

# Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

## Dane osobowe:

dr inż. Jarosław Wątróbski

## Posiadane dyplomy i stopnie naukowe:

Politechnika Szczecińska, Wydział Informatyki, magister inżynier informatyki, specjalność: systemy wspomagania decyzji, 1997.

Politechnika Szczecińska, Wydział Informatyki, doktor nauk technicznych w dyscyplinie informatyka, specjalność: systemy wspomagania decyzji, 2006, Temat rozprawy doktorskiej: „Strategie informatyzacji przedsiębiorstw o niepotokowej organizacji produkcji”.

Uniwersytet Szczeciński, 2 semestralne studia podyplomowe z zakresu zarządzania projektem badawczym i komercjalizacji wyników badań, 2013.

## Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu:

1997 - 2017 - Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Informatyki, Katedra Inżynierii Systemów Informacyjnych, stanowisko: asystent, adiunkt, w okresie 09.2016r – 10.2017r. kierownik Zakładu Analityki Systemów Internetowych i Przetwarzania Danych.

2007-2014 - Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Gorzowie Wielkopolskim, wykładowca, starszy wykładowca, 24.11.2009 – 20.09.2014r. kierownik Zakładu Zastosowań Informatyki.

2017- obecnie, Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, Instytut Informatyki w Zarządzaniu, adiunkt.

## Profil internetowy:

ResearchGate: [https://www.researchgate.net/profile/Jaroslaw\\_Watroski](https://www.researchgate.net/profile/Jaroslaw_Watroski)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4415-9414?lang=en>



# 1. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789)

## 1.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe wskazuję cykl powiązanych tematycznie 20 publikacji pod zbiorczym tytułem:

### Modelowanie wielokryterialne w zagadnieniach zrównoważenia

## 1.2. Artykuły naukowe wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

W skład cyklu publikacji wchodzi następujące prace:

- A1** Wątróbski, J., & Jankowski, J. (2016). **Guideline for MCDA method selection in production management area**. In *New frontiers in information and production systems modelling and analysis* (pp. 119-138). Springer, Cham.  
**Indeksowanie: Scopus, 5 pkt., udział: 95%.**  
*Liczba cytowań: WoS - 0, Scopus - 15, Google Scholar - 19*  
**Wkład autorski:** wiodący udział w opracowaniu koncepcji algorytmu doboru metody MCDA dla danego problemu decyzyjnego, wiodący udział w analizach danych oraz opracowaniu tekstu manuskryptu.
- A2** Wątróbski, J. (2016). **Outline of multicriteria decision-making in green logistics**. *Transportation Research Procedia*, 16, 537-552.  
**Indeksowanie: Scopus, WebofScience, 15 pkt.**  
*Liczba cytowań: WoS - 5, Scopus - 7, Google Scholar - 8*
- A3** Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemia, P., Karczmarczyk, A., & Ziolo, M. (2019). **Generalised framework for multi-criteria method selection**. *Omega - The International Journal of Management Science*, 86, 107-124.  
**Impact Factor = 4,31, 5-Year Impact Factor = 5,52, 45 pkt., udział: 75%.**  
*Liczba cytowań: WoS - 0, Scopus - 1, Google Scholar - 11*  
**Wkład autorski:** opracowanie koncepcji algorytmu i jego implementacja, formalizacja, opracowanie prototypu systemu ekspertowego, wiodący udział w studium empirycznym i analizach danych (przypadków referencyjnych), wiodący udział w opracowaniu tekstu manuskryptu.
- A4** Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemia, P., Karczmarczyk, A., & Ziolo, M. (2019). **Generalised framework for multi-criteria method selection: Rule set database and exemplary decision support system implementation blueprints**. *Data in Brief*, 22, 639-642.  
**Indeksowanie: Scopus, WebofScience, 15 pkt. Udział: 80%.**

Liczba cytowań: WoS - 0, Scopus - 0, Google Scholar – 0

Wkład autorski: opracowanie koncepcji badań, opracowanie koncepcji algorytmu i jego implementacja, opracowanie systemu ekspertowego oraz jego implementacja w środowisku programistycznym, wiodący udział studium empirycznym i analizach danych (symulacjach), wiodący udział w opracowaniu tekstu manuskryptu.

- B1** Wątróbski, J., & Jankowski, J. (2015). **Knowledge management in MCDA domain.** In 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 1445-1450). IEEE.

**Indeksowanie:** Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 95%.

Liczba cytowań: WoS - 12, Scopus - 12, Google Scholar – 19

Wkład autorski: opracowanie taksonomii wiedzy dziedzinowej dla metod MCDA, opracowanie modelu wiedzy, wiodący udział w opracowaniu tekstu manuskryptu.

- B2** Wątróbski, J., & Jankowski, J. (2016). **An ontology-based knowledge representation of MCDA methods.** In Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (pp. 54-64). Springer, Berlin, Heidelberg.

**Indeksowanie:** Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 95%.

Liczba cytowań: WoS - 3, Scopus - 3, Google Scholar – 6

Wkład autorski: opracowanie taksonomii oraz ontologii wiedzy dziedzinowej dla metod MCDA, implementacja i inżynieria wiedzy, weryfikacja modelu wiedzy, wiodący udział w opracowaniu tekstu manuskryptu.

- B3** Wątróbski, J. (2016). **An Ontology Supporting Multiple-Criteria Decision Analysis Method Selection.** In International Conference on Intelligent Decision Technologies (pp. 89-99). Springer, Cham.

**Indeksowanie:** Scopus, WebofScience, 15 pkt.

Liczba cytowań: WoS - 0, Scopus - 0, Google Scholar – 1

- C1** Wątróbski, J., Ziemia, P., & Wolski, W. (2015). **Methodological aspects of decision support system for the location of renewable energy sources.** In 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 1451-1459). IEEE.

**Indeksowanie:** Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 85%.

Liczba cytowań: WoS - 14, Scopus - 13, Google Scholar – 19

Wkład autorski: opracowanie koncepcji badań, opracowanie koncepcji systemu wspomagania decyzji, wiodący udział w realizacji badań, analizie i interpretacji wyników oraz opracowaniu tekstu manuskryptu.

- C2** Wątróbski, J., Ziemia, P., & Wolski, W. (2016). **MCDA-based decision support system for sustainable management-RES case study.** In 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 1235-1239). IEEE.

**Indeksowanie:** Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 85%.

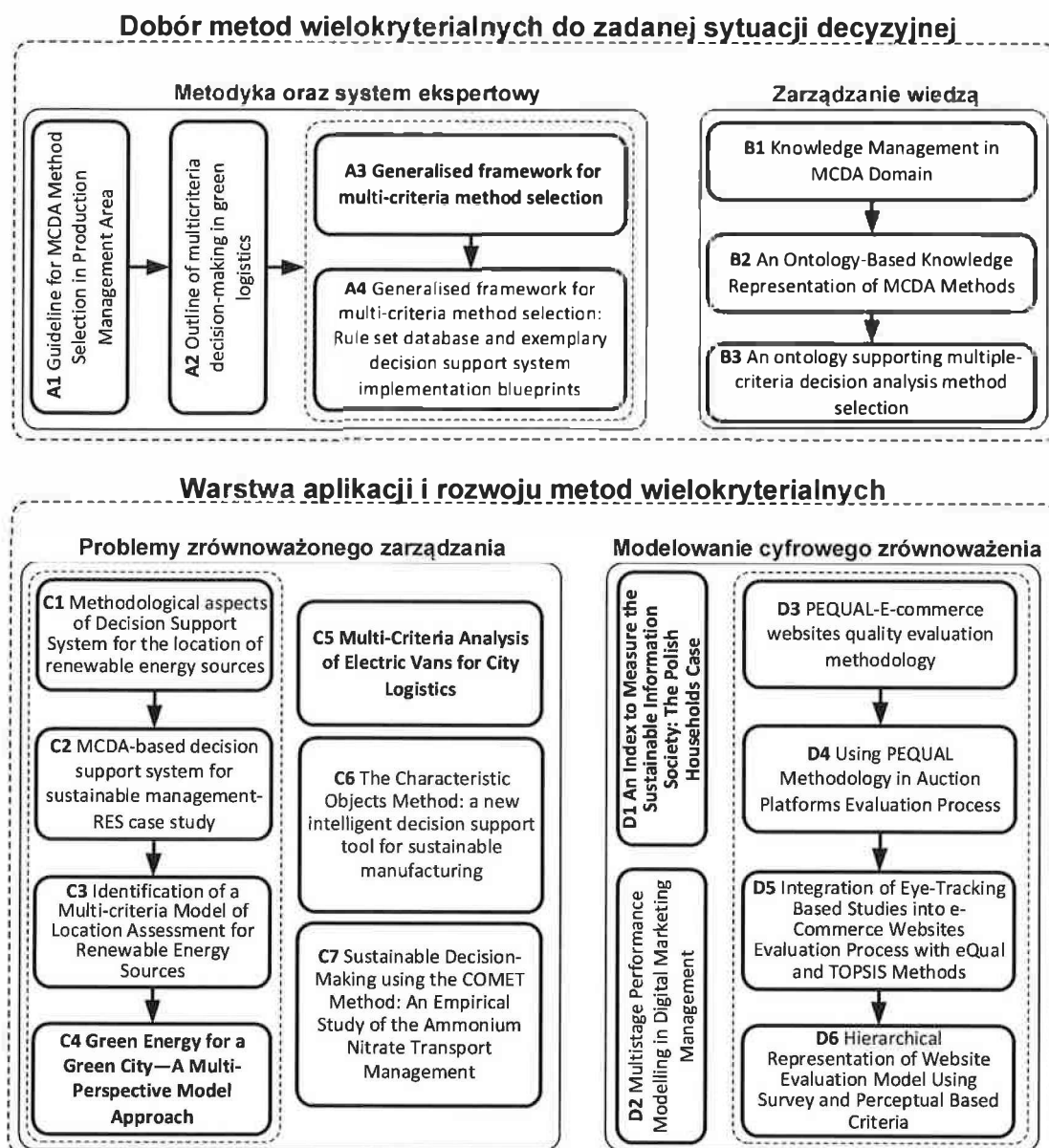
Liczba cytowań: WoS - 0, Scopus - 0, Google Scholar - 0

