uznali, że waży jest sposób agregowania ich preferencji. W przypadku agregowania indywidualnych modeli preferencji poszczególnych grup uczestników eksperymentów obliczeniowych, bardziej odpowiednia jest metoda ELECTRE III, ponieważ model wyrażania preferencji decydentów i interwenientów jest bardziej elastyczny pod względem agregowania wag, niż w metodzie AHP. W przypadku zaś agregowania końcowych rankingów zgodnie ze specyficznymi modelami preferencji dla poszczególnych grup uczestników, lepszą metodą jest metoda AHP, ponieważ wygenerowane rankingi oparte są na obliczeniu ich miar ilościowych.

Kolejnym istotnym aspektem rozważanego problemu decyzyjnego jest dokładność jego odwzorowania, w której uwzględniony jest cel procesu decyzyjnego, zbiór kryteriów i zbiór wariantów. Metodą WWD, która w pełni strukturyzuje problem w ten sposób jest metoda AHP. Jest to niewątpliwie jedna z najbardziej istotnych zalet tej metody. Wykorzystanie metody AHP do przeprowadzenia eksperymentów obliczeniowych wiąże się jednak z koniecznością przeprowadzenia łącznie 60 porównań parami, tj. 10 na poziomie kryteriów i 50 na poziomie wariantów. Proces ten jest, zatem praco- i czasochłonny. W przypadku metody ELECTRE III pracochłonność decydenta/interwenientów jest znacznie mniejsza, gdyż ogranicza się do zdefiniowania, dla 5 rozważanych kryteriów, progów równoważności, preferencji i ewentualnie weta oraz ważności kryteriów tj. określenia maksymalnie 20 parametrów.

Na podstawie powyższych przesłanek oraz biorąc pod uwagę mocne i słabe strony rozważanych metod wielokryterialnego szeregowania wariantów, postanowiono przeprowadzić eksperymenty obliczeniowe wykorzystując metodę AHP i metodę ELECTRE III, ponieważ za krytyczne dla wyboru metody WWD uznano, agregację modeli preferencji decydentów i interwenientów. Postanowiono porównać uzyskane wyniki ze względu na moment agregacji modeli preferencji. Ranking finalny wygenerowany w metodzie AHP uwzględnia także informację na temat odległości pomiędzy wariantami, co może wzbogacić informację na temat uzyskiwanych rezultatów.

5.1.2.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe dla sytuacji decyzyjnej – Pr-2

W efekcie skonstruowania zbioru wariantów, spójnej rodziny kryteriów, macierzy ocen oraz dokonania wyboru metod pozwalających na rozwiązanie rozważanego problemu decyzyjnego, nastąpiła konieczność zamodelowania preferencji decydenta.

W omawianym problemie decyzyjnym Pr-2, proces grupowego podejmowania decyzji (GPD) i metodykę wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) połączono ze sobą, a ich interakcja została uwzględniona w tej fazie ogólnego podejścia do rozwiązywania wielokryterialnego problemu decyzyjnego tj. faza IV – komputerowe eksperymenty obliczeniowe.

Modelowanie preferencji decydentów i interwenientów, przeprowadzono przy aktywnym wsparciu ze strony analityka, proponowane modele preferencji dla pasażerów, inwestora, operatora transportu publicznego i władz miejskich zostały zagregowane w jeden zbiorczy model preferencji. W ten sposób interesy i punkty widzenia różnych interwenientów/interesariuszy połączono i zrównoważono. Agregacja ta została przeprowadzona z zastosowaniem dwóch podejść. Podejścia te obejmowały:

- **Analizę *ex ante*** – skoncentrowaną na agregowaniu indywidualnych modeli preferencji dla każdej grupy uczestników eksperymentów obliczeniowych. Ze względu na ilość uczestników eksperymentów obliczeniowych i na formę wyrażania preferencji, do podejścia *ex ante* jest bardziej odpowiednia metody Electre III, niż metoda AHP, ze względu na fakt, że model wyrażania preferencji decydenta i uczestników w metodzie ELECTRE III jest bardzo elastyczny pod względem agregowania wag kryteriów ***w*** i progów ***q***, ***p***, ***v*** (zarówno wagi, jaki i progi umieszczone są w skali porządkowej, a zatem mogą być zagregowane w formie średniej arytmetycznej lub średniej ważonej), niż w metodzie AHP, gdzie model preferencji nie jest zbyt podatny na agregację (wymaga wielu porównań pomiędzy kryteriami i wariantami dla różnych grup uczestników, które muszą zostać zagregowane).
- **Analizę *ex post*** – skoncentrowaną na agregowaniu końcowych rankingów zgodnie ze specyficznymi modelami preferencji dla każdej grupy uczestników. W tym przypadku agregacja jest przeprowadzana po zakończeniu eksperymentów obliczeniowych. Ze względu na fakt, że końcowe rankingi wygenerowane przy zastosowaniu metody AHP oparte są na obliczaniu ich miar ilościowych (użyteczności), uznano tę metodę za bardziej odpowiednią dla analizy *ex post*. W tym wypadku model preferencji użytkowników konstruowany jest oddzielnie dla każdej grupy i opiera się na względnych wagach ukazujących siłę poszczególnych elementów w porównaniach kryteriów i wariantów. Metoda AHP wydaje się być właściwsza dla analizy *ex post*, ponieważ pozwala ona łatwo zagregować końcowe rezultaty (rankingi) ze względu na fakt, iż są one oparte na obliczeniu liczbowych wartości użyteczności wariantów. Zatem końcowa agregacja preferencji jest możliwa poprzez obliczenie średniej arytmetycznej/ważonej użyteczności każdego wariantu, która może być scharakteryzowana przez odmienną pozycję (wartość) w rankingach wygenerowanych zgodnie z preferencjami wyrażonymi przez poszczególne grupy uczestników. W tym względzie metoda ELECTRE III jest mniej odpowiednia, gdyż końcowe rankingi wygenerowane przy jej zastosowaniu nie mają liczbowego/ilościowego charakteru. Zatem agregacja nie ma w tym przypadku naturalnego podłoża.

W tym celu przeprowadzono szereg badań ankietowych, w ramach, których decydenci/interwenienci przedstawiali swoje indywidualne preferencje. Powstało

łącznie 13 modeli preferencji. Zebrane ankiety podzielono na 4 podstawowe grupy decydentów, reprezentujących odpowiednio interesy przewoźnika/operatora transportu publicznego, pasażerów, władz miejskich oraz inwestora.

Tabela 7. Modele preferencji władz miejskich, operatora, inwestora, pasażerów oraz zagregowany (uśredniony) model preferencji

KRYTERIUM		Waga w	Próg równoważności q	Próg preferencji p	Próg weta v
Władze miejskie					
C1	Średni czas podróży	8,3	32,5	50,0	82,5
C2	Bezpieczeństwo w ruchu drogowym	7,5	0,3	0,4	1,3
C3	Koszty inwestycyjne	5,5	3 000 000	7 000 000	16 250 000
C4	Rentowność inwestycji	4,5	0,313%	0,675%	2,250%
C5	Przyjazność dla środowiska	3,5	2,0	2,6	6,1
Operator transport publicznego					
C1	Średni czas pdróży	9,3	26,7	65,0	140,0
C2	Bezpieczeństwo w ruchu drodowym	8,7	0,4	0,8	1,5
C3	Koszty inwestycyjne	5,3	3 166 666	5 500 000	10 166 666
C4	Rentowność inwestycji	5,0	0,500%	0,933%	1,833%
C5	Przyjazność dla środowiska	4,3	1,4	2,4	3,4
Inwestor					
C1	Średni czas podróży	8,7	30,0	50,0	120,0
C2	Bezpieczeństwo w ruchu drogowym	9,0	0,5	1,0	2,0
C3	Koszty inwestycyjne	9,0	8 000 000	13 000 000	25 000 000
C4	Rentowność inwestycji	7,0	0,200%	0,600%	1,000%
C5	Przyjazność dla środowiska	4,0	1,3	2,3	5,0
Pasażerowie					
C1	Średni czas podróży	10,0	25,0	50,0	100,0
C2	Bezpieczeństwo w ruchu drogowym	9,5	1,0	2,3	4,3
C3	Koszty inwestycyjne	3,0	8 333 333	20 000 000	36 666 666
C4	Rentowność inwestycji	4,7	1,000%	2,667%	4,667%
C5	Przyjazność dla środowiska	5,3	1,0	2,3	5,0
Wspólny model preferencji					
C1	Średni czas podróży	9,1	28,5	56,3	110,6
C2	Bezpieczeństwo w ruchu drogowym	8,7	0,5	1,1	2,3
C3	Koszty inwestycyjne	5,7	4 875 000	10 625 000	22 020 833
C4	Rentowność inwestycji	5,3	0,528%	1,256%	2,563%
C5	Przyjazność dla środowiska	4,3	1,4	2,4	4,9

Z przedstawionych w tabeli 7 modeli preferencji wynika, że dla każdej z grup decydentów/interwenientów, najbardziej istotnymi są kryteria C1 i C2 (odpowiednio średni czas podróży i bezpieczeństwo w ruchu drogowym). Można zauważyć, że dla decydentów reprezentujących inwestora bardzo ważnym jest kryterium C3 (koszty inwestycyjne), podczas gdy dla pozostałych grup jest ono mniej ważne. Za najmniej istotne kryterium decydenci/interwenienci zgodnie uznali kryterium C5 (przyjazność dla środowiska) nadając mu jednak różne wagi (uśredniona waga 4,3). Niewielkie różnice pomiędzy progami równoważności *(q)* i preferencji *(p)*, szczególnie w przypadku kryterium C4 (rentowność inwestycji) świadczą o zdecydowanym stanowisku decydentów wobec tego kryterium. Zbliżone wartości tych progów skutkują wąskim przedziałem wartości różnic pomiędzy wariantami, w którym decydenci słabo preferują jeden wariant względem drugiego (wahają się).

W podejściu *ex post* przy konstruowaniu modelu preferencji (II faza metody AHP – podrozdział 3.2.3.) wykorzystano charakterystyczną dla metody AHP procedurę porównań wszystkich elementów hierarchii parami i przyznawania im odpowiedniego stopnia ważności/preferencji w skali od 1 do 9 punktów. Każda liczba w tej skali odpowiada sile preferencji jednego elementu względem drugiego. Wszystkie współczynniki mają charakter kompensacyjny, tzn. wartość oceny dla elementu mniej ważnego jest odwrotnością oceny dla elementu ważniejszego.

W efekcie zamodelowania preferencji decydentów/interwenientów dla obu podejść, tj. *ex ante* i *ex post,* przeprowadzono dalsze, liczne komputerowe eksperymenty obliczeniowe.

W podejściu *ex ante,* jak już wcześniej wspomniano wybrano metodę ELECTRE III, która pozwoliła na agregację indywidualnych modeli preferencji poszczególnych członków danej grupy w ogólny model preferencji danej grupy. Każda grupa uczestników zdefiniowała osobno wszystkie cztery wartości – ***w***, ***q***, ***p*** i ***v***. Model preferencji uczestników i grupowy model preferencji prezentuje tabela 7. W wyniku przeprowadzenia wszystkich etapów procedury obliczeniowej, wygenerowano ostateczny, grupowo zorientowany ranking, który został przedstawiony na rysunku 13.

Rysunek 13. Ostateczne wyniki eksperymentów obliczeniowych realizowanych przez podejście ex-ante metodą ELECTRE III

W podejściu *ex post,* jak już wcześniej wspomniano, wybrano metodę AHP i skoncentrowano się na agregowaniu końcowych rankingów zgodnie ze specyficznymi modelami preferencji dla każdej grupy uczestników. W tym przypadku agregacja została przeprowadzona po zakończeniu eksperymentów obliczeniowych. Modele preferencji uczestników poszczególnych grup, konstruowano oddzielnie dla każdej grupy i opierały się na względnych wagach ukazujących siłę poszczególnych elementów w porównaniach kryteriów i wariantów parami. Wszystkie dalsze obliczenia w metodzie AHP zostały przeprowadzone dla każdej grupy uczestników. Końcowe rezultaty owych obliczeń, odpowiadające wartościom użyteczności przypisanych każdemu wariantowi w każdym rankingu (oddzielny ranking dla każdej grupy uczestników), zostały zagregowane, zgodnie z analizą *ex post,* w grupowo zorientowany ranking zaprezentowany na rysunku 14. Końcowa agregacja wyników jest możliwa poprzez obliczenie średniej arytmetycznej/ważonej użyteczności każdego wariantu z poszczególnych rankingów obliczonych dla poszczególnych grup uczestników.

Rysunek 14. Ostateczne wyniki eksperymentów obliczeniowych realizowanych przez podejście ex-post metodą AHP

5.1.2.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla sytuacji decyzyjnej Pr-2

Na podstawie analizy uzyskanych rezultatów można stwierdzić, że:

- oba podejścia *ex ante i ex post* dają podobne rezultaty:
  - na najwyższej pozycji, w dwóch zbiorczych, grupowo zorientowanych rankingach jest taki sam wariant V1.
  - dwie kolejne pozycje w dwóch zbiorczych, grupowo zorientowanych rankingach zajmują warianty V3 i V0, jednakże umiejscowione są w innej kolejności, w analizie *ex ante* V3 i V0 a w analizie *ex post* V0 i V3.
  - dwie ostatnie pozycje w dwóch zbiorczych, grupowo zorientowanych rankingach zajmują warianty V2 i V4, w takiej samej kolejności.
- interesujące jest, że w analizie *ex post* wariant V1 jest liderem każdego rankingu opartego na modelach preferencji decydentów i każdej grupy uczestników procesu decyzyjnego i pozostaje liderem w zbiorczym, grupowo

zorientowanym rankingu po procesie agregacji. Jakkolwiek ów wariant ma największe koszty inwestycji.

Podsumowując analizę uzyskanych rezultatów w fazie obliczeniowej należy stwierdzić, że najbardziej istotnym kryterium dla uśrednionego modelu preferencji jest C1 – średni czas przejazdu. Kryterium to jest najważniejsze dla władz miejskich, operatora transportu publicznego oraz dla pasażerów, a w modelu preferencji inwestora zajmuje drugie miejsce.

Sposób oceniania wariantów przez decydentów i interwenientów jest zbliżony jednak występują różnice. Są one szczególnie widoczne w modelach preferencji pasażerów i inwestora. Pierwsza z wymienionych grup, oceniła kryterium C3 (koszt inwestycji) najniżej, nadając wagę 3, natomiast inwestor ocenił najwyżej nadając wagę 9. Jednak różnica ta jest uzasadniona i wynika z naturalnych różnic w postrzeganiu inwestycji przez obie grupy.

5.1.3. Wybór modelu tramwaju niskopodłogowego dla systemu miejskiego transportu publicznego – problem decyzyjny Pr-3

5.1.3.1. Identyfikacja i opis werbalny problemu decyzyjnego Pr-3

Istotą rozważanego problemu decyzyjnego jest ocena i wybór najlepszego/ najkorzystniejszego modelu tramwaju niskopodłogowego dla systemu miejskiego transportu publicznego w Poznaniu. Problem ten jest związany z zamiarem zakupu 40 tramwajów dla obsługi ruchu pasażerskiego w Poznaniu.

W omawianym przypadku celem decydenta jest uzyskanie zagregowanej, ilościowej oceny wszystkich tramwajów i ich uszeregowanie od najlepszego do najgorszego. Do dokonywania wzmiankowanego wyboru taboru, decydent postanowił zastosować podejście partycypacyjne, pozwalające na uczestnictwo wielu podmiotów w procesie decyzyjnym i dążące do znalezienie racjonalnego kompromisu na bazie dyskusji i uwzględniania preferencji i oczekiwań różnych interesariuszy z zamiarem rozważenia możliwie wszystkich aspektów oceny i wzięcia pod uwagę interesów i oczekiwań wszystkich zainteresowanych stron. W podejściu opartym na metodyce wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) i grupowego podejmowania decyzji (GPD) rozważany problem zdefiniowano, zgodnie z klasyfikacją wielokryterialnych problemów decyzyjnych, jako wielokryterialne zadanie szeregowania (rankingu) wariantów, w którym zbiór wariantów został oceniony za pomocą zestawu kryteriów.

Problem ten jest silnie osadzony w realiach, gdyż jest ściśle związany z rozstrzygniętym w 2009 roku przetargiem na zakup 40 niskopodłogowych tramwajów przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne (MPK) Poznań. Analizie poddano siedem modeli tramwajów wytwarzanych przez różnych producentów, dopuszczonych do przetargu. Wśród nich znalazły się: Alstom Citadis (producent: konsorcjum Alstom - Konstal S.A.), Ansaldo Breda Sirio (producent: konsorcjum Ansaldo Breda – Newag), CAF (producent: Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles), PESA 120N (producent: PESA S.A.), Siemens Combino (producent: Siemens), Solaris Tramino (producent:

Solaris Bus and Coach S.A.) oraz Stadler Variobahn/Variotram (producent: Stadler Pankow).

W opisywanej sytuacji decyzyjnej, decydentem jest operator miejskiego systemu transportu publicznego - Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Poznaniu. Podmiotami zainteresowanymi dokonywanym wyborem są: władze miasta oraz mieszkańcy/użytkownicy systemu transportu publicznego. Interesy tych podmiotów powinny być uwzględnione w procedurze wyboru tramwajów.

5.1.3.2. Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego dla problemu decyzyjnego Pr-3

Zbiór wariantów dla problemu decyzyjnego Pr-3

W rozważanym przypadku analizie poddano zestaw siedmiu wariantów – tramwajów, których producenci złożyli wstępne oferty. Wśród nich znaleźli się: **Alstom Citadis – A0001, Ansaldo Breda Sirio – A0002, CAF – A0003, PESA 120N – A0004, Siemens Combino – A0005, Solaris Tramino – A0006 oraz Stadler Variobahn – A0007.** Wszystkie pojazdy to całkowicie niskopodłogowe, wieloczłonowe tramwaje o długości w przedziale od 29 m do 33 m oraz szerokości zawartej w przedziale od 2,3 m do 2,4 m z napędem silnikami prądu przemiennego. Szczegółowa charakterystyka tramwajów została przedstawiona w pracy pod redakcją J. Żaka [352].

Spójna rodzina kryteriów dla problemu decyzyjnego Pr-3

W omawianej sytuacji decyzyjnej Pr-3, do oceny tramwajów wykorzystano zestaw kryteriów (dziewięć kryteriów oznaczonych symbolami K-1 do K-9) uwzględniający różne aspekty oraz różne punkty widzenia. Zestaw ten obejmował:

- **Komfort podroży w tramwaju (K-1)**: kryterium oceniające wygodę, jakość i bezpieczeństwo podróżowania w tramwaju.
- **Charakterystykę trakcyjno-eksploatacyjną tramwaju (K-2)**: kryterium oceniające walory jezdne tramwaju, a także wpływające na bezpieczeństwo podróżowania.
- **Niezawodność tramwaju (K-3)**: kryterium oceniające zdolność tramwaju do bezawaryjnego wykonywania zadań przewozowych w żądanym okresie eksploatacji.
- **Trwałość tramwaju (K-4)**: kryterium oceniające całkowity okres eksploatacji tramwaju, w którym zachowuje on sprawność techniczną i gotowość do realizacji zadań przewozowych.
- **Koszty eksploatacji (K-5)**: kryterium oceniające całkowite, jednostkowe koszty eksploatacji tramwaju, przypadające na 1 km przebiegu.

- **Przyjazność tramwaju dla środowiska (K-6)**: kryterium oceniające wpływ tramwaju na otoczenie.
- **Użyteczność i funkcjonalność tramwaju (K-7)**: kryterium oceniające walory użytkowe i funkcjonalność tramwaju, wpływające na jego przyjazność dla pasażerów oraz wydajność w systemie miejskiego transportu publicznego.
- **Cenę tramwaju (K8)**: kryterium oceniające koszt zakupu pojedynczego tramwaju.
- **Doświadczenie dostawcy tramwaju (K-9)**: kryterium oceniające pozycję i wiarygodność rynkową producenta oraz jego specjalizację w produkcji tramwajów niskopodłogowych oraz doświadczenie w realizacji podobnych zamówień.

W rozważanym przypadku ocenie, przy pomocy zestawu dziewięciu kryteriów, podlegało siedem rozważanych wariantów A0001 do A0007. W przypadku siedmiu kryteriów (uwzględniających podkryteria): K-1, K-2, K-3, K-4, K-6, K-7 i K-9, miary bezwzględne ich podkryteriów (wskaźników) transformowano do postaci względnej, punkty zostały przeliczone z zastosowaniem procedury obliczeniowej zaproponowanej przez R. Kolmana [143] i wykorzystywanej do określenia wartości wskaźników kryterialnych w znormalizowanej skali punktowej. W przypadku pozostałych dwóch kryteriów K-5 (koszty eksploatacji) oraz K-8 (cena tramwaju) wyrażono je w charakterystycznych dla nich jednostkach monetarnych, tj. [zł]. Wartości względne kryteriów K-1, K-2, K-3, K-4, K-6, K-7 i K-9 po przeliczeniu na skalę punktową i zagregowaniu podkryteriów do kryteriów przedstawiono w tabeli 8.

Macierz ocen dla problemu decyzyjnego Pr-3

Macierz ocen 7 wariantów/modeli tramwajów niskopodłogowych (Tabela 8) jest zbiorem indywidualnych wartości poszczególnych wariantów dla wszystkich rozważanych kryteriów i podkryteriów decyzyjnych.

Tabela 8. Macierz ocen wariantów dla rozważanych kryteriów K-1 – K-9

KRYTERIA	PODKRYTERIA		ALSTOM	ANSALDO BREDA	CAF	PESA	SIEMENS	SOLARIS	STADLER
			A0001	A0002	A0003	A0004	A0005	A0006	A0007
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
K-1	Liczba miejsc siedzących	**[pkt]**	0,12	0,00	0,12	1,00	0,65	0,88	0,65
	Liczba miejsc ogółem	**[pkt]**	0,15	0,00	0,70	0,65	0,05	1,00	0,15
	Minimalna szerokość przejścia	**[pkt]**	0,30	0,13	0,13	0,97	0,87	1,00	0,00
	Odległość między siedzeniami naprzeciw siebie	**[pkt]**	0,50	1,00	0,75	0,00	0,75	0,25	0,25
	Odległość między siedzeniami jedno za drugim	**[pkt]**	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00	0,33	0,00
	Wysokość podłogi	**[pkt]**	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00
	Wysokość podłogi w strefie drzwi	**[pkt]**	0,60	0,00	0,86	0,00	1,00	0,00	1,00
	Wysokość przestrzeni pasażerskie	**[pkt]**	1,00	0,13	0,38	0,13	0,00	0,13	0,13
	Sumaryczna szerokość drzwi	**[pkt]**	0,30	0,70	0,30	0,50	0,00	1,00	0,10
	Średnia	**[pkt]**	0,55	0,44	0,58	0,51	0,48	0,62	0,36
1	**2**	**3**	4	5	6	7	8	9	10
K-2	Droga hamowania	**[pkt]**	1,00	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50
	Zdolność pokonywania wzniesień	**[pkt]**	1,00	0,00	0,86	1,00	0,00	0,00	0,00
	Minimalny promień łuku poziomego	**[pkt]**	1,00	0,33	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00
	Minimalny promień łuku pionowego	**[pkt]**	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
	Średnia	**[pkt]**	**0,75**	**0,46**	**0,59**	**0,63**	**0,00**	**0,38**	**0,56**
K-3	Współczynnik gotowości technicznej	**[pkt]**	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Gwarancja ogólna	**[pkt]**	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
	Gwarancja na konstrukcje mechaniczne	**[pkt]**	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
	Średnia	**[pkt]**	**0,33**	**0,00**	**0,33**	**1,00**	**0,33**	**1,00**	**0,33**
K-4	Trwałość (długość okresu eksploatacji)	**[pkt]**	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Przebieg do naprawy głównej	**[pkt]**	0,67	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	1,00
	Średnia	**[pkt]**	**0,58**	**0,25**	**0,25**	**0,25**	**0,65**	**0,25**	**0,75**
K-5	Koszty pełnego utrzymania technicznego na 1km przebiegu	**[zł]**	**6,74**	**7,04**	**6,78**	**6,96**	**6,99**	**6,94**	**7,38**
K-6	Hałas wewnątrz 0km/h	**[pkt]**	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Hałas wewnątrz 50km/h	**[pkt]**	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Hałas na zewnątrz 0km/h	**[pkt]**	0,80	0,80	0,00	1,00	0,80	1,00	1,00
	Hałas na zewnątrz 50km/h	**[pkt]**	0,80	0,00	0,20	0,80	1,00	0,80	0,60
	Średnia	**[pkt]**	**0,40**	**0,20**	**0,05**	**0,95**	**0,95**	**0,95**	**0,90**
K-7	Platformy dla inwalidów	**[pkt]**	0	1	0	1	0	0	1
	Miejsca dla wózków	**[pkt]**	1	1	1	1	1	1	1
	Informacja akustyczna	**[pkt]**	1	1	1	1	1	1	1
	Informacja wizualna	**[pkt]**	1	1	1	1	1	1	1
	Inne	**[pkt]**	1	0	0	1	0	1	1
	Średnia	**[pkt]**	**0,8**	**0,8**	**0,6**	**1**	**0,6**	**0,8**	**1**
K-8	Cena zakupu	**[zł]**	**15,4**	**9,0**	**12,3**	**7,1**	**8,5**	**8,3**	**10,4**
K-9	Liczba miast, które zakupiły tramwaje	**[pkt]**	1,00	0,38	0,27	0,15	0,62	0,00	0,54
	Liczba wyprodukowanych niskopodłogowych tramwajów	**[pkt]**	1,00	0,30	0,20	0,03	0,74	0,00	0,24
	Średnia	**[pkt]**	**1,00**	**0,34**	**0,23**	**0,09**	**0,68**	**0,00**	**0,39**

Model preferencji decydenta dla problemu decyzyjnego Pr-3

W ramach fazy II, ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych po zdefiniowaniu charakterystycznych dla procesu decyzyjnego elementów (wariantów, kryteriów i macierzy ocen) przystąpiono do ustalenia modelu preferencji decydenta i interwenientów. Jak wspomniano wcześniej charakterystyka problemu decyzyjnego wymaga zaangażowania w proces podejmowania decyzji takich podmiotów jak: władze miejskie, operator miejskiego systemu transportu publicznego (występujący w podwójnej roli – interwenienta i decydenta) oraz pasażerów. Z ostatniej grupy interwenientów – pasażerów – wybrano osoby reprezentujące różne grupy wiekowe charakteryzujące się różnymi upodobaniami, nawykami czy zachowaniami transportowymi (uczniów/studentów, ludzi aktywnych zawodowo oraz emerytów).

Z każdym z wymienionych powyżej podmiotów przeprowadzono badania ankietowe. Wynika z nich, że sposób postrzegania przez decydentów i interwenientów wariantów oraz kryteriów ich oceny jest różny. Pasażerowie największą wagę przywiązują do komfortu pojazdów oraz podróży, podczas gdy dla władz miejskich i operatora miejskiego systemu transportu publicznego bardzo istotnymi kryteriami są niezawodność oraz trwałość tramwajów. Decydenci i interwenienci są zgodni, co do tego, że dogodnym sposobem różnicowania istotności poszczególnych kryteriów jest ich hierarchizacja od najbardziej do najmniej istotnych, która może być wyrażona na pewnej skali ocen. Ponadto dostrzeżono dużą wrażliwość decydentów na zmiany wartości poszczególnych kryteriów, wyrażaną poprzez mniej lub bardziej silną preferencję jednego wariantu względem porównywanego.

W rezultacie przeprowadzonych badań ankietowych, uzyskano oceny ważności poszczególnych kryteriów (w postaci globalnych ocen punktowych) oraz wyskalowano wrażliwość decydentów (interwenientów) na wyżej wzmiankowaną zmianę wartości kryteriów (w postaci interwałów).

5.1.3.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego Pr-3

Podobnie jak w przypadku wyboru metody WWD do rozwiązania problemu decyzyjnego Pr-2, wybór metody WWD, która najlepiej odwzorowywałaby preferencje decydenta oraz uwzględniałaby specyfikę analizowanego problemu decyzyjnego Pr-3, został oparty na trzech zasadniczych filarach: analizie wybranych metod WWD, analizie problemu decyzyjnego oraz analizie modelu preferencji decydenta.

Analizę wybranych metod przeprowadzono na podstawie porównania dwóch wybranych metod szeregowania wariantów tj. AHP i ELECTRE III, również jak w przypadku wyboru metody WWD do rozwiązania problemu decyzyjnego Pr-2. Ich analiza porównawcza umożliwiła wyłonienie słabych i mocnych stron tych metod. Najbardziej istotne z nich zostały przedstawione w tabeli 2 w podrozdziale 3.3.

Ważnym aspektem podjętych rozważań była analiza problemu decyzyjnego, z której wynika, że operator transportu publicznego zamierza zakupić 40 tramwajów niskopodłogowych, co wiąże się z dużym kosztem inwestycyjnym, ale także z koniecznością zadbania o ich użyteczność i funkcjonalność połączoną z dużym komfortem podróżowania – sekcji 5.1.3.1. niniejszej dysertacji. Na jej podstawie można stwierdzić, że problem decyzyjny szeregowania i wyboru wariantu najkorzystniejszego modelu tramwaju niskopodłogowego dla systemu miejskiego transportu publicznego w Poznaniu ma charakter strategiczny, a podjęte decyzje mają długofalowe konsekwencje. Problem decyzyjny jest zdefiniowany, jako zagadnienie wielokryterialnego szeregowania 7 wariantów ocenianych za pomocą zestawu 9 kryteriów. Ta podstawowa charakterystyka problemu decyzyjnego wskazuje, że obie analizowane metody WWD mogą być zastosowana do jego rozwiązania.

Kolejnym istotnym aspektem rozważanego problemu decyzyjnego Pr-3 jest dokładność jego odwzorowania, w której uwzględniony jest cel procesu decyzyjnego, zbiór kryteriów i zbiór wariantów. Metodą WWD, która w pełni strukturyzuje problem w ten sposób jest metoda AHP. Jest to niewątpliwie jedna z najbardziej istotnych zalet tej metody. Wykorzystanie metody AHP do przeprowadzenia eksperymentów obliczeniowych wiąże się jednak z koniecznością przeprowadzenia wielu porównań parami na poziomie kryteriów i na poziomie wariantów. W przypadku omawianym 36 porównań parami kryteriów i 189 porównań parami wariantów w odniesieniu do każdego kryterium. Proces ten jest zatem praco- i czasochłonny. W przypadku metody ELECTRE III pracochłonność decydenta i/lub interwenientów jest znacznie mniejsza, gdyż ogranicza się do zdefiniowania dla rozważanych kryteriów, progów równoważności, preferencji i ewentualnie weta oraz ważności kryteriów.

Biorąc pod uwagę sposób postrzegania przez decydenta i interwenientów problemu decyzyjnej oraz sposób modelowania ich preferencji dostrzeżono, że z ich punktu widzenia istotna jest możliwość nadania ważności kryteriom i wariantom ze względu na ich wrażliwość na zmianę wartości poszczególnych kryteriów, wyrażaną przez mniej lub bardziej silną preferencję jednego wariantu względem porównywanego. Sytuacja ta jest niemożliwa do zamodelowania w metodzie ELECTRE III gdzie preferencje są wyrażane – poprzez określenie hierarchii kryteriów i przypisania im wag oraz wspomnianych wcześniej wartości progowych dla poszczególnych kryteriów. W przypadku metody AHP ważność kryteriów nadawana jest w ujęciu lokalnym (porównań parami kryteriów) i w tym przypadku preferuje to tę metodę. Decydent i interwenienci uznali, że mimo mocnej strony metody ELECTRE III, jaką niewątpliwie jest możliwość w trakcie modelowania preferencji określenia progu veta odwzorowującego relację nieporównywalności wariantów względem danego kryterium, to w metodzie AHP poprzez przyznanie 9 punktów przewagi jednego wariantu względem wariantu z nim porównywanego również można ową nieporównywalność określić. Spośród dwóch rozważanych metod, metoda ELECTRE III pozwala na przedstawienie uszeregowania wariantów z uwzględnieniem

nieporównywalności miedzy nimi, metoda AHP daje możliwość prezentacji wyników przedstawiając ilościowo odległość między wariantami.

Na podstawie powyższych przesłanek oraz biorąc pod uwagę mocne i słabe strony rozważanych metod wielokryterialnego szeregowania wariantów, postanowiono przeprowadzić eksperymenty obliczeniowe wykorzystując metodę AHP. Zasadniczą przesłanką wykorzystania w eksperymentach obliczeniowych AHP jest jednak dokładność odwzorowania problemu decyzyjnego poprzez jego strukturyzację oraz możliwość porównań parami ze względu na dużą ilość danych w macierzy ocen zbliżonych lub równych w odniesieniu do poszczególnych wariantów. Ranking finalny wygenerowany w metodzie AHP uwzględnia także informację na temat odległości pomiędzy wariantami, co może wzbogacić informację na temat uzyskiwanych rezultatów.

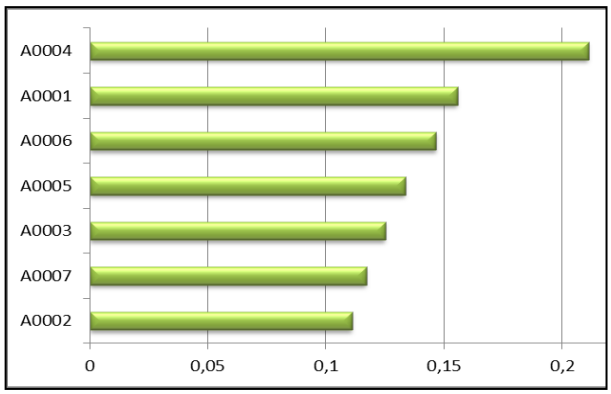
5.1.3.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe dla problemu decyzyjnego Pr-3

Po zdefiniowaniu wariantów i kryteriów, modelu preferencji oraz po wyborze metody WWD, przystąpiono do komputerowych eksperymentów obliczeniowych (faza IV ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych). Modelowanie preferencji decydenta/interwenientów (II faza metody AHP – podrozdział 3.2.3.) polega w omawianym przypadku, na przeprowadzeniu wywiadu z każdą z wymienionych grup osób reprezentujących dany podmiot (składającą się z kilku do kilkudziesięciu osób), określając indywidualne oczekiwania i preferencje każdego reprezentanta w poszczególnych grupach osób. W rezultacie przeprowadzonych badań ankietowych, uzyskano oceny ważności poszczególnych kryteriów (w postaci globalnych ocen punktowych) oraz wyskalowano wrażliwość decydentów (interwenientów) na zmianę wartości kryteriów. Porównania parami przeprowadzono dla kryteriów, podkryteriów i wariantów ocenianych przez wszystkie 3 grupy osób reprezentujących dany podmiot uzyskując 30 macierzy preferencji. Dla każdej macierzy uzyskano bezwzględną, znormalizowaną wagę kryterium/ podkryterium/wariantu. Następnie, uwzględniając grupowy charakter podejmowanych decyzji w dyskusji panelowej zdefiniowano grupowe modele preferencji dla poszczególnych podmiotów, tj. władz miejskich, operatora miejskiego systemu transportu publicznego i pasażerów. W procesie definiowania w/w modeli preferencji reprezentantom poszczególnych podmiotów umożliwiono wzajemną interakcję i wzajemne oddziaływanie na budowanie określonych modeli preferencyjnych. Na podstawie oczekiwań zdefiniowanych przez poszczególne podmioty wyznaczono także jeden uśredniony grupowy model preferencji. W tabeli 9 zamieszczono bezwzględne wagi kryteriów, dla wszystkich podmiotów oraz dla wspólnego grupowego modelu preferencji.

Tabela 9. Bezwzględne wagi kryteriów uzyskane po zamodelowaniu preferencji decydenta i interwenientów w metodzie AHP

Kryterium	Pasażerowie	Władze miejskie	Operator miejskiego systemu transportu publicznego	Grupowy model preferencji
K-1	0,195	0,106	0,159	0,155
K-2	0,062	0,058	0,019	0,031
K-3	0,163	0,186	0,159	0,155
K-4	0,076	0,186	0,159	0,140
K-5	0,097	0,186	0,159	0,140
K-6	0,139	0,106	0,061	0,079
K-7	0,163	0,058	0,093	0,102
K-8	0,076	0,186	0,159	0,163
K-9	0,029	0,058	0,032	0,035

Po uzyskaniu wyżej opisanych preferencji dla decydenta i interwenientów przystąpiono do oceny wariantów. W omawianym podejściu opartym na metodyce WWD i metodyce GPD, droga do uzyskania rankingu końcowego przebiegała dwutorowo. Z jednej strony model preferencji wspólnie zdefiniowany dla 3 grup podmiotów (władz miejskich, operatora i pasażerów) posłużył do wyznaczenia jednego ranking nazwanego rankingiem ex-ante. Z drugiej strony zamodelowano osobno preferencje każdej z grup, po czym na ich podstawie przeprowadzono osobne eksperymenty obliczeniowe i uzyskano 3 rankingi. Następnie wykorzystując procedurę agregacji wartości funkcji użyteczności poszczególnych wariantów w tych rankingach, osiągnięto ranking ex-post. Końcowy ranking uzyskano poprzez procedurę agregacji wartości funkcji użyteczności wariantów w rankingach ex-ante i ex-post (Rysunek 15).



Rysunek 15. Ranking końcowy modeli tramwajów

5.1.3.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla problemu decyzyjnego Pr-3

W rankingu końcowym na szczycie znalazł się wariant A0004 (Pesa), na drugim miejscu wariant A0001 (Alstom). Na końcu rankingu znalazł się wariant A0002 (Ansaldo Breda).

Obok rozwiązania problemu decyzyjnego, wykazano również przy rozwiązywaniu sytuacji decyzyjnej Pr-3, że metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) wspólnie z metodyką grupowego podejmowania decyzji (GPD) pozwala decydentom na spełnienie zasad dobrego zarządzania publicznego opartego na modelu partycypacyjnym. Najważniejsze spostrzeżenia z rozwiązania problemu decyzyjnego Pr-3 z zastosowaniem metodyki WWD i metodyki GPD w podejściu partycypacyjny to:

- Dostosowanie procedury postępowania do indywidualnej specyfiki problemu decyzyjnego (uwzględnienie preferencji różnych podmiotów, zdefiniowanie spójnej rodziny kryteriów oceniających, uwzględnienie szerokiego zbioru rozważanych wariantów).
- Zaangażowanie wszystkich podmiotów zainteresowanych rozważanym problemem.
- Rozbudowany model preferencji uwzględniający ważność kryteriów oraz wrażliwość decydenta na zmianę wartości kryteriów. Dążenie do osiągnięcia kompromisu i porozumienia społecznego. Ważność kryteriów zdefiniowana w trakcie dyskusji panelowych.
- Elastyczne traktowanie ograniczeń, poddanie ocenie zbioru siedmiu modeli tramwajów.
- Interaktywne działanie poprzez dialog, konsultacje, panele dyskusyjne oraz wzajemną interakcję pomiędzy uczestnikami procesu decyzyjnego.
- Transparentność procesu podejmowania decyzji na każdym jego etapie. Możliwość kształtowania i weryfikacji rezultatów przez wszystkie podmioty.
- Zaangażowanie społeczności w proces decyzyjny, dążenie na drodze konsultacji do osiągnięcia rozwiązania kompromisowego pozwalającego na zbudowanie porozumienia społecznego.

Należy również podkreślić, że zastosowane podejście z wykorzystaniem metodyki WWD i metodyki GPD do oceny wariantów (ofert przetargowych) nie jest sprzeczne z ustawą Prawo Zamówień Publicznych i może być wykorzystywane w zamówieniach publicznych. Dlatego dziwi jego pomijanie w rozwiązywaniu tego typu problemów. Świadczy to o silnym przywiązaniu do tradycyjnego modelu zarządzania i realizowania „utartych", nieefektywnych schematów.

Wyłoniony wariant tramwaju niskopodłogowego (zakup 40 tramwajów), z wykorzystaniem metodyk grupowego i wielokryterialnego podejmowania decyzji, na kolejnych poziomach jest oznaczony, jako PuT-4 i został zaklasyfikowany do grupy projektów transportu publicznego.

5.2. Poziom II – uzyskanie rankingu merytorycznego projektów transportu miejskiego

Poziom II metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego, zgodnie z procedurą zaproponowaną w podrozdziale 4.3., polega na uzyskaniu rankingu merytorycznego projektów transportu miejskiego niezależnie od rodzaju transportu, który reprezentują. W przypadku omawianym, w celu uzyskania ów rankingu, w pierwszej kolejności prowadzono prace w obrębie konkretnej klasy, do których na poziomie I przydzielono warianty/projekty transportu miejskiego, reprezentujące określony rodzaj transportu. Rezultatem prowadzonych prac, jest uzyskanie, dla każdej z nich, odrębnego rankingu merytorycznego umieszczonych tam projektów. Ze względu na to, że do oceny projektów transportu miejskiego w każdej klasie zastosowano odmienne kryteria merytoryczne (różny charakter transportowy projektów w poszczególnych klasach) oraz ze względu na różne ilości projektów w poszczególnych klasach (klasa PrT – 7 projektów, klasy PuT i MN po 4 projekty oraz klasa IT – 3 projekty) przeprowadzono szeregowanie projektów wewnątrz każdej klasy – liczba rankingów jest równa liczbie klas, w niniejszej dysertacji wynosi 4. W celu uzyskania końcowego rankingu merytorycznego, zastosowano oryginalną formułę normalizacji użyteczności poszczególnych projektów, uwzględniającą odmienną liczebność rozważanych klas. Rezultatem cząstkowym są, zatem rankingi merytoryczne projektów transportu miejskiego w poszczególnych klasach, a rezultatem końcowym, finalny ranking merytoryczny odnoszący się do wszystkich projektów niezależnie, z której klasy się wywodzą tj. niezależnie od rodzaju transportu miejskiego, który reprezentują.