Wkład autorski: opracowanie koncepcji badań, przetwarzanie danych i przeprowadzenie analiz oraz wiodący udział w opracowaniu tekstu i manuskryptu.

- C3** Sałabun, W., Wątróbski, J., & Piegat, A. (2016). **Identification of a multi-criteria model of location assessment for renewable energy sources.** In International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing (pp. 321-332). Springer, Cham.  
**Indeksowanie:** *Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 45%.*  
*Liczba cytowań: WoS - 4, Scopus - 6, Google Scholar - 7*  
**Wkład autorski:** *opracowanie koncepcji badań, wiodący udział w realizacji badań, analizie i interpretacji wyników oraz częściowe opracowanie tekstu manuskryptu.*
- C4** Wątróbski, J., Ziemia, P., Jankowski, J., & Zioło, M. (2016). **Green energy for a green city – A multi-perspective model approach.** Sustainability, 8(8), 702.  
**Impact Factor = 1,78, 5-Year Impact Factor = 2,18, 20 pkt., udział: 65%.**  
*Liczba cytowań: WoS - 15, Scopus - 21, Google Scholar - 26*  
**Wkład autorski:** *opracowanie koncepcji badań i zaplanowanie eksperymentów, wiodący udział w analizie i interpretacji danych, opracowanie tekstu manuskryptu.*
- C5** Wątróbski, J., Małcki, K., Kijewska, K., Iwan, S., Karczmarczyk, A., & Thompson, R. (2017). **Multi-criteria analysis of electric vans for city logistics.** Sustainability, 9(8), 1453.  
**Impact Factor = 2,07, 5-Year Impact Factor = 2,18, 20 pkt., MNiSW, udział: 50%.**  
*Liczba cytowań: WoS - 7, Scopus - 11, Google Scholar - 12*  
**Wkład autorski:** *opracowanie koncepcji badań i zaplanowanie eksperymentów, analiza danych i przeprowadzenie badań, wizualizacja i interpretacja wyników badań, wiodący udział w opracowaniu tekstu manuskryptu (część metodyczna oraz eksperymentalna, wprowadzenie, wnioski oraz częściowy przegląd literatury).*
- C6** Wątróbski, J., & Sałabun, W. (2016). **The characteristic objects method: A new intelligent decision support tool for sustainable manufacturing.** In International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (pp. 349-359). Springer, Cham.  
**Indeksowanie:** *Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 80%.*  
*Liczba cytowań: WoS - 8, Scopus - 8, Google Scholar - 11*  
**Wkład autorski:** *Wiodący udział w analizach danych i opracowanie tekstu manuskryptu.*
- C7** Wątróbski, J., Sałabun, W., Karczmarczyk, A., & Wolski, W. (2017). **Sustainable decision-making using the COMET method: An empirical study of the ammonium nitrate transport management.** In 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 949-958). IEEE.  
**Indeksowanie:** *Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 50%.*  
*Liczba cytowań: WoS - 4, Scopus - 4, Google Scholar - 6*  
**Wkład autorski:** *opracowanie koncepcji badań i implementacja badań eksperymentalnych, opracowanie tekstu manuskryptu.*
- D1** Wątróbski, J., Ziemia, E., Karczmarczyk, A., & Jankowski, J. (2018). **An index to measure the sustainable information society: the Polish households case.** Sustainability, 10(9), 3223.  
**Impact Factor = 2,07, 5-Year Impact Factor = 2,18, 20 pkt., udział: 50%.**  
*Liczba cytowań: WoS - 1, Scopus - 3, Google Scholar - 3*  
**Wkład autorski:** *opracowanie koncepcji badań, wiodący wkład w zaplanowaniu i realizacji eksperymentów, weryfikacji wyników analizy danych oraz opracowaniu tekstu manuskryptu.*

- D2** Wątróbski, J., Jankowski, J., & Ziemia, P. (2016). **Multistage performance modelling in digital marketing management**. *Economics & Sociology*, 9(2), 101.  
**Indeksowanie:** *Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 90%*.  
*Liczba cytowań: WoS - 15, Scopus - 11, Google Scholar - 20*  
**Wkład autorski:** *opracowanie koncepcji badań, zaplanowanie i realizacja eksperymentów oraz opracowanie tekstu manuskryptu.*
- D3** Wątróbski, J., Ziemia, P., Jankowski, J., & Wolski, W. (2016). **PEQUAL-E-commerce websites quality evaluation methodology**. In 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 1317-1327). IEEE.  
**Indeksowanie:** *Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 70%*.  
*Liczba cytowań: WoS - 3, Scopus - 7, Google Scholar - 8*  
**Wkład autorski:** *opracowanie metody jakiej PEQUAL, zaplanowanie i częściowa realizacja badań, wiodący wkład w opracowanie tekstu manuskryptu.*
- D4** Wątróbski, J., Ziemia, P., Jankowski, J., & Wolski, W. (2016). **Using pequal methodology in auction platforms evaluation process**. In *Information Technology for Management: New Ideas and Real Solutions* (pp. 222-241). Springer, Cham.  
**Indeksowanie:** *Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 80%*.  
*Liczba cytowań: WoS - 0, Scopus - 1, Google Scholar - 1*  
**Wkład autorski:** *zaplanowanie i częściowa realizacja badań oraz wiodący wkład w opracowanie tekstu manuskryptu.*
- D5** Wątróbski, J., Jankowski, J., Karczmarczyk, A., & Ziemia, P. (2017). **Integration of eye-tracking based studies into e-commerce websites evaluation process with eQual and TOPSIS methods**. In *EuroSymposium on Systems Analysis and Design* (pp. 56-80). Springer, Cham.  
**Indeksowanie:** *Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 85%*.  
*Liczba cytowań: WoS - 0, Scopus - 4, Google Scholar - 5*  
**Wkład autorski:** *opracowanie metody badawczej, zaplanowanie i częściowa realizacja badań oraz wiodący wkład w opracowanie tekstu manuskryptu*
- D6** Wątróbski, J., Karczmarczyk, A., Jankowski, J., Ziemia, P., & Wolski, W. (2017). **Hierarchical Representation of Website Evaluation Model Using Survey and Perceptual Based Criteria**. In *Information Technology for Management. Ongoing Research and Development* (pp. 229-248). Springer, Cham.  
**Indeksowanie:** *Scopus, WebofScience, 15 pkt., udział: 75%*.  
*Liczba cytowań: WoS - 0, Scopus - 1, Google Scholar - 1*  
**Wkład autorski:** *opracowanie metody badawczej, zaplanowanie i częściowa realizacja badań oraz wiodący wkład w opracowanie tekstu manuskryptu*

Układ oraz powiązania pomiędzy publikacjami zostały przedstawione na Rysunku 1.



Rysunek 1. Wizualizacja powiązań pomiędzy poszczególnymi publikacjami wskazanymi jako osiągnięcie naukowe pod tytułem „Modelowanie wielokryterialne w zagadnieniach zrównoważenia”.