5.2.1. Identyfikacja i opis werbalny podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) rozważanego na poziomie II

Na poziomie II wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego, faza I ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych składa się z identyfikacji i opisu werbalnego problemu decyzyjnego. Istotą rozważanego na tym poziomie (II) problemu decyzyjnego jest ocena projektów transportowych reprezentujących różne rodzaje transportu miejskiego uwzględniająca ocenę merytoryczną projektów według odmiennych celów, charakterystycznych dla rozważanej problematyki transportowej, np. maksymalizacja liczby miejsc parkingowych na parkingach typu „Parkuj i Jedź” lub minimalizacja czasu podróży w transporcie publicznym czy prywatnym. Jak porównać koszty inwestycyjne ścieżki rowerowej, czy trasy tramwajowej, z kosztami budowy odcinka wewnątrzmiejskiej obwodnicy. Opisany problem decyzyjny (faza I ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych) jest związany z zarządzaniem transportem miejskim i zarządzaniem miastem.

Problem decyzyjny jest związany z analizą rzeczywistych projektów transportu miejskiego przewidzianych do realizacji w Poznaniu. Rezultatem przeprowadzonej

oceny ma być określenie przydatności/użyteczności projektów transportu miejskiego dla miasta Poznania z punktu widzenia celów o charakterze transportowym.

Rozważane zagadnienie sformułowano, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów, w którym zbiór wariantów powinien zostać oceniony za pomocą charakterystycznych zestawów kryteriów merytorycznych właściwych dla danej klasy projektów transportu miejskiego i przedstawienie jednego, wspólnego dla wszystkich projektów (niezależnie od klasy, w której się znajdowały), rankingu merytorycznego.

W rozważanym procesie decyzyjnym, decydentem była grupa miejskich urzędników reprezentujących Urząd Miejski i odpowiedzialnych za ostateczny wybór kolejności realizacji projektów transportu miejskiego oraz różne grup interesariuszy, w tym: mieszkańcy (użytkownicy) miasta, pasażerowie i operator transportu publicznego. W celu ustalenia jednolitego, kompromisowego modelu preferencji i oczekiwań decydenta i interwenientów, zaproponowano przeprowadzenie dyskusji i burzy mózgów.

Wielokryterialny problem decyzyjny, zidentyfikowany i opisany werbalnie na poziomie II jest podproblemem decyzyjnym – merytorycznym (PPD-M) wydzielonym z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPDSW), którego rozwiązanie jest niezbędne, aby na poziomie V uzyskać końcowy ranking projektów transportu miejskiego.

5.2.2. Konstrukcja matematycznego modelu decyzyjnego dla podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M)

Faza II, ogólnej procedury rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, polega na tworzeniu modelu matematycznego opisanego podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M), który na poziomie II opracowanej metodyki, zostały sformułowany w postaci zadania wielokryterialnego szeregowania wariantów. W takim przypadku, model matematyczny zagadnienia, bazuje na przedstawieniu wariantów, konstrukcji spójnej rodziny kryteriów, macierzy ocen, zawierającej ilościowe miary oceny wariantów za pomocą wszystkich kryteriów oraz modelu preferencji decydenta/interwenientów obejmującego ważność kryteriów oraz wrażliwość decydenta/interwenientów na zmiany wartości kryteriów.

5.2.2.1. Charakterystyka wariantów na poziomie II

Zbiór wariantów tworzy 18 projektów transportowych, przewidzianych do realizacji w Poznaniu, w danym roku budżetowym i w wieloletniej prognozie finansowej. Na poziomie I, wybrano 18 wariantów (projektów transportu miejskiego) i dokonano podziału na cztery klasy projektów związanych z transportem prywatnym, publicznym, mobilnością niezmotoryzowaną oraz integracją transportu miejskiego.

Wśród wariantów znalazły się np.: budowa i rozbudowa odcinka drogi, budowa wiaduktu, budowa zajezdni tramwajowej skojarzona z budową linii tramwajowej, budowa nowej trasy tramwajowej, modernizacja trasy tramwajowej, budowa parkingów rowerowych, parkingów przesiadkowych (P&R, P&G). Dane dotyczące projektów w przypadku niniejszej pracy doktorskiej posłużyły jedynie do celów naukowych, stąd nazwy wariantów zakodowano skrótem, a ich opis ograniczono do minimum. Zgodnie z tym podziałem stworzono cztery klasy wariantów (projektów) przedstawione poniżej.

Warianty w klasie projektów związanych z transportem prywatnym

W klasie PrT wariantów (projektów) związanych z transportem prywatnym znalazły się projekty bezpośrednio wpływające na transport prywatny i uwzględnione w *Programie Drogowym Miasta Poznania* [234] oraz projekt który był wynikiem rozwiązania problemu decyzyjnego – Pr-2 (podrozdział 5.1.2.). Projekty te obejmują takie inwestycje jak: budowa lub rozbudowa odcinka drogi, przebudowa fragmentu ulicy połączona ze zmianą organizacji ruchu, budowa odcinka wewnątrzmiejskiej obwodnicy. Oczywiście, projekty te pośrednio wpływają także na transport publiczny, w szczególności na transport autobusowy i tramwajowy, jednakże ze względów formalnych projekty z programu – *Program Drogowy Miasta Poznania [234]*, zostały zaliczone do klasy PrT „Transport prywatny". Zestaw 7 wariantów – projektów „Transportu prywatnego" obejmuje następujące przedsięwzięcia:

- **Wariant PrT-1** – budowa nowego odcinka drogi „A" o długości ok. 2 km, w południowej części miasta, charakteryzującej się parametrami drogi ekspresowej o przekroju 2x3 (dwie jezdnie i trzy pasy ruchu na każdej jezdni). Stanowi ona fragment południowego odcinka wewnątrzmiejskiej obwodnicy.
- **Wariant PrT-2** – rozbudowa istniejącej drogi „B" do parametrów drogi ekspresowej o przekroju 2x3 (dwie jezdnie i trzy pasy ruchu na każdej jezdni) na długości ok. 5 km, w północnej części miasta. Stanowić ona będzie fragment północnego odcinka wewnątrzmiejskiej obwodnicy.
- **Wariant PrT-3** – rozbudowa istniejącej drogi „C" do parametrów drogi ekspresowej o przekroju 2x3 (dwie jezdnie i trzy pasy ruchu na każdej jezdni) na długości ok 2,5 km, w północnej części miasta. Stanowić ona będzie fragment północnego odcinka wewnątrzmiejskiej obwodnicy.
- **Wariant PrT-4** – budowa nowego odcinka drogi „D" o długości ok. 8 km, w zachodniej części miasta charakteryzującej się parametrami drogi ekspresowej o przekroju 2x3 (dwie jezdnie i trzy pasy ruchu na każdej jezdni). Droga ta, stanowi zachodni odcinek wewnątrzmiejskiej obwodnicy.
- **Wariant PrT-5** – przebudowa istniejącej ulicy Grunwaldzkiej (na długości od ul. Smoluchowskiego do ul. Malwowej) do parametrów drogi głównej

(klasy G o przekroju 2x2, dwupasowym, dwujezdniowym i pasem rozdzielającym wydzielone torowisko tramwajowe). Przecięcie ul. Grunwaldzkiej z ul. Smoluchowskiego, stanowi węzeł z wewnątrzmiejską obwodnicą (III rama). W wariancie tym przewiduje się budowę wiaduktów nad wewnątrzmiejską obwodnicą – dwa drogowe i jeden torowy (wiadukt północny – drogowy, wiadukt środkowy – tramwajowy oraz wiadukt południowy – drogowy). Na całym analizowanym odcinku, przewiduje się budowę torowiska tramwajowego zakończonego zintegrowaną pętlą autobusowo-tramwajową wraz z obiektem obsługi podróżnych.

- **Wariant PrT-6** – rozbudowa istniejącej drogi „E" do parametrów drogi głównej ruchu przyśpieszonego o przekroju 2x3 (dwie jezdnie i trzy pasy ruchu na każdej jezdni) na długości ok 3,5 km. Odcinek ten stanowi dojazd do autostrady.
- **Wariant PrT-7** – przebudowa istniejącego węzła dwupoziomowego w centrum miasta do węzła trójpoziomowego obejmująca: przebudowę przejść podziemnych w obrębie ronda oraz wyposażenie w udogodnienia dla osób niepełnosprawnych ruchowo (windy, schody ruchome). Dostosowanie przystanków tramwajowych znajdujących się na poziomie „0" do potrzeb osób niepełnosprawnych ruchowo. Budowa poziomu „-2" wraz z przystankami tramwajowymi oraz zapewnienie skomunikowania ich z istniejącym przejściem podziemnym (poziom „-1") oraz przystankami na poziomie „0". Realizacja elementów systemu monitoringu wizyjnego, poprawiającego bezpieczeństwo pasażerów.

Warianty w klasie projektów związanych z transportem publicznym

W klasie PuT wariantów (projektów) związanych z transportem publicznym, znalazły się przedsięwzięcia bezpośrednio wpływające na transport publiczny, uwzględnione w *Zrównoważonym Planie Rozwoju Transportu Publicznego Aglomeracji Poznańskiej* [341] oraz projekt który był wynikiem rozwiązania problemu decyzyjnego – Pr-3 (podrozdział 5.1.3.). Projekty w szczególności dotyczą transportu szynowego, a więc obejmują np. budowę lub modernizację linii tramwajowej, rekonstrukcję pętli tramwajowej, wprowadzenie linii szybkiej kolei miejskiej (w Poznaniu Poznański Szybki Tramwaj – PST), modernizację zaplecza obsługowego dla tramwajów (zajezdnie), zmianę przebiegu poszczególnych linii tramwajowych oraz zakup tramwajów niskopodłogowych zostały zaliczone do klasy PuT „Transport publiczny". Klasa PuT zawiera 4 projekty/warianty:

- **Wariant PuT-1** – budowa w pełni zautomatyzowanej zajezdni tramwajowej o powierzchni 17 hektarów zlokalizowanej we wschodniej części miasta. Zajezdnia może pomieść 150 tramwajów, a na jej obszarze znajduje się 13 km torów i 109 zwrotnic tramwajowych. Budowa zajezdni skojarzona z budową ok. 1,6 km linii tramwajowej.

- **Wariant PuT-2** – budowa nowej linii tramwajowej „A” o długości ok 1,6 km we wschodniej części miasta łączącej osiedla mieszkaniowe oraz centra handlowe z centrum miasta. Linia tramwajowa stanowi także połączenie z planowaną zajezdnią tramwajową. Na odcinku 1,1 km linia przebiega w tunelu, w którym zlokalizowane są dwa przystanki.
- **Wariant PuT-3** – modernizacja ok. 10 km torowisk tramwajowych łączących pętlę na wschodzie miasta z pętlą na południu miasta i przebiegających przez centrum. W ramach modernizacji przewidziano także wymianę rozjazdów tramwajowych.
- **Wariant PuT-4** – zakup 40 tramwajów niskopodłogowych (zgodnie z wynikiem uzyskanym przy rozwiązaniu problemu decyzyjnego Pr-3) dla systemu miejskiego transportu publicznego.

Warianty w klasie projektów związanych z mobilnością niezmotoryzowaną

W klasie MN dotyczącej mobilności niezmotoryzowanej znalazły się przedsięwzięcia związane z podróżami rowerowymi i pieszymi uwzględnione w *Programie Rowerowym Miasta Poznania* [235], np. budowa ścieżek rowerowych, przebudowa połączeń/ skrzyżowań ruchu rowerowego i pieszego z ruchem pojazdów drogowych i szynowych, budowa parkingów rowerowych. Zestaw 4 wariantów – projektów w klasie MN „Mobilność niezmotoryzowana” obejmuje następujące przedsięwzięcia/warianty:

- **Wariant MN-1** – budowa siedmiu monitorowanych parkingów rowerowych o pojemności od 5 do 50 rowerów, zlokalizowanych w sąsiedztwie pętli tramwajowych na terenie całego miasta.
- **Wariant MN-2** – budowa parkingu rowerowego liczącego 25 miejsc parkingowych, zlokalizowanego przy pętli autobusowej w północno – zachodniej części miasta.
- **Wariant MN-3** – budowa pięciu chronionych parkingów rowerowych o pojemności od 10 do 40 rowerów, zlokalizowanych w centralnej części miasta w pobliżu kluczowych węzłów transportowych.
- **Wariant MN-4** – budowa dziesięciu parkingów rowerowych o pojemności od 15 do 60 rowerów, zlokalizowanych w pobliżu miejsc atrakcyjnych turystycznie/rekreacyjnie na obszarze całego miasta.

Warianty w klasie projektów związanych z integracją transportu miejskiego

W klasie IT wariantów (projektów) związanych z integracją transportu miejskiego znalazły się inwestycje integrujące transport prywatny i publiczny uwzględnione w *Polityce Parkingowej Miasta Poznania* [227] oraz projekt który jest wynikiem

rozwiązania problemu decyzyjnego – Pr-1 (podrozdział 5.1.1.). Projekty te obejmują takie inwestycje jak np. budowa parkingów typy „Parkuj i Jedź" (ang. „Park and Ride" – P&R) i parkingów typu „Parkuj i idź" (and. „Park and Go" – P&G), które zostały zaliczone do klasy „Integracja transportu miejskiego". Zestaw 3 wariantów – projektów „Integracja transportu miejskiego" obejmuje następujące przedsięwzięcia:

- **Wariant IT-1** – budowa czteropoziomowego podziemnego parkingu w systemie „Parkuj i Idź" (ang. *„Park & Go"* – P&G) o powierzchni 8 tys. metrów kwadratowych i pojemności ok. 300 samochodów w ścisłym centrum miasta tzn. w obrębie obszaru ograniczonego ulicami tworzącymi tzw. *obwodnicę wewnątrzmiejską*. Oddanie do użytku parkingu powiązane jest z likwidacją takiej samej liczby (w przybliżeniu) miejsc parkingowych na chodnikach lub przy krawężnikach w otaczającym obszarze.
- **Wariant IT-2** – budowa trzech parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. *Park and Ride* – P&R) zlokalizowanych na oś. Sobieskiego, przy al. Polskiej oraz przy ul. Łacina (zgodnie z wynikiem uzyskanym przy rozwiązaniu sytuacji decyzyjnej Pr-1). Średnia wielkość parkingów wynosi około 300 miejsc parkingowych. Budowie parkingów towarzyszy zniesienie opłaty za korzystanie z transportu publicznego dla kierowców pozostawiających swoje samochody na tych parkingach i wnoszących za to opłatę.
- **Wariant IT-3** – budowa pięciopoziomowego parkingu w centrum miasta o powierzchni ok. 10000 metrów kwadratowych i pojemności ok. 450 samochodów. Oddanie do użytku parkingu powiązane jest z likwidacją takiej samej liczby miejsc parkingowych na chodnikach lub przy krawężnikach w otaczającym obszarze, jaka zostanie udostępniona w ramach zrealizowanej inwestycji.

5.2.2.2. Kryteria merytoryczne

Każdy z wariantów (18 projektów transportu miejskiego), analizowanych w niniejszej dysertacji, został poddany kolejno ocenie z wykorzystaniem trzech grup kryteriów – ***merytoryczne, sektorowe i strategiczne***. Pierwsza grupa kryteriów – ***merytoryczne,*** dostosowana jest do charakterystyki rozważanych projektów i uwzględnia ich specyfikę branżową. Stąd kryteria tej grupy odnoszą się przede wszystkim do oceny zjawisk transportowych i skoncentrowane są na pomiarze wielkości i parametrów transportowych związanych z zarządzaniem transportem miejskim na poziomie operacyjnym (również związanych z zarządzaniem miastem na poziomie operacyjnym).

Kryteria merytoryczne zostały podzielone na cztery grupy odpowiadające czterem opisanym wyżej klasom wariantów (projektów transportu miejskiego). Niektóre z kryteriów powtarzają się w każdej klasie w dokładnie takim samym rozumieniu, inne są wyznaczane w różny sposób a jeszcze inne są charakterystyczne tylko dla danej klasy.

Kryteria oceny merytorycznej wariantów z klasy PrT

- **Koszty inwestycji (KM-PrT-1)** – kryterium minimalizowane wyrażone w milionach złotych, oceniające wielkość całkowitych nakładów finansowych niezbędnych do zrealizowania danej inwestycji. W kryterium uwzględnione są aspekty konieczne do zrealizowania inwestycji tj. koszty przygotowania niezbędnej dokumentacji, ewentualnych wykupów działek, koszty budowy, itp.
- **Wewnętrzna stopa zwrotu – IRR (KM-PrT-2)** – kryterium maksymalizowane wyrażone w procentach oceniające poziom rentowności/oprocentowania kapitału, przy którym następuje zrównoważenie przepływów pieniężnych tj. kosztów i przychodów (NPV =0) z uwzględnieniem ich wartości w czasie. Kryterium to jest doskonałym miernikiem rentowności inwestycji, mierzącym wielkość i tempo zwrotu z inwestycji w skali 25 lat. W wyznaczeniu kryterium uwzględniono wyłącznie koszty i przychody związane z działalnością transportową.
- **Jakość infrastruktury drogowej (KM-PrT-3)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone procentowo, jako przyrost udziału dróg utwardzonych we wszystkich drogach w rozważanych rejonach transportowych. Kryterium ocenia standard układu drogowego.
- **Średni czas podróży (KM-PrT-4)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w minutach i oceniające wpływ inwestycji na zmianę średniego czasu podróży pasażerskich, które przebiegają przez analizowane rejony transportowe.
- **Stopień przyjazności dla środowiska (KM-PrT-5)** – maksymalizowane kryterium, wyrażone w punktach i oceniające wpływ danej inwestycji na środowisko naturalne w rozważanym rejonie transportowym. Uwzględniono w nim zarówno przyrost emisji szkodliwych składników spalin oraz hałasu związane z realizowanym projektem transportowym jak i szkodliwą ingerencję w środowisko naturalne (np. wycinka drzew) przy jego realizacji. Kryterium mierzy wspomniany stopień przyjazności projektu dla środowiska w skali od 0 do 10 punktów gdzie 0 oznacza małą przyjazność projektu transportowego dla środowiska (wysoka emisja hałasu i spalin, duża i szkodliwa ingerencja człowieka w naturę), zaś 10 pkt. oznacza dużą przyjazność projektu transportowego dla środowiska (niska emisja hałasu i spalin, mała i nieszkodliwa ingerencja człowieka w naturę).
- **Stopień wykorzystania infrastruktury drogowej (KM-PrT-6)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone procentowo, jako udział natężenia ruchu w przepustowości na odcinkach dróg powstałych w efekcie zrealizowania inwestycji. Jest to kryterium oceniające zasadność realizacji inwestycji z punktu widzenia warunków ruchu – uwzględnia zarówno sytuacje przeciążenia odcinków drogi, jak i zbyt niskiego wykorzystania infrastruktury.

- **Uciążliwość procesu inwestycji (KM-PrT-7)** – kryterium minimalizowane, wyrażone w skali punktowej (0-10), oceniające wpływ procesu inwestycji na sąsiedztwo. W wyznaczeniu tego kryterium uwzględniono planowany czas utrudnień związanych z budową oraz długość objazdów z nią związanych.
- **Bezpieczeństwo ruchu (KM-PrT-8)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej (0-10 pkt), jako zmiana poziomu bezpieczeństwa ruchu po zrealizowaniu danej inwestycji. Kryterium oceniające wpływ planowanej inwestycji na liczbę wypadków w analizowanym rejonie transportowym. Kryterium to uwzględnia wskaźnik ryzyka wystąpienia wypadku w zależności od rozwiązań infrastrukturalnych (rodzaj skrzyżowań, liczba i rodzaj przejść dla pieszych itp.) oraz natężenie potoków ruchu (pieszego i kołowego).

Kryteria oceny merytorycznej wariantów z klasy PuT

- **Koszty inwestycji (KM-PuT-1)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium KM-PrT-1.
- **Wewnętrzna stopa zwrotu – IRR (KM-PuT-2)** – definicja tego kryterium jest tożsama z kryterium KM-PrT-2.
- **Dostępność do transportu publicznego (KM-PuT-3)** – kryterium minimalizowane oceniające gęstość sieci transportowej, mierzone średnim czasem dojścia do przystanków transportu publicznego. Kryterium wyrażone w minutach.
- **Bezpośredniość podróży (KM-PuT-4)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone, jako procentowy udział podróży odbywających się bezpośrednio (bez przesiadki) we wszystkich podróżach transportem publicznym.
- **Stopień przyjazności dla środowiska (KM-PuT-5)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium KM-Prt-5.
- **Średnia prędkość w sieci (KM-PuT-6)** – kryterium maksymalizowane, mierzone w km/h, wyrażone, jako średnia ważona prędkości autobusów i tramwajów w całej sieci. Jako wagi zastosowano udział podróży odbywanych tymi środkami we wszystkich podróżach wykonywanych transportem publicznym.
- **Interwał ruchu (KM-PuT-7)** – kryterium minimalizowane, mierzone w minutach, wyrażone, jako rozkład odstępów czasu pomiędzy środkami transportu publicznego.
- **Komfort podróży (KM-PuT-8)** – kryterium maksymalizowane, oceniające standard podróży środkami transportu publicznego. W kryterium tym uwzględniono liczbę miejsc w pojazdach niskopodłogowych, liczbę miejsc w pojazdach klimatyzowanych, dostępność miejsc siedzących. Kryterium zostało wyrażone w skali punktowej .
- **Uciążliwość procesu inwestycji (KM-PuT-9)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium KM-PrT-7.

- **Bezpieczeństwo (KM-PuT-10)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej (0-10 pkt), jako zmiana poziomu bezpieczeństwa ruchu po zrealizowaniu danej inwestycji. Kryterium oceniające wpływ planowanej inwestycji na ogólny poziom bezpieczeństwa w rozważanym rejonie transportowym (zarówno bezpieczeństwa ruchu jak i bezpieczeństwa sytuacyjnego np. na przystankach czy pojazdach transportu publicznego (por. ang. *safety i security*).
- **Jakość infrastruktury transportu publicznego (KM-PuT-11)** – kryterium maksymalizowane wyrażone w skali punktowej, oceniające wpływ danej inwestycji, na jakość infrastruktury transportu publicznego (np. przystanki, torowiska, dworce).

Kryteria oceny merytorycznej wariantów z klasy MN

- **Koszty inwestycji (KM-MN-1)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium KM-PrT-1.
- **Wewnętrzna stopa zwrotu – IRR (KM-MN-2)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium Km-PrT-2.
- **Jakość infrastruktury dla mobilności niezmotoryzowanej (KM-MN-3)** – kryterium maksymalizowane, oceniające wpływ danej inwestycji, na jakość infrastruktury przeznaczonej dla rowerzystów i pieszych. W kryterium tym uwzględniono liczbę miejsc postojowych na parkingach rowerowych oraz liczbę przejść dla pieszych w pełni dostosowanych dla niepełnosprawnych.
- **Integracja z transportem publicznym (KM-MN-4)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone liczbą miejsc na parkingach rowerowych oraz liczbą wypożyczalni rowerowych zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie kluczowych węzłów przesiadkowych. Kryterium ocenia możliwość połączenia w podróżach przemieszczania się rowerem i środkami transportu publicznego.
- **Uciążliwość procesu inwestycji (KM-MN-5)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium KM-PrT-7.
- **Bezpieczeństwo (KM-MN-6)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej (0-10 pkt), jako zmiana poziomu bezpieczeństwa ruchu po zrealizowaniu danej inwestycji. Kryterium oceniające wpływ planowanej inwestycji na ogólny poziom bezpieczeństwa podróży niezmotoryzowanych w rozważanym rejonie transportowym.

Kryteria oceny merytorycznej wariantów z klasy IT

- **Koszty inwestycji (KM-IT-1)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium KM-PrT-1.

- **Wewnętrzna stopa zwrotu – IRR (KM-IT-2)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium KM-PrT-2.
- **Wskaźnik integracji transportu (KM-IT-3)** – kryterium maksymalizowane oceniające stopień zintegrowania transportu mierzony liczbą rodzajów oraz liczbą linii transportu publicznego w węźle przesiadkowym zlokalizowanym najbliżej analizowanego parkingu.
- **Stopień przyjazności dla środowiska (KM-IT-4)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium KM-PrT-5.
- **Uciążliwość procesu inwestycji (KM-IT-5)** – definicja tego kryterium jest tożsama z definicją kryterium KM-PrT-7.
- **Dostępność (KM-IT-6)** – kryterium minimalizowane oceniające średni czas dojścia z rozważanego parkingu na najbliższy przystanek transportu publicznego. Kryterium wyrażone w minutach.

5.2.2.3. Macierz ocen wariantów dla podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M)

Dla każdego z wariantów zdefiniowanych w sekcji 5.2.2.1, wyznaczono wartości powyżej zdefiniowanych kryteriów, uzyskując macierz ocen zaprezentowaną w tabeli 10.

Tabela 10. Macierz ocen dla rozważanych wariantów i kryteriów na poziomie II

	Kryteria merytoryczne										
Warianty	**KM-PrT-1 [mln zł]**	**KM-PrT-2 [%]**	**KM-PrT-3 [%]**	**KM-PrT-4 [min]**	**KM-PrT-5 [pkt]**	**KM-PrT-6 [%]**	**KM-PrT-7 [pkt]**	**KM-PrT-8 [pkt]**			
PrT-1	55,2	6	14	9,1	7	32,0	3	6			
PrT-2	942,0	5	3	2,5	7	31,0	6	4			
PrT-3	583,0	8	4	3,4	7	33,0	7	3			
PrT-4	1910,0	12	35	10,3	3	45,0	7	7			
PrT-5	302,0	6	1	8,4	3	36,0	8	9			
PrT-6	70,0	4	2	2,4	1	36,5	6	3			
PrT-7	200,0	5	1	4,5	4	37,9	9	7			
Warianty	**KM-PuT-1 [mln zł]**	**KM-PuT-2 [%]**	**KM-PuT-3 [min]**	**KM-PuT-4 [%]**	**KM-PuT-5 [pkt]**	**KM-PuT-6 [km/h]**	**KM-PuT-7 [min]**	**KM-PuT-8 [pkt]**	**KM-PuT-9 [pkt]**	**KM-PuT-10 [pkt]**	**KM-PuT-11 [pkt]**
PuT-1	250,0	1	7,2	58	3	23,0	14,5	3	3	3	2
PuT-2	110,0	5	6,9	59	3	24,0	14	4	6	2	6
PuT-3	34,0	-2	7,1	58	3	23,5	14,2	6	7	1	5
PuT-4	250,0	11	7,0	60	5	24,0	13,8	6	7	5	7
Warianty	**KM-MN-1 [mln zł]**	**KM-MN-2 [%]**	**KM-MN-3 [pkt]**	**KM-MN-4**	**KM-MN-5 [pkt]**	**KM-MN-6 [pkt]**					
MN-1	2,6	-5	6	72	2	5					
MN-2	0,4	-5	5	30	1	7					
MN-3	2,1	-5	7	99	8	4					
MN-4	2,8	-5	8	28	4	8					
Warianty	**KM-IT-1 [mln zł]**	**KM-IT-2 [%]**	**KM-IT-3**	**KM-IT-4**	**KM-IT-5 [pkt]**	**KM-IT-6 [min]**					
IT-1	14,0	5	3	3	4	3					
IT-2	14,0	3	2	7	2	1					
IT-3	10,0	3	3	2	6	5					

5.2.2.4. Model preferencji decydenta/interwenientów – poziom II – merytoryczny

W ramach fazy II ogólnego postępowania przy rozwiązywaniu wielokryterialnych problemów decyzyjnych, po zdefiniowaniu wariantów (sekcja 5.2.2.1.) i kryteriów (sekcja 5.2.2.2.) oraz zaprezentowaniu macierzy ocen (Tabela 10), przystąpiono do ustalenia modelu preferencji decydenta/interwenientów. Z decydentem i interwenientami, w celu ustalenia ich wspólnego stanowiska w sprawie wyrażenia

preferencji i oczekiwań, przeprowadzono dyskusję i burzę mózgów. Działania te miały na celu określenia wartości kryteriów i wartości wrażliwości na zmiany wartości kryteriów. Wynika z nich, że sposób postrzegania przez decydenta i interwenientów wariantów oraz kryteriów merytorycznych we wszystkich spójnych rodzinach tych kryteriów, polega na określeniu istotności danego kryterium merytorycznego oraz istotności danego wariantu względem konkretnego kryterium merytorycznego poprzez wagi, którymi wyrażają oni swoje subiektywne odczucia istotności kryteriów i wariantów. W rezultacie akceptowany jest model preferencji przez wszystkich członków poszczególnych grup interwenientów (pasażerów, operatora transportu publicznego) oraz władz miejskich. Najbardziej skomplikowany proces negocjacji i definicji wspólnego modelu preferencji był w przypadku pasażerów. Przedstawiciele tej grupy mieli najbardziej zróżnicowane opinie zatem rola analityka była znacząca.

Ważność kryteriów może być wyrażona w skali bezwzględnej oraz w postaci względnych współczynników ważności określających wagę poszczególnych kryteriów. Wrażliwość na zmiany wartości kryteriów oznacza, przy jakich wartościach kryteriów decydent zaczyna rozróżniać warianty. Ową wrażliwość na zmiany wartości kryteriów decydent może definiować za pomocą progów preferencji (*I* –równoważności, *P* – przewyższania i *R* – nieporównywalności) każdego kryterium lub za pomocą względnych współczynników ważności dla wariantów porównywanych parami względem każdego kryterium. Decydent i interwenienci są zgodni, co do tego, że dogodnym sposobem różnicowania istotności poszczególnych kryteriów jest ich hierarchizacja od najbardziej do najmniej istotnych, która może być wyrażona na pewnej skali ocen. Ponadto dostrzeżono dużą wrażliwość decydenta/interwenientów na zmiany wartości poszczególnych kryteriów, wyrażaną poprzez mniej lub bardziej silną preferencję jednego wariantu względem porównywanego.

5.2.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie podproblemu decyzyjnego dla poziomu II merytorycznego

Na poziomie II opracowanej metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego, wybór metody WWD (faza III ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych), która najlepiej odwzorowywałaby model preferencji decydenta/interwenientów oraz uwzględniałaby specyfikę analizowanego podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M), został oparty na trzech zasadniczych filarach: analizie podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M), analizie wybranych metod WWD szeregowania wariantów oraz analizie modelu preferencji decydenta/interwenientów. Należy podkreślić, że wymienione elementy są ściśle ze sobą powiązane, a ich analiza została przedstawiona poniżej. Na podstawie przeprowadzonych badań związanych z wyborem metody WWD ich wyniki są ze sobą porównywane, a wnioski będące rezultatem analizy porównawczej, są podstawą do rekomendacji metody WWD.

Pierwszym etapem wyboru metody WWD jest analiza podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M), którego identyfikacja i opis werbalny został przedstawiony w podrozdziale 5.2.1. Na tej podstawie można stwierdzić, że podproblem decyzyjny szeregowania projektów transportu miejskiego rozważany w ramach problematyki zarządzania transportem miejskim ma charakter strategiczny, a podjęte decyzje mają długofalowe konsekwencje. Na poziomie II, jak już wyżej zaznaczono, podproblem decyzyjny – merytoryczny (PPD-M) jest zdefiniowany, jako zagadnienie wielokryterialnego szeregowania wariantów ocenianych za pomocą odmiennych kryteriów (celów) merytorycznych w obrębie konkretnej klasy wariantów (inną rodzinę kryteriów, charakterystyczną dla rozważanej problematyki transportowej). W klasie PrT jest 7 wariantów i oceniane są spójną rodziną kryteriów merytorycznych KM-PrT składającą się z 8 kryteriów. W klasie PuT są 4 warianty oceniane przez spójną rodzinę kryteriów merytorycznych KM-PuT zawierającą 11 kryteriów. W klasie MN są 4 warianty, a w klasie IT są 3 warianty oceniane odrębnymi spójnymi rodzinami kryteriów merytorycznych odpowiednio KM-MN składająca się z 6 kryteriów i KM-IT składająca się z również z 6 kryteriów. Ta podstawowa charakterystyka podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) wskazuje, że każda z czterech analizowanych metod WWD szeregowania wariantów może być zastosowana do jego rozwiązania. Jednakże liczność zbioru wariantów w poszczególnych klasach projektów jest zbyt mała, aby do rozwiązania podproblemu decyzyjnego mogła być zastosowana metoda UTA, która jest użyteczna dla dużego zbioru wariantów, tj. powyżej 10 (tabela 2 podrozdział 3.3. – słabe strony metody UTA).

Drugim etapem doboru metody WWD jest szczegółowa analiza metod WWD. Autor niniejszej dysertacji bardzo szczegółowo przeanalizował i porównał wybrane wielokryterialne metody szeregowania tj. AHP, UTA, ELECTRE III i PROMETHEE I (podrozdział 3.2.). Analiza porównawcza metod WWD umożliwiła wyłonienie ich słabych i mocnych stron. Najbardziej istotne z nich zostały przedstawione w tabeli 2 w podrozdziale 3.3.

Trzeci etap, doboru metody WWD do specyfiki podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M), zakłada przeprowadzenie analizy dwóch podstawowych aspektów doboru metody WWD tj. dopasowanie pomiędzy metodą WWD a podproblemem decyzyjnym oraz dopasowanie pomiędzy metodą WWD a preferencjami decydenta i interwenientów. W analizowanym podproblemie decyzyjnym występuje wiele osób reprezentujących decydenta i interwenientów jednak uzgodnili oni, że zaprezentują jeden model preferencji – to pozwala na użycie każdej z analizowanej metody WWD do dalszych obliczeń.

Deterministyczny charakter informacji wejściowej sprawia, że każda z analizowanych metod WWD może być wykorzystana do rozwiązania podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M).

Innym aspektem rozważanego podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) jest dokładność jego odwzorowania w modelu, w którym uwzględniony jest

cel procesu decyzyjnego, zbiór kryteriów (sekcja 5.2.2.2.) i zbiór wariantów (sekcja 5.2.2.1.). Jedyną spośród analizowanych metod WWD, która w pełni strukturyzuje podproblem w ten sposób jest metoda AHP. Jest to niewątpliwie jedna z najbardziej istotnych zalet tej metody. Wykorzystanie metody AHP do przeprowadzenia eksperymentów obliczeniowych wiąże się jednak z koniecznością przeprowadzenia wielu porównań parami, na poziomie kryteriów jak i na poziomie wariantów. Proces ten jest, zatem bardzo pracochłonny i wymaga długiego czasu na jego realizację. Mimo to metoda AHP a także metoda ELECTRE III są metodami przyjaznymi dla użytkownika pod kątem algorytmu użytkowania (mała ilość faz, odpowiednio 4 i 3).

Biorąc pod uwagę sposób postrzegania przez decydenta/interwenientów sytuacji decyzyjnej oraz sposób modelowania ich preferencji, dostrzeżono, że z ich punktu widzenia istotna jest możliwość nadawania wag poszczególnym kryteriom. Ocena ta, występująca w postaci globalnej, możliwa jest do zamodelowania w metodach ELECTRE III, PROMETHEE I. W przypadku metody AHP ważność kryteriów nadawana jest w ujęciu lokalnym (porównań parami kryteriów). Z punktu widzenia łatwości określenia różnic między kryteriami i wariantami, według autora niniejszej dysertacji metoda AHP ma przewagę nad pozostałymi. Ponadto decydent/interwenienci porównując pewne warianty mogą wahać się, czy są one słabo, czy też silniej preferowane względem innych. Sytuację wyrażonych przez nich wątpliwości można bardzo dobrze odwzorować poprzez relację słabej i silnej preferencji, charakterystyczną dla metody ELECTRE III i PROMETHEE I oraz odpowiednią liczbę punktów np.: 3 lub 4 nadaną w metodzie AHP. Analiza metod WWD wskazuje na to, że przy przekroczeniu pewnej granicy wartości trudne jest porównanie niektórych wariantów, a czasami nie jest możliwe zaakceptowanie niektórych z nich. Sytuację tę można zamodelować w metodzie ELECTRE III i PROMETHEE I poprzez nadanie progu weta oraz w metodzie AHP poprzez przyznanie 9 punktów przewagi jednego wariantu względem wariantu z nim porównywanego. Elastyczne modelowanie progów równoważności i preferencji, które mogą, ale nie muszą przyjmować stałych wartości, dające szansę decydentowi/ interwenientom na szerokie spektrum wyrażania swoich preferencji jest niewątpliwie kolejną zaletą metod ELECTRE III i PROMETHEE I (metoda PROMETHEE I nie zakłada możliwości w pełni tak elastycznego podejścia do modelowania preferencji decydentów/interwenientów, jak metoda ELECTRE III). Zwrócono uwagę na fakt, że wybór jednej spośród sześciu funkcji preferencji w metodzie PROMETHEE I dla każdego kryterium oraz parametrów z nimi związanych jest bardzo pracochłonny i czasochłonny, co znacznie zmniejsza atrakcyjność tej metody w praktycznym zastosowaniu.

Ponadto ustalono, że decydent i interwenienci oczekują graficznej prezentacji wyników. W aspekcie problematyki decyzyjnej oczekiwany jest ranking wariantów dla każdej klasy oddzielny, zaprezentowany w postaci graficznej, w którym odległość między wariantami mierzona będzie ilościowo, co ma istotne znaczenie ze względu na normalizację użyteczności wariantów i agregację w jeden ranking 18 wariantów,

a także wzbogaca informację na temat uzyskiwanych rezultatów. Jeżeli postać rezultatów eksperymentów obliczeniowych nie stanowi w analizowanym przypadku ograniczenia (wskazania) przy wyborze metody WWD, to wygenerowanie rankingu projektów transportowych z uwzględnieniem informacji na temat odległości pomiędzy wariantami preferuje metodę AHP i PROMETHEE I.

Strategiczny charakter podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) powoduje, że czas potrzebny na podjęcie decyzji (w tym także prowadzenia eksperymentów obliczeniowych) tj. wyboru rozwiązania kompromisowego jest stosunkowo długi, oznacza to, że każda z analizowanych metod WWD może być zastosowana.

Czwarty etap doboru metody WWD to porównanie wyników analiz przeprowadzonych w powyższych etapach. W celu podjęcia ostatecznej decyzji związanej z wyborem metody WWD najlepiej pasującej do rozważanego podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) i preferencji decydenta/interwenientów, w tabeli 11 przedstawiono aspekty dopasowania, które odniesiono do poszczególnych metod tj. AHP, ELECTRE III, PROMETHEE I i UTA.

Na podstawie przeglądu literatury w rozdziale 3 i powyższej analizie można stwierdzić, że wszystkie analizowane metody mają charakter uniwersalny i mogą być zastosowane do oceny wariantów sklasyfikowanych według odmiennych cech w czterech klasach wariantów/projektów transportu miejskiego, natomiast wybór metody WWD zdeterminowany jest szczegółami rozważanego podproblemu decyzyjnego, tj. ilość zbioru wariantu w klasie, przede wszystkim określenie odległości między wariantami, czy możliwość graficznej prezentacji wyników.

Etap piąty doboru metody WWD do specyfiki podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) związany jest z wyborem metody WWD. Na podstawie rezultatów analizy dopasowania metod WWD do podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) wyodrębnionego z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego (WWDSW) i preferencji decydenta/interwenientów oraz biorąc pod uwagę mocne i słabe strony rozważanych metod WWD szeregowania wariantów, postanowiono przeprowadzić eksperymenty obliczeniowe dla poziomu II – merytorycznego, wykorzystując metodę AHP. Zasadniczą przesłanką skłaniającą do wykorzystania w eksperymentach obliczeniowych metody AHP jest dokładność odwzorowania rozważanego podproblemu decyzyjnego poprzez jego strukturyzację a także możliwość graficznej prezentacji wyników uwzględniającej informację na temat odległości pomiędzy wariantami mierzone ilościowo. Określenie odległości między wariantami w rankingach wygenerowanych dla każdej klasy ma bardzo ważna znaczenie, ponieważ pozwala na przeprowadzenie normalizacji użyteczności wariantów z różnych klas i agregacji wszystkich wariantów w jeden ranking merytoryczny.

Tabela 11. Zestawienie aspektów dopasowania metody WWD do specyfiki podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) i preferencji decydenta/interwenientów

Aspekty doboru metody WWD	Metody WWD			
	AHP	ELECTRE III	PROMETHEE I	UTA
Podproblem decyzyjny – merytoryczny (PPD-M)				
– zbiór wariantów: relatywnie mały	+	+	+	-
– rodzina kryteriów: pseudo-kryteria	+	+	+	-
– decydenci: jedna grupa decyzyjna	+	+	+	+
– rodzaj dostępnej informacji: kardynalna	+	+	+	-
– charakter informacji: deterministyczna	+	+	+	+
– problematyka decyzyjna: szeregowanie wariantów	+	+	+	+
– odległość między wariantami: jest istotna	+	-	-	+
– czas podjęcia decyzji: długi horyzont czasowy	+	+	+	+
Preferencje decydenta/interwenientów				
– łatwość tworzenia modelu preferencji: łatwy	+	-	+	-
– poziom kompetencji: częściowa kompetencja	+	+	+	+
– sposób wyrażania preferencji: *I, P*	+	+	+	+
– dokładność informacji preferencyjnej: dokładna	+	+	+	+
– możliwość badania spójności preferencji: jest	+	-	-	-
– ważność kryteriów wyrażana w skali lokalnej (+) czy globalnej (-)	+	-	-	-
– moment wyrażania preferencji: a priori	+	+	+	+
– pracochłonność: mała	-	+	+	-
– przyjazność dla użytkownika: przyjazna	+	+	-	-
– powszechność stosowania na świecie: powszechna	+	+	-	-
– relacja pomiędzy wariantami w uszeregowaniu finalnym *I, P, R*	-	+	+	-
– forma prezentacji wyników: graficzna	+	+	+	-
Łączna liczba „+”	18	16	15	9

„+” oznacza dopasowanie metody WWD do danego aspektu doboru metody.