Prezentowany cykl obejmuje 4 artykuły opublikowane w czasopiśmie naukowych z listy Journal Citation Reports o łącznej wartości współczynnika **Impact Factor** wynoszącej 10,2 oraz 16 artykułów wydanych w czasopiśmie o zasięgu światowym oraz recenzowanych, międzynarodowych, materiałach konferencyjnych wydawców takich jak: Springer, Elsevier oraz IEEE, indeksowanych w bazach *Scopus* oraz *Web of Science*. W Tabeli 1. Przedstawiono sumarycznie **wskaźniki bibliometryczne publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe**.

Tabela 1. Wskaźniki bibliometryczne publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Nazwa wskaźnika	Wartość
Sumaryczny wskaźnik Impact Factor	10,23
Suma punktów MNiSW	335
Suma punktów MNiSW według wkładu autorskiego	253,75

## 2. Omówienie celu naukowego opublikowanych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

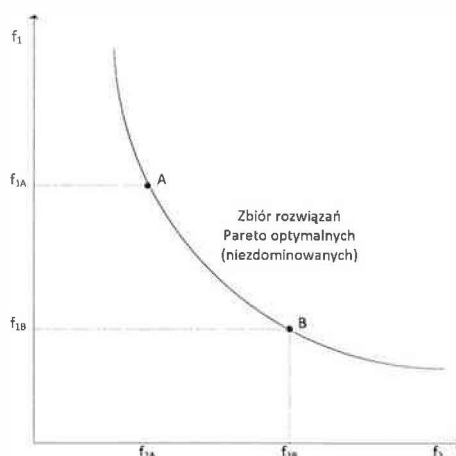
### 2.1. Podstawy metodyczne

Aktualne studia literaturowe jednoznacznie potwierdzają, że obecnie powszechnie akceptowane jest rozszerzenie procesu wspomagania decyzji poza klasyczny model optymalizacji pojedynczej funkcji celu opisaną na zbiorze dopuszczalnych rozwiązań. Rozszerzenie to umożliwia podejmowanie **problemów wielokryterialnych**, skupiających się na uzyskaniu **rozwiązania spełniającego w sposób wystarczający wiele, często sprzecznych, celów**. Problemy wielokryterialne można podzielić na: ciągłe, jak np. wielokryterialne programowanie liniowe oraz dyskretne. Jeśli zbiór kryteriów i wariantów decyzyjnych jest skończony, stosuje się metody dyskretne. W przeciwnym wypadku, zastosowanie znajdują metody ciągłe<sup>1</sup>.

Niemal w każdym przypadku charakter problemu decyzyjnego powoduje, że jest on problemem wielokryterialnym. Oznacza to, że podjęcie „dobrej” decyzji wymaga rozpatrzenia wielu wariantów decyzyjnych, gdzie każdy wariant powinien być rozpatrywany pod względem wielu czynników (kryteriów), które charakteryzują jego dopuszczalność. Wartości tych czynników mogą ograniczać ilość wariantów w przypadku, gdy ich wartości przekraczają założone ramy. Mogą one również służyć stopniowaniu dopuszczalności wariantów w sytuacji, kiedy każdy z nich jest dopuszczalny, a problem wielokryterialny polega na wybraniu subiektywnie najlepszego z nich. Subiektywizm w tym przypadku odnosi się do ważności poszczególnych celów czy też kryteriów, gdyż zazwyczaj dla decydenta jedne z czynników są ważniejsze od innych. Ponadto często poszczególne kryteria są w konflikcie z innymi, co powoduje, że wzrost wydajności wariantu pod względem jednego z kryteriów, powoduje spadek wydajności pod względem innego kryterium. Za przykład niech tu posłuży projektowanie produktu, gdzie podstawowymi kryteriami są: wydajność, koszty i niezawodność produktu. Optymalizacja samej wydajności może prowadzić do dużych kosztów i niskiej niezawodności produktu. Podobnie optymalizacja wyłącznie kosztów może prowadzić do gorszej wydajności i niskiej niezawodności. Skupiając się zaś na niezawodności, można w konsekwencji uzyskać wysokie koszty i niską wydajność produktu.

<sup>1</sup> Kodikara, P.N (2008). Multi-Objective Optima Operation of Urban Water Supply Systems (Ph.D. dftwilkryissertation, Victoria University, Melbourne).

Dla różnych decydentów różne kryteria mogą mieć inną istotność, więc w żadnym wypadku decyzja wielokryterialna nie może być uznana za całkowicie obiektywną. Obiektywny jest tutaj tylko ranking poszczególnych wariantów przy zadanych wagach poszczególnych kryteriów, gdyż ranking ten jest generowany zazwyczaj przy wykorzystaniu konkretnej metody wielokryterialnej (*Multi Criteria Decision Analysis method– MCDA method*). Wracając do przedstawionego przykładu projektu produktu, należy zaznaczyć, że w przypadku skonfliktowanych kryteriów nie ma idealnego rozwiązania, lecz uzyskuje się zbiór rozwiązań, dla których poprawa wartości alternatywy pod względem jednego z kryteriów, powoduje spadek wartości tej alternatywy pod względem innych kryteriów<sup>2</sup>. Wobec tego w odniesieniu do rekomendowanych decyzji wielokryterialnych nie używa się pojęcia „optymalna” lecz „najbardziej satysfakcjonująca decydenta”<sup>3</sup>, oznaczająca optymalność w sensie Pareto<sup>2</sup>. Rozwiązanie Pareto optymalne jest rozwiązaniem niezdominowanym przez inne rozwiązania co oznacza, że w rozpatrywanym zbiorze wariantów nie ma takiego, który byłby lepszy pod względem co najmniej jednego z kryteriów bez spadku wydajności pod względem innych kryteriów. Zagadnienie to przedstawiono na Rysunku 2.



Rysunek 2. Zbiór rozwiązań Pareto optymalnych dla problemu decyzyjnego złożonego z dwóch kryteriów.

Dobór wag kryteriów i akceptacja rozwiązania subiektywnie lepszego od innych (najbardziej satysfakcjonującego decydenta) związane są z wiedzą i oczekiwaniami podejmującego decyzję. W tym kontekście należy stwierdzić, że decyzja nie jest nigdy całkowicie racjonalna, nieracjonalna czy też irracjonalna. Podjęcie racjonalnej decyzji wymaga oceny wszystkich wariantów i wybranie tego, który maksymalizuje satysfakcję decydenta albo funkcję użyteczności wariantu. Stąd racjonalność jest związana z procesem decyzyjnym (analiza) oraz jego wynikiem (maksymalizacja). Ale decydent zazwyczaj nie ma czasu oraz zdolności, aby przeanalizować wszystkie możliwe alternatywy. Decyzja oparta na doświadczeniu i wiedzy decydenta jest kwalifikowana jako nieracjonalna. Racjonalność decyzji odnosi się w tej sytuacji tylko do osobistych oczekiwań decydenta<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Roy, B. (1996) *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, 12. Springer Science & Business Media, Dordrecht.

<sup>3</sup> Guitouni, A., & Martel, J.M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.

<sup>4</sup> Guitouni, A., & Martel, J.M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.



Podsumowując, można stwierdzić, że modele wielokryterialne powinny uwzględniać elementy, które można określić jako paradygmat wielokryterialny:

- istnienie wielu kryteriów,
- występowanie konfliktów między kryteriami,
- złożoną, subiektywną i słabo ustrukturalizowaną naturę problemu decyzyjnego.