„ – ” oznacza brak dopasowania metody WWD do danego aspektu doboru metody.

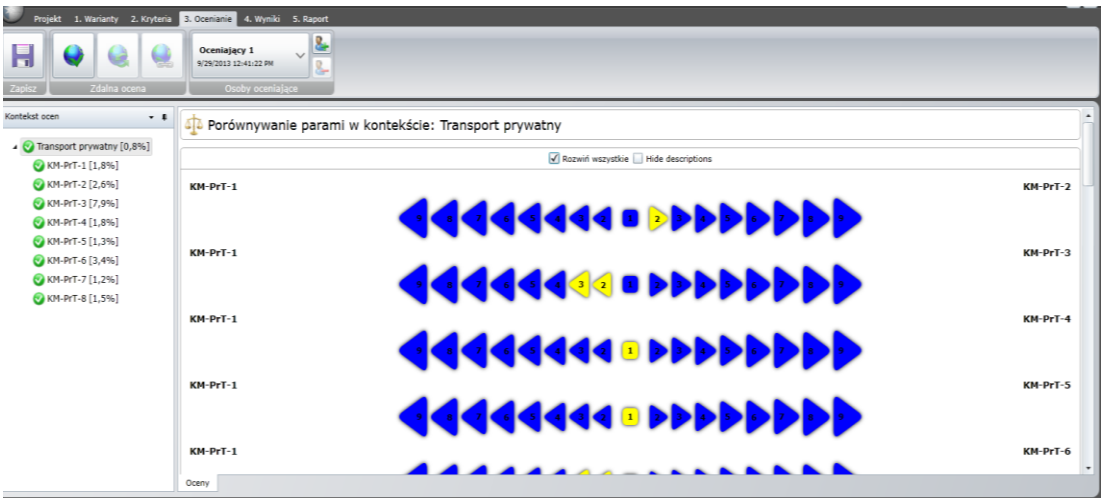
5.2.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe na poziomie II – merytorycznym

Po zdefiniowaniu wariantów i kryteriów oraz po zaprezentowaniu macierzy ocen, modelu preferencji decydenta/interwenientów i wyborze metody WWD, przystąpiono do komputerowych eksperymentów obliczeniowych (faza IV ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych). Przy modelowaniu preferencji (faza II algorytmu AHP – podrozdział 3.2.3.), wykorzystano charakterystyczną dla metody AHP procedurę porównań wszystkich elementów

hierarchii parami i przyznawania im odpowiedniego stopnia ważności/preferencji w skali od 1 do 9 punktów. Każda liczba w tej skali odpowiada sile preferencji jednego elementu względem drugiego. Wszystkie współczynniki mają charakter kompensacyjny, tzn. wartość oceny dla elementu mniej ważnego jest odwrotnością oceny dla elementu ważniejszego.

Na rysunkach 16, zaprezentowano sposób modelowania preferencji decydenta/ interwenientów przy użyciu wykorzystanego w niniejszej pracy narzędzia, implementacji komputerowej metody AHP – MakeItRational. Modelowanie to polegało na porównaniu parami wszystkich kryteriów merytorycznych osobno dla każdej klasy (rysunek 16 przedstawia tylko fragmenty takich porównań) oraz porównaniu parami wszystkich wariantów wewnątrz każdej klasy względem poszczególnych kryteriów właściwych dla danej klasy (rysunek 17 przedstawia tylko przykłady takich porównań). Liczba żółtych trójkątów po stronie danego kryterium/wariantu oznacza wielkość jego przewagi nad drugim, z którym jest porównywane. W związku z tym, z rysunku 16, obrazującego porównanie parami kryteriów merytorycznych przeznaczonych do oceny wariantów z klasy projektów związanych z transportem prywatnym, można odczytać, że:

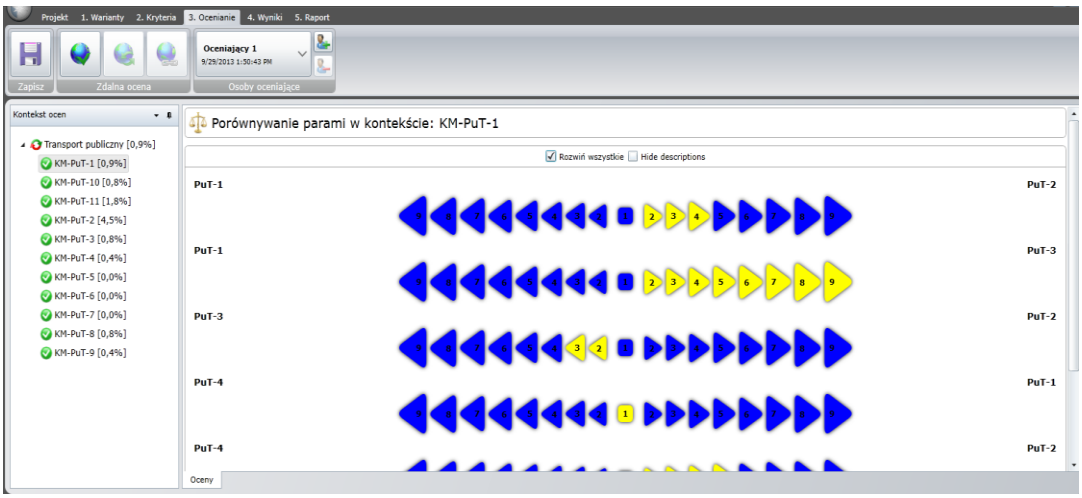
- stopień ważności kryterium – KM-PrT-1 w stosunku do kryterium – KM-PrT-3 wynosi 3, co zgodnie z zasadą kompensacji ocen oznacza, że w odwrotnym porównaniu stopień ważności wynosi 1/3,
- stopień ważności kryterium – KM-PrT-1 w stosunku do kryterium – KM-PrT5 wynosi 1, co oznacza, że kryteria są równo cenne, czyli posiadają jednakową ważność.



Rysunek 16. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów na poziomie II odnoszący się do kryteriów merytorycznych dotyczących transportu prywatnego. Porównanie parami kryteriów merytorycznych przeznaczonych do oceny wariantów z klasy projektów dotyczących transportu prywatnego w skali 1-9 punktów

Zaprezentowany na rysunku 16 sposób modelowania preferencji decydenta/ interwenientów przy użyciu wykorzystanego w niniejszej pracy narzędzia MakeItRational, został przeprowadzony, jak już wyżej wspomniano, dla wszystkich kryteriów merytorycznych, osobno dla każdej klasy, a raport z przeprowadzonego modelowania preferencji w tym zakresie zawiera załącznik do niniejszej dysertacji. W przypadku omawianym, porównań kryteriów merytorycznych parami było 113 (w klasie PrT – 28, w klasie PuT – 55, w klasach NM i TI po 15).

W analogiczny sposób odbywa się porównanie wariantów parami wewnątrz każdej klasy względem każdego kryterium charakterystycznego dla danej klasy. Z zaprezentowanego na rysunku 17 przykładu obrazującego porównanie parami wariantów z klasy projektów związanych z transportem publicznym pod względem kryterium KM-PuT-1 w skali 1-9 punktów, wynika, że stopień ważności wariantu – PuT-3 w stosunku do wariantu – PuT-2 względem kryterium – KM-PuT-1 wynosi 3, co oznacza, że ważność wariantu – PuT-2 w stosunku do wariantu – PuT-3 pod względem kryterium – KM-PuT-1 wynosi 1/3.



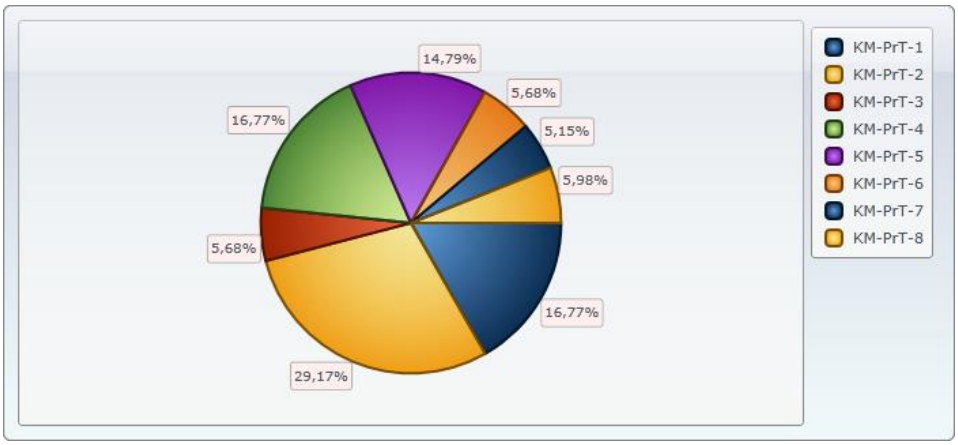
Rysunek 17. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów na poziomie II – merytorycznym, odnoszący się do wariantów z klasy projektów dotyczących transportu publicznego. Porównanie parami wariantów z klasy PuT pod względem kryterium KM-PuT-1 w skali 1-9 punktów

Zaprezentowany na rysunku 17 sposób modelowania preferencji decydenta/ interwenientów przy użyciu wykorzystanego w niniejszej pracy narzędzia MakeItRational, został przeprowadzony, jak już wyżej wspomniano, również dla wszystkich wariantów wewnątrz każdej klasy względem poszczególnych kryteriów właściwych dla danej klasy, a raport z przeprowadzonego modelowania preferencji w tym zakresie, zawiera załącznik do niniejszej dysertacji. W przypadku omawianym, porównań wariantów na poziomie merytorycznym względem poszczególnych kryteriów było 651 (w klasie PrT – 168, PuT – 231, NM – 126 i TI – 126).

Zgodnie z algorytmem metody AHP (przedstawionym w podrozdziale 3.2.3), po zamodelowaniu preferencji decydenta/interwenientów następują fazy obliczeniowe (fazy III, IV i V metody AHP), w których wyznaczane są:

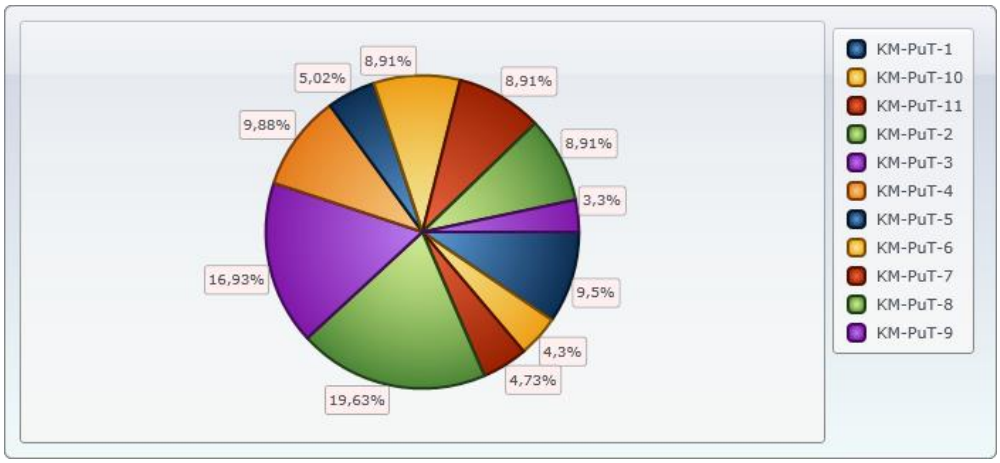
- bezwzględne, znormalizowane wagi kryteriów (rysunki 18 do 21) oraz wagi wariantów,
- współczynniki spójności (ang. *Consistency Ratio* – CR), na wszystkich poziomach hierarchii przy pomocy, których następuje sprawdzanie jak dalece logiczna i jednorodna jest informacja preferencyjna podana przez decydenta,
- wartości funkcji użyteczności dla każdego wariantu, na podstawie, których konstruowane jest uszeregowanie wariantów (rysunki 22 do 25).

W wyniku porównania parami kryteriów merytorycznych oceniających projekty dotyczące transportu prywatnego (Rysunek 18) najważniejsze okazało się kryterium KM-PrT-2 (wewnętrzna stopa zwrotu – IRR) z wagą na poziomie 29,17 %. Dosyć dużą wagę uzyskały również kryteria KM-PrT-1 (koszty inwestycji) i KM-PrT-4 (średni czas podróży) – taka sama waga 16,77 %. Najmniej istotnym kryterium z wagą na poziomie 5,15 % okazało się kryterium uciążliwość procesu inwestycji (KM-PrT-7). Współczynnik spójności (CR) na tym poziomie hierarchii wyniósł 0,8%, co świadczy o bardzo spójnej, logicznej informacji preferencyjnej decydenta/interwenientów.



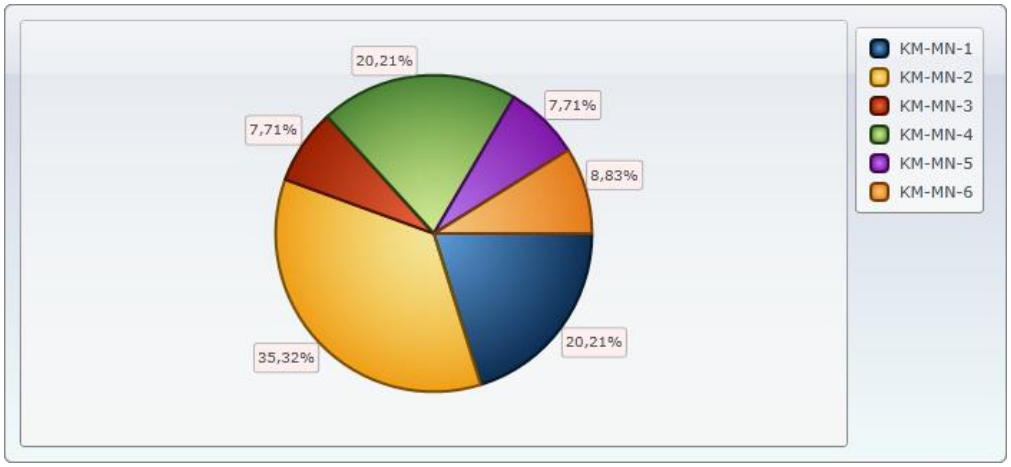
Rysunek 18. Wagi kryteriów oceny merytorycznej wariantów z klasy projektów dotyczących transportu prywatnego

Wśród kryteriów merytorycznych oceniających projekty dotyczące transportu publicznego (Rysunek 19), oprócz najważniejszego kryterium – wewnętrzna stopa zwrotu IRR (KM-PuT-2 – 19,63 %), bardzo istotne okazało się kryterium KM-PuT-3 – dostępność do transportu publicznego – waga 16,93 %. Najmniej istotnym kryterium jest kryterium uciążliwość procesu inwestycji (KM-PuT-9) z wagą na poziomie 3,3 %. Współczynnik spójności (CR) dla porównania parami tych kryteriów wyniósł CR=0,9 %, co świadczy o bardzo spójnej informacji preferencyjnej decydenta/interwenientów.



Rysunek 19. Wagi kryteriów oceny merytorycznej wariantów z klasy projektów dotyczących transportu publicznego

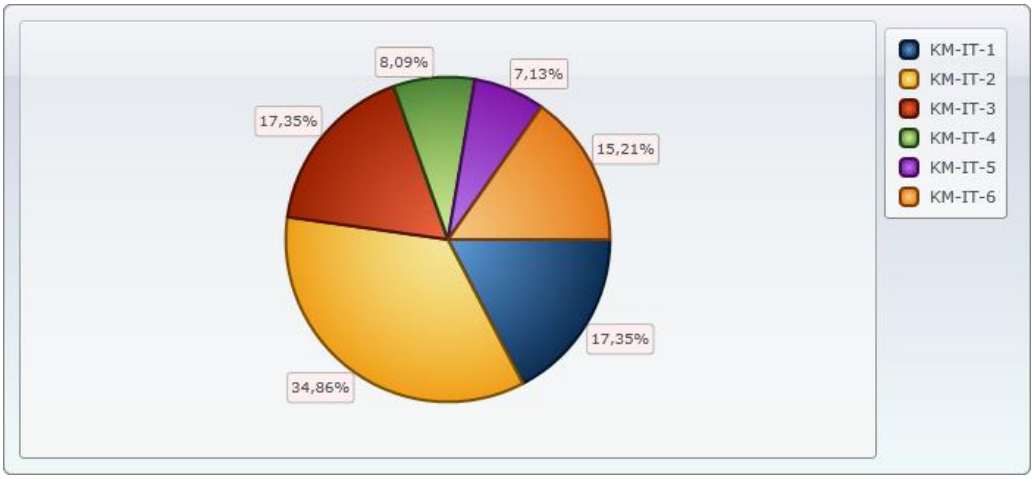
W zestawie kryteriów merytorycznych oceniających projekty z zakresu mobilności niezmotoryzowanej (Rysunek 20), najważniejsze okazało się kryterium KM-MN-2 (wewnętrzna stopa zwrotu – IRR) uzyskując wagę 35,32 %. Bardzo ważne okazały się również kryteria: kosztów inwestycji oraz integracji z transportem publicznym (odpowiednio KM-MN-1 i KM-MN-4), których wagę skalkulowano na poziomie 20,21%. Najmniej istotnym kryterium okazało się kryterium jakość infrastruktury dla mobilności niezmotoryzowanej (KM-MN-3) oraz kryterium uciążliwość procesu inwestycji (KM-MN-5) – w obu przypadkach waga była równa 7,71 %. Informacja preferencyjna decydenta/ interwenientów była bardzo spójna – współczynnik spójności CR wyniósł 0,59%.



Rysunek 20. Wagi kryteriów oceny merytorycznej wariantów z klasy projektów dotyczących mobilności niezmotoryzowanej

W grupie kryteriów merytorycznych, oceniających projekty dotyczące integracji transportu (Rysunek 21), dosyć ważne (drugie pod względem ważności) okazało się kryterium koszty inwestycji oraz kryterium wskaźnik integracji transportu (odpowiednio KM-IT-1 i KM-IT-3), których wagę skalkulowano na poziomie 17,35 %.

Jednak pomiędzy nimi a najbardziej istotnym kryterium wewnętrzna stopa zwrotu – IRR (KM-IT-2) jest prawie dwukrotna różnica (waga kryterium KM-IT-2 jest na poziomie 34,86 %). Najmniej istotnym kryterium okazało się kryterium uciążliwość procesu inwestycji (KM-IT-5) z wagą na poziomie 7,13 %. Współczynnik spójności CR wyniósł 0,7 % co świadczy o spójnej informacji preferencyjnej decydenta/interwenientów.



Rysunek 21. Wagi kryteriów oceny merytorycznej wariantów z klasy projektów dotyczących integracji transportu

W wyniku porównania parami wariantów/projektów transportu miejskiego w klasie projektów dotyczącej transportu prywatnego (PrT), uzyskano wagi wariantów pod względem każdego z kryteriów merytorycznych dotyczących transportu prywatnego. W zestawieniu tym wariant PrT-4 okazał się najlepszy względem czterech kryteriów (KM-PrT-2, KM-PrT-3, KM-PrT-4, KM-PrT-6), zaś wariant PrT-1 okazał się najlepszy względem trzech innych kryteriów (KM-PrT-1, KM-PrT-5, KM-PrT-7), a wariant PrT-5 względem kryterium KM-PrT-8 (raport z badań z zakresu wariantów z klasy projektów dotyczących transportu prywatnego zawiera załącznik).

W wyniku porównania parami wariantów/projektów transportu miejskiego w klasie projektów dotyczącej transportu publicznego (PuT), uzyskano wagi wariantów względem każdego z kryteriów merytorycznych dotyczących transportu publicznego. W zestawieniu tym, względem największej liczby kryteriów – siedmiu kryteriów (KM-PuT-2, KM-PuT-4, KM-PuT-5, KM-PuT-6, KM-PuT-8, KM-PuT-10, KM-PuT-11) najlepszy okazał się wariant PuT-4, względem trzech innych kryteriów (KM-PuT-3, KM-PuT-7, KM-PuT-9) najlepszy okazał się wariant PuT-1. Względem kryterium KM-PuT-1 najlepszy okazał się wariant PuT-3 (raport z badań z zakresu wariantów z klasy projektów dotyczących transportu publicznego zawiera załącznik).

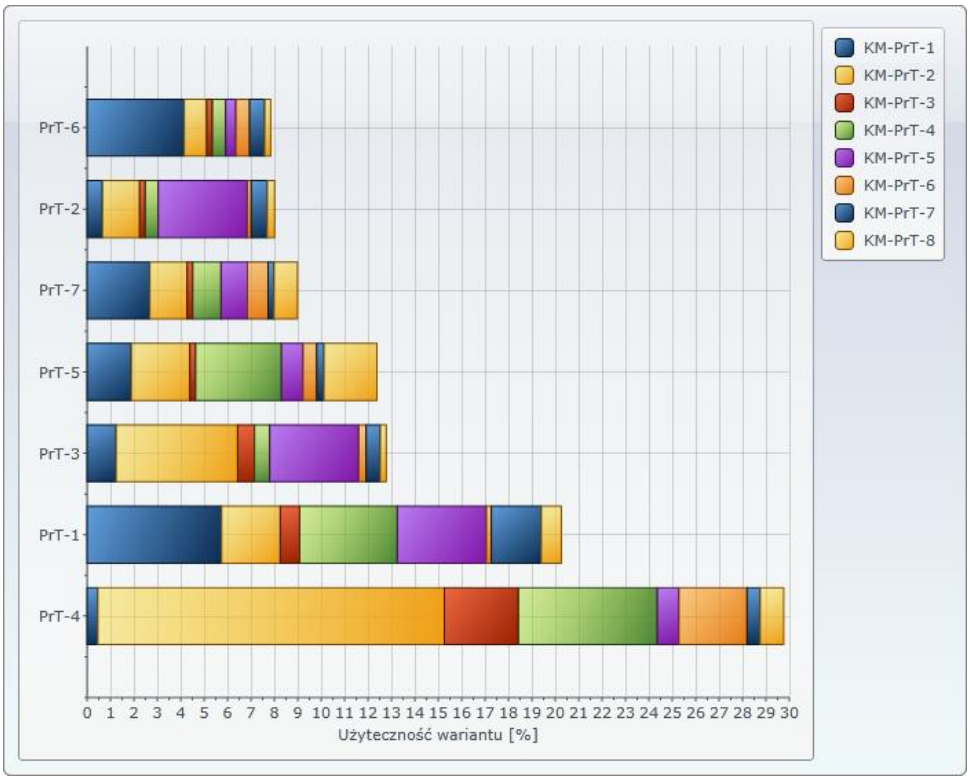
W wyniku porównania parami wariantów/projektów transportu miejskiego w klasie projektów dotyczącej mobilności niezmotoryzowanej (MN), uzyskano wagi wariantów względem każdego z kryteriów merytorycznych dotyczących mobilności niezmotoryzowanej. W zestawieniu tym, wariant MN-2 okazał się najlepszy względem kryteriów – KM-MN-1 i KM-MN-5, natomiast MN-4 względem kryteriów KM-MN-3,

KM-MN-6. Względem kryterium KM-MN-2 wszystkie warianty uzyskały taką samą wagę, a względem kryterium KM-MN-4 najlepszym okazał się wariant MN-3 (raport z badań z zakresu wariantów z klasy projektów dotyczących mobilności niezmotoryzowanej zawiera załącznik).

W wyniku porównania parami wariantów/projektów transportu miejskiego w klasie projektów dotyczącej integracji transportu (IT), uzyskano wagi wariantów względem każdego z kryteriów merytorycznych dotyczących integracji transportu. W zestawieniu tym wariant IT-2 okazał się najlepszy względem trzech kryteriów (KM-IT-4, KM-IT-5, KM-IT-6). Względem kryterium KM-IT-1 wariant IT-2 okazał się równy z wariantem IT-1. W przypadku dwóch kryteriów – KM-IT-2 i KM-IT3 wszystkie warianty okazały się takie same (raport z badań z zakresu wariantów z klasy projektów dotyczących transportu publicznego zawiera załącznik).

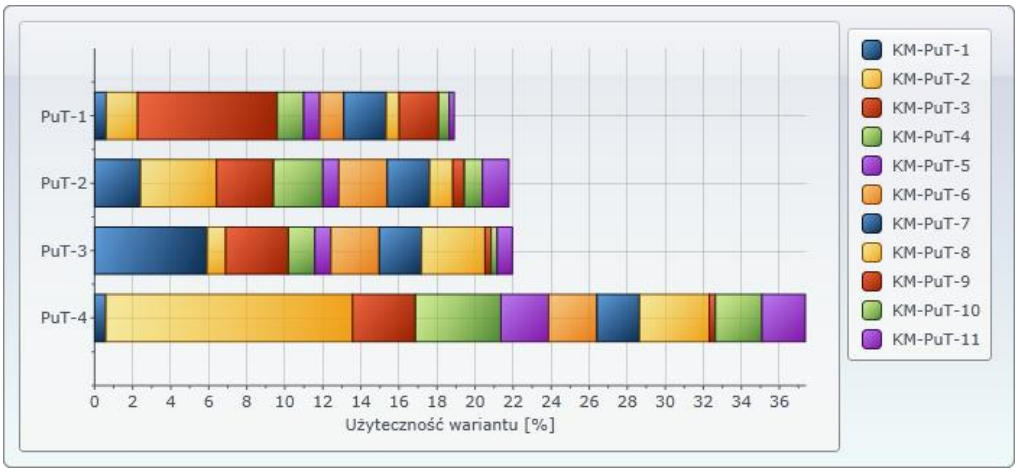
Obliczone bezwzględne wagi kryteriów i wariantów posłużyły do wyznaczenia użyteczności wariantów (całość wyników badań w tym zakresie zamieszczono w załączniku). Dokonano tego za pomocą addytywnej funkcji użyteczności. Użyteczność danego wariantu obliczana jest, jako suma iloczynów wag na drodze od każdej gałęzi hierarchii, z którą związany jest dany wariant. Wygenerowano w ten sposób cztery rankingi „cząstkowe" tj. wg kryteriów merytorycznych dla każdej z klas projektów po jednym – rysunki 22 do 25.

W rankingu wariantów z klasy PrT wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla transportu prywatnego (Rysunek 22) najlepszym okazał się wariant PrT-4 (budowa nowego odcinka drogi „D") uzyskując użyteczność wynoszącą niespełna 30 %, na drugim miejscu znalazł się wariant PrT-1 (budowa nowego odcinka drogi „A") z użytecznością nieco powyżej 20 %. Najniższą użyteczność – 7,83 % w tym rankingu uzyskał wariant PrT-6 (rozbudowa drogi „E"). Nieznacznie od niego lepszy okazał się wariant PrT-2 (rozbudowa drogi „B") użyteczność 8,01 %. Zdecydowaną przewagę wariant PrT-4 zawdzięcza kryterium wewnętrzna stopa zwrotu – IRR (KM-PrT-2), który dał blisko 50 % udział w całkowitej użyteczności tego wariantu tj. wartość użyteczności na poziomie ok. 15 %. Takiej, całkowitej wartości użyteczności nie osiągnęło aż 5 z 7 wariantów. Przewagę wariant PrT-4 nad innymi wariantami w tej klasie, zawdzięcza również wartościom użyteczności względem kolejnych, następujących kryteriów: średni czas podróży (KM-PrT-4), jakość infrastruktury drogowej (KM-PrT-3) oraz stopień wykorzystania infrastruktury (KM-PrT-6). Mimo dobrego wyniku wariantu PrT-6 względem kryterium KM-PrT-1 (niskie koszty inwestycji) zajął on ostatnie miejsce w rankingu. Tłumaczą to bardzo słabe wyniki względem wszystkich pozostałych kryteriów.



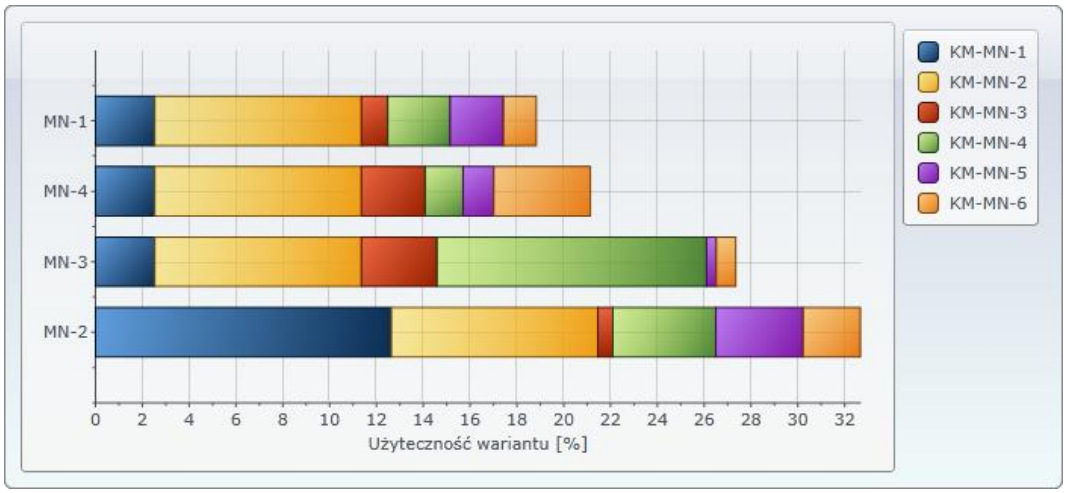
Rysunek 22. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wariantów z klasy PrT wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla transportu prywatnego

W rankingu wariantów z klasy PuT wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla transportu publicznego (Rysunek 23) najwyższą użyteczność (37,25 %) uzyskał wariant PuT-4 (budowa nowej linii tramwajowej „C") osiągając dużą przewagę nad pozostałymi wariantami. Wariant ten „zawdzięcza" zwycięstwo w rankingu pięciu kryteriom: KM-PuT-2, KM-PuT-4, KM-PuT-5, KM-PuT-8 i KM-PuT-11 – odpowiednio kryterium wewnętrzna stopa zwrotu – IRR, kryterium bezpośredniość podróży, kryterium stopień przyjazności dla środowiska, kryterium komfort podróży oraz jakość infrastruktury transportu publicznego, jego gorsze noty (wariantu PuT-4) względem pozostałych kryteriów (KM-PuT-1, KM-PuT-3, KM-PuT-6, KM-PuT-7, KM-PuT-9 i KM-PuT-10) nie miały większego znaczenia dla globalnej użyteczności tego wariantu i jego pozycji w rankingu. Najniższą użyteczność (18,99 %) i tym samym ostatnie miejsce w rankingu, mimo najlepszej wartości kryterium KM-PuT-3 (dostępność do transportu publicznego), uzyskał wariant PuT-1 (budowa zajezdni tramwajowej). Pozostałe kryteria miały podobny albo znacząco niższy wpływ na użyteczność tego wariantu (PuT-1) niż na pozostałe warianty.



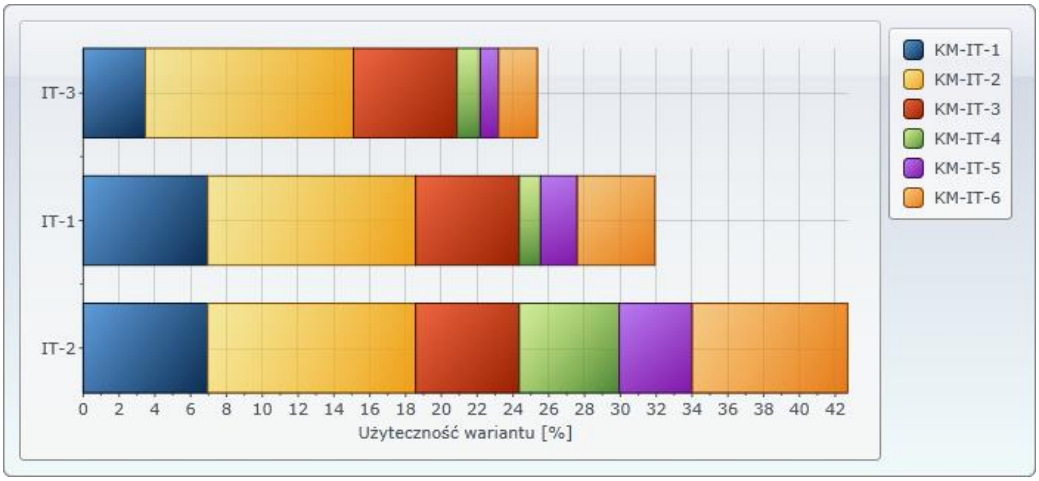
Rysunek 23. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wariantów z klasy PuT wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla transportu publicznego

W rankingu wariantów z klasy MN wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla mobilności niezmotoryzowanej (Rysunek 24) na czele znalazł się wariant MN-2 (budowa parkingów rowerowych przy pętlach autobusowych). Uzyskał on użyteczność na poziomie 32,68 % dzięki kryterium (najniższym) koszt inwestycji (KM-MN-1) oraz kryterium (najniższej) uciążliwość procesu inwestycji (KM-MN-5). W tym przypadku, najbardziej istotne kryterium – KM-MN-2 (wewnętrzna stopa zwrotu – IRR) nie różnicowało wariantów ponieważ każdy z nich cechowała taka sama wartość tego kryterium. Natomiast kryterium integracja z transportem publicznym (KM-MN-4) miał największy wpływ na użyteczność w przypadku wariantu MN-3 (budowa pięciu chronionych parkingów rowerowych) i dzięki temu wariant ten uzyskał drugą pozycję w rankingu. Ostatnie miejsce w rankingu zajął wariant MN-1 (budowa parkingów rowerowych przy pętlach tramwajowych) uzyskując użyteczność na poziomie 18,84 %. Żadne kryterium nie miało największego wpływu na użyteczność tego wariantu (MN-1) w stosunku do innych wariantów. Tylko kryterium KM-PuT-2 miało taki sam wpływ na użyteczność tego warianty (PuT-1) jak na pozostałe warianty.



Rysunek 24. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wariantów z klasy MN wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla mobilności niezmotoryzowanej

W rankingu wariantów z klasy IT wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla integracji transportu (Rysunek 25) na pierwszym miejscu znalazł się wariant IT-2 (budowa trzech parkingów typu zaparkuj i jedź) uzyskując użyteczność na poziomie 42,7 %. Wariant ten cechowały najlepsze wartości kryteriów KM-IT-4, KM-IT-5 i KM-IT-6 tj. odpowiednio przyjazność dla środowiska, uciążliwość procesu inwestycji, dostępność do transportu publicznego. Na końcu rankingu znalazł się wariant IT-3 (budowa parkingu kubaturowego w centrum miasta) z użytecznością na poziomie 25,36 %. Wariant IT-3 cechował się niskimi użytecznościami kryteriów KM-IT-1 i KM-IT-6 w stosunku do pozostałych wariantów w tej klasie.



Rysunek 25. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wariantów z klasy IT wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla integracji transportu

W związku z różną licznością klas projektów, użyteczność w powyższych rankingach rozłożyła się w różnym stopniu, tj. w rankingu projektów zorientowanych na transport prywatny 100 % musiało zostać „rozdzielone” pomiędzy 7 projektów, natomiast

w rankingu projektów zorientowanych na integrację transportu tylko na 3. W efekcie ostatni wariant z rankingu dla mniej licznej klasy uzyskał zbliżoną użyteczność do najlepszego wariantu z rankingu dla najbardziej licznej klasy projektów np. wariant IT-3 z klasy IT o liczności wariantów 3 uzyskał użyteczność na poziomie 25,36 %, a wariant PrT-4 z klasy PrT o liczności wariantów 7 uzyskał użyteczność na poziomie 29,76 %. W związku z tym nastąpiła konieczność normalizacji użyteczności wariantów w ramach poszczególnych rankingów i zagregowania w jeden wspólny ranking merytoryczny. Dokonano tego wg następującego równania:

$$U_i^m = \frac{U_{i_k}^k \cdot l^k}{l} \quad gdzie \;\; l = \sum_{k=1}^{n} l^k \tag{5.1}$$

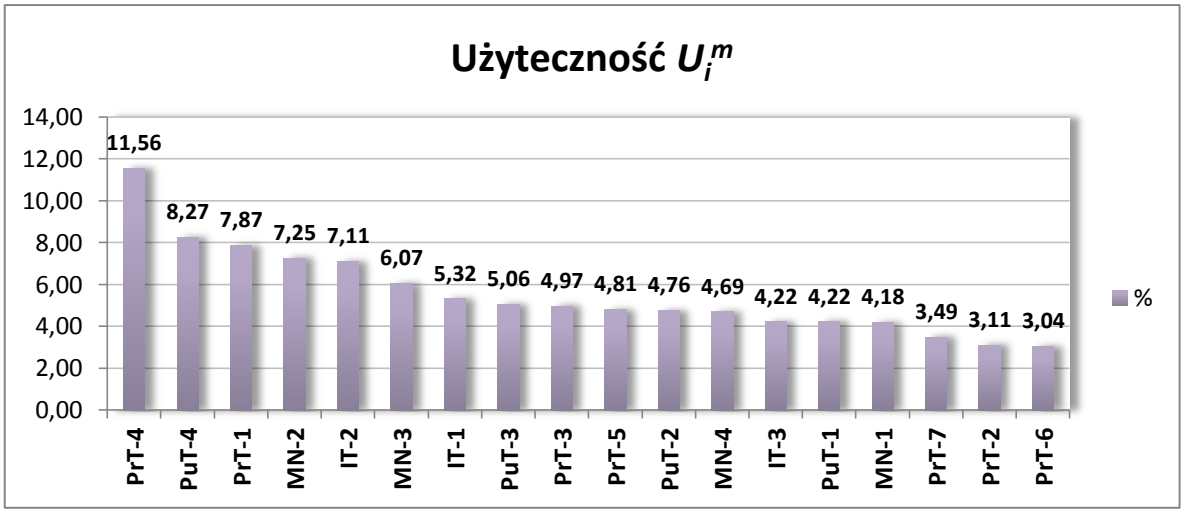
gdzie:
U_i^m – użyteczność wariantu *i* w rankingu wszystkich kryteriów merytorycznych *m,*
U_i^k – użyteczność wariantu *i* w rankingu projektów klasy *k* wg kryteriów merytorycznych,
l^k – liczność klasy *k,* gdzie *k = 1,2, …,n,*
n – liczba klas,
i_k – wariant/projekt transportu miejskiego w klasie *k,* gdzie i_k = 1, 2, …, l^k,
i – wariant /projekt transportu miejskiego, gdzie *i* = 1, 2, …, *l*,
l – liczba analizowanych wariantów/projektów transportu miejskiego.

W rezultacie uzyskano znormalizowane użyteczności wszystkich 18 wariantów (tabela 12), które wyznaczyły ich miejsca w jednym wspólnym rankingu wg kryteriów merytorycznych (Rysunek 26). Dla porównania warianty IT-3 i PrT-4 po normalizacji uzyskały użyteczność odpowiednio 4,22 % i 11,56 % (przed normalizacją IT-3 – 25,36 %, a PrT-4 – 29,76 %).

Tabela 12. Zestawienie użyteczności wariantów wg kryteriów merytorycznych dla poszczególnych klas oraz użyteczności wariantów po normalizacji

k	i_k	i	Wariant	U_i^k [%]	U_i^m [%]
1	1_1	1	IT-1	31,93	5,32
	2_1	2	IT-2	42,70	7,11
	3_1	3	IT-3	25,36	4,22
2	1_2	4	MN-1	18,84	4,18
	2_2	5	MN-2	32,68	7,25
	3_2	6	MN-3	27,35	6,07
	4_2	7	MN-4	21,14	4,69
3	1_3	8	PrT-1	20,26	7,87
	2_3	9	PrT-2	8,01	3,11
	3_3	10	PrT-3	12,79	4,97
	4_3	11	PrT-4	29,76	11,56
	5_3	12	PrT-5	12,37	4,81
	6_3	13	PrT-6	7,83	3,04
	7_3	14	PrT-7	8,99	3,49
4	1_4	15	PuT-1	18,99	4,22
	2_4	16	PuT-2	21,79	4,76
	3_4	17	PuT-3	21,96	4,97
	4_4	18	PuT-4	37,25	8,27

Jak można zaobserwować na rysunku 26 w zestawieniu wszystkich wariantów względem kryteriów merytorycznych (po normalizacji) na szczycie rankingu znalazł się wariant PrT-4 (budowa nowego odcinka drogi „D") – użyteczność na poziomie 11,56 %. Przewaga tego wariantu nad drugim wariantem w rankingu była duża, wyniosła aż 3,29 % wartości użyteczności i była zbliżona do wartości użyteczności całkowitej aż trzech wariantów tj. PrT-7, PrT-2 i PrT-6. W przypadkach pozostałych, różnice wartości użyteczności wariantów sąsiadujących ze sobą w rankingu są poniżej 1 %, tylko w przypadku wariantu IT-2 i MN-3 wyniosła 1,04 % na korzyść pierwszego wariantu. Warto podkreślić, że tak dobrą pozycję wariant PrT-4 zawdzięcza kryterium wewnętrzna stopa zwrotu – IRR (KM-PrT-2), który dał blisko 50 % udział w całkowitej użyteczności tego wariantu tj. po normalizacji wartość użyteczności na poziomie ok. 5,7 %. Takiej, całkowitej wartości użyteczności nie osiągnęło aż 12 wariantów. Ostatnie miejsce w tym rankingu zajął wariant PrT-6 – (rozbudowa istniejącej drogi „E") – użyteczność na poziomie 3,04 %. Ponadto, dosyć wysokie noty uzyskały warianty IT-2 (budowa trzech parkingów typy parkuj i jedź), MN-2 (budowa parkingu rowerowego przy pętli autobusowej), PrT-1 (budowa nowego odcinka drogi „A"), PuT-4 (budowa ok 2 km nowej linii tramwajowej „B"). Wartości użyteczności tych wariantów wynoszą między 7,11 % a 8,27 %.