## 2.2. Miejsce badań w dyscyplinie nauk o zarządzaniu

Analizując genezę i pierwotne obszary wykorzystania metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, należy zauważyć, że ich intensywny rozwój rozpoczął się w latach 70-tych, zaś w latach 80-tych XX wieku stanowiły one już jedno z podstawowych narzędzi wspomagających zarządzanie. Potwierdzenie tego faktu można znaleźć choćby w pracy Teckle<sup>5</sup>, gdzie autor przedstawił aktualny stan badań wraz z rozszerzoną analizą zastosowań metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji w różnorodnych problemach zarządzania. Przykładowe obszary skutecznego wykorzystania MCDA obejmowały zarządzanie zasobami wodnymi<sup>6, 7</sup>, a w tym odpadami (ściekami)<sup>8</sup>, zarządzanie zasobami leśnymi<sup>9</sup> (i szerzej środowiskowymi)<sup>10, 11</sup>, szereg problemów decyzyjnych w transporcie<sup>12</sup> i logistyce<sup>13</sup>, jak też wzorcowe dla problematyki MCDA zagadnienia podziału obszaru (tzw. land parcel)<sup>14</sup> czy planowania zasobów ludzkich<sup>15</sup>. Oczywiście można również wskazać wiele zastosowań metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji w obszarze problemów strategicznych, dotyczących choćby oceny projektów<sup>16</sup>, planów i strategii<sup>17</sup> czy też wyboru określonego kierunku polityki<sup>18</sup>, wyboru i oceny obiektów użyteczności publicznej (np. szkoły<sup>19</sup>, szpitale<sup>20</sup>), planowaniu rozwoju regionalnego<sup>21</sup>, inwestycji kapitałowych<sup>22</sup> i budżetowania<sup>23</sup>, planowania i realizacji procesu produkcyjnego<sup>24</sup>, polityki ekonomicznej<sup>25</sup>, oceny systemów informacyjnych<sup>26</sup>, czy dedykowanych celów wojskowych<sup>27</sup>. Aktualnie obszar wykorzystania

<sup>5</sup> Teckle, A. (1988) Choice of multicriteria decision making techniques for watershed management, (Ph.D. Dissertation, The University of Arizona)

<sup>6</sup> Haimes, Y.Y., & Hall, W.A. (1974) Multiobjectives in water resource systems analysis: The surrogate worth trade off method. *Water Resources Research*, 10(4), 615-624.

<sup>7</sup> Gershon, M., & Duckstein, L. (1984). A procedure for selection of a multiobjective technique with application to water and mineral resources. *Applied Mathematics and Computation*, 14(3), 245-271.

<sup>8</sup> Teckle, A., & Fogel, M. (1986) Multiobjective wastewater management planning in a semiarid region. In *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest* (Vol. 16, pp. 43-61).

<sup>9</sup> Ghandforoush, P., & Greber, B.J. (1986). Solving allocation and scheduling problems inherent in forest resource management using mixed-integer programming. *Computers & operations research*, 13(5), 551-562

<sup>10</sup> Duckstein, L., Gershon, M., & McAniff, R. (1982). Model selection in multiobjective decision making for river basin planning. *Advances in Water Resources*, 5(3), 178-184.

<sup>11</sup> Romero, C., & Rehman, T. (1987). Natural resource management and the use of multiple criteria decision-making techniques: a review. *European Review of Agricultural Economics*, 14(1), 61-89.

<sup>12</sup> Roy, B., & Hugonnard, J.C. (1982). Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. *Transportation Research Part A: General*, 16(4), 301-312

<sup>13</sup> Nijkamp, P., & Spronk, J. (1981). Interactive multidimensional programming models for locational decisions. *European Journal of Operational Research*, 6(2), 220-223.

<sup>14</sup> Werczberger, E. (1976) A goal-programming model for industrial location involving environmental considerations. *Environment and Planning A*, 8(2), 173-188.

<sup>15</sup> Vachnadze, R.G., & Markozashvili, N.I. (1987). Some applications of the analytic hierarchy process. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 185-191.

<sup>16</sup> Nijkamp, P., Van Der Burch, M., & Vindigni, G. (2002) A comparative institutional evaluation of public-private partnerships in Dutch urban land-use and revitalisation projects. *Urban studies*, 39(10), 1865-1880.

<sup>17</sup> Ellis, H.M., & Keeney, R.L. (1971) A Rational Approach to Governmental Decision Concerning Air Pollution.

<sup>18</sup> Nijkamp, P., & van Delft, A. (1977) Multi-criteria analysis and regional decision-making, 8. Springer Science & Business Media.

<sup>19</sup> Punj, G.N., & Staelin, R. (1978). The choice process for graduate business schools. *Journal of Marketing Research*, 15(4), 588-598

<sup>20</sup> Bouyssou, D. (1990). Building criteria: A prerequisite for MCDA. In *Readings in multiple criteria decision aid* (pp. 58-80). Springer, Berlin, Heidelberg.

<sup>21</sup> Keeney, R.L., & Raiffa, H. (1976) Decision analysis with multiple conflicting objectives. Wiley & Sons, New York

<sup>22</sup> Siskos, J., & Zopounidis, C. (1987). The evaluation criteria of the venture capital investment activity: An interactive assessment. *European Journal of Operational Research*, 31(3), 304-313.

<sup>23</sup> Nijkamp, P., & Spronk, J. (1981). Multiple criteria analysis: operational methods. Lexington Books.

<sup>24</sup> Duckstein, L. (1981). Multiobjective optimization in structural design: The model choice problem. Arizona Univ Tucson Dept Of Systems And Industrial Engineering.

<sup>25</sup> Despontin, M., & Vincke, P. (1977). Multiple criteria economic policy. *Advances in Operations Research*, North-Holland.

<sup>26</sup> Hermer, S., & Snapper, K.J. (1978). The application of multiple-criteria utility theory to the evaluation of information systems. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 29(6), 289-296.

<sup>27</sup> MacCrimmon, K.R. (1968). Decision making among multiple-attribute alternatives: a survey and consolidated approach (No. RM-4823-ARPA) RAND CORP SANTA MONICA CA.

metod MCDA stał się szeroki i oprócz wskazanych powyżej wzorcowych klas problemów zarządzania, obejmuje swym zasięgiem pozostałe sfery praktyki gospodarczej, nauki jak też codzienne ludzkie problemy decyzyjne.

W wymiarze praktycznym badania posadowione są w obszarze zrównoważenia. W ostatniej dekadzie koncept „zrównoważenie” (określany w literaturze jako *sustainability*) stanowi jeden z ważniejszych tematów badawczych. Termin „zrównoważenie” najczęściej odnosi się do integracji odpowiedzialności społecznych, środowiskowych i ekonomicznych<sup>28</sup> celem zapewnienia dobrej koniunktury, ochrony środowiska i jedności społecznej<sup>29</sup>. Jak wskazuje wielu autorów, zrównoważenie cechuje multi dyscyplinarny oraz wieloaspektowy charakter<sup>30</sup>. Dodatkowo, tematyki zrównoważenia, zrównoważonego rozwoju czy zarządzania zrównoważeniem stały się w ostatnich latach głównymi czynnikami determinującymi większość działań biznesowych i organizacyjnych. Wiele globalnych, międzynarodowych, krajowych i regionalnych strategii opartych jest na aspektach zrównoważenia.

Zrównoważone podejmowanie decyzji łączy teorie zarządzania i pryncypia „zrównoważenia” w taki sposób, by w procesie podejmowania decyzji uwzględniać czynniki o charakterze środowiskowym, społecznym i ekonomicznym<sup>31</sup>. Decyzje w obszarze zrównoważenia wymagają więc, z założenia, godzenia między sobą sprzecznych celów i niejednokrotnie mają charakter wielopoziomowy oraz wieloaspektowy, wymagając przy tym partycypacji i zaangażowania wielu udziałowców. Wskazana konieczność uwzględnienia sprzecznych celów, konfliktujących kryteriów, jak też wielu interesariuszy w jednym procesie decyzyjnym, powoduje, że modelowanie problemów zrównoważenia, często realizowane jest z użyciem metod MCDA. Fakt ten potwierdzają studia literaturowe, ukazujące szereg problemów decyzyjnych, posadowionych w obszarze zrównoważenia, a skutecznie modelowanych z użyciem metod MCDA. Obejmują one przykładowo: ocenę procesów zrównoważenia w wybranym obszarze<sup>32</sup>, planowanie zasobów, polityki i strategii korporacyjnej<sup>33</sup>, modelowanie polityki publicznej<sup>34</sup>, planowanie przestrzenne, planowanie polityki ekonomicznej<sup>35</sup> czy rządowej<sup>36</sup>, czy modelowanie problemów zrównoważonego wzrostu populacji i urbanizacji<sup>37</sup>. Wzorcową wręcz klasę problematyki tworzy zarządzanie zrównoważoną polityką energetyczną<sup>38</sup>. Dodatkowo, metody MCDA znalazły zastosowanie w zrównoważonym modelowaniu rynku konsumenckiego<sup>39</sup>, optymalizacji zrównoważonego portfolio<sup>40</sup>, modelowaniu zrównoważonego zużycia zasobów<sup>41</sup> czy modelowaniu rozwoju

<sup>28</sup> Labuschagne, C., Brenta, A.C., Ron, P.G., & Van Ercka, P.G. (2005). Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production*, 13(4), 373-385.

<sup>29</sup> Jansen, R. (1992). *Multi-objective decision support for environmental management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

<sup>30</sup> Sala, S., Ciuffo, B., & Nijkamp, P. (2015). A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 119, 314-325.