Rysunek 26. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów merytorycznych

5.2.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla uzyskania rankingu merytorycznego

Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe na poziomie II opracowanej metodyki wielopoziomowego, wielokryterialnego szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego pozwalają na kompleksową analizę ich wyników, przegląd i ocenę rozwiązań oraz wybór rozwiązania kompromisowego – jest to faza V ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych. Kompleksowa analiza wyników, w przypadku omawianym, obejmuje analizę rankingów merytorycznych utworzonych w obrębie każdej klasy wg różnych grup kryteriów merytorycznych, odpowiadających specyfice umieszczonych tam projektów transportowych oraz analizę jednego rankingu merytorycznego wszystkich projektów transportowych ze wszystkich klas, uzyskanego poprzez zastosowanie oryginalnej formuły normalizacji użyteczności poszczególnych projektów, uwzględniającej odmienną liczebność rozważanych klas i agregacji w jeden wspólny ranking. Przegląd i ocena rozwiązań pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- we wszystkich klasach projektów w ocenie wg charakterystycznych dla nich kryteriów merytorycznych, najwyższe i najniższe wagi uzyskały te same kryteria – odpowiednio wewnętrzna stopa zwrotu – IRR (KM-PrT-2, KM-PuT-2, KM-MN-2 i KM-IT-2) i uciążliwość procesu inwestycji (KM-PrT-7, KM-PuT-9, KM-MN-5 i KM-IT-5),
- w rankingu wg grupy kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla transportu prywatnego oceniających projekty transportowe umieszczone w klasie PrT, zwyciężył wariant – PrT-4 (budowa nowego odcinka drogi „D”), a ostatnie miejsce zajął wariant – PrT-6 (rozbudowa istniejącej drogi „E”),

- w rankingu wg grupy kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla transportu publicznego oceniających projekty transportowe umieszczone w klasie PuT, zwyciężył wariant – PuT-4 (zakup 40 tramwajów niskopodłogowych), a ostatnie miejsce zajął wariant – PuT-1 (budowa nowej zajezdni tramwajowej),
- w rankingu wg grupy kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla mobilności niezmotoryzowanej oceniających projekty transportowe umieszczone w klasie MN, zwyciężył wariant – MN-2 (budowa parkingu rowerowego przy pętli autobusowej), a ostatnie miejsce zajął wariant – MN-1 (budowa siedmiu monitorowanych parkingów rowerowych przy pętlach tramwajowych),
- w rankingu wg grupy kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla integracji transportu oceniających projekty transportowe umieszczone w klasie IT, zwyciężył wariant – IT-2 (budowa trzech parkingów typu „Parkuj i Jedź" zlokalizowanych na oś. Jana III Sobieskiego, przy al. Polskiej oraz przy ul. Łacina), a ostatnie miejsce zajął wariant – IT-3,
- w rankingu wszystkich wariantów wg kryteriów merytorycznych, zwyciężył wariant – PrT-4 z klasy projektów dotyczących transportu prywatnego, a drugie miejsce zajął wariant – PuT-4 z klasy projektów dotyczących transportu publicznego, natomiast ostatnie miejsce zajął wariant – PrT-6 z klasy projektów dotyczących transportu prywatnego.

Biorąc pod uwagę powyższe, niekwestionowanym zwycięzcą rankingu merytorycznego jest wariant PrT-4, czyli budowa ok. 8 km nowego odcinka drogi „D", o parametrach drogi ekspresowej i przekroju 2x3 (dwie jezdnie i trzy pasy ruchu na każdej jezdni).

Przegląd i ocena rozwiązań pozwoliły na sformułowanie również wniosków metodycznych:

- wyodrębnienie podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) ze sformułowanego zagadnienia wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW),
- opracowanie uniwersalnego algorytmu postępowania przy przeprowadzaniu kompleksowej wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego dotyczących różnych jego rodzajów z uwzględnieniem celów (kryteriów) merytorycznych związanych z transportem miejskim odnoszących się do poziomu zarządzania operacyjnego, uwzględniającego interesy wielu podmiotów (decydenta i interwenientów) i różne aspekty (ekonomiczne, społeczne, techniczne i środowiskowe),
- zaproponowanie systemowego ujęcia rozpatrywanego podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M), dotyczącego projektów transportu miejskiego niezależnie od rodzaju transportu, który reprezentują,

- skonstruowanie zbioru wariantów/projektów transportu miejskiego o różnej charakterystyce,
- zdefiniowanie czterech spójnych rodzin kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla każdej z klas wariantów/projektów transportu miejskiego,
- opracowanie modeli preferencji decydenta/interwenientów właściwych dla przyjętej metody WWD (definicja ważności poszczególnych kryteriów merytorycznych w ramach każdej spójnej rodziny kryteriów i określenie wrażliwości decydenta/ interwenientów na zmiany wartości tych kryteriów),
- przeprowadzenie analizy porównawczej oraz oceny wybranych metod WWD służących do rozwiązania podproblemu decyzyjnego wyodrębnionego w ramach rozpatrywanego wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego,
- przeprowadzenie normalizacji użyteczności wariantów w ramach poszczególnych, cząstkowych rankingów i zagregowanie w jeden wspólny ranking merytoryczny.

Za istotne osiągnięcia należy uznać również wnioski praktyczne:

- zweryfikowanie, w ramach proponowanej metodyki, procedury dotyczącej wielokryterialnej oceny 18 wariantów/projektów transportu miejskiego o różnym charakterze transportowym (transport prywatny, transport publiczny, mobilność niezmotoryzowana i integracja transportu) sklasyfikowanych do 4 klas (PrT, PuT, MN i IT) przy pomocy 4 charakterystycznych spójnych rodzin kryteriów merytorycznych (odpowiednich dla poszczególnych klas KM-PrT, KM-PuT, KM-MN i KM-IT),
- pokazanie praktycznych możliwości zastosowania proponowanej procedury normalizacji użyteczności 18 wariantów z różnych 4 rankingów projektów i agregacji w jeden wspólny ranking merytoryczny jako istotnej części metodyki wielopoziomowego, wielokryterialnego szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego.

Rozwiązaniem kompromisowym, rozważanego podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) wyodrębnionego z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów na poziomie II jest ranking wszystkich wariantów/projektów transportu miejskiego z uwzględnieniem kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla różnych rodzajów transportu, zaprezentowany na rysunku 28.

5.3. Poziom III – wygenerowanie rankingu sektorowego projektów transportu miejskiego

Na poziomie III metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/ projektów transportu miejskiego – uzyskanie rankingu sektorowego projektów transportu miejskiego z uwzględnieniem kryteriów sektorowych związanych z ogólnymi

kierunkami polityki transportowej miasta – należy poddać jednolitej ocenie wszystkie warianty/projekty transportu miejskiego z wykorzystaniem jednej, spójnej rodziny kryteriów sektorowych. Rezultatem końcowym uzyskanym na poziomie III jest ranking sektorowy, w przypadku rozważanym obejmuje on 18 projektów transportu miejskiego.

5.3.1. Identyfikacja i opis werbalny podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) rozważanego na poziomie III

Na poziomie III metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego, faza I ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych polega na identyfikacji i opisie werbalnym podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr). Na tym poziomie (III) proponowanej metodyki, istotą rozważanego podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPDSr) wyodrębnionego z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW), reprezentujących różne rodzaje transportu miejskiego jest ocena uwzględniająca wpływ projektów na politykę sektorową, w tym wypadku politykę transportową miasta.

Tak samo jak na poziomie II opracowanej metodyki, w rozważanym podproblemie decyzyjnym na poziomie III, decydentem i interwenientami są te same grupy osób reprezentujących władze miejskie, mieszkańców (użytkowników) miasta, operatora transportu miejskiego oraz pasażerów. Osoby reprezentujące decydenta (władze miejskie) są odpowiedzialne za ostateczny uszeregowanie wariantów/projektów transportu miejskiego uwzględniając wpływ tych wariantów na politykę transportową miasta i biorąc pod uwagę zaspokojenie interesów różnych grup interesariuszy, w tym przypadku mieszkańców (użytkowników) miasta, pasażerów i operatora transportu publicznego. Również i na tym poziomie (III) opracowanej metodyki w celu ustalenia jednolitego, kompromisowego modelu preferencji i oczekiwań decydenta i interwenientów, zaproponowano przeprowadzenie dyskusji i burzy mózgów.

Wielokryterialny problem decyzyjny zidentyfikowany i opisany werbalnie na poziomie III jest podproblemem decyzyjnym – merytorycznym (PPD-M) wydzielonego z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPDSW), którego rozwiązanie jest niezbędne, aby na poziomie V uzyskać globalny ranking projektów transportu miejskiego.

Rezultatem przeprowadzonej oceny jest ranking sektorowy określający przydatności/użyteczności 18 projektów transportowych do realizacji polityki transportowej miasta Poznania (osiągania celów tej polityki). Rozważane zagadnienie sformułowano, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów, w którym zbiór 18 wariantów/projektów transportu miejskiego zostanie oceniony za pomocą zestawów kryteriów sektorowych.

5.3.2. Konstrukcja modelu matematycznego podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr)

Faza II, ogólnej procedury rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, polega na tworzeniu modelu matematycznego opisanej sytuacji decyzyjnej, który w przypadku rozważanym na poziomie III metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego, zostały sformułowany w postaci zadania wielokryterialnego szeregowania wariantów. Dla tak sformułowanego zadania, model matematyczny bazuje na przedstawieniu wariantów, skonstruowaniu spójnej rodziny kryteriów i konstrukcji macierzy ocen, zawierającej ilościowe miary oceny wariantów za pomocą wszystkich kryteriów, modelu preferencji decydenta i interwenientów obejmującego ważność kryteriów oraz wrażliwość decydenta/interwenientów na zmiany wartości kryteriów w przypadku omawianym kryteriów sektorowych.

5.3.2.1. Charakterystyka wariantów – poziom III – sektorowy

Na poziomie III metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego, oceniono 18 projektów transportowych, te same projekty, które były zdefiniowane na poziomie II. Dlatego autor niniejszej dysertacji odstąpił od prezentacji 18 wariantów/projektów transportu miejskiego w tym miejscu, zostały one szczegółowo opisanych w sekcji 5.2.2.1.

5.3.2.2. Kryteria sektorowe

Kryteria sektorowe odzwierciedlające cele *Polityki Transportowej Miasta Poznania* [2], posłużyły do oceny wszystkich osiemnastu rozważanych wariantów. Spójna rodzina kryteriów sektorowych składa się z 7 kryteriów, tj.:

- **Koszty funkcjonowania systemu transportowego (KO-1)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w złotych polskich, jako zmiana kosztów (+/-) funkcjonowania systemu transportu miejskiego po zrealizowaniu danego projektu. W kryterium uwzględniono zarówno transport publiczny jak i prywatny.
- **Dostępność do systemu transportowego (KO-2)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone procentowo, jako zmiana gęstości sieci transportowej (z uwzględnieniem dróg, linii autobusowych, linii tramwajowych) w rozważanych rejonach transportowych.
- **Średni czas podróży (KO-3)** – kryterium minimalizowane, wyrażone w minutach, jako różnica pomiędzy średnim czasem podróży odbywającej się

przez wybrane rejony transportowe przed realizacją projektu i po jego zrealizowaniu.

- **Bezpieczeństwo (KO-4)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej (0-10 pkt.), jako zmiana poziomu bezpieczeństwa ruchu po zrealizowaniu danego projektu. Kryterium oceniające wpływ planowanego projektu na liczbę wypadków w całej metropolii (Poznania i gmin z terenu Powiatu Poznańskiego). Kryterium to uwzględnia wskaźnik ryzyka wystąpienia wypadku w zależności od rozwiązań infrastrukturalnych (rodzaj skrzyżowań, liczba i rodzaj przejść dla pieszych itp.) oraz natężenie potoków ruchu (pieszego i kołowego).
- **Udział transportu publicznego w transporcie (KO-5)** – kryterium maksymalizowane, mierzone procentowym udziałem liczby podróży realizowanych przez rozważane rejony z wykorzystaniem środków transportu publicznego do całkowitej liczby tych podróży. Kryterium to ocenia wiele parametrów np.:
  - wpływ danego projektu na aspekt środowiskowy (im większy udział liczby podróży realizowanych przy wykorzystaniu środków transportu publicznego tym mniejsze zanieczyszczenie środowiska spalinami),
  - wpływ danego projektu na parametry ruchu (im większy udział liczby podróży realizowanych przy wykorzystaniu środków transportu publicznego tym lepsze warunki ruchu).
- **Integracja transportu w metropolii (KO-6)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej, w którym uwzględniono liczbę użytkowników kart PEKA (Poznańska Elektroniczna Karta Aglomeracyjna), liczbę parkingów typu: „Parkuj i Jedź" (ang. Park and Ride – P&R), „Parkuj Rower i Jedź" (ang. *Bicycle and Ride* – B&R) oraz „Parkuj i Idź" (ang. *Park and Go* – P&G) i liczbę skoordynowanych rozkładów jazdy.
- **Dostępność miejsc na parkingach (KO-7)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone, jako udział liczby miejsc na parkingach stałych w strefie płatnego parkowania (SPP) do wszystkich miejsc parkingowych w SPP.

5.3.2.3. Macierz ocen dla podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr)

Dla każdego z wariantów zdefiniowanych w sekcji 5.2.2.1., wyznaczono wartości powyżej zdefiniowanych kryteriów sektorowych, uzyskując macierz ocen zaprezentowaną w tabeli 13.

Tabela 13. Macierz ocen rozważanych wariantów i kryteriów sektorowych na poziomie III

	Kryteria sektorowe						
Warianty	**KO-1 [zł]**	**KO-2 [%]**	**KO-3 [min]**	**KO-4 [pkt]**	**KO-5 [%]**	**KO-6 [pkt]**	**KO-7 [%]**
PrT-1	51900	15	9,1	6	31,5	7	32
PrT-2	101900	8	2,5	4	29,7	3	32
PrT-3	139400	5	3,4	3	30,7	5	32
PrT-4	226900	22	10,3	7	26,3	5	32
PrT-5	101900	3	8,4	9	29,0	5	32
PrT-6	51900	1	1,3	3	28,8	2	32
PrT-7	76900	0	3,5	7	29,8	9	32
PuT-1	51900	0	0,0	3	30,8	7	32
PuT-2	51900	5	8,9	2	39,6	3	32
PuT-3	51900	0	1,4	1	31,4	9	32
PuT-4	51900	15	9,2	5	39,2	9	32
MN-1	0	0	1,3	6	34,3	3	32
MN-2	0	0	1,3	10	34,3	3	32
MN-3	0	0	1	7	34,3	8	32
MN-4	0	0	0,3	8	34,3	8	32
IT-1	0	0	0,3	2	34,9	6	45
IT-2	25000	0	7,1	3	39,5	9,	32
IT-3	0	0	0,3	2	34,5	7	51

5.3.2.4. Model preferencji decydenta/interwenientów – poziom III – sektorowy

W celu ustalenia modelu preferencji decydenta/interwenientów, również i na tym poziomie (III) przeprowadzono dyskusję i burzę mózgów. Wynika z nich, że sposób postrzegania przez decydenta i interwenientów wariantów oraz kryteriów sektorowych, podobnie jak na poziomie II dla wariantów sklasyfikowanych w 4 klasach i kryteriów merytorycznych we wszystkich spójnych rodzinach tych kryteriów, polega na określeniu istotności danego kryterium sektorowego oraz istotności danego wariantu względem konkretnego kryterium sektorowego poprzez wagi i wrażliwość na zmianę wartości poszczególnych kryteriów, wyrażoną przez mniej lub bardziej silną preferencję jednego wariantu względem wariantu porównywanego. W rezultacie akceptowany jest wspólny model preferencji przez wszystkich członków poszczególnych grup interwenientów (mieszkańców, pasażerów, operatora transportu publicznego) oraz władz miejskich.

Ze względu na to, że model preferencji na poziomie III jest taki sam jak na poziomie II, autor niniejszej dysertacji odsyła czytelnika do sekcji 5.2.2.4.

5.3.3. Analiza i wybór metody WWD pozwalającej na rozwiązanie podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr)

Wybór metody WWD do rozwiązania podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) sformułowanego na poziomie III, wyodrębnionego z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego, która najlepiej odwzorowywałaby model preferencji decydenta/interwenientów oraz uwzględniałaby specyfikę analizowanego podproblemu decyzyjnego (szeregowanie projektów transportu miejskiego, reprezentujących różne rodzaje transportu miejskiego, uwzględniająca ocenę wpływu projektów na politykę sektorową w tym wypadku politykę transportową miasta) jest oparty podobnie jak na poziomie II opracowanej metodyki, na trzech zasadniczych filarach: analizie podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr), analizie wybranych metod WWD szeregowania wariantów oraz analizie modelu preferencji decydenta/interwenientów. Na podstawie prowadzonych badań związanych z wyborem metody WWD ich wyniki są ze sobą porównywane, a wnioski będące rezultatem analizy porównawczej, są podstawą do rekomendacji metody WWD pozwalającej na rozwiązanie podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr).

Etap pierwszy doboru metody WWD wiąże się z przeprowadzeniem szczegółowej analizy podproblemu decyzyjnego analizowanego na poziomie III, opracowanej metodyki (opis werbalny jest przedstawiony w podrozdziale 5.3.1.). Na jej podstawie można stwierdzić, że również i na poziomie III podproblem decyzyjny – sektorowy (PPD-Sr) tak jak i podproblem decyzyjny na poziomie II, ma charakter strategiczny i jest zdefiniowany, jako zagadnienie wielokryterialnego szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego, jednak ocenianych jedynie za pomocą jednego zestawu kryteriów (celów) sektorowych niezależnie od klasy projektów, w której się znajdują (wszystkie 18 projektów oceniane za pomocą jednego zestawu kryteriów). Ta podstawowa charakterystyka podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) wskazuje, że każda z czterech analizowanych metod WWD może być zastosowana do jego rozwiązania. Jednakże liczność zbioru wariantów (18 projektów) jest zbyt duża, aby do rozwiązania problemu decyzyjnego mogły być zastosowane metody ELECTRE III i PROMETHEE I, które to metody stosowane są do małych liczności zbiorów wariantów. Jest to podstawowa różnica występująca podczas doboru metody WWD na poziomie III w stosunku do doboru metody WWD na poziomie II.

W pozostałym zakresie analiza związana z wyborem metody WWD jest taka jak analiza związana z doborem metody WWD na poziomie II w podrozdziale 5.2.3.

Na podstawie rezultatów analizy dopasowania metod WWD do podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) i preferencji decydenta/interwenientów (Tabela 14) oraz biorąc pod uwagę mocne i słabe strony rozważanych metod WWD szeregowania wariantów (tabela 2 z podrozdziału 3.3.), postanowiono przeprowadzić eksperymenty obliczeniowe dla poziomu III – sektorowego, wykorzystując również

metodę AHP. Zasadniczą przesłanką skłaniającą do wykorzystania w eksperymentach obliczeniowych metody AHP jest liczba wariantów i określenie odległości pomiędzy wariantami ilościowo, ponieważ na poziomie V ważnym aspektem jest agregacja rankingu sektorowego z innymi rankingami uzyskanymi na poziomie II i IV.

Tabela 14. Zestawienie aspektów dopasowania metody WWD do specyfiki podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) i preferencji decydenta/interwenientów

Aspekty doboru metody WWD	**Metody WWD**			
	AHP	**ELECTRE III**	**PROMETHEE I**	**UTA**
Podproblem decyzyjny – sektorowy (PPD-Sr)				
– zbiór wariantów: duży	+	-	-	+
– rodzina kryteriów: pseudo-kryteria	+	+	+	-
– decydenci: jedna grupa decydent/interwenienci	+	+	+	+
– rodzaj dostępnej informacji: kardynalna	+	+	+	-
– charakter informacji: deterministyczna	+	+	+	+
– problematyka decyzyjna: szeregowanie wariantów	+	+	+	+
– odległość między wariantami: jest istotna	+	-	-	+
– czas podjęcia decyzji: długi horyzont	+	+	+	+
Preferencje decydenta/interwenientów				
– łatwość tworzenia modelu preferencji: łatwy	+	-	+	-
– poziom kompetencji: częściowa kompetencja	+	+	+	+
– sposób wyrażania preferencji: *I, P*	+	+	+	+
– dokładność informacji preferencyjnej: dokładna	+	+	+	+
– moment wyrażania preferencji: a priori	+	+	+	+
– możliwość badania spójności preferencji: jest	+	-	-	-
– ważność kryteriów wyrażana w skali lokalnej (+) czy globalnej (-)	+	-	-	-
– pracochłonność: mała	-	+	+	-
– przyjazność dla użytkownika: przyjazna	+	+	-	-
– powszechność stosowania na świecie: powszechna	+	+	-	-
– relacja pomiędzy wariantami w uszeregowaniu finalnym *I, P, R*	-	+	+	-
– forma prezentacji wyników: graficzna	+	+	+	-
Łączna liczba (+)	18	15	14	10

„+” oznacza dopasowanie metody WWD do danego aspektu doboru metody.

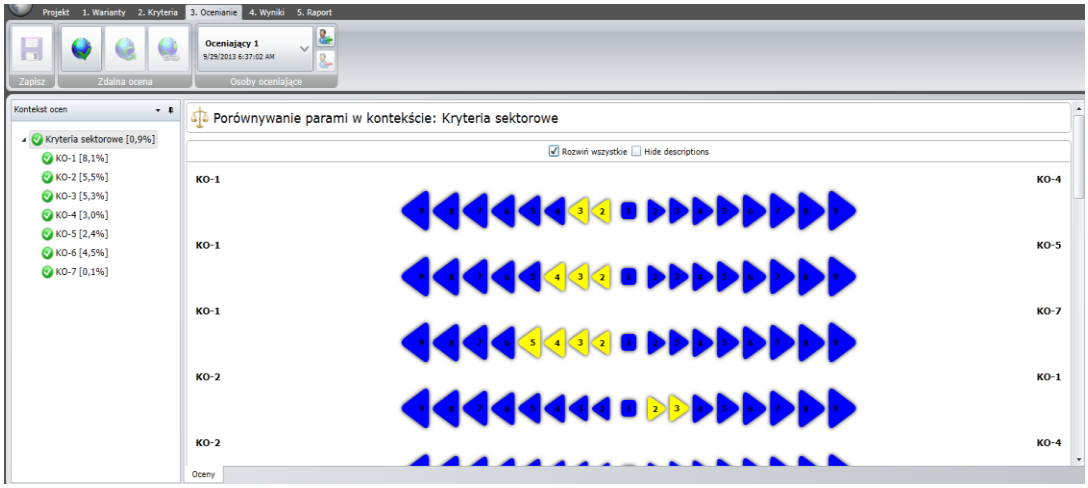
„ – ” oznacza brak dopasowania metody WWD do danego aspektu doboru metody.

5.3.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe na poziomie III – sektorowym

Po skonstruowaniu modelu matematycznego dla podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) i wyborze metody AHP pozwalającej na jego rozwiązanie, przystąpiono do komputerowych eksperymentów obliczeniowych (faza IV ogólnego metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych). Przy modelowaniu wspólnie wyrażonej preferencji przez decydenta i interwenientów (faza II metody AHP – podrozdziale 3.2.3.) wykorzystano charakterystyczną dla metody AHP procedurę porównań wszystkich elementów hierarchii parami i przyznawania im odpowiedniego stopnia ważności/preferencji w skali od 1 do 9 punktów. Każda liczba w tej skali odpowiada sile preferencji jednego elementu względem drugiego. Wszystkie współczynniki mają charakter kompensacyjny, tzn. wartość oceny dla elementu mniej ważnego jest odwrotnością oceny dla elementu ważniejszego.

Na rysunkach 27 zaprezentowano sposób modelowania preferencji decydenta/ interwenientów przy użyciu wykorzystanego w niniejszej pracy narzędzia (MakeItRational – implementacja komputerowa metody AHP). Modelowanie to polegało na porównaniu parami wszystkich kryteriów sektorowych. W związku z tym z rysunku 27 można odczytać, że:

- stopień ważności kryterium – KO-1 w stosunku do kryteriów – KO-5 wynosi 4, co zgodnie z zasadą kompensacji ocen oznacza, że w odwrotnym porównaniu stopień ważności wynosi 1/4,
- stopień ważności kryterium – KO-1 w stosunku do kryterium – KO-7 wynosi 5, co zgodnie z zasadą kompensacji ocen oznacza, że w odwrotnym porównaniu stopień ważności wynosi 1/5.



Rysunek 27. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów na poziomie III odnoszący się do kryteriów sektorowych. Porównanie parami kryteriów sektorowych w skali 1-9 punktów

Zaprezentowany na rysunku 27 sposób modelowania preferencji decydenta przy użyciu wykorzystanego w niniejszej pracy narzędzia MakeItRational, został przeprowadzony, jak już wyżej wspomniano, dla wszystkich kryteriów sektorowych,

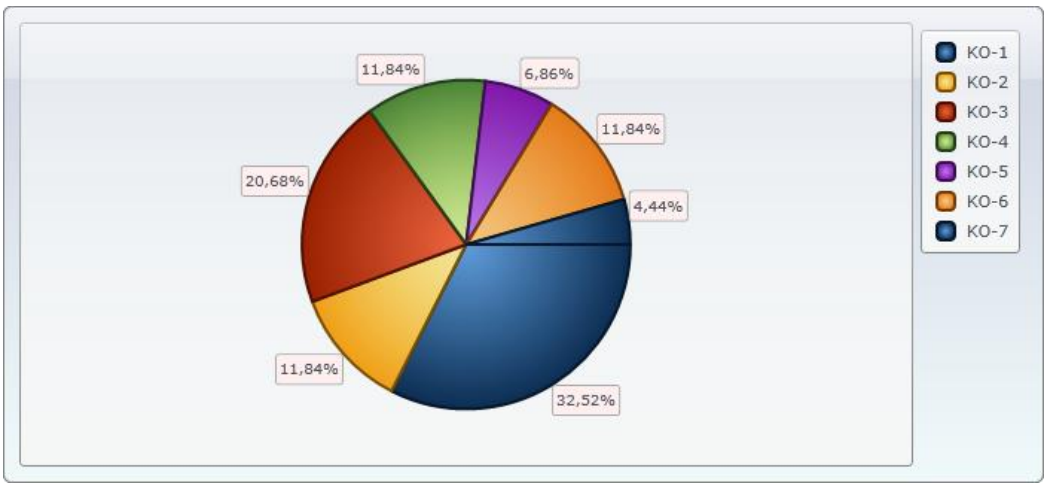
a raport z przeprowadzonego modelowania preferencji w tym zakresie zawiera załącznik do niniejszej dysertacji. W przypadku omawianym, porównań kryteriów sektorowych parami jest 21.

W analogiczny sposób odbywa się porównanie wariantów parami względem każdego kryterium sektorowego, a raport z przeprowadzonego modelowania preferencji w tym zakresie, zawiera załącznik. W przypadku omawianym porównań wariantów na poziomie III względem poszczególnych kryteriów sektorowych jest 1036.

Zgodnie z algorytmem metody AHP (przedstawionym w podrozdziale 3.2.3) po zamodelowaniu preferencji decydenta następują fazy obliczeniowe (fazy III, IV i V wg metody AHP), w których wyznaczane są:

- bezwzględne, znormalizowane wagi kryteriów (Rysunek 28) oraz wagi wariantów,
- współczynniki spójności (ang. *Consistency Ratio* – CR), na wszystkich poziomach hierarchii przy pomocy, których następuje sprawdzanie jak dalece logiczna i jednorodna jest informacja preferencyjna podana przez decydenta,
- wartości funkcji użyteczności dla każdego wariantu, na podstawie, których konstruowane jest uszeregowanie wariantów (Rysunek 29).

W zestawie kryteriów sektorowych (Rysunek 28) (jednakowe dla 18 wariantów projektów transportu miejskiego) zdecydowanie najważniejsze okazało się kryterium KO-1 (koszty funkcjonowania systemu transportowego) uzyskując wagę 32,52 %. Na drugim miejscu pod względem ważności, z wagą na poziomie 20,68 % znalazło się kryterium KO-3 (średni czas podróży). Najmniej istotne w tej grupie kryteriów okazało się kryterium KO-7 tj. dostępność miejsc na parkingach uzyskując wagę zaledwie 4,44 %. Współczynnik spójności CR wyniósł 0,9% co świadczy o bardzo spójnej informacji preferencyjnej.



Rysunek 28. Wagi kryteriów sektorowych

W wyniku porównania parami wszystkich wariantów/projektów transportu miejskiego, uzyskano ich wagi względem każdego z kryteriów sektorowych.

W zestawieniu tym, względem największej liczby – trzech kryteriów (KO-1, KO-2, KO-3) najlepszy okazał się wariant PrT-4. Wartym uwagi jest fakt, że względem żadnego z kryteriów sektorowych nie wygrał wariant z klasy projektów dotyczących transportu publicznego. Wariant z tej klasy (PuT-4) zajął jednak względem czterech kryteriów, dosyć silne drugie miejsce, a względem jednego z nich ustąpił pierwszemu IT-2 o zaledwie 0,09%. Wariant IT-2 okazał się najlepszy względem jednego kryterium (KO-5) również wariant IT-3 zajął pierwsze miejsce względem kryterium KO-7, a wariant MN-2 względem KO-4 (raport z badań z zakresu uzyskania wag wariantów względem każdego z kryteriów sektorowych zawiera załącznik do niniejszej dysertacji).

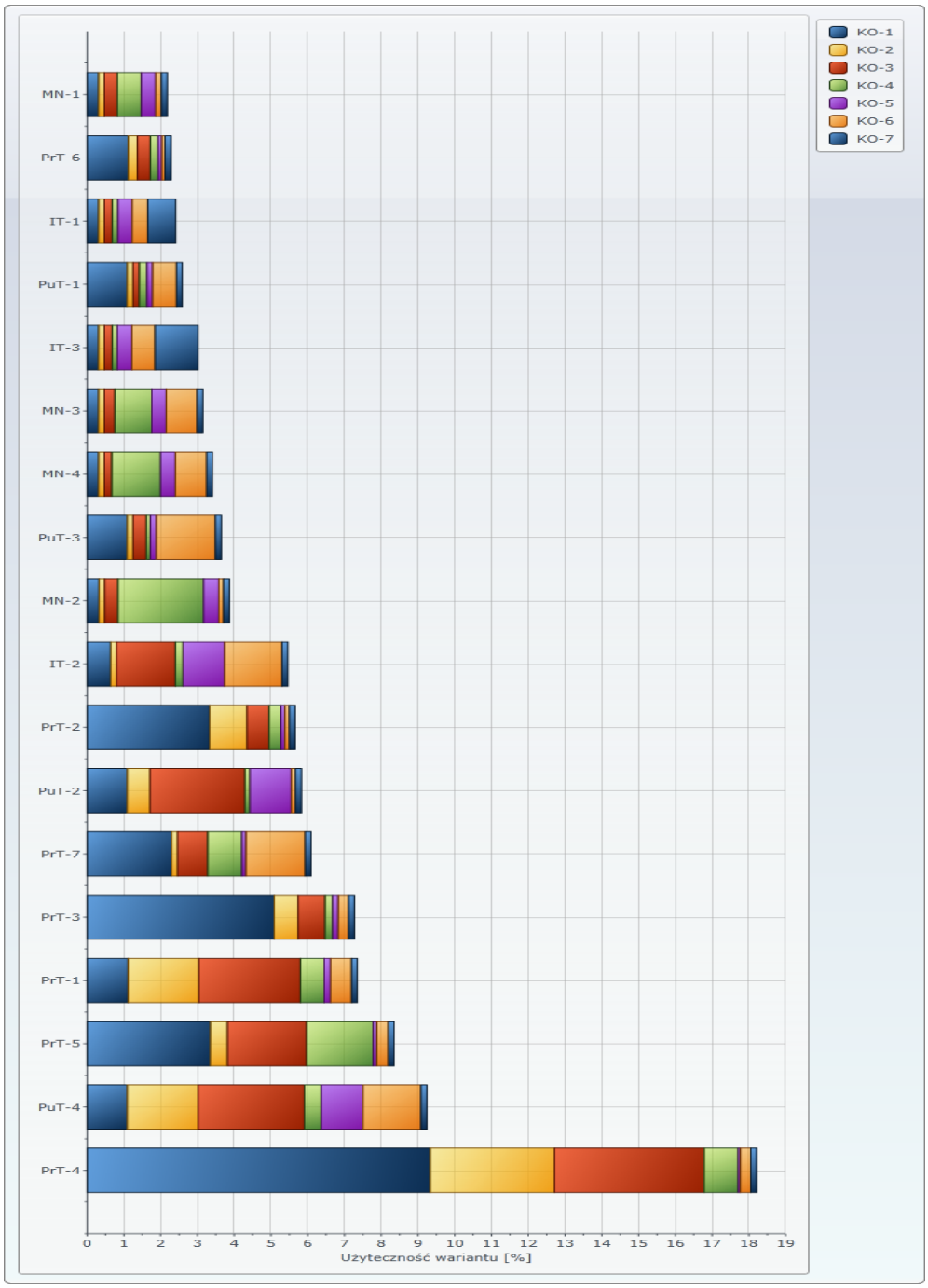
Powyżej zaprezentowane bezwzględne wagi kryteriów (Rysunek 28) i uzyskane użyteczności wariantów względem poszczególnych kryteriów posłużyły do wyznaczenia użyteczności wariantów. Dokonano tego za pomocą addytywnej funkcji użyteczności. Użyteczność danego wariantu obliczana jest, jako suma iloczynów wag na drodze od każdej gałęzi hierarchii, z którą związany jest dany wariant. Wygenerowano w ten sposób jeden ranking wg kryteriów sektorowych (Rysunek 29).

W przeciwieństwie do rankingów opierających się na kryteriach merytorycznych, w przypadku rankingów opierających się na kryteriach sektorowych wykonywana była ocena wszystkich wariantów (bez podziału na klasy oceniane przez różne kryteria). W związku z tym nie zaistniała potrzeba normalizacji.

W rankingu wszystkich projektów wg kryteriów sektorowych (Rysunek 29) najwyższą użyteczność (18,2 %) uzyskał wariant PrT-4 (budowa nowego odcinka drogi „D”). Wariant ten cechują najlepsze wartości względem kryteriów KO-1, KO-2 i KO-3 (koszty funkcjonowania systemu transportowego, dostępność do systemu transportowego oraz średni czas podróży) a najgorsze względem kryteriów KO-5 i KO-7 (udział transportu publicznego w transporcie i dostępność miejsc na parkingach). Dzięki jednak kryteriom KO-1, KO-2, i KO-3 uzyskał on na tyle dużą przewagę nad pozostałymi wariantami, że dosyć słabe wyniki względem pozostałych kryteriów nie spowodowały spadku na niższe miejsca w rankingu. Ostatnie miejsce w tym rankingu zajmuje wariant MN-1 (budowa parkingów rowerowych przy pętlach tramwajowych). Uzyskał on użyteczność na poziomie 2,18 %. Wariant ten cechują najgorsze wartości względem czterech (KO-1 - koszty funkcjonowania systemu transportowego, KO-2 - dostępność do systemu transportowego, KO-6 - integracja transportu w metropolii oraz KO-7 - dostępność miejsc na parkingach) z siedmiu kryteriów, względem trzech pozostałych (KO-3 średni czas podróży, KO-4 – bezpieczeństwo oraz KO-5 udział transportu publicznego w transporcie) jego wartości są, co najwyżej przeciętne.

Na uwagę zasługuje fakt, że pierwsze dwa miejsca w rankingu wg kryteriów sektorowych zajęły projekty dotyczące transportu prywatnego i publicznego. Pierwszy projekt dotyczący integracji transportu zajął dziewiąte miejsce (wariant IT-2 znalazł się dokładnie w środku rankingu), zaś pierwszy projekt dotyczący mobilności niezmotoryzowanej plasuje się zaraz po nim (miejsce dziesiąte – wariant MN-2). Na ostatnich czterech miejscach znalazły się projekty reprezentujące każdą z klas

(transport prywatny, transport publiczny, integracja transportu, mobilność niezmotoryzowana).



Rysunek 29. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów sektorowych

5.3.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla uzyskania rankingu sektorowego

Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe na poziomie III – sektorowym, pozwalają na kompleksową analizę ich wyników obejmującą przegląd rankingu wg grupy kryteriów sektorowych związanych z ogólnymi kierunkami polityki transportowej miasta. Na poziomie III, wszystkie projekty należące do różnych klas, poddano jednolitej ocenie z wykorzystaniem jednego, wspólnego zestawu kryteriów (jednej rodziny kryteriów). Rezultatem końcowym uzyskanym na poziomie III jest ranking sektorowy wszystkich projektów dotyczących transportu miejskiego/aglomeracyjnego (w rozważanym przypadku obejmujący 18 projektów):

- dla wszystkich projektów w ocenie wg charakterystycznych dla nich kryteriów sektorowych, najwyższe i najniższe wagi uzyskały kryteria – odpowiednio KO-1 tj. koszty funkcjonowania systemu transportowego i KO-7 tj. dostępność miejsc na parkingach,
- w rankingu wg grupy kryteriów sektorowych zwycięża ten sam wariant, co w rankingu wg kryteriów merytorycznych – PrT-4 (budowa ok. 8 km nowego odcinka drogi „D”),
- największy wpływ na użyteczność zwycięskiego wariantu w rankingu wg grupy kryteriów sektorowych mają trzy kryteria – koszty funkcjonowania systemu transportowego (KO-1), dostępność do systemu transportowego (KO-2), średni czas podróży (KO-3), a zupełnie nieistotny, kryteria – bezpieczeństwo (KO-4), udział transportu publicznego w transporcie (KO-5), integracja transportu w metropolii (KO-6), dostępność miejsc na parkingach (KO-7),
- wpływ kryterium – KO-1 (koszty funkcjonowania systemu transportowego) na użyteczność wariantu – PrT-4 jest najwyższy spośród wszystkich kryteriów sektorowych, jednocześnie kryterium – KO-1 ma największy wpływ na użyteczność pozostałych wariantów,
- wpływ kryterium – KO-1 na użyteczność wariantu – PrT-4 był tak duży, że jedynie jego wielkość zapewniła zwycięstwo wariantowi – PrT-4 w rankingu wg grupy kryteriów sektorowych,
- w rankingu wg grupy kryteriów sektorowych na drugim miejscu znalazł się wariant PuT-4, (projekt związany z transportem publicznym),
- trzecie miejsce w rankingu wg kryteriów sektorowych zajął wariant – PrT-5, (projekty związane z transportem prywatnym),
- ostatnie miejsce w rankingu wg kryteriów sektorowych zajął wariant – MN-1, (projekt związany z mobilnością niezmotoryzowaną).

Niekwestionowanym zwycięzcą rankingu wg kryteriów sektorowych jest wariant PrT-4 – projekt związany z transportem prywatnym – budowa ok. 8 km nowego odcinka drogi „D”, o parametrach drogi ekspresowej i przekroju 2x3 (dwie jezdnie i trzy pasy ruchu na każdej jezdni).

Przegląd i ocena rozwiązań pozwoliły na sformułowanie również wniosków metodycznych:

- wyodrębnienie podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) z zagadnienia wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW),
- opracowanie uniwersalnego algorytmu postępowania przy przeprowadzaniu kompleksowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego dotyczących różnych jego rodzajów z uwzględnieniem celów (kryteriów) sektorowych wynikających z polityki sektorowej (polityka transportowa miasta), uwzględniającego interesy wielu podmiotów (decydenta i interwenientów) i różne aspekty (ekonomiczne, społeczne, techniczne i środowiskowe),
- zaproponowanie systemowego ujęcia rozpatrywanego podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr), dotyczącego projektów transportu miejskiego,
- zdefiniowanie spójnej rodzin kryteriów sektorowych charakterystycznych dla polityki transportowej miasta (celów tej polityki),
- opracowanie modelu preferencji decydenta/interwenientów właściwego dla przyjętej metody WWD (definicja ważności poszczególnych kryteriów sektorowych i określenie wrażliwości decydenta/interwenientów na zmiany wartości tych kryteriów),
- przeprowadzenie analizy porównawczej oraz oceny wybranych metod WWD służących do rozwiązania podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr).

Za istotne osiągnięcia należy uznać również wnioski praktyczne:

- zweryfikowanie, w ramach proponowanej metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego, procedury dotyczącej oceny 18 wariantów/projektów transportu miejskiego o różnym charakterze transportowym (transport prywatny, transport publiczny, mobilność niezmotoryzowana i integracja transportu) przy pomocy charakterystycznej, spójnej rodzin kryteriów sektorowych odzwierciedlających cele polityki transportowej miasta,
- pokazanie praktycznych możliwości zastosowanej metody AHP do oceny 18 wariantów/projektów transportu miejskiego przy pomocy kryteriów sektorowych, jako istotnej części metodyki wielopoziomowego, wielokryterialnego szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego.

Rozwiązaniem kompromisowym, rozważanego podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) wyodrębnionego z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów na poziomie III jest ranking 18 wariantów/projektów transportu miejskiego z uwzględnieniem kryteriów sektorowych charakterystycznych dla polityki transportowej Miasta Poznania, zaprezentowany na rysunku 32.

5.4. Poziom IV – uzyskanie rankingu strategicznego projektów transportu miejskiego

Na poziomie IV metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego – uzyskanie rankingu strategicznego projektów transportu miejskiego z uwzględnieniem kryteriów o charakterze strategicznym, wynikających z celów strategii rozwoju miasta – analizie poddano zestaw wszystkich rozważanych projektów transportu miejskiego, niezależnie od ich podziału na klasy. Rezultatem analizy na poziomie IV jest pojedynczy ranking strategiczny projektów transportowych uwzględniający ich wpływ na realizację nadrzędnych, strategicznych celów miasta.

5.4.1. Identyfikacja i opis werbalny podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St)

Istotą rozważanego podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St) wydzielonego z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego na poziomie IV opracowanej metodyki jest ocena projektów transportowych, reprezentujących różne rodzaje transportu miejskiego, planowanych do realizacji w mieście, uwzględniająca ocenę wpływu tych projektów na strategię rozwoju miasta.

W ramach fazy I ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, rozważania prowadzone są w oparciu o analizę rzeczywistych 18 projektów transportowych przewidzianych do realizacji w Poznaniu/aglomeracji poznańskiej. Rezultatem przeprowadzonej oceny ma być, określenie użyteczności projektów transportowych dla realizacji strategii rozwoju miasta – osiągania jej celów (strategicznych). Rozważane zagadnienie sformułowano, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów, w którym zbiór 18 wariantów/projektów transportu miejskiego oceniany jest za pomocą zestawów kryteriów strategicznych.

Również na poziomie IV tak samo jak na poziomie II i III opracowanej metodyki, w rozważanym podproblemie decyzyjnym – strategicznym (PPD-St) decydentem i interwenientami są te same grupy osób reprezentujące władze miejskie, mieszkańców (użytkowników) miasta, operatora transportu miejskiego oraz pasażerów. Osoby reprezentujące decydenta (władze miejskie) są odpowiedzialne za ostateczne uszeregowanie wariantów/projektów transportu miejskiego uwzględniając wpływ rozważanych wariantów na strategię rozwoju Miasta Poznania i biorą pod uwagę zaspokojenie interesów różnych grup interesariuszy. Zaproponowano przeprowadzenie dyskusji i burzy mózgów w celu ustalenia jednolitego, kompromisowego modelu preferencji i oczekiwań decydenta i interwenientów.

Wielokryterialny problem decyzyjny zidentyfikowany i opisany werbalnie na poziomie IV jest podproblemem decyzyjnym – strategiczny (PPD-St) wydzielonym z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania (rankingu) wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPDSW), którego rozwiązanie jest

niezbędne, podobnie jak rozwiązanie wydzielonych podproblemów decyzyjnych merytorycznego i sektorowego, aby na poziomie V uzyskać globalny ranking projektów transportu miejskiego.

Rezultatem przeprowadzonej oceny ma być ranking strategiczny określający przydatności/użyteczności 18 projektów transportowych do realizacji strategii rozwoju miasta (Miasta Poznania). Rozważane zagadnienie sformułowano, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów, w którym zbiór 18 wariantów/projektów transportu miejskiego zostanie oceniony za pomocą zestawów kryteriów strategicznych.

5.4.2. Konstrukcja modelu matematycznego podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD- St)

Faza II, ogólnej procedury rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, polega na tworzeniu modelu matematycznego opisanej sytuacji decyzyjnej. W przypadku sformułowanego podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St) zadanie polega na wielokryterialnym szeregowaniu wariantów. Model matematyczny takiego zagadnienia, bazuje na zdefiniowaniu spójnej rodziny kryteriów strategicznych, konstrukcji macierzy ocen, zawierającej ilościowe miary oceny 18 wariantów/projektów transportu miejskiego za pomocą wszystkich kryteriów strategicznych oraz modelu preferencji decydenta i interwenientów obejmującego ważność kryteriów strategicznych oraz wrażliwość decydenta/interwenientów na zmiany wartości tych kryteriów. Na poziomie IV, w ramach fazy II ogólnej metodyki rozwiązywania problemów decyzyjnych, nie ma konieczności definiowania wariantów, ponieważ ocenie poddawanych jest zestaw projektów transportu miejskiego taki sam jak na poprzednich dwóch poziomach.

5.4.2.1. Charakterystyka wariantów – poziom IV – strategiczny

Jak już powyżej wspomniano na poziomie IV, w niniejszej dysertacji, podobnie jak na poziomie II i III, analizie poddawanych jest 18 tych samych projektów transportu miejskiego.

5.4.2.2. Kryteria strategiczne

Kryteria strategiczne oparte są na trzech celach strategicznych definiowanych najczęściej w strategiach rozwoju średniej wielkości miast, tj.:

1. rozwój gospodarki innowacyjnej i podnoszenie atrakcyjności inwestycyjnej miasta,
2. zwiększenie znaczenia miasta,

3. poprawa jakości życia oraz atrakcyjności przestrzeni i architektury miasta.

W rezultacie powstała spójna rodzina dziesięciu kryteriów strategicznych, które posłużyły do oceny wszystkich 18 wariantów/projektów transportu miejskiego. Rodzina ta obejmuje następujące wielkości/miary:

- **Produktywność (KS-01)** – kryterium maksymalizowane, mierzone wzrostem przychodów pośrednich z działań podejmowanych w wyniku zrealizowania danego wariantu. W przychodach uwzględniono podatki CIT, PIT oraz podatek od nieruchomości, a także wzrost wartości nieruchomości miejskich. Przychody wyznaczono w skali 25 lat w wartości bieżącej. Kryterium skojarzone z celem strategicznym nr 1, tj. rozwojem gospodarki innowacyjnej i podnoszeniem atrakcyjności inwestycyjnej miasta.
- **Wpływ na rynek pracy (KS-02)** – kryterium maksymalizowane, mierzone liczbą nowopowstałych miejsc pracy w wyniku zrealizowania danego wariantu. Kryterium skojarzone z celem strategicznym nr 1, tj. rozwojem gospodarki innowacyjnej i podnoszeniem atrakcyjności inwestycyjnej miasta.
- **Konkurencyjność inwestycyjna (KS-03)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej (0 – 10 pkt), oceniające wpływ danego projektu transportowego na atrakcyjność inwestycyjną Poznania. Kryterium poddaje ocenie możliwość zainwestowania kapitału zagranicznego w Poznaniu w związku ze zrealizowaniem danego wariantu (projektu). Jest ono skojarzone z celem strategicznym nr 1, tj. rozwój gospodarki innowacyjnej i podnoszenie atrakcyjności inwestycyjnej miasta.
- **Potencjał akademicki (KS-04)** – kryterium maksymalizowane, oceniające wpływ danego wariantu/projektu transportu miejskiego na potencjał naukowy i dydaktyczny aglomeracji poznańskiej, wyrażone w skali punktowej (0 – 10 pkt), uwzględniające takie parametry jak np. liczba studentów przypadającą na 1000 mieszkańców, procent studentów z zagranicy w ogólnej liczbie studentów, liczba konferencji i spotkań. Kryterium to jest skojarzone z celem strategicznym nr 2, tj. zwiększeniem znaczenia miasta.
- **Atrakcyjność społeczna (KS-05)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej (0 – 10 pkt), oceniające wpływ danego wariantu/projektu transportowego na potencjał organizacyjny miasta (liczba imprez sportowych oraz targowych organizowanych na terenie miasta). Kryterium to jest skojarzone z celem strategicznym nr 2, tj. zwiększeniem znaczenia miasta.
- **Komfort życia (KS-06)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej (0 – 10 pkt), oceniające poziom jakości życia w mieście. W związku z realizacją poszczególnych wariantów/projektów transportu miejskiego, kryterium to uwzględnia takie parametry jak np.: średnia płaca brutto, stopa bezrobocia, PKB/mieszkańca. Kryterium jest skojarzone z celem strategicznym nr 3, tj. poprawa jakości życia oraz atrakcyjność przestrzeni i architektury miasta.

- **Ład przestrzenny (KS-07)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone procentowo, jako udział powierzchni przeznaczonej na dany projekt, której przeznaczenie jest zgodne z miejscowymi planami zagospodarowania terenu w całkowitej powierzchni przeznaczonej na dany projekt (wariant). Kryterium skojarzone z celem strategicznym nr 3, tj. poprawa jakości życia oraz atrakcyjność przestrzeni i architektury miasta.
- **Prestiż miasta (KS-08)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej (0 – 10 pkt), oceniające wpływ poszczególnych wariantów/ projektów transportu miejskiego na ogólny wizerunek miasta. Kryterium skonstruowano o takie elementy jak: udział mieszkańców z wykształceniem wyższym w całkowitej liczbie mieszkańców oraz lokaty w ogólnopolskich rankingach dotyczących poziomu jakości życia. Kryterium skojarzone z celem strategicznym nr 3, tj. poprawa jakości życia oraz atrakcyjność przestrzeni i architektury miasta.
- **Poziom zrównoważenia metropolii (KS-09)** – kryterium maksymalizowane, mierzone stosunkiem PKB/mieszkańca miasta do PKB/mieszkańca metropolii i uwzględniające koncepcję zrównoważonego rozwoju całej metropolii. Kryterium to ocenia wpływ poszczególnych wariantów/projektów transportu miejskiego na równoważenie ogólnego poziomu życia w metropolii. Kryterium to jest skojarzone z celem strategicznym nr 2, tj. zwiększeniem znaczenia miasta.
- **Stopień integracji infrastrukturalnej i społecznej (KS-10)** – kryterium maksymalizowane, wyrażone w skali punktowej (0 – 10 pkt), oceniające wpływ wariantów/projektów transportu miejskiego na poziom integracji technicznej i społecznej w rozważanej aglomeracji miejskiej. W konstrukcji kryterium uwzględniono takie parametry jak: łączna wielkość budżetów gmin metropolii, liczba gmin, które podpisały porozumienia międzygminne dot. stref taryfowych transportu aglomeracyjnego. Kryterium skojarzone z celem strategicznym nr 2, tj. zwiększeniem znaczenia miasta.

5.4.2.3. Macierz ocen dla podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St)

Dla każdego z wariantów zdefiniowanych w sekcji 5.2.2.1, wyznaczono wartości powyższych kryteriów zdefiniowanych w sekcji 5.4.2.2. uzyskując macierz ocen zaprezentowaną tabeli 15.

Tabela 15. Macierz ocen rozważanych wariantów i kryteriów strategicznych (PPD-St) na poziomie IV

	Kryteria strategiczne									
Warianty	KS-1 [mln zł]	KS-2 [miejsc pracy]	KS-3 [pkt]	KS-4 [pkt]	KS-5 [pkt]	KS-6 [pkt]	KS-7 [%]	KS-8 [pkt]	KS-9	KS-10 [pkt]
PrT-1	7,0	5	5	0,0	3,0	2,6	0	0	2,20	1,1
PrT-2	500,0	256	4	0,0	2,1	2,3	50	0	2,11	2,1
PrT-3	50,0	14	4	0,0	2,4	2,0	100	0	2,19	3,4
PrT-4	2024,0	1458	7	0,0	3,8	7,8	80	0	2,13	8,2
PrT-5	29,0	35	4	0,0	2,7	3,9	100	0	2,12	6,3
PrT-6	8,0	3	3	0,0	1,5	3,0	0	0	2,18	2,4
PrT-7	120,0	150	5	0,0	3,5	7,4	100	0	2,12	4,3
PuT-1	15,0	112	5	0,0	1,3	4,3	100	0	2,11	0,0
PuT-2	8,0	63	1	0,0	3,7	5,5	0	0	2,11	3,4
PuT-3	20,0	8	0	0,0	1,5	2,5	30	0	2,14	1,5
PuT-4	10,0	200	3	0,0	2,8	5,0	70	0	2,10	5,8
MN-1	0,9	0	1	0,3	0,0	1,0	0	0	2,13	2,3
MN-2	0,1	0	1	0,2	0,0	1,2	0	0	2,16	2,3
MN-3	2,3	2	0	0,0	0,0	1,0	0	0	2,14	2,1
MN-4	2,1	3	1	0,0	0,0	1,0	0	0	2,17	3,5
IT-1	9,0	16	0	0,0	5,2	1,0	0	0	2,18	5,5
IT-2	8,6	164	0	0,5	5,6	2,5	100	0	2,18	10,0
IT-3	1,3	55	0	0,2	5,1	1,0	100	0	2,11	5,5

5.4.2.4. Model preferencji decydenta – poziom IV – strategiczny

Ze względu na to, że na poziomie V następuję agregacja uzyskanych wyników na poziomach II do IV w jeden końcowy ranking, decydent/interwenienci, wyrażali swoje preferencję podobnie, jak na poziomach poprzednich. Ze względu na powyższe autor niniejszej dysertacji odsyła czytelnika do sekcji 5.2.2.4 i sekcji 5.3.2.4.

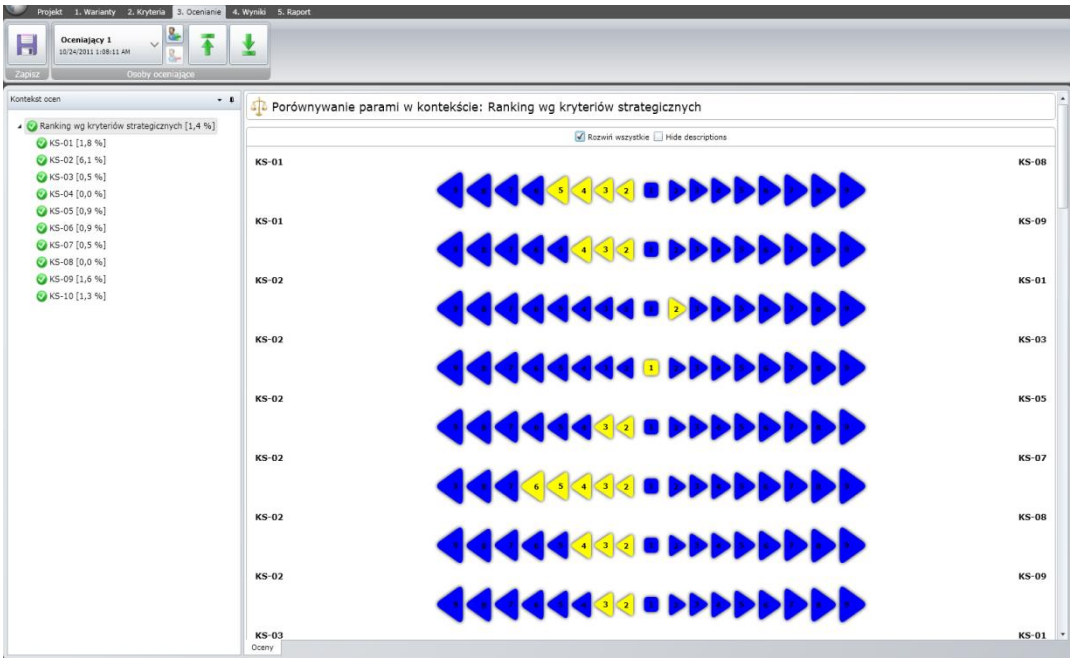
5.4.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St)

Na poziomie IV opracowanej metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego, wybór metody WWD, która najlepiej będzie odwzorowywała model preferencji decydenta oraz uwzględniała specyfikę analizowanego podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St) jest, podobnie jak na poziomie II i III, oparty na trzech zasadniczych filarach: analizie podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St), analizie wybranych metod WWD oraz analizie modelu preferencji decydenta/interwenientów. Ze względu na podobieństwo specyfiki podproblemów decyzyjnych sektorowego (PPD-Sr) oraz strategicznego (PPD-St), a także niezmienionych preferencji decydenta/interwenientów, rozpatrywany na poziomie IV dobór metody WWD dała ten sam rezultat, jak wybór metody WWD na poziomie III, tzn. wykazał najlepsze dopasowanie metody AHP do rozważanego podproblemu decyzyjnego opisanego w podrozdziale 5.4.1. Dlatego autor niniejszej

dysertacji odstąpił od szczegółowej prezentacji wyników tych analiz i w tym zakresie odsyła czytelnika do podrozdziału 5.3.3.

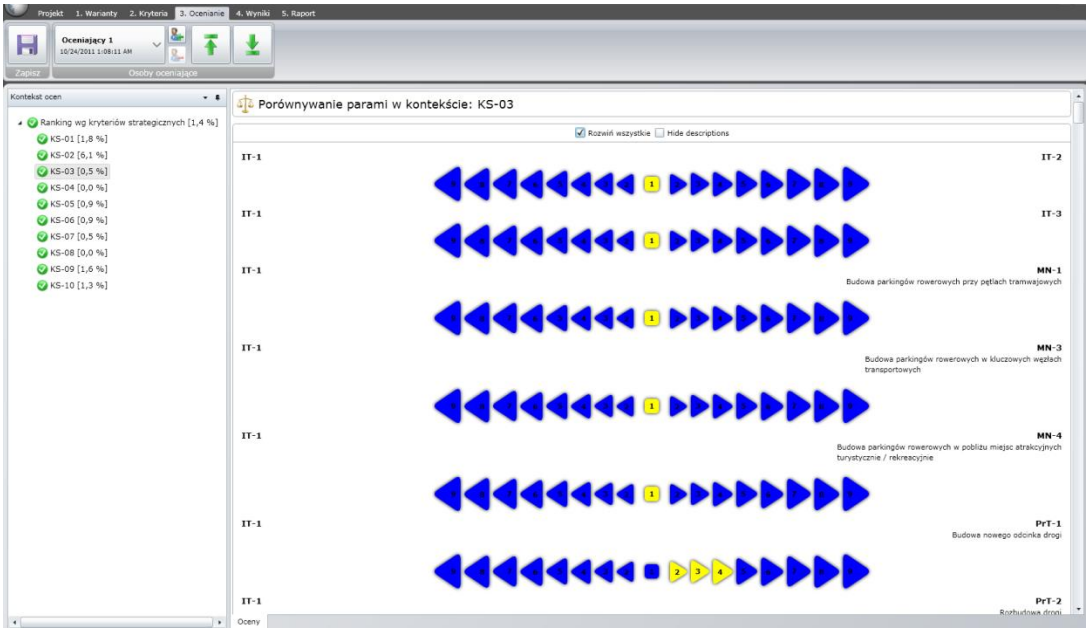
5.4.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe na poziomie strategicznym

Faza IV ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych wiąże się w pierwszej kolejności z modelowaniem preferencji decydenta i interwenientów (faza II algorytmu AHP –podrozdziale 3.2.3.). W tym celu wykorzystano charakterystyczną dla metody AHP procedurę porównań wszystkich elementów hierarchii parami i przyznawania im odpowiedniego stopnia ważności/preferencji w skali od 1 do 9 punktów. Podobnie jak w przypadku modelowania preferencji decydenta/interwenientów na poziomach II i III, na rysunkach 30 i 31, zaprezentowano sposób modelowania preferencji decydenta przy użyciu wykorzystanego w niniejszej pracy narzędzia MakeItRational, który jest implementacją komputerową metody AHP. Modelowanie to polegało na porównaniu parami wszystkich kryteriów strategicznych (45 porównań) oraz porównaniu parami wszystkich wariantów względem poszczególnych kryteriów (1480 porównań), a raport z przeprowadzonego modelowania preferencji w tym zakresie zawiera załącznik. Liczba żółtych trójkątów po stronie danego kryterium/wariantu, oznacza wielkość jego przewagi nad drugim, z którym jest porównywane. W związku z tym, z rysunku 30 można odczytać, np., że stopień ważności kryterium KS-02 (wpływ na rynek pracy) w stosunku do kryterium KS-07 (ład przestrzenny) wynosi 6, co zgodnie z zasadą kompensacji ocen oznacza, że w odwrotnym porównaniu tych dwóch kryteriów, stopień ważności wynosi 1/6, tzn., że kryterium wpływ na rynek pracy (KS-02) jest kryterium istotnie ważniejszym, bardziej preferowanym przez decydenta/ interwenientów w ocenie wariantów/projektów transportu miejskiego niż kryterium ład przestrzenny (KS-07).



Rysunek 30. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów dla kryteriów strategicznych. Porównanie parami kryteriów strategicznych w skali 1-9 punktów

W analogiczny sposób odbywa się porównanie wariantów parami względem każdego kryterium. Z zaprezentowanego na rysunku 31 przykładu wynika, że stopień ważności wariantu – IT-1 w stosunku do wariantu – IT-3 względem kryterium – KS-03 wynosi 1 tzn., warianty te są równoważne/równocenne.

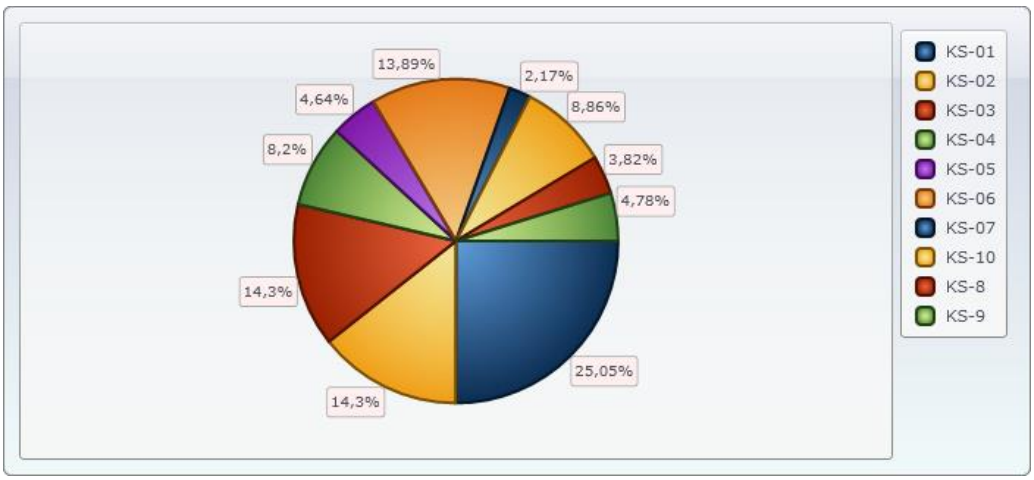


Rysunek 31. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów na poziomie IV strategicznym. Porównanie parami wariantów pod względem kryterium strategicznego KS-03 w skali 1-9 punktów

Zgodnie z algorytmem metody AHP (przedstawionym w podrozdziale 3.2.3) obliczono kolejno:

- bezwzględne, znormalizowane wagi kryteriów (Rysunek 32) oraz wagi wariantów,
- współczynniki spójności (ang. *Consistency Ratio* – CR), na wszystkich poziomach hierarchii przy pomocy, których następuje sprawdzanie jak dalece logiczna i jednorodna jest informacja preferencyjna podana przez decydenta,
- wartości funkcji użyteczności dla każdego wariantu, na podstawie, których konstruowane jest uszeregowanie wariantów (Rysunek 33).

W ostatniej grupie kryteriów – kryteria strategiczne (Rysunek 32) – najbardziej istotnym okazało się kryterium KS-01 tj. produktywność. Zgodnie z preferencjami wyrażonymi przez decydenta/interwenientów waga tego kryterium wynosi 25,05 %. Dosyć ważne okazały się również kryteria KS-02 – wpływ na rynek pracy, KS-03 – konkurencyjność inwestycyjna oraz KS-06 – komfort życia, których wartości wagowe są na poziomie odpowiednio: 14,3 %, 14,3 % i 13,89 %. Mniej istotnymi kryteriami strategicznymi okazały się KS-9 – poziom zrównoważenia metropolii, KS-5 – atrakcyjność społeczna i KS-8 – prestiż miasta, uzyskując wagi odpowiednio 4,78 %, 4,64 % i 3,82 %. Najmniej istotne kryterium – Ład przestrzenny – uzyskało wagę wynoszącą zaledwie 2,17 %. Współczynnik spójności CR wyniósł 1,4 % co świadczy o bardzo spójnej informacji preferencyjnej.



Rysunek 32. Wagi kryteriów strategicznych

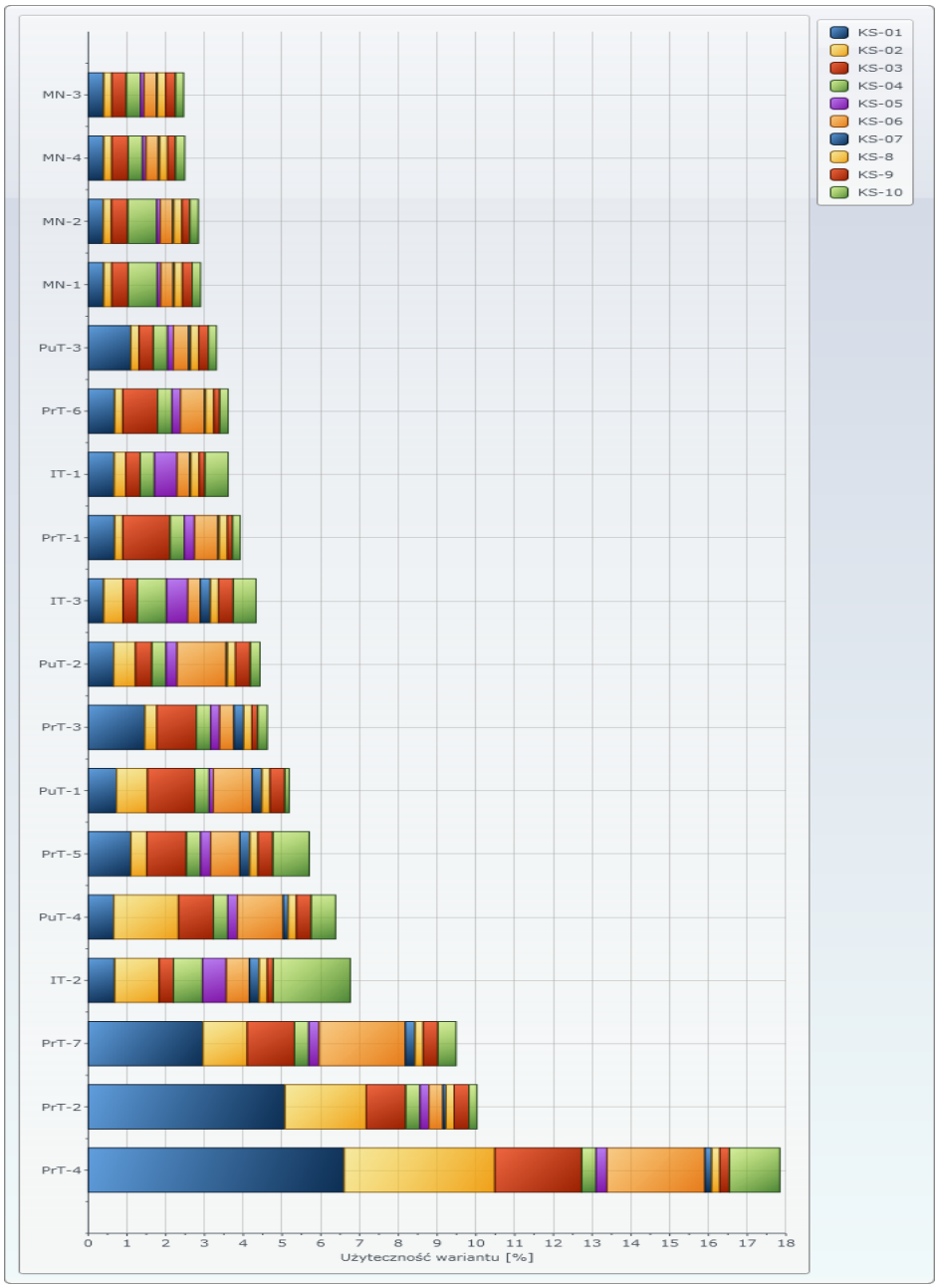
W wyniku porównania parami wszystkich wariantów (projektów transportowych), uzyskano ocenę ich użyteczności względem każdego z kryteriów strategicznych. W zestawieniu tym, względem większości kryteriów (6 z 10) najwyższą użyteczność uzyskały warianty z klasy projektów dotyczących transportu prywatnego, a wśród nich lider wariant PrT-4 (najlepszy względem czterech kryteriów – produktywność KS-01, wpływ na rynek pracy KS-02, konkurencyjność inwestycyjna KS-03, komfort życia KS-06), PrT-5 względem kryterium ład przestrzenny KS-07 oraz wariant PrT-1 względem

kryterium prestiż miasta KS-08. Względem trzech kryteriów wygrały warianty z klasy projektów dotyczących integracji transportu, a względem jednego kryterium wariant z klasy projektów dotyczących transportu publicznego. Wariant z klasy projektów dotyczących mobilności niezmotoryzowanej nie wygrały względem jakiegokolwiek kryterium strategicznego (raport z badań z zakresu uzyskania wag wariantów względem każdego z kryteriów strategicznych zawiera załącznik do niniejszej dysertacji).

Powyżej zaprezentowane bezwzględne wagi kryteriów oraz uzyskane użyteczności wariantów względem każdego kryterium strategicznego, posłużyły do wyznaczenia użyteczności wariantów. Dokonano tego za pomocą addytywnej funkcji użyteczności (Rysunek 33).

W przeciwieństwie do rankingów opartych na kryteriach merytorycznych, w rankingu opartym na kryteriach strategicznych wykonywana była ocena wszystkich wariantów (bez podziału na klasy oceniane przez różne kryteria). W związku z tym nie zaistniała potrzeba normalizacji, podobnie jak na poziomie III w rankingu opartym o kryteria sektorowe.

W rankingu wszystkich projektów wg kryteriów strategicznych (Rysunek 33) na czele rankingu znalazł się wariant PrT-4 (budowa nowego odcinka drogi „D") z użytecznością na poziomie 17,85 %. Na taką sytuację maja decydujący wpływ najlepsze wartości, które cechują ten wariant względem kryteriów KS-01, KS-02, KS-03, KS-06 (tj. odpowiednio kryteria: produktywność, wpływ na rynek pracy, konkurencyjność inwestycyjna, komfort życia). Na ostatnim miejscu w tym rankingu znalazł się za sprawą słabych not względem wszystkich kryteriów, wariant MN-3 (budowa parkingów rowerowych w kluczowych węzłach transportowych) z użytecznością wynoszącą 2,48 %. Warto zwrócić uwagę na fakt, że pierwsze trzy miejsca w rankingu wg kryteriów strategicznych zajęły projekty dotyczące transportu prywatnego, dopiero czwarte miejsce to projekt dotyczący integracji transportu, a piąte projekt zaklasyfikowany do przedsięwzięć związanych z transportem publicznym. Wszystkie cztery projekty dotyczące mobilności niezmotoryzowanej zajęły ostatnie cztery miejsca. Na taką sytuacje, ma niewielkie znaczenie tych wariantów/projektów transportowych na wzrost przychodów pośrednich tj. PIT, CIT, podatek od nieruchomości, oraz wzrost wartości nieruchomości będących w oddziaływaniu tego wariantu. Dodatkowo warianty związane z mobilnością niezmotoryzowaną również w niewielkim stopniu wpływają na rynek pracy oraz na atrakcyjność inwestycyjną Poznania.



Rysunek 33. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów strategicznych

5.4.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego) dla uzyskania rankingu strategicznego

Na poziomie IV analizie poddano zestaw wszystkich rozważanych wariantów/projektów transportu miejskiego (w rozważanym przypadku 18), niezależnie od ich podziału na klasy. Rezultatem analizy na poziomie IV jest pojedynczy ranking strategiczny projektów transportowych uwzględniający ich wpływ na realizację nadrzędnych, strategicznych celów miasta:

- dla wszystkich wariantów/projektów transportu miejskiego w ocenie wg charakterystycznych dla nich kryteriów strategicznych, najwyższe i najniższe wagi uzyskały kryteria – odpowiednio KS-1 tj. produktywność i KS-7 tj. ład przestrzenny,
- w rankingu wg grupy kryteriów strategicznych zwycięża ten sam wariant, co w rankingu wg kryteriów merytorycznych i w rankingu wg grupy kryteriów sektorowych – PrT-4,
- największy wpływ na użyteczność zwycięskiego wariant (PrT-4) w rankingu wg grupy kryteriów strategicznych miało pięć kryteriów – KS-1, KS-2, KS-3, KS-6, KS-10, a zupełnie nieistotny również pięć kryteriów – KS-4, KS-5, KS-7, KS-8, KS-9,
- wpływ kryterium – KS-1 na użyteczność wariantu – PrT-4, był najwyższy z pośród wszystkich kryteriów sektorowych, jednocześnie kryterium – KS-1 miało największy wpływ na użyteczność tego wariantu w odniesieniu do wpływów tego kryterium na użyteczność pozostałych wariantów, wysoki wpływ kryterium KS-1 był również jeszcze tylko na dwa warianty – PrT-2 i PrT-7,
- w rankingu wg grupy kryteriów strategicznych na drugim miejscu znalazł się wariant PrT-2, (projekt również związany z transportem prywatnym),
- trzecie miejsce w rankingu wg kryteriów strategicznych zajął wariant – PrT-7, (projekty związane z transportem prywatnym),
- ostatnie miejsce w rankingu wg kryteriów strategicznych zajął wariant – MN-3, (projekt związany z mobilnością niezmotoryzowaną).

Wariant PrT-4, czyli budowa ok. 8 km nowego odcinka drogi „D”, o parametrach drogi ekspresowej i przekroju 2x3 (dwie jezdnie i trzy pasy ruchu na każdej jezdni) okazał się zwycięzcą, także w rankingu wg grupy kryteriów strategicznych, uzyskanego na poziomie IV, opracowanej metodyki.

Przegląd i ocena rozwiązań pozwoliły na sformułowanie wniosków metodycznych, do których można zaliczyć:

- wyodrębnienie podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St) z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/ projektów transportu miejskiego (WWPSW),
- opracowanie uniwersalnego algorytmu postępowania przy przeprowadzaniu kompleksowej wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego dotyczących różnych jego rodzajów z uwzględnieniem celów (kryteriów) strategicznych wynikających ze strategii rozwoju miasta, uwzględniającego interesy wielu podmiotów (decydenta i interwenientów) i różne aspekty (ekonomiczne, społeczne, techniczne i środowiskowe),
- zaproponowanie systemowego ujęcia rozpatrywanego podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St), dotyczącego projektów transportu miejskiego, przy rozwiązywaniu wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego,

- zdefiniowanie spójnej rodzin kryteriów strategicznych charakterystycznych dla strategii rozwoju miasta (celów tej strategii),
- opracowanie modelu preferencji decydenta/interwenientów właściwego dla przyjętej metody WWD (definicja ważności poszczególnych kryteriów strategicznych i określenie wrażliwości decydenta/interwenientów na zmiany wartości tych kryteriów),
- przeprowadzenie analizy porównawczej oraz oceny wybranych metod WWD służących do rozwiązania podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St).

Za istotne osiągnięcia należy uznać również wnioski praktyczne:

- zweryfikowanie, w ramach proponowanej metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego, procedury dotyczącej oceny 18 wariantów/projektów transportu miejskiego o różnym charakterze transportowym (transport prywatny, transport publiczny, mobilność niezmotoryzowana i integracja transportu) przy pomocy charakterystycznej, spójnej rodzin kryteriów strategicznych odzwierciedlających cele strategii rozwoju miasta,
- pokazanie praktycznych możliwości zastosowanej metody AHP do oceny 18 wariantów/projektów transportu miejskiego przy pomocy kryteriów sektorowych, jako istotnej części metodyki wielopoziomowego, wielokryterialnego szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego.

Rozwiązaniem kompromisowym, rozważanego podproblemu decyzyjnego – strategicznego (PPD-St) wyodrębnionego z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów na poziomie IV jest ranking 18 wariantów/projektów transportu miejskiego z uwzględnieniem kryteriów strategicznych charakterystycznych dla strategii rozwoju miasta (Miasta Poznania), zaprezentowany na rysunku 33.

5.5. Poziom V – uzyskanie rankingu końcowego projektów transportu miejskiego

Na poziomie V, metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego, wygenerowano ranking końcowy wszystkich projektów transportowych. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu przy obliczeniu użyteczności końcowej wariantów/projektów transportu miejskiego agregacji wartości funkcji użyteczności tych wariantów z trzech rankingów pośrednich, tj.: rankingu merytorycznego, rankingu sektorowego i rankingu strategicznego. Agregację przeprowadzono z zastosowaniem dwóch podejść. Pierwsze podejście polega na zastosowaniu oryginalnej formuły zaproponowanej przez autora niniejszej dysertacji, a w drugim podejściu na zastosowaniu metody AHP. Uwzględniono przy tym preferencje decydenta i interwenientów, uzyskując ostateczną użyteczność wszystkich projektów transportu miejskiego i określając kolejność ich realizacji. Następnie

w końcowej fazie komputerowych eksperymentów obliczeniowych przeprowadzono analizę wrażliwości wyników pozwalającą na konstatacje dotyczące stabilności rankingów – uzyskanych wyników. W tym celu skonstruowano 3 scenariusze (I, II, III) oraz przy użyciu metody AHP obliczono wagi kryteriów tworząc w ten sposób kolejny scenariusz (IV). Konstruowanie trzech scenariuszy polega na zastosowaniu różnych kombinacji wartości wag przypisywanych poszczególnym kryteriom, w taki sposób, aby zbadać zachowanie się rankingów przy zmiennej dominacji poszczególnych kryteriów.

Uzyskanie rankingu końcowego, jako rozwiązania wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW), jest możliwe poprzez uzyskanie 3 rankingów pośrednich będących rozwiązaniem trzech podproblemów decyzyjnych – merytorycznego (PPD-M), – sektorowego (PPD-Sr), – strategicznego (PPD-St), które wyodrębniono z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/ projektów transportu miejskiego (WWPSW). Rozwiązanie podproblemów decyzyjnych ma miejsce na poziomach II do IV. Ostatecznie, rozwiązanie wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów (WWPSW) jak i rozwiązanie wyodrębnionych z niego podproblęmów decyzyjnych (PPD-M, PPD-Sr i PPD-St) poprzedzone jest rozwiązaniem na poziomie I specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych (Pr-1, Pr-2 i Pr-3) oraz sklasyfikowaniem rozwiązań tych problemów decyzyjnych i 15 kolejnych wariantów/projektów transportu miejskiego do odpowiednich klas (w przypadku omawianym do 4 klas).

5.5.1. Identyfikacja i opis werbalny problemu decyzyjnego na poziomie V

Jak już wspomniano wcześniej, istotą rozważanego w niniejszej dysertacji problemu decyzyjnego (faza I ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych), jest wieloaspektowa ocena projektów transportowych, reprezentujących różne rodzaje/kategorie działań wspomagających transport miejski, planowane do realizacji w mieście średniej wielkości. Ocena ta uwzględnia:

- ocenę i klasyfikację projektów do odpowiednich klas;
- ocenę merytoryczną projektów wg kryteriów o charakterze transportowym;
- ocenę wpływu projektów na politykę sektorową w tym wypadku politykę transportową miasta;
- ocenę wpływu projektów na strategię rozwoju miasta.

Na poziomie V rozważania prowadzone są w oparciu o analizę i ocenę rzeczywistych projektów transportowych – w niniejszej dysertacji 18 projektów transportu miejskiego reprezentujące różne rodzaje/kategorie działań wspomagające transport miejski – przewidziane do realizacji w Poznaniu. Problemem decyzyjnym rozważanym na tym poziomie (V) jest agregacja użyteczności 18 wariantów/projektów transportu miejskiego obliczonych oddzielnie względem poszczególnych rodzin kryteriów tj. merytorycznych, sektorowych i strategicznych, w jeden końcowy ranking

wariantów/projektów transportu miejskiego. Rezultatem prowadzonej oceny jest określenie globalnej przydatności/użyteczności projektów transportowych i wybór kolejności ich realizowania, tj. wprowadzenia do budżetu miasta (BM) i wieloletniego planu finansowego (WPF), wg hierarchii ich ważności i użyteczności w funkcji celów merytorycznych (specyfiki transportowej), sektorowych (polityki transportowej miasta) i strategicznych (strategii rozwoju miasta).

Ważnym zagadnieniem jest określenie stabilności wyników w zależności od znacznego zróżnicowania wartości wag zagregowanych kryteriów (merytorycznych, sektorowych oraz strategicznych).

Rozważane zagadnienie sformułowano, jako wielokryterialny problem szeregowania (rankingu) wariantów, w którym zbiór wszystkich wariantów został oceniony za pomocą jednego zestawu zagregowanych kryteriów: merytorycznych, sektorowych i strategicznych, z uwzględnieniem trzech rankingów pośrednich, tj.: rankingu merytorycznego, sektorowego i strategicznego (tzn. użyteczności wariantów względem poszczególnych rodzin kryteriów), w oparciu o różne preferencje decydenta i interwenientów.

5.5.2. Konstrukcja modelu matematycznego problemu decyzyjnego rozważanego na poziomie V

Faza II, ogólnej procedury rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, polega na tworzeniu modelu matematycznego opisanej sytuacji decyzyjnej, który w rozważanym przypadku, w niniejszej pracy, na poziomie V metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego, polega na przeprowadzeniu agregacji (dwa podejścia) użyteczności 18 wariantów/projektów transportu miejskiego obliczonych oddzielnie względem kryteriów merytorycznych, sektorowych oraz strategicznych, odpowiednio na poziomie II, III i IV. Rozważany problem decyzyjny na tym poziomie (V) sformułowano w postaci zadania wielokryterialnego szeregowania wariantów. W przypadku wielokryterialnego szeregowania wariantów, jak już wcześniej wspomniano, model matematyczny zagadnienia bazuje na konstrukcji zbioru wariantów (18 projektów transportu miejskiego), konstrukcji spójnej rodziny kryteriów (trzy zagregowane kryteria tj. merytoryczne, sektorowe i strategiczne), konstrukcji macierzy ocen (zawierającej ilościowe miary oceny wariantów za pomocą wszystkich kryteriów) oraz modelu preferencji decydenta obejmującego ważność kryteriów oraz wrażliwość decydenta na zmiany wartości kryteriów (łącznie cztery scenariusze, traktowane, jako analiza wrażliwości i stabilności wyników).

5.5.2.1. Charakterystyka wariantów – poziom V – ranking końcowy

Na poziomie V opracowanej metodyki, podobnie jak na trzech wcześniejszych poziomach, rozważono 18 wariantów, projektów transportowych, szczegółowo zdefiniowanych na poziomie II.

5.5.2.2. Kryteria oceny wariantów na poziomie V

W rezultacie zastosowania trzech poziomów oceny wariantów tj. poziomu II – merytorycznego, poziomu III – sektorowego i poziomu IV - strategicznego, gdzie do oceny zastosowano charakterystyczne rodziny kryteriów na tych poziomach (na poziomie II charakterystyczne cztery rodziny kryteriów dla oceny wariantów w odpowiedniej klasie, na poziomach III i IV po jednej rodzinie kryteriów), powstała spójna rodzina kryteriów, która posłużyła do oceny wszystkich osiemnastu wariantów na poziomie V. Rodzina ta obejmuje następujące zagregowane kryteria: merytoryczne, sektorowe i strategiczne.