<sup>31</sup> Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., & Zhao, J.H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263-2278.

<sup>32</sup> Boggia, A., & Cortina, C. (2010). Measuring sustainable development using a multi-criteria model: A case study. *Journal of environmental management*, 91(11), 2301-2306.

<sup>33</sup> Ishizaka, A., & Labib, A. (2009). Analytic hierarchy process and expert choice: Benefits and limitations. *Or Insight*, 22(4), 201-220.

<sup>34</sup> Shahroodi, K., Keramatpanah, A., Amini, S., & Sayyad Haghighi, K. Application of analytical hierarchy process (ahp) technique to evaluate and selecting suppliers in an effective supply chain. *Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review*, 33(835), 1-14.

<sup>35</sup> Edwards, W., Newman, J., Snapper, K., & Seaver, D. (1982). Multiattribute evaluation.

<sup>36</sup> Wang, J., & Zions, S. (2008). Negotiating wisely: Considerations based on MCDM/MAUT. *European Journal of Operational Research*, 188(1), 191-205.

<sup>37</sup> Al-Shalabi, M.A., Mansor, S.B., Ahmed, N.B., & Shirif, R. (2006). GIS based multicriteria approaches to housing site suitability assessment. In *Proceedings of the XXIII FIG Congress, Shaping the Change*, Munich, Germany, pp. 8-13.

<sup>38</sup> Liu, H.C., Mao, L.X., Zhang, Z.Y., & Li, P. (2013). Induced aggregation operators in the VIKOR method and its application in material selection. *Applied Mathematical Modelling*, 37(9), 6325-6338.

<sup>39</sup> Kwak, N.K., Lee, C.W., & Kim, J.H. (2005). An MCDM model for media selection in the dual consumer/industrial market. *European Journal of Operational Research*, 166(1), 255-265.

<sup>40</sup> Yue, W., Cai, Y., Rong, Q., Cao, L., & Wang, X. (2014). A hybrid MCDA-LCA approach for assessing carbon foot-prints and environmental impacts of China's paper producing industry and printing services. *Environmental Systems Research*, 3(1), 4.

<sup>41</sup> Koschke, L., Furst, C., Frank, S., & Makeschin, F. (2012). A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological indicators*, 21, 54-66.

przemysłowego i kryzysu energetycznego<sup>42</sup>. W obszarze zrównoważonego zarządzania przedsiębiorstwem, metody MCDA potwierdziły skuteczność w problemach zarządzania: finansami, technologią informacyjną, logistyką (w tym zarządzanie zrównoważonym łańcuchem dostaw<sup>43</sup> i wybór zrównoważonego dostawcy<sup>44</sup>). Możliwość agregacji danych i generowania syntetycznych ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych spowodowała, że metody MCDA, znalazły zastosowanie w tworzeniu wskaźników zrównoważonego rozwoju dla przykładowo przemysłu energetycznego<sup>45</sup>, obszarów wodnych<sup>46</sup>, obszarów wiejskich<sup>47</sup>, rozwoju krajów<sup>48</sup>, rozwoju rolnictwa<sup>49</sup> czy obszarów miejskich<sup>50</sup>.

Aktualność i ważność podjętej problematyki badań ukazuje również kategoryzacja artykułów bazach bibliograficznych (np. *Scopus*) oraz profil wiodących czasopism światowych posadowionych w dyscyplinie Zarządzanie. Przykładowo dla haseł „sustainability” oraz „MCDA” dla roku 2018 w bazie *Scopus* zarejestrowanych jest 4717 publikacji, a z tego ponad połowa (2662) sklasyfikowanych jest w obszarze nauk społecznych oraz zarządzania. Analizując profil światowych czasopism naukowych, należy wskazać, że w głównym zakresie tematycznym szeregu wiodących czasopism naukowych<sup>51</sup> znajdują się zagadnienia *Sustainability* oraz MCDA. Występującą różnorodność klas problemów decyzyjnych objętych metodami MCDA, potwierdzają również aktualne opracowania bibliograficzne (oraz artykuły o charakterze „Review”) ukazując przy tym często specyfikę poszczególnych klas problemów decyzyjnych w zakresie strukturalizacji problemu czy użytych technik agregacji. Przykładowo, prace zorientowane są na kompleksową analizę użycia metod MCDA na rykach finansowych<sup>52</sup>, w problemach zrównoważonego rozwoju<sup>53</sup> (w tym rynku zrównoważonej energii<sup>54</sup> czy bioenergii<sup>55</sup>), czy szerzej zarządzania zasobami naturalnymi<sup>56</sup>, profilaktyką zdrowotną<sup>57</sup>, zarządzania odpadami<sup>58</sup>.

<sup>42</sup> Samal, R.K., & Kansal, M.L. (2015). Sustainable development contribution assessment of renewable energy projects using AHP and compromise programming techniques. In 2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE) (pp. 1-6). IEEE.

<sup>43</sup> Govindan, K., & Jepsen, M.B. (2016). ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 1-29.

<sup>44</sup> Roy, B. (2005). Paradigms and Challenges. In Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott M. (eds.) *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp. 3-24). Springer-Verlag, New York.

<sup>45</sup> Hafei, S.M., & Torabi, S.A. (2018). A slack analysis framework for improving composite indicators with applications to human development and sustainable energy indices. *Econometric Reviews*, 37(3), 247-259.

<sup>46</sup> Linhoss, A., & Jeff Ballweber, J.D. (2015). Incorporating uncertainty and decision analysis into a water-sustainability index. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(12), A4015007.

<sup>47</sup> Boggia, A., & Cortina, C. (2010). Measuring sustainable development using a multi-criteria model: A case study. *Journal of environmental management*, 91(11), 2301-2306.

<sup>48</sup> Cucchiella, F., D'Adamo, I., Gastaldi, M., Koh, S.L., & Rosa, P. (2017). A comparison of environmental and energetic performance of European countries: A sustainability index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 401-413.

<sup>49</sup> Kumar, T., & Jhariya, D.C. (2015). Land quality index assessment for agricultural purpose using multi-criteria decision analysis (MCDA). *Geocarto International*, 30(7), 822-841.

<sup>50</sup> Al-Shalabi, M.A., Mansor, S.B., Ahmed, N.B., & Shiriff, R. (2006). GIS based multicriteria approaches to housing site suitability assessment. In XXIII FIG Congress, Shaping the Change, Munich, Germany, (pp. 8-13).

<sup>51</sup> Przykładami takich wiodących czasopism światowych przynależących wg bazy Scopus do kategorii „Strategy and management” oraz „Management Science and Operational Research” są: *Journal of International Business Studies*, *International Journal of Management Reviews*, *Strategic Management Journal*, *Research Policy*, *Journal of Operations Management*, *Journal of Cleaner Production*, *Journal of Financial Economics*, *Organizational Research Methods*, *Omega*, *The International Journal of Management Science*, *International Journal of Production Economics*, *Information Processing and Management*, *Management Science*, *European Journal of Operational Research*, *Operations Research Perspectives*, *Computers and Operations Research*, *Transportation Research, Part A: Policy and Practice*, *Journal of Manufacturing Processes*, *Journal of Business Logistics*. Są to jednocześnie czasopisma z listy JCR z wysokimi wartościami współczynników Impact Factor.

<sup>52</sup> Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2002). Multi-criteria decision aid in financial decision making: methodologies and literature review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11(4-5), 167-186.

<sup>53</sup> Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J. E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., ... & Dore, T. (2008). Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 163-174.

<sup>54</sup> Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., & Zhao, J.H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263-2278.

<sup>55</sup> Scott, J.A., Ho, W., & Dey, P.K. (2012). A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. *Energy*, 42(1), 146-156.

<sup>56</sup> Mendoza, G.A., & Martins, H. (2006). Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest ecology and management*, 230(1), 1-22.

<sup>57</sup> Diaby, V., Campbell, K., & Goeree, R. (2013). Multi-criteria decision analysis (MCDA) in health care: a bibliometric analysis. *Operations Research for Health Care*, 2(1), 20-24.

<sup>58</sup> Achilles, C., Moussiopoulos, N., Karagiannidis, A., Banias, G., & Perkoulidis, G. (2013). The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: a literature review. *Waste Management & Research*, 31(2), 115-129.

### 2.3. Omówienie celu naukowego

Głównym celem cyklu powiązanych tematycznie publikacji były badania zorientowane na wielokryterialne modelowanie w zagadnieniach zrównoważenia. Badania cechują wyraźnie 2 nurty:

- prace nad właściwym doбором metod MCDA do zadanego problemu decyzyjnego,
- prace nad doskonaleniem i wykorzystaniem metod MCDA w problemach zrównoważonego zarządzania.

W tym kontekście cykl powiązanych tematycznie publikacji stanowi odpowiedź na nowe wyzwania badawcze oraz kierunki, które zarysowały się w ostatnich latach w literaturze przedmiotu. Zasadniczym celem powiązanych tematycznie publikacji było opracowanie rozwiązań zorientowanych na właściwy dobór i poprawne wykorzystanie metod MCDA w obszarze modelowania problemów zrównoważenia.

Zrealizowane w ramach cyklu, powiązane tematycznie prace obejmują badania o charakterze podstawowym jak i aplikacyjnym. **Wyzwania naukowe** w obszarze zarządzania, które **podjęto w ramach prezentowanego cyklu publikacji** obejmują:

- problem poprawności i obiektywizacji doboru metody wielokryterialnej do zadanej sytuacji decyzyjnej, a w tym problem podniesienia jakości rekomendacji finalnej,
- związany i wynikający z powyższego problem budowy homogenicznego repozytorium wiedzy dla obszaru metod MCDA, odpowiedniej strukturalizacji wiedzy i jej ponownego wykorzystania,
- problem poprawności, dokładności i obiektywizacji wyników uzyskanych z użyciem różnych metod MCDA dla zadanego problemu decyzyjnego,
- z powyższego wynika problem strukturalizacji oraz algorytmizacji zadanej klasy problemów decyzyjnych z użyciem metod MCDA.

Powyższe obszary stanowią dominujące kierunki badań w prezentowanym cyklu powiązanych tematycznie publikacji (części A, B oraz C).

Kolejnym podjętym wyzwaniem naukowym była próba adaptacji oraz wykorzystania metod MCDA w zagadnieniach cyfrowego zrównoważenia. Szczegółowe problemy badawcze obejmowały próby budowy mierników rozwoju zrównoważonego społeczeństwa informacyjnego, budowy zrównoważonych strategii marketingowych w sieci Internet oraz ewaluacji (czy też oceny jakości) serwisów internetowych. Tematykę powyższą obejmuje cykl publikacji przedstawionych w części D.

### 2.4. Przedstawienie osiągniętych wyników wraz omówieniem ich wykorzystania

#### 2.4.1. Zbiór publikacji obejmujący problem doboru metod wielokryterialnych do zadanej sytuacji decyzyjnej

**(CZĘŚĆ A – Metodyka oraz system ekspertowy – opracowanie metodyki doboru metod MCDA dla potrzeb sytuacji decyzyjnej oraz koncepcji systemu ekspertowego wspomagającego wybór metod)**



- A1 Wątróbski, J., & Jankowski, J. (2016). **Guideline for MCDA method selection in production management area.** In *New frontiers in information and production systems modelling and analysis* (pp. 119-138). Springer, Cham.
- A2 Wątróbski, J. (2016). **Outline of multicriteria decision-making in green logistics.** *Transportation Research Procedia*, 16, 537-552.
- A3 Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemba, P., Karczmarczyk, A., & Ziolo, M. (2019). **Generalised framework for multi-criteria method selection.** *Omega - The International Journal of Management Science*, 86, 107-124.
- A4 Wątróbski, J., Jankowski, J., Ziemba, P., Karczmarczyk, A., & Ziolo, M. (2019). **Generalised framework for multi-criteria method selection: Rule set database and exemplary decision support system implementation blueprints.** *Data in Brief*, 22, 639-642.

Prezentowany zbiór publikacji A koncentruje się na problematyce doboru metody wielokryterialnej do zadanej sytuacji decyzyjnej. Jest to zagadnienie aktualne i ważne. Pomimo dużej liczby metod MCDA, należy pamiętać o tym, że żadna metoda nie jest doskonała i nie może być rozważana jako odpowiednia do zastosowania w każdej sytuacji decyzyjnej czy też do rozwiązania każdego problemu decyzyjnego<sup>59</sup>. W związku z tym wykorzystanie różnych metod wielokryterialnych, nawet przy zastosowaniu takich samych wag kryteriów i ocen kryterialnych wariantów, może prowadzić do uzyskania innych rekomendacji decyzji. Potwierdzenie tego faktu można znaleźć w licznych publikacjach naukowych, w których zbadano rankingi wariantów decyzyjnych, uzyskane z wykorzystaniem różnych metod MCDA<sup>60</sup>. Hajkowicz i Higgins zauważają tymczasem, że duży wysiłek wkłada się w opracowanie metod MCDA, ale stosunkowo niewiele wysiłku poświęca się ocenie skuteczności tych metod lub określeniu, które metody powinny być stosowane w określonych warunkach<sup>61</sup>. Zauważyć jednak należy, że jeżeli za pomocą różnych metod wielokryterialnych uzyskuje się sprzeczne wyniki, wtedy poprawność wyboru każdej z nich stoi pod znakiem zapytania<sup>62</sup>. W takiej sytuacji ważnym zagadnieniem badawczym staje się dobór metody wspomagania decyzji, odpowiedniej do zadanego problemu, gdyż tylko odpowiednio dobrana metoda pozwala uzyskać poprawne rozwiązanie odzwierciedlające preferencje decydenta.

Już w pracy Bouyssou D i in. wskazano, że różnorodność metod MCDA może być postrzegana jako ich siła, ale może być również słabością i dalej autorzy wskazują na konieczność przeprowadzenia systematycznej, aksjomatycznej analizy poszczególnych algorytmów i procedur<sup>63</sup>. Również model prezentowany przez Roy'a ukazuje, że wybór metody MCDA jest bardzo ważnym elementem rozwiązania problemu decyzyjnego<sup>64</sup>. Co więcej, aby uzyskać „dobre” rozwiązanie problemu, należy zastosować odpowiednio dobraną metodę. Jednakże uzależnienie wyboru metody wielokryterialnej tylko od problematyki decyzji i podejścia operacyjnego, jak to postulowane jest w pracy Roy'a, wydaje się zbyt ogólne, gdyż na tej podstawie do rozwiązania określonego problemu decyzyjnego

<sup>59</sup> Guitouni, A., & Martel, J.M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.

<sup>60</sup> Zanakis, S.H., Solomon, A., Wishart, N., & Dublisch, S. (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *European Journal of Operational Research*, 107(3), 507-529; Wang, X., & Triantaphyllou, E. (2008). Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega - The International Journal of Management Science*, 36(1), 45-63.; Peng, Y., Wang, G., & Wang, H. (2012). User preferences based software defect detection algorithms selection using MCDM. *Information Sciences*, 191, 3-13.

<sup>61</sup> Hajkowicz, S., & Higgins, A. (2008). A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European journal of operational research*, 184(1), 255-265

<sup>62</sup> Gershon, M. (1984). The role of weights and scales in the application of multiobjective decision making. *European Journal of Operational Research*, 15(2), 244-250.

<sup>63</sup> Roy, B., & Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas.* Paris: Economica.

<sup>64</sup> Roy, B. (2005). Paradigms and Challenges. In Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott M. (eds.) *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp. 3-24). Springer-Verlag, New York.

można wybrać wiele metod. Wynika to z liczności metod MCDA i ich dużego zróżnicowania. W związku z tym zazwyczaj decydenci nie są w stanie w pełni uzasadnić wyboru metody, którą zastosowali do rozwiązania sytuacji decyzyjnej<sup>65</sup>. Ponadto, najczęściej dobór metody wielokryterialnej jest wykonywany arbitralnie, a motywuje go znajomość danej metody przez decydenta lub dostępność wspierającego ją oprogramowania<sup>66</sup>. Podobne zarzuty formułowane są również w kontekście doboru oprogramowania MCDA. Mianowicie, decydenci zazwyczaj wybierają znane sobie oprogramowanie wspomagające proces decyzyjny, a tym samym dokonują też wyboru konkretnej metody wielokryterialnej<sup>67</sup>. Ze względu na to, często to nie metoda MCDA jest dobierana do problemu decyzyjnego, lecz problem decyzyjny jest dostosowywany do wybranej metody wielokryterialnej<sup>68</sup>. Przyczyną tego jest fakt, że bardzo trudno jest odpowiedzieć na pytanie, która metoda jest najbardziej odpowiednia do rozwiązania określonego rodzaju problemu<sup>69</sup>. Tymczasem **dobór odpowiedniej metody MCDA dla zadanej sytuacji decyzyjnej jest zagadnieniem o tyle istotnym, że różne metody mogą dawać inne rozwiązania tego samego problemu<sup>70</sup>**. Na różnice wyników, przy zastosowaniu różnych procedur obliczeniowych, wpływ mogą mieć różne czynniki<sup>71</sup> np.:

- poszczególne techniki w inny sposób wykorzystują wagi kryteriów w obliczeniach,
- algorytmy różnią się podejściem do wyboru "najlepszego" rozwiązania,
- wiele algorytmów próbuje skalować cele, co ma wpływ na ustalone już wagi kryteriów,
- niektóre algorytmy wprowadzają dodatkowe parametry, wpływające na wybór rozwiązania problemu wielokryterialnego.