5.5.2.3. Macierz ocen dla problemu decyzyjnego rozważanego na poziomie V

Macierz ocen dla rozważanego problemu decyzyjnego na poziomie V (Tabela 16), zawiera wartości użyteczności 18 wariantów/projektów transportu miejskiego względem poszczególnych rodzin kryteriów tj. merytoryczne, sektorowe i strategiczne. Przy budowie niniejszej macierzy ocen, wartości użyteczności wariantów względem poszczególnych kryteriów są znane i podawane, jako dokładne wartości ich parametrów i pochodzą z obliczonych na wcześniejszych poziomach (II do IV) użyteczności poszczególnych wariantów przy tworzeniu trzech rankingów, tj. merytorycznego, sektorowego i strategicznego.

Tabela 16. Macierz ocen dla problemu decyzyjnego rozważanego na poziomie V

	Z agregowane kryteria		
Warianty	**Merytoryczne**	**Sektorowe**	**Strategiczne**
PrT-1	7,87	7,34	3,92
PrT-2	3,11	5,66	10,04
PrT-3	4,97	7,28	4,62
PrT-4	11,56	18,2	17,85
PrT-5	4,81	8,35	5,71
PrT-6	3,04	2,28	3,61
PrT-7	3,49	6,09	9,51
PuT-1	4,22	2,59	5,19
PuT-2	4,76	5,83	4,43
PuT-3	5,06	3,65	3,3
PuT-4	8,27	9,24	6,39
MN-1	4,18	2,18	2,9
MN-2	7,25	3,86	2,83
MN-3	6,07	3,16	2,48
MN-4	4,69	3,41	2,5
IT-1	5,32	2,41	3,62
IT-2	7,11	5,46	6,76
IT-3	4,22	3,01	4,33

5.5.2.4. Model preferencji decydenta/interwenientów – poziom V

Na poziomie V, w obu podejściach przeprowadzono analizę wrażliwości wyników. W tym celu zaproponowano podejście scenariuszowe, w którym jeden ze scenariuszy utworzono w oparciu o wspólny model preferencji decydenta i interwenientów oparty na określeniu preferencji w ujęciu lokalnym. Podobnie wygląda wspólny model preferencji grup biorących udział w eksperymentach obliczeniowych jak na poziomach III i IV, w odniesieniu do podejścia II, ponieważ na poziomie V następuje agregacja uzyskanych rezultatów z poprzednich trzech poziomów, a uzyskane rankingi zawierają informację ilościową o użyteczności wariantów względem kryteriów tam (na poziomach) użytych do oceny. Ostatecznie, akceptowany jest wspólny model preferencji przez wszystkich członków poszczególnych grup interwenientów (pasażerów, operatora transportu publicznego) oraz władz miejskich jak na poprzednich poziomach.

5.5.3. Analiza i wybór metody pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego na poziomie V

Podstawowym zadaniem pozwalającym na rozwiązanie wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego o różnym charakterze – zidentyfikowanego i opisanego werbalnie w podrozdziale 5.5.1. – jest agregacja użyteczności wariantów/projektów transportu miejskiego względem poszczególnych rodzin kryteriów obliczonych na poziomach II do IV, w jeden ranking końcowy. W celu przeprowadzenia agregacji użyteczności wariantów obliczonych odrębnie względem poszczególnych rodzin kryteriów, autor niniejszej dysertacji opracował oryginalną formułę agregacji, którą zastosował do obliczeń ostatecznych wartości użyteczności wariantów, jako podejście I. Mając za sobą analizę i wybór metody WWD pozwalającej na rozwiązanie podproblemów decyzyjnych (PPD-M, PPD-Sr i PPD-St) wyodrębnionych z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW), autor niniejszej dysertacji, dostrzega podobieństwo specyfiki zdefiniowanego problemu decyzyjnego i przyjętego modelu preferencji decydenta i interwenientów na poziomie V do specyfiki podproblemów decyzyjnych i preferencji decydenta/interwenientów z trzech poprzednich poziomów. Jednak najistotniejszą przesłanką przemawiającą za wyborem metody AHP w podejściu II prowadzącym do uzyskania rankingu końcowego, jest możliwość obliczenia ostatecznych wartości użyteczności wariantów na podstawie ich użyteczności z rankingów pośrednich (merytorycznego, sektorowego i strategicznego). Nie bez znaczenia pozostaje możliwość prezentacji wyników obliczeń w postaci graficznej z prezentacją odległości między wariantami/projektami transportu miejskiego w wygenerowanym rankingu końcowym.

Podsumowując należy stwierdzić, że kluczową kwestią opracowanej metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego reprezentujących różne rodzaje/kategorie działań usprawniających transport miejski, na wszystkich poziomach charakterystycznych dla opracowanej metodyki tj. poziomach II do V, przyjęto jedną metodę WWD do rozwiązywania zdefiniowanych sytuacji decyzyjnych, a mianowicie metodę AHP.

5.5.4. Komputerowe eksperymenty obliczeniowe związane z uzyskaniem rankingu końcowego

Na poziomie V opracowanej metodyki wielokryterialnego wspomagania decyzji, uwzględniające wielopoziomową strukturę celów, w fazie V ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych (komputerowe eksperymenty obliczeniowe) zastosowano dwa podejścia. Pierwsze podejście opiera się na zastosowaniu agregacji wartości funkcji użyteczności wariantów z rankingów wg kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych, przy pomocy oryginalnej

formuły agregacji. Drugie podejście jest zgodne z algorytmem metody AHP (przedstawionym w podrozdziale 3.2.3), z uwzględnieniem preferencji różnych podmiotów reprezentujących inny punkt widzenia, tj. decydenta i interwenientów.

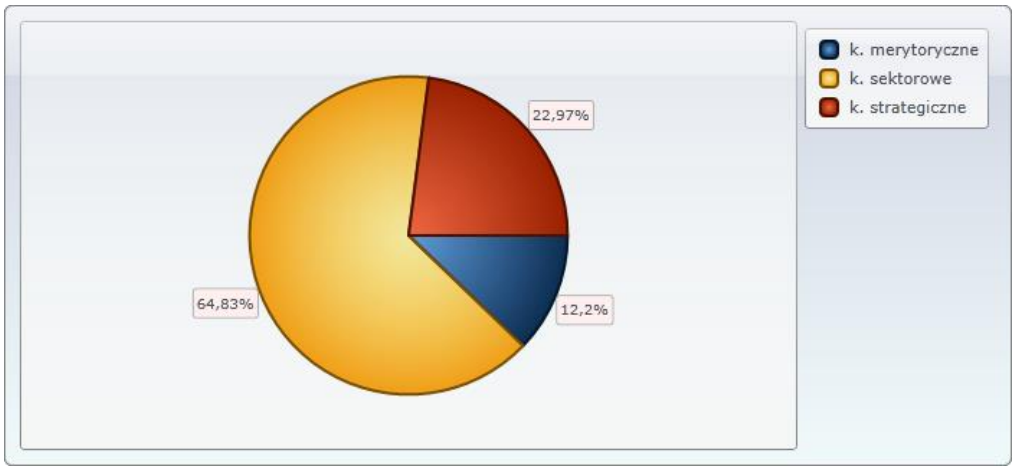
5.5.4.1. Podejście I – przy pomocy oryginalnej formuły agregacji funkcji użyteczności

W celu uzyskania rankingu końcowego uwzględniającego zarówno kryteria merytoryczne jak i sektorowe oraz strategiczne, dokonano agregacji wartości funkcji użyteczności wariantów z rankingów wg kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych wg poniższej formuły.

$$U_i = \frac{U_i^m \cdot w_m + U_i^O \cdot w_O + U_i^S \cdot w_S}{w_m + w_O + w_S} \tag{5.2}$$

gdzie:
U_i – użyteczność wariantu *i*,
U_i^m – użyteczność wariantu *i* wg kryteriów merytorycznych,
U_i^O – użyteczność wariantu *i* wg kryteriów sektorowych,
U_i^S – użyteczność wariantu *i* wg kryteriów strategicznych,
w_m – waga kryteriów merytorycznych,
w_O – waga kryteriów sektorowych,
w_S – waga kryteriów strategicznych.

Analizę wrażliwości przeprowadzono z wykorzystaniem podejścia scenariuszowego. Zaproponowano trzy scenariusze, w których przyjęto różne wagi kryteriów metodą ekspercką (delficką) oraz scenariusz czwarty, w którym wagi kryteriów merytorycznego, sektorowego i strategicznego, obliczone zostały przy pomocy metody AHP z uwzględnieniem preferencji decydenta i interwenientów. (Rysunek 34).



Rysunek 34. Wagi kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych obliczonych metodą AHP

W pierwszym scenariuszu przyjęto jednakowe wagi dla każdego kryterium, natomiast w drugim, trzecim i czwartym, różne – zestawienie wag szczegółowo przedstawiono w tabeli 17. W scenariuszu II najbardziej istotne były kryteria strategiczne, a najmniej merytoryczne, zaś w scenariuszu III odwrotnie, w scenariuszu IV najbardziej istotne były kryteria sektorowe a najmniej merytoryczne. Dla scenariusza IV obliczono wagi kryteriów przy pomocy metody AHP, używając implementację komputerową tej metody MakeItRational, porównując parami kryteria (3 porównania).

Tabela 17. Zestawienie wag grup kryteriów

Scenariusze	Wagi kryteriów:		
	w_m	w_O	W_S
Scenariusz I	0,33	0,33	0,33
Scenariusz II	0,20	0,30	0,50
Scenariusz III	0,50	0,30	0,20
Scenariusz IV	0,122	0,6483	0,2297

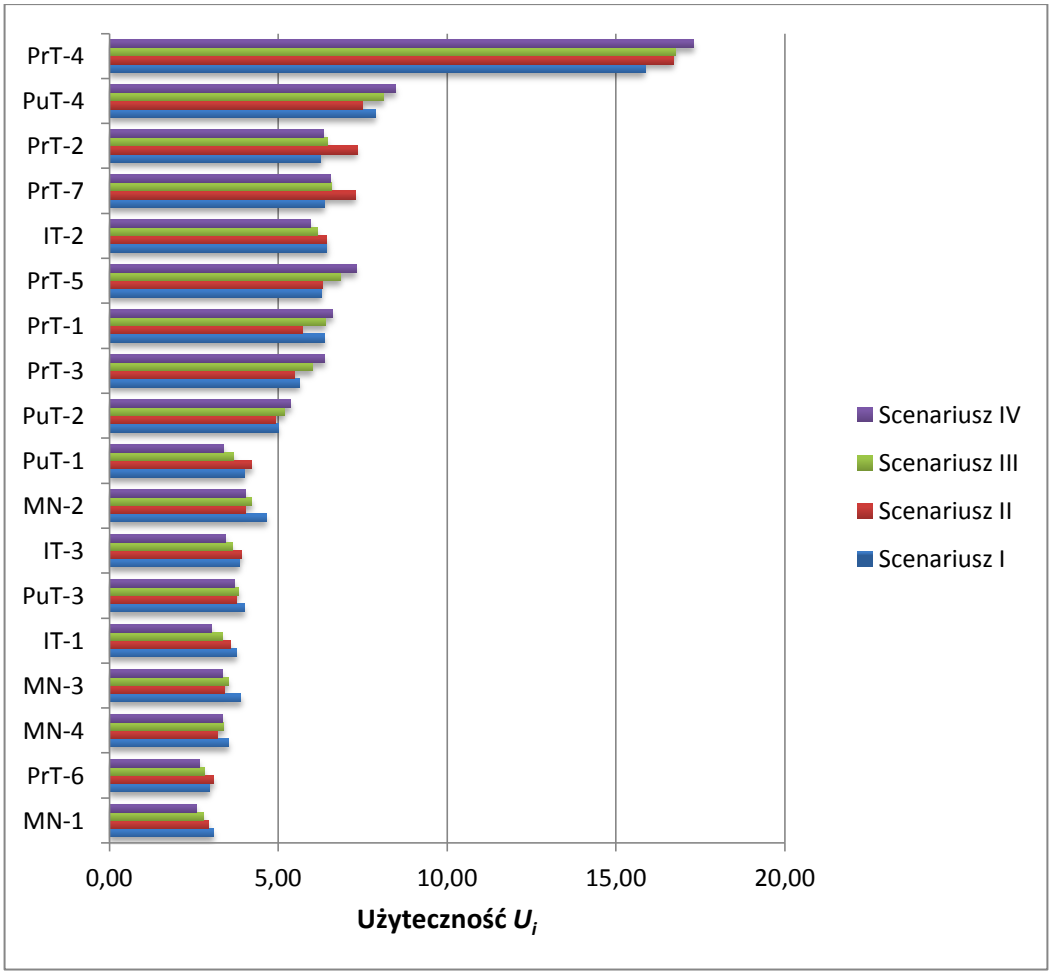
W efekcie podstawienia danych do równania (5.4), uzyskano cztery wartości użyteczności dla każdego wariantu (po jednym dla każdego scenariusza), które zestawiono w tabeli poniżej (Tabela 18). Wartości te wyznaczyły ich miejsca w rankingu końcowym danego scenariusza (Rysunek 35).

Tabela 18. Zestawienie wyników końcowych - wartości użyteczności wariantów

Wariant	U_i^m [%]	U_i^O [%]	U_i^S [%]	U_i			
				Scenariusz I [%]	Scenariusz II [%]	Scenariusz III [%]	Scenariusz IV [%]
IT-1	5,32	2,41	3,62	3,78	3,60	3,35	3,04
IT-2	7,11	5,46	6,76	6,44	6,44	6,18	5,96
IT-3	4,22	3,01	4,33	3,85	3,91	3,65	3,46
MN-1	4,18	2,28	2,90	3,09	2,94	2,80	2,59
MN-2	7,25	3,86	2,83	4,65	4,02	4,23	4,04
MN-3	6,07	3,16	2,48	3,90	3,40	3,54	3,36
MN-4	4,69	3,41	2,50	3,53	3,21	3,39	3,36
PrT-1	7,87	7,34	3,89	6,37	5,72	6,41	6,62
PrT-2	3,11	5,66	10,04	6,27	7,34	6,46	6,35
PrT-3	4,97	7,28	4,62	5,52	5,49	6,02	6,39
PrT-4	11,56	18,20	17,85	15,87	16,70	16,77	17,31
PrT-5	4,81	8,35	5,71	6,29	6,32	6,85	7,31
PrT-6	3,04	2,28	3,61	2,98	3,10	2,83	2,68
PrT-7	3,49	6,09	9,51	6,36	7,28	6,60	6,56
PuT-1	4,22	2,59	5,19	4,00	4,22	3,70	3,39
PuT-2	4,76	5,83	4,43	5,01	4,92	5,20	5,38
PuT-3	5,06	3,65	3,30	4,00	3,76	3,83	3,74
PuT-4	8,27	9,24	6,15	7,89	7,50	8,12	8,47

W rankingu końcowym wg podejścia I (Rysunek 35) uwzględniającym wszystkie zestawy kryteriów (merytoryczne, sektorowe i strategiczne), niezależnie od scenariusza, na czele znalazł się wariant PrT-4 (budowa nowego odcinka drogi „D"). W zależności od scenariusza jego użyteczność wynosiła: 15,87 % (scenariusz I), 16,70 % (scenariusz II), 16,77 % (scenariusz III) i 17,31 % (scenariusz IV). W przypadku ostatniego miejsca we wszystkich rankingach sytuacja jest nieco inna – w scenariuszu I na ostatnim miejscu znalazł się wariant PrT-6 (rozbudowa drogi „E"), uzyskując użyteczność na poziomie 2,98%, natomiast w scenariuszu II, III i IV na ostatnim miejscu znalazł się wariant MN-1 (budowa parkingów rowerowych przy pętlach tramwajowych) z użytecznością odpowiednio: 2,94 %, 2,80 % i 2,59 %.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że pierwsze dwa miejsca w rankingach wg wszystkich scenariuszy zajęły takie same warianty tj. PrT-4 i PuT-4, natomiast na trzeciej pozycji znalazły się: w rankingu wg scenariusza I – wariant IT-2, w rankingu wg scenariusz II – PrT-2, w rankingu wg scenariusza III – PrT-5 i w rankingu wg scenariusza IV – PrT-5.

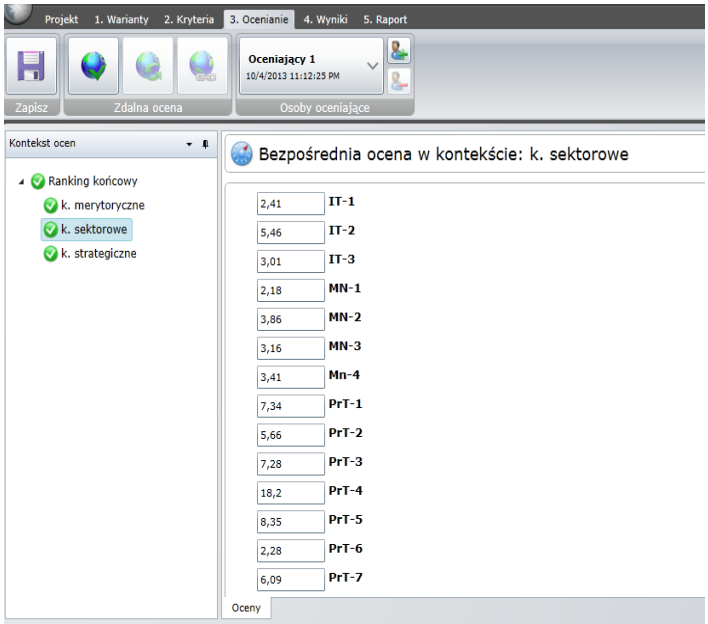


Rysunek 35. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych w sytuacji równych i różnych wag

5.5.4.2. Podejście II – z wykorzystaniem metody AHP

Podejście II polega na zastosowaniu do obliczeń ostatecznych wartości użyteczności wariantów/projektów transportu miejskiego w celu uzyskania rankingu końcowego metody AHP. Obliczenia prowadzono dla wszystkich scenariuszy. Pozwoliło to również na przeprowadzenie analizy wrażliwości wyników. W tym celu skonstruowano trzy scenariusze (I, II, III) różniące się trzema kombinacjami wag kryteriów oraz przy pomocy charakterystycznego dla metody AHP porównania parami kryteriów, obliczono wagi kryteriów tworząc w ten sposób kolejny scenariusz (IV).

Bezpośrednia ocena wariantów względem poszczególnych kryteriów polegała na przyjęciu wartości użyteczności z rankingów: merytorycznego dla wariantów względem kryterium merytorycznego, sektorowego dla wariantów względem kryterium sektorowego, oraz strategicznego dla wariantów względem kryterium strategicznego. Z zaprezentowanego na rysunku 36 przykładu wynika, że: stopień ważności wariantu – IT-1 względem kryterium sektorowego wynosi 2,41, a stopień ważności wariantu – IT-2 względem kryterium sektorowego wynosi 5,46, z tego należy wnioskować, że wariant IT-2 jest ważniejszy niż wariant IT-1 względem kryterium sektorowego.



Rysunek 36. Charakterystyczny dla metody AHP przypisanie użyteczności wariantów względem kryterium sektorowego

Zgodnie z algorytmem metody AHP (przedstawionym w podrozdziale 3.2.3) obliczono: wartości funkcji użyteczności dla każdego wariantu, dla czterech scenariuszy, na podstawie, których konstruowane jest ostateczne uszeregowanie wariantów (Rysunek 38 i Rysunek 39).

Współczynnik spójności CR wyniósł dla scenariusza IV (tylko w tym przypadku dokonywano porównania parami kryteriów w pozostałych przypadkach zastosowano

metodę bezpośredniej oceny) 0,4% co świadczy o bardzo spójnej informacji preferencyjnej.

Rysunek 37. Wagi kryteriów merytorycznego, sektorowego i strategicznego według różnych scenariuszów, odpowiednio 33,33/33,33/33,33, 20/30/50, 50/30/20, oraz uzyskanych porównując kryteria parami przy pomocy metody AHP

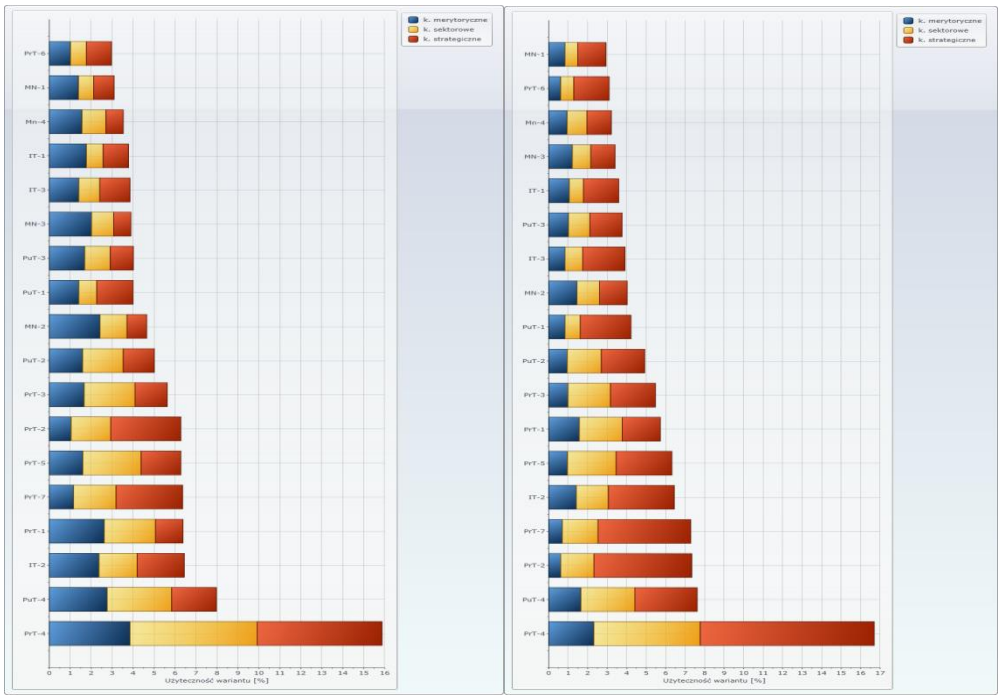
Powyżej zaprezentowane bezwzględne wagi kryteriów dla różnych scenariuszy (Rysunek 37) i uzyskane na poziomach II do IV użyteczności wariantów/projektów transportu miejskiego posłużyły do wyznaczenia użyteczności 18 wariantów/projektów transportu miejskiego. Dokonano tego za pomocą addytywnej funkcji użyteczności. Użyteczność danego wariantu obliczana jest, jako suma iloczynów wag na drodze od każdej gałęzi hierarchii, z którą związany jest dany wariant. Wygenerowano w ten sposób cztery rankingi dla każdego scenariusza po jednym (Rysunek 38 i Rysunek 39).

W efekcie prowadzonych obliczeń uzyskano końcowe wartości użyteczność wariantów/projektów transportu miejskiego względem wszystkich rodzin kryteriów (osiągnięcie wielopoziomowej struktury celów) dla czterech scenariuszy. W zestawieniu tym, w każdym scenariuszu, wariant PrT-4 z klasy projektów dotyczących transportu prywatnego, okazał się najlepszy, jego pozycja wynika z pozycji, jaką zajął w rankingach merytorycznym, sektorowym i strategicznym (raport z badań z zakresu uzyskania wag wariantów względem każdego z kryteriów: merytorycznego, sektorowego i strategicznego, zawiera załącznik do niniejszej pracy doktorskiej).

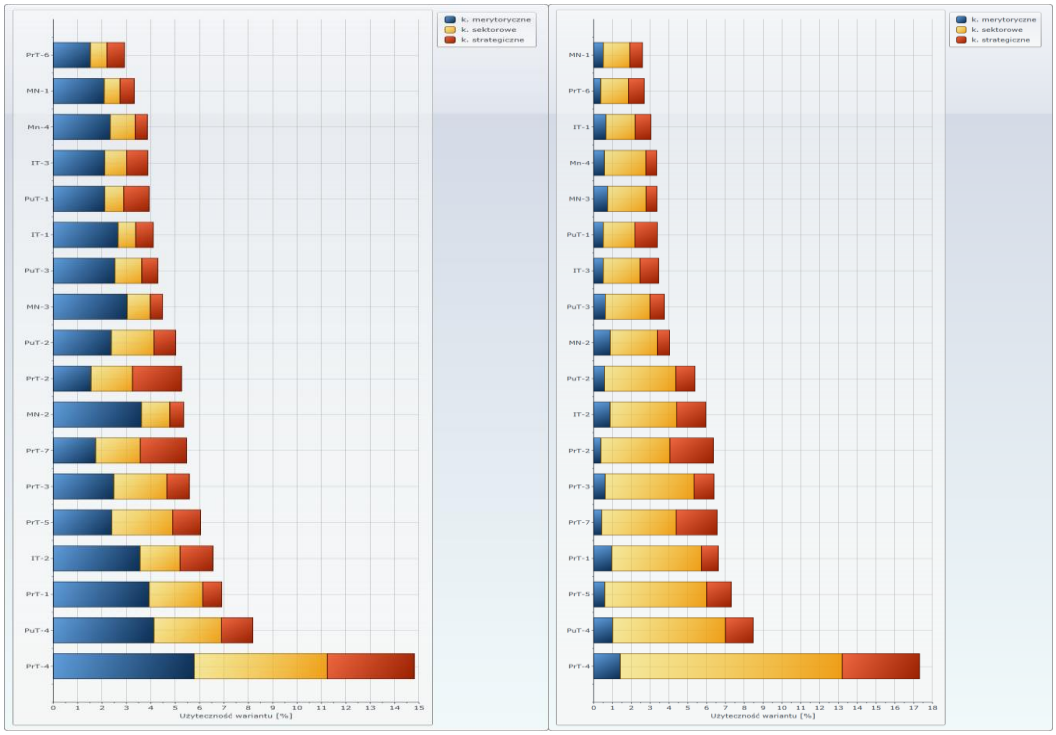
We wszystkich rankingach wg różnych scenariuszy (Rysunek 38, Rysunek 39), jak już wyżej wspomniano, na czele znalazł się wariant PrT-4 z użytecznością: wg scenariusza I – 15,87%, wg scenariusza II – 16,70%, wg scenariusza III – 14,81% i wg scenariusza IV – 17,31%. Na taką sytuację mają decydujący wpływ największe wartości użyteczności uzyskane względem kryteriów: w scenariuszu I – sektorowy i strategiczny, w scenariuszu II – strategiczny, w scenariuszu III – merytoryczny i sektorowy, a w scenariuszu IV – sektorowy.

Na ostatnim miejscu w rankingu końcowym dla każdego scenariusza znalazły się dwa warianty PrT-6 i MN-1. Wariant PrT-6 znalazł się za sprawą słabych not względem kryterium merytorycznego w dwóch rankingach wg scenariusza I i III, a wariant MN-1 również w dwóch rankingach wg scenariusza II i IV, za sprawą słabych not względem dwóch kryteriów sektorowego i strategicznego. Wariant PrT-6 znalazł się na ostatnim miejscu w rankingu wg scenariusza I z użytecznościom na poziomie 2,98 %, a w rankingu wg scenariusza III na poziomie 2,93%, zaś wariant MN-1 w rankingu wg scenariusza II uzyskał użyteczność na poziomie 2,94%, a w rankingu wg scenariusza IV na poziomie 2,59%.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że pierwsze dwa miejsca w rankingach końcowych wg wszystkich scenariuszy zajęły takie same warianty tj. PrT-4 i PuT-4, natomiast na trzeciej pozycji znalazły się: w rankingu końcowym wg scenariusza I – wariant IT-2, w rankingu końcowym wg scenariusz II – PrT-2, w rankingu końcowym wg scenariusza III – PrT-1 i w rankingu końcowym wg scenariusza IV – PrT-5.



Rysunek 38. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów merytorycznego, sektorowego i strategicznego – po lewej wg scenariusza I, po prawej wg scenariusza II



Rysunek 39. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów merytorycznego, sektorowego i strategicznego – po lewej wg scenariusza III, po prawej wg scenariusza IV

5.5.5. Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego)

Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe pozwalają na kompleksową analizę ich wyników obejmującą porównanie rankingów wg różnych grup kryteriów: merytorycznych, sektorowych i strategicznych, a także skonfrontowanie ze wspólnym rankingiem finalnym/końcowym:

- we wszystkich klasach projektów w ocenie wg charakterystycznych dla nich kryteriów merytorycznych, najwyższe i najniższe wagi uzyskały te same kryteria – odpowiednio wewnętrzna stopa zwrotu i uciążliwość procesu inwestycji,
- w rankingach pośrednich wg każdej grupy kryteriów tj. merytorycznych, sektorowych, strategicznych, a także w rankingu końcowym, zwyciężył ten sam wariant – PrT-4 (budowa ok. 8 km nowego odcinka drogi „D”),
- w rankingach pośrednich na drugim miejscu, wg grupy kryteriów strategicznych znalazł się wariant PrT-2, podczas gdy wg grupy kryteriów merytorycznym i sektorowym, znalazł się wariant PuT-4,
- trzecie miejsce w każdym z rankingów pośrednich zajął inny wariant – wg kryteriów merytorycznych – PrT-1, sektorowych – PrT-5, strategicznych – PrT-7. Są to jednak warianty z tej samej klasy (projekty związane z transportem prywatnym),
- ostatnie miejsce w każdym z rankingów pośrednich zajął inny wariant – wg kryteriów merytorycznych – PrT-6, sektorowych – MN-1, strategicznych – MN-3,

Różne wagi zastosowane dla poszczególnych zagregowanych kryteriów w analizie wrażliwości, a uwzględnione w scenariuszach mają niewielki wpływ na układ rankingu końcowego:

- pierwsze miejsce w każdym przypadku (scenariuszu) jak również w obu podejściach, zajął wariant PrT-4 (budowa ok. 8 km nowego odcinka drogi „D”),
- drugie miejsce, także w każdym scenariuszu i w obu podejściach, zajął wariant PuT-4,
- trzecie miejsce w rankingu wg scenariusza I (równe wagi zagregowanych kryteriów – merytorycznego, sektorowego, strategicznego) w podejściu I i II zajął wariant IT-2, podczas gdy w rankingu wg scenariusza II (najwyższa waga zagregowanego kryterium strategicznego), również w podejściu I i II zajął wariant PrT-2, a w rankingu wg scenariusza III (najwyższa waga zagregowanego kryterium merytorycznego) w podejściu I wariant PrT-5, a w podejściu II wariant PrT-1, w rankingu wg scenariusza IV (wagi określone przy pomocy metody AHP) wariant PrT-5 (w obu podejściach zastosowano te same obliczenia),

- miejsca w środku rankingu w każdym scenariuszu i w obu podejściach, kształtują się nieco inaczej, jednak różnice w użytecznościach tych wariantów nie są znaczące,
- ostatnie i przedostatnie miejsca we wszystkich czterech scenariuszach w podejściu II, zajmują te same warianty, różnią się natomiast nieznacznie układem – w rankingu wg scenariusza I i III ostatnie miejsce zajmuje wariant PrT-6, a przedostatnie MN-1, podczas gdy w rankingach wg scenariusza II i IV sytuacja jest dokładnie odwrotna,
- zaś w podejściu I ostatnie i przedostatnie miejsca we wszystkich scenariuszach zajmują również te same warianty, co w podejściu II, jednak wariant PrT-6 występuje na ostatniej pozycji tylko w scenariuszu I, a wariant MN-1 aż w trzech scenariuszach (scenariusz II, III, IV),
- oba podejścia (pierwsze opiera się na zastosowaniu oryginalnej formuły agregacji wartości funkcji użyteczności wariantów z rankingów wg kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych, drugie jest zgodne z algorytmem metody AHP z uwzględnieniem preferencji różnych podmiotów reprezentujących inny punkt widzenia w scenariuszu IV) dają podobne rezultaty.

Przegląd i ocena rozwiązań pozwoliły na sformułowanie wniosków metodycznych, do których można zaliczyć:

- opracowanie uniwersalnego algorytmu postępowania przy przeprowadzaniu kompleksowej, wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/ projektów transportu miejskiego dotyczących różnych jego rodzajów z uwzględnieniem zarówno celów (kryteriów) merytorycznych związanych z transportem, odnoszących się do poziomu zarządzania operacyjnego, jak i celów (kryteriów) strategicznych odnoszących się do strategii rozwoju miasta związanych z poziomem zarządzania strategicznego oraz celów (kryteriów) sektorowych odpowiednich do celów polityki transportowej miasta związanych z poziomem zarządzania taktycznego,
- sformułowanie zagadnienia wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego, jako wielopoziomowego wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów (WWPSW), uwzględniającego interesy wielu podmiotów i różne aspekty,
- zaproponowanie systemowego ujęcia rozpatrywanego wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego dotyczących różnych jego rodzajów,
- zaproponowanie oryginalnej formuły agregacji użyteczności wariantów względem poszczególnych rodzin kryteriów w ostateczną wartość użyteczności tych wariantów,
- przeprowadzenie analizy wrażliwości stosując podejście scenariuszowe,

- porównanie rankingów końcowych uzyskanych przy zastosowaniu dwóch podejść tj. wg oryginalnej formuły agregacji funkcji użyteczności oraz przy pomocy metody AHP.

Za istotne, oryginalne osiągnięcia praktyczne należy uznać:

- zweryfikowanie proponowanej metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego dotyczących transportu prywatnego i publicznego, mobilności niezmotoryzowanej oraz integracji transportu na przykładzie projektów umieszczonych w programach transportowych Miasta Poznania,
- pokazanie praktycznych możliwości zastosowania oryginalnej formuły agregacji funkcji użyteczności,
- pokazanie praktycznych możliwości zastosowania proponowanej metodyki do rozwiązywania wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW),
- opracowana metodyka może być stosowana przez władze Miasta Poznania oraz Zarząd Transportu Miejskiego i Zarząd Dróg Miejskich (właściwy ds. transportu miejskiego wydział urzędu miasta) przy podejmowaniu decyzji o kolejności realizacji projektów transportu miejskiego,
- proponowana metodyka wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego jest uniwersalna i może być stosowana przez władze innych miast.

Decydent spośród wszystkich wygenerowanych rankingów końcowych tj. czterech rankingów (wg scenariuszy I do IV) w podejściu I oraz czterech rankingów (wg scenariuszy I do IV) w podejściu II, po analizie dokonał wyboru rozwiązania najbardziej go satysfakcjonującego tj. rankingu końcowego wariantów/projektów transportu miejskiego wg scenariusza IV w podejściu II.

Biorąc pod uwagę powyższe, niekwestionowanym zwycięzcą rankingu jest wariant PrT-4, czyli budowa ok. 8 km nowego odcinka drogi „D”, o parametrach drogi ekspresowej i przekroju 2x3 (dwie jezdnie i trzy pasy ruchu na każdej jezdni). Droga ta stanowi zachodni odcinek wewnątrzmiejskiej obwodnicy. Projekt ten powinien być realizowany w pierwszej kolejności, natomiast pozostałe zgodnie z miejscami w wybranym przez decydenta rankingu końcowym.

6. Podsumowanie i wnioski

6.1. Spełnienie założonego celu

Niniejsza rozprawa doktorska poświęcona jest tematyce zarządzania transportem miejskim. Jej podstawowym celem było opracowanie uniwersalnej, spójnej metodyki ustalania kolejności realizacji projektów transportowych, dotyczących różnych rodzajów transportu miejskiego, mających na celu doskonalenie, rozwój i usprawnienie systemu transportu miejskiego (publicznego i prywatnego), funkcjonującego w wybranej aglomeracji miejskiej. W zaproponowanej metodyce wykorzystano zasady wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) i grupowego podejmowania decyzji (GPD) z uwzględnieniem zarówno celów (kryteriów) merytorycznych, jak i celów (kryteriów) strategicznych oraz celów (kryteriów) polityki transportowej miasta.

W szerokim przeglądzie literatury przedstawiono istotne trudności związane z definiowaniem transportu miejskiego i sformułowano własną definicję, stworzoną na potrzeby niniejszej dysertacji. Następnie wykazano, jak złożonym i niełatwym zadaniem jest zarządzanie transportem miejskim i miastem w ogólności (wobec faktu, iż pojęcie zarządzania transportem miejskim zawiera się w pojęciu zarządzania miastem, te same względy decydują o złożoności i trudności zarządzania miastem). Istota transportu miejskiego implikuje konieczność ciągłego modernizowania i udoskonalania tego systemu w oparciu o konkretne projekty. Do wyboru: projektu ze zbioru projektów, wariantu projektu ze zbioru wariantów tego projektu lub do szeregowania i klasyfikowania projektów i szeregowania i klasyfikacji wariantów projektu, można stosować wiele metodyk. Przegląd literatury prowadzi do wniosku, iż najczęściej wykorzystywane są metodyki: analiza kosztów i korzyści (CBA) i wielokryterialne wspomaganie decyzji (WWD) zwane również analizą wielokryterialną (MCA). Zostały one w sposób ogólny opisane, porównane (przy zanegowaniu poglądu jakoby były to metodyki konkurencyjne i wzajemnie się wykluczające), a także zaprezentowano przykłady ich zastosowania. Następnie, również na podstawie przeglądu literatury wyjaśniono istotę wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD). Omówiono istotne pojęcia tej metodyki, a także zasady i procedury rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych. W dalszej części zaprezentowano zestawienie metod wielokryterialnego wspomagania decyzji i ich klasyfikację, oraz opisano wybrane metody szeregowania wariantów i zaprezentowano ich mocne i słabe strony.

Przeprowadzona analiza literatury wykazała, że:

- przy ocenie projektów transportowych nie uwzględnia się wielopoziomowej hierarchii celów powiązanych ściśle z celami operacyjnymi projektów transportowych, z celami miejskiej polityki transportowej i celami strategii rozwoju miasta,
- istnieją istotne problemy w ocenie multimodalnych projektów transportowych,

- brak jest przykładów ulokowania oceny projektów transportowych w ogólnych zasadach zarządzania miastem,
- nie opracowano metody rozwiązywania wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego z zakresu transportu miejskiego, polegającego na ocenie projektów dotyczących różnych rodzajów transportu miejskiego,
- nie zdefiniowano kryteriów do oceny wariantów/projektów transportu miejskiego powiązanych ściśle z różnymi poziomami zarządzania miastem – merytorycznym (operacyjnym), sektorowym (taktycznym) i strategicznym.

Mając na uwadze powyższe spostrzeżenia oraz biorąc pod uwagę aktualne tendencje we wspomaganiu decyzji, przedstawiono propozycję nowego podejścia do oceny projektów transportu miejskiego. Autor niniejszej dysertacji przedstawił w niej teoretyczne i praktyczne aspekty związane z zastosowaniem procedury rozwiązywania wielopoziomowych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych i scharakteryzował następujące poziomy/etapy:

- Poziom I – Rozwiązywanie specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych dotyczących transportu miejskiego, wybór projektów i ich klasyfikacja.
- Poziom II – Uzyskanie rankingu merytorycznego projektów transportu miejskiego.
- Poziom III – Uzyskanie rankingu sektorowego projektów transportu miejskiego.
- Poziom IV – Uzyskanie rankingu strategicznego projektów transportu miejskiego.
- Poziom V – Uzyskanie rankingu końcowego projektów transportu miejskiego.

Na każdym poziomie/etapie procedury wielopoziomowej, wielokryterialnej analizy, autor zastosował do rozwiązania zdefiniowanych tam wielokryterialnych problemów decyzyjnych pięć fazy z ogólnej metodyki rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych:

- Faza I: Identyfikacja i werbalny opis problemu decyzyjnego.
- Faza II: Konstrukcja matematycznego modelu problemu decyzyjnego.
- Faza III: Analiza oraz wybór metod i algorytmów pozwalających na rozwiązanie problemu decyzyjnego.
- Faza IV: Komputerowe eksperymenty obliczeniowe.
- Faza V: Analiza wyników, przegląd i ocena rozwiązań oraz wybór rozwiązania najbardziej satysfakcjonującego (kompromisowego).

Rozwiązanie wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego według opracowanej metodyki następuje na poziomie V, dzięki rozwiązaniu na poziomach poprzedzających (II do IV), podproblemów decyzyjnych wyodrębnionych z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego oraz na poziomie I, rozwiązaniu specyficznych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych, wyborze projektów i sklasyfikowaniu ich do odpowiednich klas. Procedura obliczeniowa dla potrzeb rozważanego w pracy

wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW) dotyczących różnych jego rodzajów, składała się z następujących czynności wykonywanych na każdym poziomie:

- zdefiniowanie problemu decyzyjnego, w przypadku poziomu I wielu specyficznych problemów decyzyjnych, a w przypadku poziomów II do IV podproblemów decyzyjnych wyodrębnionych z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego (WWPSW) odpowiednio merytorycznego (PPD-M), sektorowego (PPD-Sr) i strategicznego (PPD-St) i ostatecznie na poziomie V wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego,
- skonstruowania modelu matematycznego problemu decyzyjnego,
    - zbioru wariantów/projektów transportu miejskiego w przypadku poziomu I tylu zbiorów wariantów ile jest zdefiniowanych specyficznych problemów decyzyjnych, a w przypadku poziomu II 4 zbiorów/klas;
    - spójną rodzinę kryteriów (między innymi czterech zbiorów kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla każdej z klas wariantów na poziomie II, sektorowych na poziomie III i strategicznych na poziomie IV i kryteriów zagregowanych na poziomie V);
    - macierz ocen;
    - model preferencji decydenta/interwenientów;
- dobór metody WWD pozwalającej na rozwiązanie problemu decyzyjnego,
- przeprowadzenie serii komputerowych eksperymentów obliczeniowych prowadzących do wygenerowania różnorodnych rankingów wariantów/projektów transportu miejskiego, w tym również:
    - dokonanie na poziomie II (merytoryczny) normalizacji użyteczności wariantów z poszczególnych rankingów (dla każdej klasy oddzielny) i zagregowanie w jeden wspólny ranking merytoryczny,
    - dokonanie na poziomie V analizy wrażliwości w oparciu o podejście scenariuszowe oraz agregacji wartości funkcji użyteczności wariantów z rankingów według kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych w ostateczną wartość użyteczności wariantów uzyskując ranking końcowy,
    - dokonanie analizy rezultatów obliczeniowych, przeglądu i oceny rozwiązań oraz dodatkowo, na poziomie V, wskazania kolejności realizacji projektów transportu miejskiego.

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych uzyskano uszeregowanie wariantów/projektów transportu miejskiego o różnej charakterystyce transportowej od najlepszego do najgorszego z jednoczesnym odniesieniem do celów operacyjnych (merytorycznych) projektów transportowych, celów miejskiej polityki transportowej i celów strategii rozwoju miasta.

W efekcie przeprowadzonych powyższych analiz dotyczących oceny wielopoziomowej, wielokryterialnej wariantów/projektów transportu miejskiego sformułowano rekomendacje końcowe.

6.2. Weryfikacja postawionych tez

W pracy autor udowodnił, że metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) może być wykorzystana do przeprowadzenie kompleksowej wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego dotyczących transportu prywatnego i publicznego, mobilności niezmotoryzowanej oraz integracji transportu z uwzględnieniem zarówno celów (kryteriów) merytorycznych jak i celów (kryteriów) strategicznych oraz celów (kryteriów) polityki transportowej miasta. Rozwiązanie wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego reprezentujących różne jego rodzaje/kategorie działań wspierających transport miejski nastąpiło poprzez wyodrębnienie i rozwiązanie trzech podproblemów decyzyjnych tj. merytorycznego (PPD-M) na poziomie II, sektorowego (PPD-Sr) na poziomie III oraz strategicznego (PPD-St) na poziomie IV oraz na poziomie V agregacji uzyskanych użyteczności wariantów w ostateczną wartość ich użyteczności. Wyodrębnione podproblemy decyzyjne (PPD-M, PPD-Sr i PPD-St) odnoszą się do różnych poziomów zarządzania transportem miejskim oraz zarządzania miastem (poziomów odpowiednio: operacyjnego, taktycznego i strategicznego). Z rozwiązaniem wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego wiąże się konieczność rozwiązania na poziomie I specyficznych problemów decyzyjnych wyboru, szeregowania i klasyfikowania wariantów/projektów transportowych. Poprzez definicję: czterech spójnych rodzin kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla każdej z klas wariantów na poziomie II, jednej spójnej rodziny kryteriów sektorowych na poziomie III i jednej strategicznych na poziomie IV oraz jednej specyficznej, spójnej rodziny kryteriów składającej się z trzech zagregowanych kryteriów: merytorycznego, sektorowego i strategicznego, autor pokazał możliwość uwzględnienia różnych celów: merytorycznych – związanych z transportem miejskim (odnoszących się do poziomu zarządzania operacyjnego), jak i strategicznych – odnoszących się do strategii rozwoju miasta (związanych z poziomem zarządzania strategicznego) oraz sektorowych – odpowiednich do celów polityki transportowej miasta (związanych z poziomem zarządzania taktycznego). W modelach preferencji decydenta i interwenientów przy rozwiązywaniu specyficznych wielokryterialnych problemów decyzyjnych Pr-2 i Pr-3 na poziomie I, których rozwiązania weszły w skład zbioru wariantów podlegających analizie oraz przy rozwiązywaniu podproblemów decyzyjnych (PPD-M, PPD-Sr i PPD-St) na poziomach II do IV i przy agregacji funkcji użyteczności z zastosowaniem analizy scenariuszowej na poziomie V, autor uwzględnił sprzeczne interesy wielu podmiotów: władz miejskich, operatora transportu publicznego i pasażerów transportu publicznego. W ostatecznym rozrachunku

uzyskano ranking końcowy, uszeregowanie wariantów/projektów transportu miejskiego od najlepszego do najgorszego i znaleziono rozwiązanie kompromisowe satysfakcjonujące wyżej wymienione podmioty, będące wskazaniem/rekomendacją dla decydenta (władz miejskich).

Powyższe rozważania pozwoliły na sformułowanie rekomendacji końcowych, które przedstawiono w podrozdziale 6.3.

6.3. Wnioski i rekomendacje końcowe

Za istotne, oryginalne osiągnięcia metodyczne należy uznać:

- opracowanie uniwersalnego algorytmu postępowania przy przeprowadzaniu kompleksowej wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego dotyczących transportu prywatnego i publicznego, mobilności niezmotoryzowanej oraz integracji transportu z uwzględnieniem zarówno celów (kryteriów) merytorycznych związanych z transportem miejskim odnoszących się do poziomu zarządzania operacyjnego, jak i celów (kryteriów) strategicznych odnoszących się do strategii rozwoju miasta związanych z poziomem zarządzania strategicznego oraz celów (kryteriów) sektorowych odpowiednich do celów polityki transportowej miasta związanych z poziomem zarządzania taktycznego,
- sformułowanie zagadnienia wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportowych, jako wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego, uwzględniającego interesy wielu podmiotów (władze miejskie, mieszkańców miasta, operator transportu miejskiego, pasażerowie transportu publicznego) i różne aspekty (społecznych, środowiskowych, technicznych, ekonomicznych),
- zaproponowanie systemowego ujęcia rozpatrywanego wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego dotyczących różnych jego rodzajów,
- wyodrębnienie podproblemów decyzyjnych (tj. merytorycznego, sektorowego i strategicznego) z wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego,
- skonstruowanie zbioru wariantów/projektów transportu miejskiego o różnej charakterystyce transportowej,
- przeprowadzenie analizy porównawczej oraz oceny metod WWD wybranych do rozwiązania rozpatrywanego wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu decyzyjnego,
- zdefiniowanie czterech spójnych rodzin kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla każdej z klas projektów transportu miejskiego,

- przeprowadzenie przy pomocy oryginalnej formuły normalizacji użyteczności wariantów w ramach poszczególnych rankingów na poziomie merytorycznym i zagregowanie w jeden wspólny ranking merytoryczny,
- zdefiniowanie spójnych rodzin kryteriów sektorowych i strategicznych oraz spójnej rodziny zagregowanych kryteriów: merytorycznego, sektorowego i strategicznego,
- przeprowadzenie przy pomocy oryginalnej formuły agregacji wartości funkcji użyteczności wariantów z rankingów według kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych w ostateczną wartość użyteczności wariantów uzyskując ranking końcowy,
- opracowanie różnych modeli preferencji decydenta właściwych dla przyjętej metody WWD (definicja ważności poszczególnych kryteriów i określenie wrażliwości decydenta na zmiany wartości kryteriów),
- przeprowadzenie analizy wrażliwości z zastosowaniem podejścia scenariuszowego,
- porównanie rankingów końcowych uzyskanych przy zastosowaniu dwóch podejść tj. wg oryginalnej formuły agregacji funkcji użyteczności oraz przy pomocy metody AHP,
- stworzenie rekomendacji końcowych.

Za istotne, oryginalne osiągnięcia praktyczne należy uznać:

- zweryfikowanie proponowanej metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny 18 wariantów/projektów transportu miejskiego o różnym charakterze transportowym (transport prywatny, transport publiczny, mobilność niezmotoryzowana i integracja transportu) między innymi, na przykładzie projektów umieszczonych w programach transportowych Miasta Poznania, przy pomocy wielopoziomowej struktury kryteriów (celów) tj. kryteriów merytorycznych, kryteriów sektorowych oraz kryteriów strategicznych,
- pokazanie praktycznych możliwości zastosowania proponowanej metodyki do rozwiązywania wielopoziomowego, wielokryterialnego problemu szeregowania wariantów/projektów transportu miejskiego,
- opracowana metodyka może być stosowana przy podejmowaniu decyzji o kolejności realizacji projektów transportu miejskiego przez władze Miasta Poznania oraz Zarząd Transportu Miejskiego i Zarząd Dróg Miejskich (również właściwy ds. transportu miejskiego wydział urzędu miasta),
- proponowana metodyka wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego jest uniwersalna i może być stosowana przez władze innych miast.

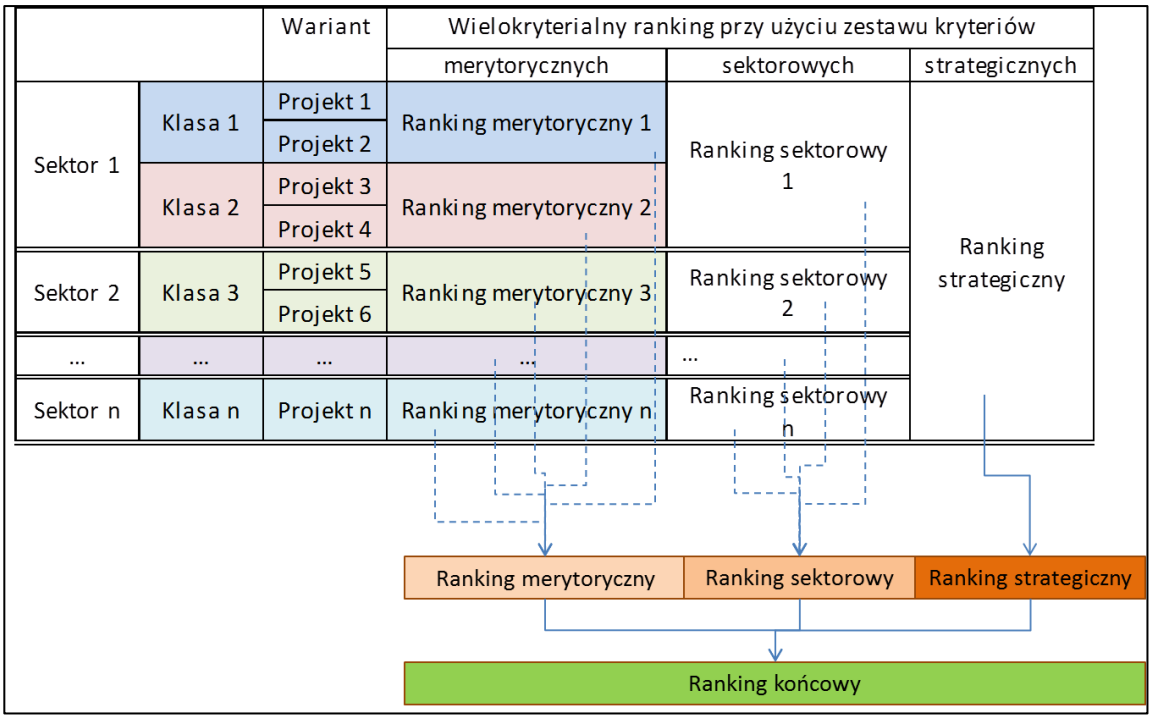
Na podstawie przeprowadzonych analiz odnoszących się do wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego dla Miasta Poznania można sformułować następujące rekomendacje:

- efektywną metodyką szeregowania projektów transportu miejskiego dotyczących jednocześnie różnych jego rodzajów jest wielopoziomowa, wielokryterialna ocena oparta na wielokryterialnym wspomaganiu decyzji (WWD) z zastosowaniem metod szeregowania wariantów i formuł agregacji użyteczności prowadzących do uzyskania rankingu w postaci uszeregowania projektów od najlepszego (w pierwszej kolejności do realizacji) do najgorszego (w ostatniej kolejności do realizacji) oraz na grupowym podejmowaniu decyzji (GPD)
- ocenę projektów transportu miejskiego należy przeprowadzić systemowo, tzn. z uwzględnieniem różnych aspektów (ekonomicznych, technicznych, środowiskowych i społecznych) i wielopoziomowej struktury celów odpowiednich do poziomów zarządzania oraz z uwzględnieniem interesów zainteresowanych stron (decydenta i interwenientów) mających często różny punkt widzenia,
- opracowana metodyka może być stosowana zarówno przez władze miasta jak i przez zarząd transportu miejskiego (właściwy ds. transportu miejskiego wydział urzędu miasta) przy podejmowaniu decyzji związanych z kolejnością realizacji projektów transportu miejskiego,
- proponowana metodyka wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny wariantów/projektów transportu miejskiego jest uniwersalna i może być stosowana przez inne miasta.

6.4. Kierunki dalszych badań

W niniejszej dysertacji zaprezentowano możliwości wykorzystania metodyki WWD w procesie zarządzani transportem miejskim wspólnie z metodyką grupowego podejmowania decyzji (GPD). W szczególności, wskazano na przydatność tej metodyki do ustalania kolejności realizacji miejskich projektów transportowych. Choć rozważania zaprezentowane w niniejszej pracy dotyczą sektora transportowego, przedstawione podejście i zaprezentowana metodyka WWD ma charakter uniwersalny i może być wykorzystywana do ustalania kolejności realizacji projektów z innych sektorów.

Po odpowiedniej adaptacji schematu podstępowania przedstawionego na rysunku 5, możliwe jest uwzględnienie projektów z kilku sektorów. W tej sytuacji konieczne jest przeprowadzenie normalizacji według procedury przedstawionej w niniejszej dysertacji nie tylko w odniesieniu do klas projektów, ale także do sektorów (Rysunek 40).



Rysunek 40. Schemat wyłonienia rankingu końcowego dla problemu szeregowania projektów uwzględniający wiele sektorów

Opracowana metodyka ma charakter unikalny w skali światowej. Może, a wręcz powinna być wykorzystywana w szczególności w administracji publicznej do ustalania kolejności realizacji projektów. Autor dysertacji dostrzega możliwość rozwijania prac badawczych w następujących kierunkach metodycznych i praktycznych:

- analiza, modelowanie i rozwiązywanie wielopoziomowych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych innych niż problemy szeregowania tzn. problemy wyboru (optymalizacji) czy klasyfikacji, z wykorzystaniem metodyki WWD i metodyki GPD;
- zastosowanie opracowanej w niniejszej dysertacji metodyki do oceny projektów dla innych sektorów;
- rozszerzenie opracowanej metodyki o wielopoziomową, wielokryterialną ocenę wariantów/projektów wywodzących się z różnych sektorów miasta;
- budowa systemu wspomagania decyzji wspierającego zarządzanie miastem oraz jego komputerową implementację w oparciu o zaproponowaną w niniejszej dysertacji metodykę.

Spis rysunków

Rysunek 1. Schemat organizacji przedsiębiorstwa[166] 41
Rysunek 2. Schemat organizacji zarządzania transportem miejskim [351] 42
Rysunek 3. Sposób definiowania współczynników: zgodności c_j *(a, b)* i niezgodności D_j *(a, b)* w metodzie ELECTRE III [316] 72
Rysunek 4. Postacie funkcji preferencji $H_j(a,b)$ dla metody PROMETHEE I wraz z relacjami *I, Q, P,* pomiędzy wariantami [26] 76
Rysunek 5. Metodyka wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego .. 95
Rysunek 6. Poziom I metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego 99
Rysunek 7. Poziom II metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego 101
Rysunek 8. Poziom III metodyki wielopoziomowej wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego 102
Rysunek 9. Poziom IV metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego 103
Rysunek 10. Poziom V metodyki wielopoziomowej, wielokryterialnej oceny projektów transportu miejskiego 104
Rysunek 11. Punkt idealny i punkt nadir dla problemu lokalizacji parkingów typu „Parkuj i Jedź"(ang. Park and Ride – P&R) 119
Rysunek 12. Punkt referencyjny oraz rozwiązanie problemu 119
Rysunek 13. Ostateczne wyniki eksperymentów obliczeniowych realizowanych przez podejście ex-ante metodą ELECTRE III 130
Rysunek 14. Ostateczne wyniki eksperymentów obliczeniowych realizowanych przez podejście ex-post metodą AHP 131
Rysunek 15. Ranking końcowy modeli tramwajów 139
Rysunek 16. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów na poziomie II odnoszący się do kryteriów merytorycznych dotyczących transportu prywatnego. Porównanie parami kryteriów merytorycznych przeznaczonych do oceny wariantów z klasy projektów dotyczących transportu prywatnego w skali 1-9 punktów 157
Rysunek 17. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów na poziomie II – merytorycznym, odnoszący się do wariantów z klasy projektów dotyczących transportu publicznego. Porównanie parami wariantów z klasy PuT pod względem kryterium KM-PuT-1 w skali 1-9 punktów 158
Rysunek 18. Wagi kryteriów oceny merytorycznej wariantów z klasy projektów dotyczących transportu prywatnego 159
Rysunek 19. Wagi kryteriów oceny merytorycznej wariantów z klasy projektów dotyczących transportu publicznego 160
Rysunek 20. Wagi kryteriów oceny merytorycznej wariantów z klasy projektów dotyczących mobilności niezmotoryzowanej 160
Rysunek 21. Wagi kryteriów oceny merytorycznej wariantów z klasy projektów dotyczących integracji transportu 161
Rysunek 22. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wariantów z klasy PrT wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla transportu prywatnego 163
Rysunek 23. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wariantów z klasy PuT wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla transportu publicznego 164

Rysunek 24. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wariantów z klasy MN wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla mobilności niezmotoryzowanej ... 165
Rysunek 25. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wariantów z klasy IT wg kryteriów merytorycznych charakterystycznych dla integracji transportu ... 165
Rysunek 26. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów merytorycznych ... 168
Rysunek 27. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów na poziomie III odnoszący się do kryteriów sektorowych. Porównanie parami kryteriów sektorowych w skali 1-9 punktów ... 177
Rysunek 28. Wagi kryteriów sektorowych ... 178
Rysunek 29. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów sektorowych ... 180
Rysunek 30. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów dla kryteriów strategicznych. Porównanie parami kryteriów strategicznych w skali 1-9 punktów .. 189
Rysunek 31. Charakterystyczny dla metody AHP model preferencji decydenta/interwenientów na poziomie IV strategicznym. Porównanie parami wariantów pod względem kryterium strategicznego KS-03 w skali 1-9 punktów ... 189
Rysunek 32. Wagi kryteriów strategicznych ... 190
Rysunek 33. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów strategicznych ... 192
Rysunek 34. Wagi kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych obliczonych metodą AHP ... 200
Rysunek 35. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów merytorycznych, sektorowych i strategicznych w sytuacji równych i różnych wag ... 202
Rysunek 36. Charakterystyczny dla metody AHP przypisanie użyteczności wariantów względem kryterium sektorowego ... 203
Rysunek 37. Wagi kryteriów merytorycznego, sektorowego i strategicznego według różnych scenariuszów, odpowiednio 33,33/33,33/33,33, 20/30/50, 50/30/20, oraz uzyskanych porównując kryteria parami przy pomocy metody AHP ... 204
Rysunek 38. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów merytorycznego, sektorowego i strategicznego – po lewej wg scenariusza I, po prawej wg scenariusza II ... 206
Rysunek 39. Rezultaty eksperymentów obliczeniowych metodą AHP – ranking wszystkich wariantów wg kryteriów merytorycznego, sektorowego i strategicznego – po lewej wg scenariusza III, po prawej wg scenariusza IV ... 206
Rysunek 40. Schemat wyłonienia rankingu końcowego dla problemu szeregowania projektów uwzględniający wiele sektorów ... 217

Spis tabel

Tabela 1. Porównanie koncepcji zarządzania miastem [176] 32
Tabela 2. Analiza porównawcza wybranych metod szeregowania wariantów 82
Tabela 3. Rozważane lokalizacje parkingów typu „Parkuj i Jedź" (ang. Park and Ride – P&R) 112
Tabela 4. Macierz wypłat, czyli zestaw optymalnych rozwiązań dla poszczególnych kryteriów..... 117
Tabela 5. Zestaw przykładowych paretooptymalnych rozwiązań dla problemu decyzyjnego Pr-1 wygenerowany za pomocą Solwera MS Excel i zastosowaniu metody dodatkowych ograniczeń ε-constraints 118
Tabela 6. Macierz ocen wariantów przebudowy ulicy Grunwaldzkiej 124
Tabela 7. Modele preferencji władz miejskich, operatora, inwestora, pasażerów oraz zagregowany (uśredniony) model preferencji 129
Tabela 8. Macierz ocen wariantów dla rozważanych kryteriów K-1 – K-9 135
Tabela 9. Bezwzględne wagi kryteriów uzyskane po zamodelowaniu preferencji decydenta i interwenientów w metodzie AHP 139
Tabela 10. Macierz ocen dla rozważanych wariantów i kryteriów na poziomie II 151
Tabela 11. Zestawienie aspektów dopasowania metody WWD do specyfiki podproblemu decyzyjnego – merytorycznego (PPD-M) i preferencji decydenta/interwenientów 156
Tabela 12. Zestawienie użyteczności wariantów wg kryteriów merytorycznych dla poszczególnych klas oraz użyteczności wariantów po normalizacji 167
Tabela 13. Macierz ocen rozważanych wariantów i kryteriów sektorowych na poziomie III 174
Tabela 14. Zestawienie aspektów dopasowania metody WWD do specyfiki podproblemu decyzyjnego – sektorowego (PPD-Sr) i preferencji decydenta/interwenientów 176
Tabela 15. Macierz ocen rozważanych wariantów i kryteriów strategicznych (PPD-St) na poziomie IV 187
Tabela 16. Macierz ocen dla problemu decyzyjnego rozważanego na poziomie V 198
Tabela 17. Zestawienie wag grup kryteriów 201
Tabela 18. Zestawienie wyników końcowych - wartości użyteczności wariantów 201

Bibliografia

[1] A closer look at urban transport – TERM 2013: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. EEA Report, No. 11, 2013.
[2] Akarian A., Kusiak A.: Forming teams: An analytic approach. IIE Transportations, Tom 31, 1999, s. 85-97.
[3] Aldian A., Taylor M. A. P.: A consistent method to determine flexible criteria weight for multicriteria transport project evaluation in developing conntries. Journal the Eastem Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, 2005, s. 3948-3963.
[4] Ambroziak T.: Modelowanie procesów technologicznych w transporcie. Prace Naukowe, Transport, zeszyt 40, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1998.
[5] Ameljańczyk A.: Optymalizacja wielokryterialna w problemach sterowania i zarządzania. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław, 1984.
[6] Amos F.: Strenghtening Municipal Government. Cities, Vol. 6, 1989, s.202-208.
[7] Analiza kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Przewodnik (Fundusz Strukturalny - EFDR, Fundusz Spójności i ISPA), 2002.
[8] Arslan T.: A Hybrid Model of Fuzzy and AHP for Handling Public Assessments on Transportation Project. Transportation, Vol. 36, Nr 1, 2009, s. 97-112.
[9] Babis H.: Transport miejski. W: Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K. (red.): Transport, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
[10] Baourakis G., Matsatsinis N., Siskos Y.: Consumer Behavioral analysis using multicriteria methods. W: Janssen J, Skiadas C., Zopounidis C.: Advances in stochastic modelling and data analysis, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995.
[11] Beder S.: Costing the Earth: Equity, sustainable development and environmental economics. New Zealand Journal of Environmental Law, Nr 4, 2000, s. 227-243.
[12] Beim M.: Modelowanie procesów suburbanizacji w aglomeracji poznańskiej z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych i automatów komórkowych. Rozprawa doktorska, Poznań, 2007.
[13] Belton V. i Stewart T. J.: Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers, London, 2002.
[14] Bełdowski J., Metelska-Szaniawska K.: Law & Economics – Orgins and Characteristics of the Economic Analysis of Law. Bank i Kredyt, Vol. 38, Nr10, NBP Instytut Ekonomiczny, Warszawa, 2007.
[15] Beria P., Maltese I. i Mariotti I.: Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: a comparetive perspective in the assessment of sustainable mobility. European Transport Research, Vol. 4, 2012, s. 137-152.
[16] Bielli M., Caratenuto P.: Softwere Tools for Decision Support Systems in transportation: An Overview of the Italian Research. W: Proceedings of the International Conference: Modeling and Menagement in Transportation, Poznan – Cracow, October 12-15, Vol. 2, 1999, s. 303-306.
[17] Bieńczak M., Fierek S., Kruszyński M., Żak J.: Wielokryterialna ocena tramwajów przeznaczonych do obsługi transportu publicznego. Monografia: Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej. Wydawnictwo AGH, Kraków, 2009.

[18] Bittel R. L.: Krótki kurs zarządzania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2002.
[19] Boardman A., Greenberg D., Vining A., Weimer D.: Cost-Benefit Analysis: concept and practice. Prentice Hall, New Jersey, 2010.
[20] Bodin L., Gass I.: On teaching the analytic hierarchy process. Computers and Operations Research, Vol. 30, Nr 1, 2003, s. 1487-1497.
[21] Bonsall P.: Borken J. "Are We Moving in the Right Direction?" Transport's Environmental Impact Assessment with ELECTRE III. W: Jaszkiewicz A. (red.): Advanced OR and AI Methods in Transportation, Poznań, 2005, s. 166-171.
[22] Bradley S., Hax A., Magnanti T.: Applied Mathematical Programming. Addison-Wesley Publishing, San Francisco, 1977.
[23] Brans J., Mareschal B.: PROMETHEE Methods. W: Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (red.): Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys, Springer, New York, 2005.
[24] Brans J., Vincke P.: A Preference Renking Organization Method. Management Science, Vol. 31, 1985, s. 647-656.
[25] Brans J., Mareschal B. i Vincke P. PROMETHEE: A New Family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis. W: Brans J. (red.): Operational Research'84, Amsterdam : North-Holland Pablishing, Amsterdam, 1984, s. 408-421.
[26] Brans J., Vincke P. i Mareschal B. How to Select and How to Rank Projects: The PROMETHEE Method. European Journal of Operational Research, Vol. 24, 1986, s. 228-238.
[27] Brzeziński A., Rezwow M.: Zrównoażony transport - ekologiczne rozwiązania transportowe. Ekorozwój i Agenda21. Collegium Balticum w Szczecinie, Szczecin, 2007.
[28] Buchanan J., Sheppord P.: Ranking Projects Using the ELECTRE Method. Proceedings of the 33rd Annual Conference of Operational Research Society of New Zealand, Aucland, 30. VIII - 1. IX 1998 (Online Proceedings).
[29] Bui T., Jarke M.: Communications Design for Co-oP: A Group Decision Support System. ACM Transactions on Office Information Systems, Vol. 4, Nr 2, 1986, s.81-103.
[30] Burgess J.: Situating knowledges, sharing values and reaching collective decisions: the cultural turn in environmental decision-making. W: Naylor, S.; Ryan, J.; Cook, I.; Crouch, D. (eds): Cultural Turns/Geographical Turns, Prentice Hall, Harlow, 2000.
[31] Bushell Ch. (red.): Jane's Urban Transport Systems 98-99. Sentinal Hous, Information Group, Coulsdon, 1998.
[32] Caliskan N.: Decision Support Approach for the Evaluation of Transport Investment Alternatives. Eutopean Journal of Operational Research, Vol. 175, Nr 3, 2006, s. 1696-1704.
[33] Cascajo R.: Assessment of economic, social and environmental effects of rail urban projects. Yung Researchers Seminary, The Hague (NL), 11-13 May, 2005.
[34] Cascetta E.: Transportation systems Analysis – Models and Applications. Springer New York, 2009.
[35] Ceder A.: Public Transit Planning and Operation: Theory, Modeling and Practice, Elsevier, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2007.

[36] Cejrowski M., Krych A.: Comprehensive Study of Traffic in Poznzn. Scientific report. Poznan, 1992.
[37] Cempel Cz. i Roth , Ł. Telematyka, inteligentne systemy transportowe w miastach. Poznań, 2003, s. 4.
[38] Charnes A., Chyba A., Starowicz W.: Kształtowanie systemu obsługi pasażerskiej regionu. Nowoczesne metody zarządzania pasażerskim transportem zbiorowym, ,,Zeszyty Nauk.-Tech. Oddz. SITKom w Krakowie", Vol. 86, 2001, s. 31-32.
[39] Cisowski T., Szaymanek A.: Zrównoważony rozwój transportu miejskiego. Eksploatacja i Niezawodność, Nr 1, 2006.
[40] Commission of the European Communities.: European Governance. COM(2001)428 final, Brussele, 2001.
[41] Czaputowicz J.: Partycypacja społeczna - warunek czy bariera dobrego rządzenia? Animacja Życia Publicznego – Analizy i Rekomendacje, Zeszyt Centrum Badań Społeczności i Polityk Lokalnych, Nr 1-2, 2010.
[42] Czaputowicz J.: Zarządzanie w administracji publicznej w dobie globalizacji. W: Administracja publiczna. Wyzwania w dobie integracji europejskiej, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
[43] Czyżak P., Jaszkiewicz A.: Pareto Simulated Annealing - a Metaheuristic Technique for Multiple Objective Combinatorial Optimization. Journal of Multiple Criteria Decision Analysis, Vol. 7, 1998, s. 34-47.
[44] Czyżak P., Żak J.: A Model of an Urban Transportation System Formulated as a Multiobjective Mathematical Programming Problem under Uncer tainty. Journal of Advanced Transportation, Vol. 29, Nr 1, 1995, s. 43-62.
[45] Dalhaye C., Teghem J., Kunsch P.: Application of the ORESTE Method to a Nuclear Waste Management Problem. International Journal of Production Economics, Vol. 24, Nr 1-2, 1991, s. 29-39.
[46] Davidson F.: Planing for Performence: Requirement for Sustainable Development. Habitat International, Vol. 20, Nr 3, 1996, s. 445-462.
[47] Davies G., Burgess, J.; Eames, M.; Mayer, S.; Staley, K.; Stirling, A.; Williamson, S.: Deliberative mapping: appraising options for addressing "the kidney gap". Final Report to the Wellcome Trust, London, 2003.
[48] De Brucker K., Macharis C., Verbeke A.: Multi-criteria analisis in transport project evaluation: an institutional approach. European Transport, Nr 47, 2011, s. 3-23.
[49] De Keyser W. i Peeters P.: A Note on the Use of PROMETHEE Multicriteria Methods. European Journal of Operational Research, Vol. 89, Nr 3, 1996, s. 457-461.
[50] De Sanctis G., Gallupe R.B.: A Foundation for the Study of Group Decision Support Systems. Management Science, Vol. 33, Nr 5, 1987, s. 589-609.
[51] Dimitras A. I., Zopounidis C., Hurson C.: Assessing financial risks using a multicriteria sorting procedure: The caseof country risk assessment. Foundations of Computing and Decision Sciences. Vol. 29, 2001, s. 97-109.
[52] Directorate General of The Environment, 2004. Report of The Expert Working Grup on Sustainble Urban Transport Plans, DGEnv, Brussels, 2004.
[53] Długosz D., Wygański J.: Obywatele współdecydują. Przewodnik po partycypacji społecznej. Forum inicjatyw pozarządowych, Warszawa, 2005.
[54] dolceta.eu/polska, www.dolceta.eu/polska.
[55] Drucker P. F.: Skuteczne zarządzanie. PWN, Warszawa, 1999.

[56] Dulmino R., Minnino V.: Supplier Selection Using a Multi-Criteria Decision Aid Method. Journal of Purchasing & Supply Management, Vol. 9, Nr 4, 2003, s. 177-187.

[57] Dyer R., Forman E.: Group decision support with the analytic hierarchy process. Decision Support Systems, Vol. 8, 1992, s.99-124.

[58] Dytczak M., Przybyło W.: Wielokryterialna ocena systemów transportu Krakowa z użyciem metodyki DEMATEL. Budownictwo i inżynieria środowiska, Nr 2, 2011.

[59] Ehrgott M.: Multicriteria Optimization. Springer, New York, 2005.

[60] Ehrgott M., Figueria J. R., Greco S.: Trends in Multiple Criteria Decision Analysis. Springer, New York, Dordrecht, Heidelberg, London, 2010.

[61] ESCAP Virtual Conference 2 11 2013, http://www.unescap.org/drpad/vc/orientation/M5_10.htm.

[62] European Commission.: Urban Transport. Thematic Synthesis of Transport Research Results, Paper 5 of 10, Transpor RTD Programme, Fourth Framework Programme, Bruksela, 2001.

[63] Fendek M.: The multi-criteria and multilevel evaluation of manufacturing capacities of industrial firms in the Slovak Republic. Ekonomicky Casopsis, Vol. 43, Nr 10, 1995, s. 746-763.

[64] Ferreira L., Lake M.: Towards a Methodology to Evaluate Public Transport Projects. Quensland Univ., Bristone, 2002.

[65] Fierek Sz., Bieńczak M., Żak J., Kruszyński M.: Optymalizacja wielokryterialna problemu lokalizacji parkingów Park and Ride w aglomeracji poznańskiej. W: Kaczmarek W. i Krych Andrzej (red.): Skuteczne zmniejszenie zatłoczenia miast, Wydawnictwo Uni-Druk, Poznań – Rosnówko, 2009.

[66] Fierek Sz., Żak J.: Ocena wariantów rozwoju zintegrowanego systemu transportu w Poznaniu z uwzględnieniem wariantów obejmujących trasę tramwajową oś. Lecha - Franowo oraz przedłużenie PST do dworca Zachodniego. Poznań, 2010.

[67] Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (red): Multiple criteria analysis: State of the art. Surveys. International Series in Operations Research & Management Science, Springer Science + Bussines Media, Boston, 2005.

[68] Figueira J., Mousseau V., Roy B.: ELECTRE Methods. W: Figueira, Greco S., Ehrgott M.: Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys, Springer, New York, 2005.

[69] Finan J., Hurley W.: The Analytic Hierarchy Process: Does Adjusting a Pairwise Comparison Matrix to Improve the Consistency Ratio Helo? Computers and Operations Research, Vol. 24, Nr 8, 1997, s. 749-755.

[70] Findeisen W.: Analiza systemowa – podstawy i metodologia. Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1985.

[71] Frausto M.: Planning theories and concepts, implementation strategies and integrated transportation network elements in Curitiba. Transportation Quarterly Vol.53/1, Quattro – Project of European Union (Working Papers), Brussels, 1997.

[72] Friedberg J.: Wykorzystanie doświadczeń UE-15 w realizacji idei zrównoważonego transportu w miastach. Konferencja na temat polityki miejskiej w kontekście polityki spójności UE w latach 2007-2013, Katowice, 2007.

[73] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: Inżynieria ruchu. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2008.
[74] Gadziński J.: Ocena dostępności komunikacyjnej przestrzeni miejskiej na przykładzie Poznania. Biuletyn Instytutu Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Seria Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna, Nr 13, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 2010.
[75] Galas Z., Nykowski I., Żółkiewski Z.: Programowanie wielokryterialne. PWE, Warszawa, 1987.
[76] Geldermann J., Spengler T., Rentz O.: Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 115, Nr 1, 2001, s. 45-65.
[77] Gercek H., Karpak B., Kilincaslon T.: A Multiple Criteria Approach for the Evaluation of the Rail Transit Networks in Istanbul. Presentation of the 8th World Conference on Transport Research, Antwerp, July 12-17, 1998.
[78] Giorgi L., Tandon A.: The Theory and Practice of Evaluation. Trans – Talk Contract NO. 1999-TN.10869, Vienna, 2000.
[79] Gissel S.: Decision aid methods in rail infrastructure planning, Ph. D. thesis Raport 4. Technical University of Denmark, Department of Planning, 1999.
[80] Goldbach S. G., Leleur S.: Cost-Benefit Analysis (CBA) and alternative approaches from the Centre for Logistics and Goods (CLG) study of evaluation techniques. 2004.
[81] Goldbach, S.G.: Cost benefit analysis. Centre for Traffic and Transport, CTT, Memorandum prepared in the course Traffic System Analysis, 2002.
[82] Gomes L.: Multicriteria Ranking of Urban Transportation Systems Alternatives. Journal of Advanced Transportation, Vol. 23, Nr 1, 1989, s. 53-66.
[83] Goodwin P., Wright G.: Decision Analysis for Management Judgment. John Wiley & Sons, Chichester, 1998.
[84] Grabowski W.: Transport w aglomeracji poznańskiej. Biblioteka Aglomeracji Poznanskiej, Nr 8, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 2010.
[85] Grava S.: Urban Transportation Systems. McGraw-Hill, 2002.
[86] Greco S.: A New PCCA Method: IDRA. European Journal of Operational Research, Vol. 98, Nr 3, 1997, s. 587-601.
[87] Greco S., Matarazzo B., Słowiński R.: Multicriteria Classification by Dominance-Based Rough Set Approach. Methodological Basis of the 4eMka System. W: Kloesgen W., Zytkow J. (red): Handbook of Data Mining and Knowlage Discowery, Oxford University Press, New York, 2002.
[88] Greco S., Matarazzo B., Słowiński R.: Rough Sets Theory for Multicriteria Decision Analysis. European Journal of Operational Research, Vol. 41, Nr 1, 2001, s. 1-47.
[89] Greco S., Mousseau V., Słowiński R.: Ordinal Regression Revisited: Multiple Criteria Ranking Using a Set of Additive Value Functions. European Journal of Operational Research, Vol. 191, Nr 2, 2008, s. 416-436.
[90] Griffin R. W.: Podstawy zarządzania organizacjami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
[91] Grosse T. G.: Strategia Lizbońska a rozwój sektora pozarządowego w Polsce. Kancelaria Senatu, Biuro Analiz i Dokumentacji, Dział Analiz i Opracowań Tematycznych, Warszawa, 2009.

[92] Grzelec K.: Wybrane aspekty integracji transportu miejskiego w Metropolii Zatoki Gdańskiej, jako instrument polityki transportowej zrównoważonego rozwoju na obszarach zurbanizowanych. Transport Miejski i Regionalny, Nr 7-8, 2009.

[93] Grzelec K., Wyszomirski O.: Transport miejski w aglomeracji gdańskiej, jako system logistyczny. Logistyka, Nr 6, 2002.

[94] Grzeszczyk T. A.: Analiza wielokryterialna w ocenie projektów europejskich. Konferencja KZZ, Zakopane, 2010.

[95] Grzeszczyk T. A.: Metody oceny projektów z dofinansowaniem Unii Europejskiej. Placet, Warszawa, 2006.

[96] Grzeszczyk T. A.: Ocena projektów europejskich 2007-2013. Placet, Warszawa, 2009.

[97] Guitouni A., Martel J-M.: Tentative Guidelines to Help Choosing and Appropriate MCDA Method. European Journal of Operation Research, Vol. 109, Nr 2, 1998, s. 501-521.

[98] Gupta A.: Comparative Study of Private and Public Bus Transport in Dehli. Proceedings of the 8th IFAC Symposium on Transportation Systems, Chania, July 4-7, 1997, s. 256-264.

[99] Hababou M., Martel J.: A multicriteria approach for selecting a portfolio manager. INFOR, Vol. 36, Nr 3, 1998, s. 161-176.

[100] Hafeez K., Zhang Y. i Malak N. Determining Key Capabilities of a Firm Using Analytic Hierarchy Process. International Journal of Production Economics, Vol. 76, Nr 1, 2002, s. 39-51.

[101] Halouani N., Chabchoub H., Martel J.: PROMETHEE-MD-2T Method for Project Selection. European Journal of Operational Research, Vol. 195, Nr 3, 2009, s. 841-895.

[102] Hayashi H., Morisugi H.: International Comparision of Beckground Concept & Methodology of transportation Project Appraisal. Transport Policy, Vol. 7, No. 1, 2000, s. 73-88.

[103] Helm J., Crawford L. H.: Government and governance: the value of project management in the public sector. Project Management Journal, Vol. 40, Nr 1, 2009, s. 73-87.

[104] Hess M., Adams D.: Knowing and skilling in contemporary public administration. AJPA, Vol. 61, Nr 4, 2002, s. 68-79.

[105] Hillier F., Lieberman G.: Introduction to Operations Research. McCraw-Hill, New York, 2001.

[106] Horn M.: The Political Economy of Public Administration. W: Institutional Choice in the Public Sector, Cambridge University Press, New York, 1995.

[107] Hurson C. i Zopounidis C. On the use of multicriteria decision aid methods to portfolio selection. W: Climaco J.: Multicriteria analysis, Springer Verlag, Berlin, 1997.

[108] ISOTOPE Improved Structure and Organization for Transport Operations of Passengers in Europe. Final Report of the European Union 4th Framework Programme, Brussels, 1997.

[109] Jackiewicz J., Czech P., Barcik J.: Polityka transportowa na przykładzie Aglomeracji Śląskiej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 2010, s. 53-62.

[110] Jackiewicz J., Czech P. i Barcik J. Standardy jakości usług w komunikacji miejskiej - część I. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Tom seria: Transport, Nr 67, 2010, s. 55-64.

[111] Jackiewicz J., Czech P., Barcik J.: Standardy Jakości Usług w Komunikacji Miejskiej - część 2. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 2010.

[112] Jacquet-Lagreze E., Meziani R., Słowiński R.: MOLP with an Interactive Assessment of Piecewise-Linear Utility Function. European Journal of Opertional Research, Vol. 31, Nr 3, 1987, s. 350-357.

[113] Jacquet-Lagreze E., Siskos J.: Assessing a Set of Additive Utility Functions for Multicriteria Decision-Making, the UTA Method. European journal of Operational Research, Vol. 10, 1982, s. 151-164.

[114] Jacyna M.: Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009.

[115] Jacyna M.: Modelowanie wielokryterialne w zastosowaniu do oceny systemów transportowych. Prace naukowe: Transport, zeszyt 47, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2001.

[116] Janecki R.: Intelligent Transportation Systems in Transportation Policy of the Cities. W: Modern transport telematics, Springer Link, 2011.

[117] Janecki R., Krawiec S.: Cele zrównoważonego rozwoju w projekcie polityki transportowej Katowic. Transport Miejski i Regionalny, 2009. - 07-08.

[118] Janecki R., Starowicz W.: Integracja regionalnego transportu zbiorowego. Transport Miejski i Regionalny, Tom 3, 2004, s. 4.

[119] Jarke M., Jelassi T., Shakun M.: MEDIATOR: Toward a Negotiation Support System. European Journal of Operational Research, Vol. 31, Nr 3, 1987, s.314-334.

[120] Jaszkiewicz A. Inżynieria oprogramowania. Wydawnictwo Helion, Warszawa, 1997.