Analiza literatury pozwala znaleźć wiele prac, podejmujących temat doboru metody wielokryterialnej dla określonego problemu decyzyjnego. Można je podzielić na takie, w których, przy wyborze metody MCDA oparto się na: benchmarkach<sup>72</sup>, metodach wielokryterialnych<sup>73</sup> oraz na nieformalnym<sup>74</sup>, półformalnym<sup>75</sup> oraz formalnym<sup>76</sup> ustrukturyzowaniu problemu decyzyjnego. Podejście oparte na benchmarkach koncentruje się na porównaniu wyników uzyskiwanych przez poszczególne metody. Głównym problemem zastosowania tego podejścia jest znalezienie punktu odniesienia, względem którego porównywane byłyby wyniki działania badanych metod wielokryterialnych. Niektórzy autorzy za punkt odniesienia przyjmują ranking ekspercki, inni porównują wyniki do rezultatu działania jednej wybranej metody lub też po prostu badają zgodność

<sup>65</sup> Ulengin, F., Topcu, Y.I., & Sahin, S.O. (2001). An artificial neural network approach to multicriteria model selection. In Multiple criteria decision making in the new millennium (pp. 101-110) Springer, Berlin, Heidelberg

<sup>66</sup> Kornyshova, E., & Salinesi, C. (2007). MCDM techniques selection approaches: state of the art. In 2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multi-Criteria Decision-Making (pp. 22-29). IEEE.

<sup>67</sup> Li, Y., & Thomas, M.A. (2014). A multiple criteria decision analysis (MCDA) software selection framework. In 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences (pp. 1084-1094) IEEE.

<sup>68</sup> Guitouni, A., & Martel, J.M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. European Journal of Operational Research, 109(2), 501-521.

<sup>69</sup> Bouyssou, D., Pemy, P., Pirlot, M., Tsoukias, A., & Vincke, P. (1993). A manifesto for the new MCDA era. Journal of multi-criteria decision analysis, 2(3), 125-127.

<sup>70</sup> Wang, X., & Triantaphyllou, E. (2008). Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. Omega - The International Journal of Management Science, 36(1), 45-63

<sup>71</sup> Zanakis, S.H., Solomon, A., Wishart, N., & Dublisch, S. (1998). Multi-attribute decision making: a simulation comparison of select methods. European journal of operational research, 107(3), 507-529.

<sup>72</sup> Chang, Y. H., Yeh, C. H., & Chang, Y. W. (2013). A new method selection approach for fuzzy group multicriteria decision making. Applied Soft Computing, 13(4), 2179-2187.

<sup>73</sup> Celik, M., & Deha Er, I. (2009). Fuzzy axiomatic design extension for managing model selection paradigm in decision science. Expert Systems with Applications, 36(3), 6477-6484.

<sup>74</sup> Adil, M., Nunes, M.B., & Peng, G.C. (2014). Identifying operational requirements to select suitable decision models for a public sector e-procurement decision support system. JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management, 11(2), 211-228.

<sup>75</sup> Cinelli, M., Coles, S.R., & Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. Ecological Indicators, 46, 138-148

<sup>76</sup> Celik, M., & Topcu, Y. I. (2009). Analytical modelling of shipping business processes based on MCDM methods. Maritime Policy & Management, 36(6), 469-479.

poszczególnych rankingów, uzyskanych za pomocą poszczególnych metod MCDA<sup>77</sup>. Dobór metody oparty na analizie wielokryterialnej powoduje zapętlenie problemu, gdyż dla tego problemu wyboru również należałoby wybrać odpowiednią metodę wielokryterialną<sup>78</sup>. W podejściu nieformalnym dobór metody MCDA odbywa się na podstawie analizy heurystycznej wykonywanej przez autora/decydenta. Weryfikowane tutaj mogą być również listy kontrolne i cechy poszczególnych metod w odniesieniu do wymagań stawianych przez problem decyzyjny. Analiza ta jest zazwyczaj oparta na przemyśleniach autora oraz nieustrukturalizowanym opisie problemu decyzyjnego i metod MCDA. Podobne metodycznie jest podejście półformalne, z tą różnicą, że charakterystyki poszczególnych metod MCDA są tutaj w pewnym stopniu sformalizowane (np. tabela charakteryzująca metody). Z kolei w podejściu formalnym w pełni ustrukturalizowany jest opis poszczególnych metod (np. taksonomia lub tabela cech poszczególnych metod MCDA) i problem decyzyjny oraz formalnie określony jest sposób wybrania pojedynczej lub grupy metod MCDA spośród rozważanych (np. reguły<sup>79</sup>, sieci neuronowe<sup>80</sup> lub drzewa decyzyjne<sup>81</sup>). Analizując szczegółowo wskazane powyżej prace łatwo wykazać, że w większości cechuje je wąski charakter dziedzinowy oraz bardzo ograniczony wachlarz analizowanych metod MCDA. W pracach pomijane są relatywnie nowe metody MCDA i ich rozwinięcia. Często wskazania autorów mają charakter ogólnych heurystyk przez co rekomendacje użycia metody MCDA nie są do końca jednoznaczne. Także w pracach o charakterze formalnym wykazana skuteczność doboru poszczególnych metod MCDA jest relatywnie niska i oscyluje na granicy akceptowalności. W odpowiedzi na powyższe niedostatki za **cel badań** przyjęto:

- budowę sformalizowanych wytycznych doboru metod MCDA do zadanej sytuacji decyzyjnej będących jednocześnie niezależnymi od zadanej domeny problemu,
- wykorzystanie w wytycznych pełnego zbioru dostępnych aktualnie metod MCDA,
- utrzymanie wysokiej jakości rekomendacji poszczególnej metody MCDA w zadanej sytuacji decyzyjnej.

Próbie realizacji tak zdefiniowanego celu badań podjęto w pracach **A1, A2, A3** oraz **A4**. Opracowania **ukazują kolejne etapy budowy kompletnego algorytmu jak i systemu ekspertowego wspomagającego dobór metod MCDA do zadanej sytuacji decyzyjnej**, a przy tym realizują założone cele badawcze. Każdorazowo, w celu weryfikacji opracowanego podejścia do doboru metody MCDA, dokonano analizy praktycznych przypadków zastosowań różnych metod w problemach decyzyjnych. Przypadki te zostały zaczerpnięte z literatury naukowej jako wiarygodnego źródła wiedzy eksperckiej. Podejście takie ma swoje uzasadnienie, gdyż zazwyczaj decydenci, będący ekspertami, mają intuicyjną wiedzę na temat tego, jaka metoda powinna dać wystarczająco dobre rozwiązanie problemu. Ponadto, Guitouni oraz Martel zalecają analizę praktycznych zastosowań poszczególnych metod MCDA, a podstawowym źródłem takich analiz jest właśnie literatura naukowa<sup>82</sup>.

Punktem wyjścia do badań, których efektem są prace **A1** oraz **A2**, jest podejście operacyjne prezentowane w pracy Roy'a<sup>83</sup>. Analiza poszczególnych składowych procesu

<sup>77</sup> Hajkowicz, S., & Higgins, A. (2008) A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European journal of operational research*, 184(1), 255-265.

<sup>78</sup> Al-Shemmeri, T., Al-Kloub, B., & Pearman, A. (1997). Model choice in multicriteria decision aid. *European Journal of Operational Research*, 97(3), 550-560.

<sup>79</sup> Cicek, K., Celik, M., & Topcu, Y.I. (2010). An integrated decision aid extension to material selection problem. *Materials & Design*, 31(9), 4398-4402.

<sup>80</sup> Ulengin, F., Topcu, Y.I., & Sahin, S.O. (2001). An artificial neural network approach to multicriteria model selection. In *Multiple criteria decision making in the new millennium* (pp. 101-110). Springer, Berlin, Heidelberg.

<sup>81</sup> Hwang, C.L., Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin.

<sup>82</sup> Guitouni, A., & Martel, J. M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.