[121] Jaszkiewicz A.: Multiple Objective Metaheuristic Algorithms for Combinatorial Optimization. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2001.

[122] Jaszkiewicz A.: Jonic M.: Multicriteria evaluation of high - speed Rail, Transrapid maglevand air passenger transport in Europe. Transportation Planning and Technology, Vol. 26, Nr 6, 2003, s. 491-512.

[123] Jaszkiewicz A., Słowiński R.: The ,,Light Beam Search" Approach - an Overview of Methodology and Applications. European Journal of Operational Research, Vol. 113, Nr 2, 1999, s. 300-314.

[124] Jaszkiewicz A., Słowiński R.: The LBS – Discrete Interactive Procedure for Multiple-Criteria Analysis of Decision Problems. W: Climaco J. (red.): Multicriteria Analysis. Proceedings of the 11th International Conference on MCDM, August 1-6, 1994, Coimbra, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1997, s. 320-330.

[125] Jaszkiewicz A., Słowiński R.: The Light beam Search - Outranking Based Interactive Procedure for Multiple-Objective Mathematical Programming. W: Pardalos P., Siskos Y. i Zopounidis C.: Advances in Multicriteria Analysis, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995.

[126] Jelassi T., Kersten G., Zionts S.: An Introduction to Group Decision and Negotiation Support. W: Bana e Costa C. (red.): Readings in Multiple Criteria Decision Aid. Springer-Verlag, Berlin, 1990, s.537-568.

[127] Kaczmarek T.: Strategia Rozwoju Aglomeracji Poznańskiej - Metropolia Poznań 2020. Projekt badawczy: ,,Funkcjonowanie i kierunki rozwoju aglomeracji

poznańskiej", Centrum Badań Metropolitalnych. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań, 2011.
[128] Kaczmarek T., Bul R.: Diagnoza społecznego zapotrzebowania na usługi transportowe Poznańskiej Kolei Metropolitalnej. Centrum Badań Metropolitalnych UAM w Poznaniu, Poznań, 2012.
[129] Kaczmarek B., Sikorski C.: Podstawy zarządzania. Absolwent, Łódź, 1999. S. 38-39.
[130] Kammeier D. A.: Computer-Aided Strategic Approach to Decision-Making in Urban Planning: An Exemplatory Case Study in Thailand. Software Review. Cities, Vol. 15, Nr 2, 1998, s. 105-119.
[131] Kast F. E., Rozenzweig J. E.: Organization and Management: A Systems and Contingencey Analysis. McGraw - Hill, New York, 1985.
[132] Kaszubowski D., Oskarbski J.: Telematyka w logistycznym zarządzaniu transportem w miastach. Logistyka, Nr 3, 2011, s. 1135-1144.
[133] Keeney R., Raiffa H.: Decision Analysis with Multiple Objectives. Preferences and Value Tradeoffs. Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
[134] Kelly G., Muers S.: Creating Public Volue. Strategy Unit, Cabinet Office, 2002.
[135] Kennedy M., Lighfoot G. G.: Benchmarking i zarządzanie jakością w transporcie publicznym. Część II materiałów szkoleniowych, 2007.
[136] Kenworthy J., Laube E.: The Millennium Cities Database for Sustainable Transport. International Union (Association) of Public Transport, Brussels, Belgium and ISTP, 2001
[137] Kersten G.: NEGO: group decision support systems. Information and Management, Vol. 8, Nr 5, 1985, s.237-246.
[138] Kersten G., Szapiro T.: Generalized approach to modeling negotiations. European Journal of Operational Research, Vol. 26, Nr 1, 1986, s.142-149.
[139] Keuchel S., Richter C.: Applying Integrated Hieralchical Information to Mode Choice Modelling in Public Transport. Procedia Social and Behavioral Cciences, Nr 20, 2011, s. 875-884.
[140] Kiciński M., Żak J., Kruszyński M.: Wielokryterialna ocena wpływu modernizacji drogi S11 na funkcjonowanie transportu publicznego. W: Kaczmarek M., Krych A. (red.): Skuteczne zmniejszenie zatłoczenia miast, Wydawnictwo Uni-Druk, Poznań-Rosnówko, 2009.
[141] Kojło S., Leszczyńska, K., Lipski, S., Wiszczun, E.: Nowe koncepcje koordynacji Multilevel Governance polityki spójności. MRR (ekspertyza), Warszawa, 2009.
[142] Kolli S., Parsaei H. R.: Multicriteria analysis in the evaluation of advanced manufacturing technology using PROMETHEE. Computers & Industrial Engineering, Vol. 23, Nr 1-4, 1992, s. 187-195.
[143] Kolman R.: Inżynieria jakości. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 1992.
[144] Kolman R.: Ilościowe określenie jakości. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 1973.
[145] Kołodziejski H.: Co oznacza wspólny bilet? Instytut Nad Gospodarką Rynkową, Pomorski Przegląd gospodarczy, Nr 3, Gdańsk, 2007.
[146] Komisja Europejska: Przewodnik do Analizy kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych, (Fundusze Strukturalne - EFDR, Fundusze Spójności i Fundusz Przedakcesyjny – ISPA). Raport końcowy, 2008.

[147] Komisja Europejska: Biała Księga ,,Przyszły rozwój wspólnej polityki transportowej". COM(92)494, Bruksela, 1992.
[148] Komisja Europejska: Biała Księga ,,Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu - dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu. KOM(2011)144, Bruksela, 2011.
[149] Komisja Europejska: Biała Księga ''Europejska polityka transportowa na 2010 r., czas na decyzję" COM(2001)370, Bruksela, 2001.
[150] Komisja Wspólnot Europejskich: W stronę strategii tematycznej dla środowiska miejskiego. Komunikat Komisji dla Rady, Parlamentu Europejskiego, Europejskiego Komitetu Gospodarczo-Społecznego oraz Komitetu do spraw regionów, COM(2004)60 wersja ostateczna, Bruksela, 2004.
[151] Komisja Wspólnot Europejskich: Plan działania na rzecz mobilności w miastach. Komunikat komisji do Parlamentu europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, KOM(2009)490 wersja ostateczna, Bruksela, 2009.
[152] Komisja Wspólnot Europejskich: Sieć Obywatelska. Wykorzystanie potencjału publicznego transportu pasażerskiego w Europie. Zielona Księga Komisji Europejskiej, COM(95)601 końcowy, Bruksela, 1995.
[153] Komisja Wspólnot Europejskich: Utrzymać Europę w ruchu – zrównoważona mobilność dla naszego kontynentu. Przegląd średniookresowy Białej księgi Komisji Europejskiej dotyczący transportu z 2001 r. Komunikat Komisji dla Rady i Parlamentu Europejskiego, COM(2006)314 wersja ostateczna, Bruksela, 2006.
[154] Komisja Wspólnot Europejskich: Zielona Księga ,,W kierunku nowej kultury mobilności w mieście. KOM(2007)551 wersja ostateczna, Bruksela, 2007.
[155] Komitet Regionów: Biała Księga Komitetów Regionów w sprawie wielopoziomowego sprawowania rządów. Bruksela, 2009.
[156] Komitet Regionów: ,,Zrównoważona przyszłość transportu: w kierunku zrównoważonego, zaawansowanego technologicznie i przyjaznego użytkownikowi systemu. COM(2009)0279, Bruksela, 2009.
[157] Kompleksowe badania ruchu - Poznań 2013. Miasto Poznań, Poznań, 2013.
[158] Koncepcja Good Governance - Refleksje do dyskusji. Ministerstwo Rozwoju Regionalnego Departament Koordynacji Polityki Strukturalnej, Warszawa, 2008.
[159] Kondratowicz L.: Modelowanie symulacyjne systemów. WNT, Warszawa, 1978.
[160] Kopaliński W. (red.): Słownik wyrazów obcych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1990.
[161] Kopp R. J., Krupnick A. J., Toman M.: Cost-benefit analysis and regulatory reform: An assessment of the sience and the art. Resources for the Future. Discussion Paper 97, Nr 19, 1997.
[162] Korhonen P., Laakso J.: A Visual Interactive Method for Solving the Multicriteria Problem. European Journal of Operational Research, - 1986. - 2 : Tom Vol. 24, Nr 2, 1986, s. 277-287.
[163] Korhonen P., Wallenius J.: A Modification of the Zionts-Wallenius Maltiple Criteria Method for Nonlinear Utility Functions. Helsinki School of Economics Press, Helsinki, 1985.
[164] Korpela J.: An analytic approach to production capacity allocation and supply chain desing. International Journal of Production Economics, Vol. 78, Nr 2, 2002, s. 187-195.

[165] Kotler P.: Marketing od A do Z. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2004.
[166] Kotler P.: Marketing. Analiza, planowanie, wdrażanie i kontrola. FELBERG SJA, Warszawa, 1999.
[167] Kowalczyk L.: Współczesne zarządzanie publiczne, jako wynik procesu zmian w podejściu do administracji publicznej. Zeszyty naukowe Wałbrzyskiej Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości, Nr 1, 2008.
[168] Koźmiński A.K., Piotrowski W. (red.): Zarządzanie. PWN, Warszawa, 2007. -
[169] Köksalan M., Wallenius J., Zionts S.: Multiple Criteria Decision Making. From Early History to the 21st Century, World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Beijing, Shanghai, Hong Kong, Taipei, Chennai, 2011.
[170] Kruszyński M.: Gmina - profesjonalny uczestnik rynku kapitałowego. W: Jerzmanowski Z. (red.): Profesjonalne zarządzanie gminą, Business Expert, Poznań, 2002.
[171] Kruszyński M.: Holding przedsiębiorstw użyteczności publicznej. Materiały konferencji: Finansowanie inwestycji komunalnych na przykładach polskich, niemieckich i francuskich. Gliwice 8-9 października 1997, Wydawnictwo Municypium, Warszawa, 1997.
[172] Kruszyński M.: Poglądy na temat prywatyzacji gospodarki komunalnej. W: Jerzmanowski Z. (red.): Prywatyzacja gospodarki komunalnej - Dlaczego tak - dlaczego nie?, Wydawnictwo Business Expert, Poznań, 1998.
[173] Kruszyński M.: Pozabudżetowe metody finansowania inwestycji publicznych. Monitor rachunkowości i finansów, Nr 2, 2000, s. 20-24.
[174] Kruszyński M.: Pozyskiwanie środków finansowych na inwestycje komunalne. Emisja obligacji komunalnych na przykładzie Ostrowa Wielkopolskiego. W: Analizy, finanse komunalne, 1997.
[175] Kruszyński M.: The course of Communalization Process and property Transformations in the Communal Sector. Journal for Mental Changes, Special Issue on: Perspectives of Economic Political and Social Integration, Fundacja Środkowoeuropejskie Centrum Ekonomii Działania Społecznego, Vol. 3, Nr 1, Lublin, 1997, s. 19-69.
[176] Kruszyński M., Fierek Sz., Żak J.: Zastosowanie koncepcji "dobrego zarządzania publicznego" do wyboru tramwajów dla systemu miejskiego transportu zbiorowego. XV Jubileuszowa Konferencja Logistyki Stosowanej "TOTAL LOGISTIC MANAGEMENT", Komitet Transportu Polskiej Akademii Nauk, Zakopane, 2011.
[177] Krych A., Kaczkowski M.: Słownictwo kompleksowych badań ruchu i modelowania potoków ruchu. Materiały konferencyjne II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo - Technicznej: Modelowanie podróży i prognozowanie ruchu, Kraków 18-19 listopada 2010, Kraków, 2010.
[178] Krzakiewicz K.: Podstawy zarządzania. TNOiK, Poznań, 1996, s. 21-26.
[179] Kutz M.: Handbook of transportation engineering. McGraw-Hill, 2004.
[180] Lee D. B. Jr. Methods for evaluation of transportation projects in the USA. Transport Policy, - 2000. – Nr 7, 2000, s. 41-50.
[181] Lee S., Franz L.: An Interactive Decision Support System for Solving the Multiple Objective Problem. University of Nebraska Press, Lincoln, 1983.
[182] Leszczyński J.: Modelowanie systemów i procesów transportowych. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1990.

[183] Lewandowski A.: SCDAS – Decision Support System for Group Decision Making: Decision Theoretic Framework. Decision Support Systems, Vol. 5, 1989, s. 403-423.

[184] Leyva-Lopez J. C., Fernandez-Gonzalez E.: A new method for group decision support based on ELECTRE III methodology. European Journal of Operational Research, Vol. 148, Nr 1, 2003, s. 14-27.

[185] Liberadzki B., Mindur I.: Uwarunkowania rozwoju systemu transportowego Polski. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji - PIB, Warszawa – Radom, 2007.

[186] Lineares P.: Are Incosistent Decision Beeter? An Experiment with Pairwise Comparisons. European Journal of Operational Research, Vol. 193, Nr 2, 2009, s. 492-498.

[187] Litman T.: What's it Worth? Economic evaluation for Transportation Decision Making, Simposium on CBA, 2001.

[188] Lotfi V., Pegels C.: Decision Support Systems for Management Science and Operations Research. Irwin, Illinois, 1989.

[189] Machaczka J.: Podstawy zarządzania. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków, 1999.

[190] Macharis C.: Multi-criteria Analysis as a tool to include stakeholders in projekt evaluation: The MAMCA method. W: Haezendonck E. (ed.): Transport project evaluation. Extending the social cost - benefit approach, Edward Elgar, Cheltenham, 2007.

[191] Macharis C.: The importance of stakeholders analysis in freight transport: The MAMCA methodology. European Transport, Vol. 25-26, 2005, s. 114-126.

[192] Maciąg A., Pietroń R., Kukla S.: Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie. PWE, Warszawa 2013.

[193] Malczewski J., Moreno-Sanchez R., Bojorquez-Tapia L., Ongay-Delhumeau E.: Multicriteria Grup Decision - Making for Environmental Conflict Analysis in the Cape Region, Mexico. Journal of Environmental Planning and Management, Vol. 40, Nr 2-3, 1992, s. 175-189.

[194] Malczewski J., Moreno-Sanchez R., Bojorquez-Tapia L., Ongay-Delhumeau E.: Multicriteria group decision-making model for environmental conflict analysis in the Cape Region, Mexico. Journal of Environmental Planning and Management, Vol. 40, Nr 3, 1997, s. 349-374.

[195] Mareschal B., Mertens D.: BANKS: Amulticriteria decision support system for financial evaluation in the international banking sector. Journal of Decision Systems, Vol. 1, Nr 3, 1992, s. 175-189.

[196] Markowski T.: Zarządzanie rozwojem miast. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999.

[197] Martin J., Fajardo W., Blanco A., Requena I.: Constructing Linguistic Versions for the Multicriteria Decision Support Systems Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation I and II. International Journal of Intelligent Systems, Vol. 18, 2003, s. 711-731.

[198] Matarazzo B.: MAPPAC as a Compromise Between Outranking Methods and MAUT. European Journal of Operational Research, Vol. 54, Nr 1, 1991, s. 48-65.

[199] Matarazzo B.: Preference Ranking Global Frequencies in Multicriterion Analysis (PRAGMA). European Journal of Operational Research, Vol. 36, Nr 1, 1988, s. 36-49.
[200] Matsatsinis N., Samaras A.: MCDA and Preference Disaggregation in Group Decision Support Systems. European Journal of Operational Research, Vol. 130, Nr 2, 2001, s. 414-429.
[201] MAX i EPOMM: Zarządzanie mobilnością; definicja. EPOMM, www.epomm.org.
[202] May A. D., Kelly C., Shepherd S.: The principles of integration in urban transport strategies. Transport Policy, Nr 13, 2006, s. 319-327.
[203] McGill R.: Urban Management in Developing Countries. Cities, Vol. 15, 1998, s. 463-471.
[204] Merkisz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Tom I, Poznań, 1999.
[205] Meyer M., Miller E.: Urban Transportation Planning: Decision Oriented Approach. Mc Grow-Hill, New York, 2001.
[206] Miechowicz W., Kiciński M.: Zastosowanie metodyki wielokryterialnego wspomagania decyzji do oceny wariantów dojazdów mieszkańców powiatu poznańskiego do Poznania. Zeszyty naukowe Politechniki Poznańskiej, Vol. 53, 2003, s. 103-109.
[207] Mielczarek B.: Modelowanie symulacyjne w zarządzaniu. Symulacja dyskretna, Oficyna PWr., Wrocław, 2009.
[208] Ministerstwo Transportu Budownictwa i Gospodarki Morskiej: Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku).
[209] Morisugi H.: Evaluation methodologies of transportation projects in Japan. Transport Policy, Nr 7, 2000, s. 35-40.
[210] Mrozicka M.: Materiały pomocnicze do nauczania przedmiotu "Układy komunikacyjne".
[211] Mruk H., Pilarczyk B., Sławińska M.: Marketing. Koncepcje-Strategie-Trendy. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań, 2012.
[212] Mua R., Jong M., Yu B., Yang, Z.: The future of the modal split in China's greenest city: Assessing options for integrating Dalian's fragmented public transport system. Policy and Societ, Nr 31, 2012, s. 51-57.
[213] Munda G.: Social multi-criteria evaluation: Methodological foundations and operational consequences. European Journal of Operational Research, Vol. 158, Nr 3, 2004, s. 662-677.
[214] Newman P., Kenworthy J.: Sustainability and Cities: A vision of reduced automobile dependence. Island Press, Washington DC, 1999.
[215] Ngai E.: Selection of Web Sites for Online Advertising Using AHP. Information of Management, Vol. 40, Nr 4, 2003, s. 233-242.
[216] Niebieska Księga, Infrastruktura drogowa, Jaspers, Warszawa, 2008.
[217] OECD/ECMT.: Urban travel and sustainable development. Paris, 1995.
[218] Olson D. L.: Comparison of three multicriteria methods to predict known outcomes. European Journal of Operational Research, Vol. 130, Nr 3, 2001, s. 576-587.

[219] Olson D. L., Moshkovich H. M., Schellenberger R., Mechitov A. I.: Consistency and Accuracy in Decision Aids: Exeperiments with Four Multiattribute Systems. Decision Sciences, Vol. 26, Nr 6, 1995, s. 723-748.
[220] Palenica Z.: Aktualne regulacje prawne UE obowiązujące operatorów świadczących usługi przewozowe lokalnym (miejskim) transporcie zbiorowym. Zbiór referatów z XXXI Krajowego Zjazdu Komunikacji Miejskiej ,,Kształtowanie oferty przewozowej", Wydawnictwo IGKM, Warszawa, 2006.
[221] Parlament Europejski: Zrównoważona przyszłość transportu. Rezolucja z 6 lipca 2010, Bruksela, 2010.
[222] Pastijn H., Leysen J.: Constructing an Outranking Relation with OREST. Mathematical and Computer Modelling, Vol. 12, Nr 10/11, 1989, s. 576-587.
[223] Paulson D., Zahir S.: Consequences of Uncertainty in the Analytic Hierarchy Process: A Simulation Approach. European Journal of Operational Research, Vol. 87, Nr 1, 1995, s. 45-56.
[224] Pawłowska A.: Zarządzanie wielopodmiotowe - czy możliwe, czy pożądane w transformujących się demokracjach? W: Kom Teka.: Politologia i Stosunki Międzynarodowe, OL-PAN, 2007, s. 30-38.
[225] Pennington D., Potting J., Finnveden G., Lindeijer E., Jolliet O., Rydberg ., Rebitzer G.: Life Cycle Assessment Port 2: Current Impact Assessment Practice. Environmental International, Vol. 20, 2004, s. 721-739.
[226] Podolski J.: Transport w miastach. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1977.
[227] Polityka parkingowa Miasta Poznania. Wydział Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej, Poznań, 2008.
[228] Polityka transportowa Miasta Poznania. Uchwała nr XXIII/269/99, Wydział Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej, Poznań, 1999.
[229] Polityka transportowa Miasta Poznania. Urząd Miasta Poznania, Poznań, 1999.
[230] Poznań Miasto Uchwała Rady Miasta Poznańia LXVIII/356/92 z dn. 16.11.1992. Poznań, 1992.
[231] Pressl R., Reiter K.: Zarządzanie zachowaniami komunikacyjnymi. Research for Sustainable Mobility, European Commission 2003, http://www.eu-porral.net z 31.03.2009.
[232] Preston J.: What's so funny about peace, love and transport integration? Research in Transportation Economics, Vol. 29, 2010, s. 329-338.
[233] Preston J., Marshall A., Tochtermann, L.: On the Move: delivering integrated transport in Britain's cities. Centre for Cities, London, 2008.
[234] Program drogowy Miasta Poznania na lata 2008-2015. Wydział Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej, Poznań, 2008.
[235] Program rowerowy Miasta Poznania na lata 2007-2015. Wydział Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej, Poznań, 2007.
[236] Radojevic D., Petrovic S.: A Fuzzy Approach to Preference Structure in Multicriteria Ranking. International Transaction in Operations Research. Vol. 4, Nr 5-6, 1997, s. 419-430.
[237] Rakodi C.: Cities and People: Towards a Gender-Aware Urban Policy Process? Public Administration and Development, Vol. 11, 1991, s. 541-559.

[238] Renn O., Webler T., Dienel P., Jonson B.: Public participation in decision making: A three-stage procedure. Polcy Sciences, Nr 26, 1993, s. 189-214.
[239] Rodrigue J. P., Comtois C.: The Geography of Transport Systems, Second Edition. Routledge, New York, 2009.
[240] Roubens M.: Preference Relations on Actions and Criteria in Multicriteria Decision Making. European Journal of Operational Research, Vol. 10, 1982, s. 51-55.
[241] Roumboutsos A., Kapros S.: A game theory approach to urban public transport integration. Transport policy, Vol. 15, No. 4, 2008, s. 209-215.
[242] Roy B.: An Overview of MCDA Techniques Today. Paradigms and Challenges. W: Figueira J., Greco S. i Ehrgott M.: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, Springer, New York, 2005, s. 3-24.
[243] Roy B.: Decision Science or Decision-Aid Science? European Journal of Poerational Research. Vol. 66, Nr 2, 1993, s. 184-203.
[244] Roy B.: ELECTRE III: Un algorithme de classement fonde sur une representation floue des preferences en presence de criteres multiples. Cahiers du Centre d'Etudes de Recherche Operationnelle, Vol. 20, Nr 1, 1978, s. 3-24.
[245] Roy B.: Main Sources of Inaccurate Determination, Uncertainty and Imprecision in Decision Model. Mathematical and Computer Modeling, Vol. 12, Nr 10/11, 1989, s. 1245-1254.
[246] Roy B.: The Outranking Approach and the Founddations of ELECTRE Methods. W: Bana-Costa C. (red.): Readings in Multiple Criteria Decision Aid, Springer-Verlag, Berlin, 1990.
[247] Roy B.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1990.
[248] Roy B., Bertier P.: La methode ELECTRE II - Une apllication au media-planning. Operational Research'72. North-Holland Publishing, Amsterdam, 1973.
[249] Roy B., Hugonnard J.: Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. Transportation Research, Vol. 16A, Nr 4, 1982, s. 301-312.
[250] Roy B., Present M., Silfol D.: A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated. European Journal of Operational Research, Vol. 24, 1986, s. 318-334.
[251] Roy B., Vanderpooten D.: An Overview on "The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Works". European Journal of Operational Research, Vol. 99, Nr 1, 1997 s. 26-27.
[252] Roy B., Vanderpooten D.: The European School of MCDA: A Historical Review. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, Vol.5, 1996, s. 22-38.
[253] Roy B., Vanderpooten D.: The European School of MCDA: Emergence, Basic Features and Current Work. International Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, Vol. 5, Nr 1, 1996, s. 22-36.
[254] Roy B., Vincke P.: Relational Systems of Preference with One or More Pseudo-Criteria: Some New Concepts and Results. Management Science, Vol. 30, Nr 11, 1984, s. 1323-1335.
[255] Rucińska D., Ruciński A., Wyszomirski O.: Zarządzanie marketingowe na rynku usług transportowych. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 2006, s. 108-113.

[256] Rudnicki A.: Jakość komunikacji miejskiej. Zeszyty Naukowo-Techniczne, Vol. 5, Nr 71, Oddziału SITK w Krakowie, Kraków, 1999.
[257] Rudnicki A.: Przyczynek do dyskusji nad polityką transportową Poznania. Konferencja Naukowo-Techniczna SITKom, Poznań, 1997.
[258] Rudnicki A.: Quality in Urban Public Transportation. Association of the Transportation Engineers, Kraków, 1999.
[259] Rudnicki A., Starowicz W.: Polityka transportowa w obszarach zurbanizowanych.
[260] Rudnicki A., Starowicz W.: Transport miejski - ekspertyza do Polityki Transportowej Państwa i Narodowej Strategii Rozwoju Transportu. Raport końcowy - wersja ostateczna. Kraków, 2005.
[261] Rydzkowski W., Wojewódzka - Król K. (red.): Transport. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
[262] Saaty T.: Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making. W: Figueira J., Greco S., Ehrgott M.: Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys, Springer, New York, 2005.
[263] Saaty T.: The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, 1980.
[264] Saaty T.: Transport Planning with Multiple Criteria: The Analitic Hierarchy Process Applications and Progress Review. Journal of Advanced Transportation, Vol. 29, Nr 1, 1995, s. 81-126.
[265] Sadowski W.: Podstawy ogólnej teorii systemów. Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1978.
[266] Salminen P., Hokkanen J., Lahdelma R.: Comparing Multicriteria Methods in the Context of Environmental Problems. European Journal of Operational Research, Vol. 104, Nr 3, 1998, s. 485-519.
[267] Samuelson W.: Ekonomia menedżerska. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2009.
[268] Sawicka H.: Metoda reorganizacji systemu dystrybucji towarów. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, Warszawa, 2012.
[269] Scannella G., Beuthe M.: Assessing Risky Public Investments with MUSTARD. Journal of Multicriteria Decision Analysis, Vol. 10, Nr 6, 2002, s. 287-302.
[270] Shang J., Tjader Y., Ding Y.: A Unifiel Framwork for Multicriteria Evaluation of Transportation Projects. IEEE Transactions on Engineering Manadement, Vol. 51, No. 3, 2004.
[271] Sinha K. C., Labi S.: Transportation decision making: principles of project evaluation and programming. Wiley, 2011.
[272] Siskos Y.: Evaluating a system of furniture retail outlets using an interactive ordinal regression method. European Journal of operational Research, Vol. 23, 1986, s. 179-193.
[273] Siskos Y., Grigoroundis E., Matsatsinis F.: UTA Methods. W: Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (red.): Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys, Springer, New York, 2005.
[274] Skulimowski A. (red), Kaliszewski I., Okoń-Horodyńska E., Podkopaev D., Trzaskalik T.: Metody wielokryterialnego wyboru i konstrukcji rankingów uwzględniających cele regionalne związane z realizacją Narodowej Strategii

Spójności. Raport Techniczny RT-07/2009, Wydawnictwo Naukowe Fundacji „Pprogress and Business", Kraków, 2009.

[275] Small K. A.: Project Evaluation. Report-Book Chapter, Univ. Of California, Irvine, 1997.

[276] Small K. A.: Urban Transportation. W: Henderson D. R. (ed.): The Concise Encyclopedia of Economics, Indianapolis: Liberty Fund, Indianapolis, 2008, s. 507-510.

[277] Smith R., Weller P.: The Impossibility of Party Goveent - A Comment. APSA Retrospective, Australian Political Science Association Conference, 2000.

[278] Sousa J.: A Computer Based Interactive Approach to Crew Scheduling. European Journal of Operational Research, Vol. 55, Nr 3, 1991, s. 382-392.

[279] Spash C. L.: Deliberative Monetary Valuation. 5th Nordic Environmental Research Conference, Aarhus, 2001.

[280] Spyridakos A.: Multicriteria job evaluation for large organisations. European Journal of Operational Research, Vol. 130, Nr 2, 2000, s. 375-387.

[281] Stagl S.: SDRN Rapid Research and Evidence Review on Emerging Methods for Sustainable Valuation and Appraisal, A report to the Sustainable Development Research Nertwork, Final Report, Policy Studies Institute, London, 2007.

[282] Starowicz W.: Jakość przewozów w miejskim transporcie zbiorowym. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2007.

[283] Starowicz W.: Koncepcja rozwoju transportu publicznego w miastach. Ekspertyza, Kraków, 2010.

[284] Starowicz W.: Kształtowanie jakości usług przewozowych w miejskim transporcie zbiorowym. Seria: Rozprawy i studia, Vol. 392, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin, 2001.

[285] Staroń J.: Analiza ekonomiczna. Rzeszów, 2009.

[286] Steuer R., Choo E.: An Interactive Weighted Tchebycheff Procedure for Multiple Objective Programming. Mathematical Programming, Vol. 26, Nr 1, 1983, s. 326–344.

[287] Steuer R.: Multiple Criteria Optimization: Theory; Computation and Application. John Wiley and Sons, New York, 1986.

[288] Stoner J., Freeman R. E., Gilbert D. R.: Kierowanie. PWE, Warszawa, 2004, s. 262-267.

[289] Stoner J., Fremman R., Gilbert D.: Management. Prentice Hall, 1995.

[290] Strategia Rozwoju Miasta Poznania do roku 2030. Wydział Rozwoju Miasta, Poznań, 2010.

[291] Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego. Uchwała, Urząd Miasta Poznania, Poznań, 2008.

[292] Suchorzewski W.: Benchmarking jako instrument poprawy jakości i produktywności w transporcie. Biuletyn komunikacji miejskiej, IGKM, Nr 54, 2000, s. 7-8.

[293] Suchorzewski W. Innowacje w komunikacji miejskiej. XXXI Krajowy zjazd komunikacji miejskiej, Gdańsk, 2006.

[294] Suchorzewski W.: Planowanie systemów transportu miejskiego. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa, 1991.

[295] Suchorzewski W.: Transport w ,,Koncepcji przestrzennego zagospodarowania kraju". Warszawa, 2005.

[296] Suchorzewski W., Rozkwitalska C.: Raport o stanie komunikacji miejskiej w 1996 roku. Sterowanie i zarządzanie ruchem w komunikacji miejskiej. Warszawa, 1997.
[297] Supernat J.: Administracja publiczna. Studia krajowe i międzynarodowe. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Administracji Publicznej w Białymstoku, Nr 2, 2003, s. 28-46.
[298] Supernat J.: Administracja publiczna w świetle koncepcji New Public Management. W: Ura E.: Jednostka, państwo, administracja, Nowy wymiar, Rzeszów, 2004 s. 469-490.
[299] Swolkień O.: Polityka transportowa. Instytut Spraw Obywatelskich, Łódź, 2008/2009.
[300] Szarata A.: Parkingi Park and Ride w dużych miastach europejskich. Materiały konferencyjne: Transport publiczny w Warszawie kluczem harmonijnego rozwoju stolicy Polski, Warszawa, 2005.
[301] Szczepaniak T., Transport i spedycja w handlu zagranicznym. PWE, Warszawa, 2002.
[302] Śmid P., Lukaśowa P., Mourek D.: Plan mobilności. Fundacja Partnerstwa dla Środowiska, Kraków, 2011.
[303] Tabucanon M., Lee H. M.: Multiple Criteria Evaluation of transportation System Improvement Projects: the Case of of Korea. Journal of Advanced Transportation, 1995, s. 127-143.
[304] Tarkowski J., Irestahl B., Lumsden K.: Transport - Logistyka. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 1995.
[305] Toloie-Eshlaghy A., Homayonfor M.: MCDM Methodologies and Applications: A Literature Review from 1999 to2009. Research Journal of International Studies – Issue, Nr 21, 2011, s. 86-137.
[306] Trzaskalik T.: Metody rankingowe w wielokryterialnym podejmowaniu decyzji. W: Raport Techniczny RT-07/2009, Metody wielokryterialnego wyboru i konstrukcji rankingów uwzględniających cele regionalne związane z realizacją Narodowej Strategii Spójności, Wydawnictwo Naukowe Fundacji "Progress and Business", Kraków, 2009, s. 19-39.
[307] Tsamboulas D., Yiotis G. S., Panou K. D.: Use of multicriteria methods for assessment of transport transport. Journal of Transportation Engineering, Vol. 125, nr 5, 1999, s. 407-414.
[308] Tudela A., Akiki N., Cisternas R.: Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis An application to urban transport investments. Transportation Research Port A: Policy and Practica, Vol. 40(5), 2006, s. 414-423.
[309] Turban E.: Decision Suppoer Systems and Expert Systems: Managerial Perspectives. Macmillan, New York, 1988.
[310] Turban E., Aronson J.: Decision Support Systems and Intelligent Systems. Prentice Hall, New York, 1997.
[311] Tzeng G. H., Shiau T. U.: Multiple Objective Programming for Bus Operation: A Case Study for Taipei City. Transportation Research B, 1988, s. 195-206.
[312] Vanderpooten D. The Use of Preference Information in Multiple Criteria Interactive Procedures. W: Locket A., Islei G.(red.): Improving Decision Making in Organizationa, Springer-Verlag, Berlin, 1989.

[313] Vanderpooten D., Vincke P.: Description an Analysis of Some Representative Interactive Multicriteria Procedures. Mathematical and Computer Modeling, Vol. 12, Nr 10, 1989, s. 1221-1238.
[314] Vestergaard J. A.: Appraisal of Transport Projects: Assessing Robustness in Decision Making. PhD. Thesis, DTU Transport, Department of Transport, 2012.
[315] Vickerman R.: Evaluation Methodologies for Transport Project in the UK. Transport Policy, Vol. 7, No. 1, 2000, s. 7-16.
[316] Vincke P.: Multicriteria Decision-Aid. John Wiley & Sons, Chichester, 1992.
[317] Vuchic V. R.: Urban Public Transportation Systems. Prentice-Hall, 1981, s. 673
[318] Vuchic V. Urban Transit: Operations, Planning and Economics. J. Wiley and Sons, New York, 2005.
[319] Vuchic V.: Urban Transit. Systems and Technology. John Wiley and Sons, New York, 2005.
[320] Wang X., Triantaphyllou E.: Ranking Irregularities when Evaluating Alternatives by Using Some ELECTRE Methods. The International Journal of Management Science, Vol. 36, Nr 1, 2008, s. 45-63.
[321] Weber M.: The Theory of Social and Economic Organization. Collier Macmillan Publishers, London, 1947.
[322] Wendel R.: Multiple objective mathematical programming with respect to multiple decision makers. Operational Research, Vol. 28, Nr 5, 1980, s.1100-1111.
[323] Wierzbicki A.: The Use of Reference Objectives in Multiobjective Optimization. W: Fandel G., Gal T.: Multiple Criteria Decision Making. Theory and Applications. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, Berlin, Vol. 177, 1980.
[324] Wierzbiński S.: Organizacja pracy i zarządzanie. Kraków, 2005.
[325] Wojewódzka A.: Strategia rozwoju gminy, jako podstawowy instrument zarządzania lokalnego. W: Adamowicz M. (red.): Zarządzanie wiedzą w agrobiznesie w warunkach polskiego członkostwa w Unii Europejskiej, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2005, s. 687-694.
[326] Wolf J., Sanchez T. W., Farquahr M. B.: Metropolitan Planning Organizations and Regional Transportation Planning. In: Plant J. F.(ed): Handbook of Transportation Policy and Administration, Taylor&Francis, New York, 2007, s. 196-188.
[327] Wolker E. W.: Policy Analysis: a systematic approach to supporting policymaking in the public sector. Journal of Multi - criteria Decision Analisis, Vol. 9, Nr 1-3, 2000, s. 11-27.
[328] Wołek M., Brodzicki T.: Wykorzystanie strategii rozwoju w procesie zarządzania miastem. Tczew – Trójmiasto, 2009.
[329] Wong S-W., Tang B-S., van Horen B.: Strategic Urban Management in China: A Case Study of Guangzhou Development District. Habitat International, Vol. 30, 2006, s. 645-667.
[330] Wódz K.: Dialog obywatelski w Unii Europejskiej. Dialog, Nr 1, 2008, s. 62-65.
[331] Wydro K.: Telematyka - znaczenie i definicje terminu. Telekomunikacja i techniki informacyjne, Instytut łączności, Warszawa, 2005, s. 116-130.
[332] Wyszomirski O.: Ekonomia komunikacji miejskiej. Uniwersytet Gdański, Gdańsk, 1986.

[333] Wyszomirski O. Podatkowe uwarunkowania kształtowania oferty przewozowej w komunikacji miejskiej. XXXI Krajowy Zjazd Komunikacji Miejskiej.
[334] Wyszomirski O.: Transport miejski. W: Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K. (red.): Transport, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1998.
[335] Wyszomirski O.: Transport miejski. Ekonomia i organizacja. Uniwersytet Gdański, Gdańsk, 2008.
[336] Zalewski A. Reformy sektora publicznego w duchu nowego zarządzania publicznego. W: Nowe zarządzanie publiczne w polskim samorządzie terytorialnym, Wydawnictwo SGH, Warszawa, 2005.
[337] Założenia Krajowej polityki Miejskiej do roku 2020. Regionalnego Ministerstwo Rozwoju, Warszawa, 2012.
[338] Zarządzanie zasobami ludzkimi w transporcie publicznym. List informacyjny UITP. Biuletyn komunikacji miejskiej, Nr 86, Izba Gospodarcza Komunikacji Miejskiej, Warszawa, 2005, s. 14.
[339] Zeleny M.: Multiple Criteria Decision Making. McGraw-Hill, New York, 1982.
[340] Złota Encyklopedia PWN. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2003.
[341] Zrównoważony Plan Rozwoju Transportu Publicznego Aglomeracji Poznańskiej. Urząd Miasta Poznania, Poznań, 2006.
[342] Żak J.: Analiza decyzyjna/Decision Analysis. Skrypt dla programu MBA/Academic Handbook - Teachnig Materials for the MBA Program. Akademia Ekonomiczna w Poznaniu - Georgia State Uniwersity, Poznań – Atlanta, 1998.
[343] Żak J.: Identification of the Most Important Road Transportation Decision Problems. Archives of Transport, Vol. 16, Nr 2, 2004, s. 89-109.
[344] Żak J.: Modelowanie i optymalizacja problemów decyzyjnych w przedsiębiorstwach transportowo-spedycyjnych. Wykorzystanie metodyki Wielokryterialnego Wspomagania Decyzji do modelowania i optymalizacji problemów decyzyjnych w przedsiębiorstwach transportowo-spedycyjnych. Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 1999-2001.
[345] Żak J.: The Comparison of Multiobjective Ranking Methods Applied to Solve the Mass Transit Systems' Decision Problem. W: Jaszkiewicz A., Kaczmarek M., Żak J., Kubiak M. (eds): Advanced OR and AI Methods in Transportation. Poznan University of Technology, Poznan, 2005.
[346] Żak J.: The MCDA Methodology Applied to Solve Complex Transportation Decision Problems. Proceedings of the 9th Meeting of the EURO Working Group on Transportation: Intermodality, Sustainbility and Inteligent Transportation Systems, Bari, 10-13 June, 2002, s, 685-693.
[347] Żak J.: The Methodology of Multiple Criteria Decision Making/Aiding in Public transportation. Journal of Advanced Transportation, Vol. 45, 2011, s. 1-20.
[348] Żak J.: The Methodology of Multiple-Criteria Decision Making in the Optimization of an Urban Transportation System: Case Study of Poznan City in Poland. International Transactions in Operational Research, Vol. 6, Nr 3, 1999, s. 571-590.
[349] Żak J.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym. Politechnika Poznańska, Poznań, 2005.
[350] Żak J.: Wybór taboru dla systemu publicznego transportu miejskiego z wykorzystaniem metodyk: wielokryterialnego i grupowego podejmowania decyzji. Logistyka, Nr 6, 2011.

[351] Żak J., Bieńczak M., Fierek S., Kruszński M., Ratajczak J., Sawicka H., Żmuda-Trzebiatowski P., we współpracy z: Horodyński R., Kisilowska I., Skoczyński T., Nowacka A.: Zastosowanie metodyki wielokryterialnego wspomagania decyzji (WWD) do rozwiązywania wybranych problemów decyzyjnych związanych zarządzaniem miastem. Politechnika Poznańska, Poznań, 2010.

[352] Żak J., Bieńczak M., Fierek S., Kruszyński M., Ratajczak J., Sawicka H., Żmuda-Trzebiatowski P.: Zastosowanie metodyki WWD do rozwiązywania wybranych problemów decyzyjnych związanych z zarządzaniem miastem. Politechnika Poznańska, Poznań, 2009.

[353] Żak J., Fierek S.: Desing and Evaluation of Alternative Solutions for an Integrated Urban Transportation System. Proceedings of the World Conference on Transport Research, Berkeley, 24-28 June, 2007.

[354] Żak J., Fierek S., Kruszyński M.: Evaluation of different transportation solutions with the application of Macro Simulation tools and Multiple Criteria Group Decision Making/Aiding methodology. Proceedings of the 16th Meeting of the EURO Working Group of Transportation, Porto, 2013.

[355] Żak J., Fierek S., Kruszyński M., Sawicka H.: The methodology of group decision making for a multiple criteria fleet selection problem in a public transportation system. Proceedings of the 14th EWGT Meeting, 16th Mini - Euro Conference, 1st European Conference on Air Transport, Poznan, September 6-9, 2011.

[356] Żak J., Fierek S., Kruszyński M., Żmuda-Trzebiatowski, P.: Metodyka wielokryterialnego szeregowania projektów transportowych z odniesieniem do polityki transportowej i strategii rozwoju Miasta Poznania. Politechnika Poznańska, Poznań, 2011.

[357] Żak J., Fierek S., Żmuda-Trzebiatowski P., Kruszyński M.: Multiple Level, Multiple Criteria Ranking Transportation Project. Proceedings of the 13th World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro, 15-18 July, 2013.

[358] Żak J., Thiel T.: Multiple Criteria Evaluation of the Development Scenarios of the Mass Transit System. W: Park C-H., Oh J., Hayashi Y., Viegas J.(red.): CD Selected, Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, Seoul, 2001,July 22-27, 2001.

Załączniki

Dysk CD zawierający raporty z eksperymentów obliczeniowych.