<sup>83</sup> Roy, B. (2005). Paradigms and Challenges. In Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott M. (eds.) *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp. 3-24). Springer-Verlag, New York

decyzyjnego jak też próba identyfikacji charakterystyk poszczególnych metod MCDA doprowadziła do identyfikacji zbioru 5 podstawowych właściwości metod MCDA. Właściwości te, związane z porównywalnością wariantów względem kryteriów, obecnością wag dla kryteriów i ich formą, jak też możliwością wyrażenia powyższych czynności na skali ilościowej, stanowiły podstawę do **budowy autorskiej taksonomii metod MCDA (A1)** oraz **algorytmu doboru metod MCDA do zadanej sytuacji decyzyjnej (A2)**. W pracy A1 bazując na autorskiej taksonomii metod MCDA oraz ich hybryd (2 metod MCDA używanych w jednym modelu wspomagania decyzji) opracowano zbiór 7 reguł doboru metod MCDA. Reguły oraz taksonomia zostały pozytywnie zweryfikowane na zbiorze 27 referencyjnych, literaturowych przypadków użycia metod MCDA w obszarze zarządzania produkcją. Każdorazowo wynik użycia autorskich reguł zestawiono z metodą użytą przez autorów danej publikacji. Przeprowadzono również analizę przypadków, gdy rekomendacje nie były tożsame. W pracy A2, wykorzystując charakterystyki metod MCDA zidentyfikowane w A1, opracowano i przedstawiono 5-cio etapowy algorytm doboru metod MCDA do zadanej sytuacji decyzyjnej. Sam algorytm zaprezentowano w postaci uogólnionej, zapewniając tym samym jego stosowalność w dowolnej sytuacji decyzyjnej. Ze względu na fakt, że „zielona” i „zrównoważona” logistyka stanowią szerokie obszary praktycznego wykorzystania metod MCDA, w pracy zawarto również przykłady praktyczne wykorzystania algorytmu posadowione w tych dziedzinach. Ponownie, jako przykłady użycia algorytmu, wykorzystano literaturowe przypadki referencyjne.

Badania przeprowadzone w pracach A1 i A2 ukazały dodatkowo nowe obszary usprawnień i rozszerzeń prezentowanych podejść. Pierwszym z nich była konieczność rozbudowy bazy reguł doboru metod MCDA celem zmniejszenia liczebności rekomendowanych jednorazowo metod. Kolejnym była próba opracowania **formalnych wytycznych doboru metody MCDA w sytuacji ograniczonej wiedzy o problemie decyzyjnym**. Próbę realizacji powyższych celów badawczych podjęto w pracy A3. Pogłębione studia literaturowe umożliwiły identyfikację rozszerzonego zbioru metod MCDA, ich szczegółowych cech i właściwości, oraz budowę kompletnej taksonomii metod MCDA. Zawarto w niej 56 metod MCDA i ich hybryd. Utworzono zbiór 31 reguł doboru metod MCDA do zadanej sytuacji decyzyjnej oraz 9 wielowartościowych deskryptorów sytuacji decyzyjnej (zorganizowanych w postaci hierarchicznej) identyfikujących właściwości odpowiednich metod MCDA, jak też zaprezentowano ich postać formalną (jako zbiór klasyfikatorów oraz w formie drzewa decyzyjnego). Warto zaznaczyć, że nie zawsze decydent posiada pełną wiedzę o danym problemie decyzyjnym. Dlatego też w pewnych sytuacjach nie jest on w stanie, w pełni zdefiniować cech samego problemu decyzyjnego, a w związku z tym także swoich potrzeb odnośnie do charakterystyk metody MCDA. Z tego względu oparto się na hierarchicznej strukturze deskryptorów/właściwości metod MCDA, dostosowaną do różnych stopni zdefiniowania potrzeb decydenta. Umożliwiło to w praktyce generowanie rekomendacji metody MCDA również w przypadku ograniczonej wiedzy o problemie decyzyjnym.

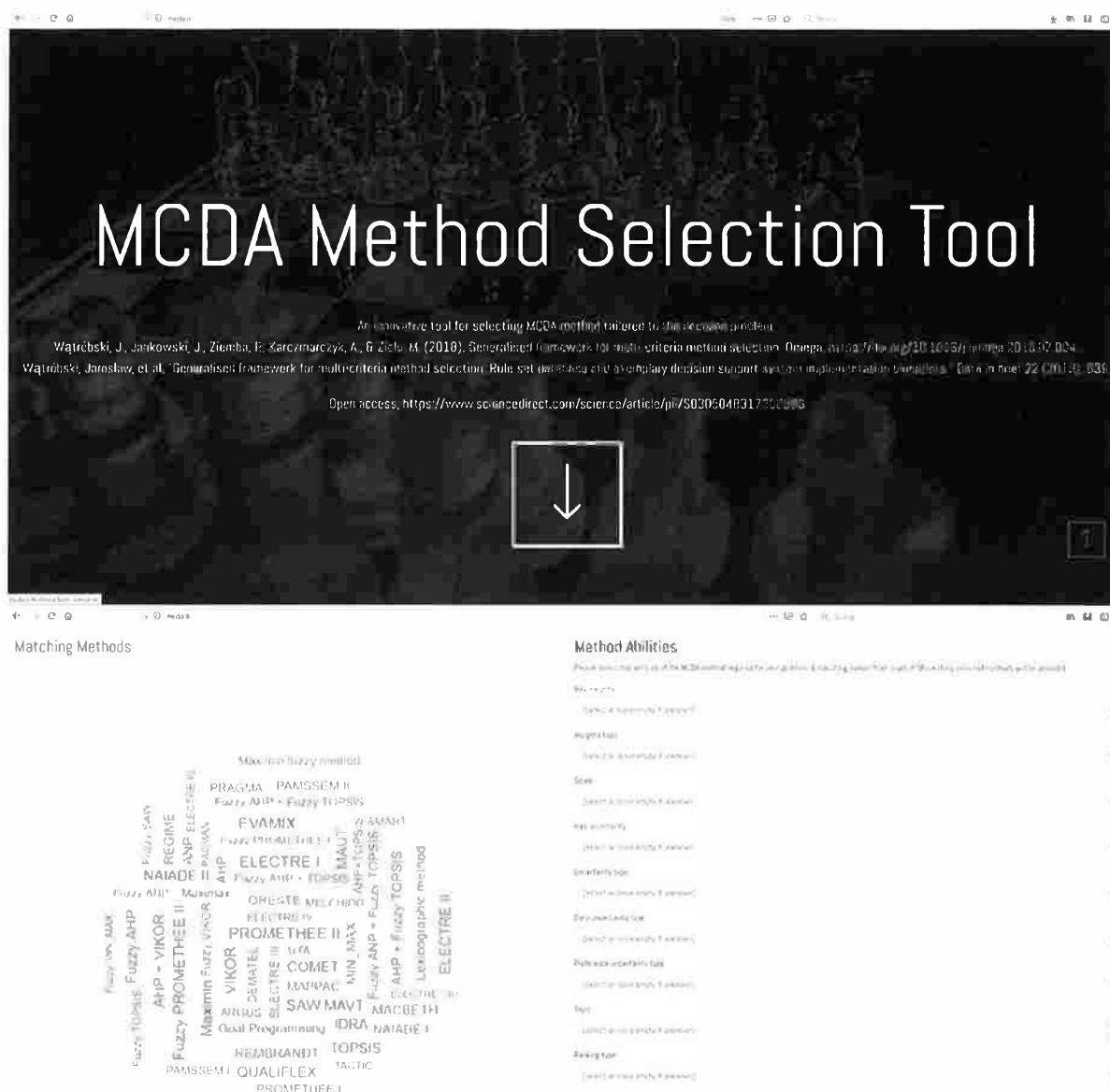
Dodatkowo przeprowadzono badania wpływu luk w wiedzy o problemie decyzyjnym na danym poziomie hierarchii deskryptorów/właściwości na finalną postać zbioru rekomendowanych metod MCDA. W celu uniknięcia uproszczeń w dalszych badaniach przeprowadzono także kompletne modelowanie przestrzeni rozwiązań zakładając dowolną



postać niekompletności opisu sytuacji decyzyjnej. Badania wyraźnie ukazują, że częściowe braki wiedzy (obejmujące do 2 deskryptorów sytuacji decyzyjnej) nie wpływają znacząco na postać i liczebność zbioru rekomendowanych każdorazowo metod MCDA. **Opracowany zestaw reguł oraz przeprowadzone badania stanowiły jednocześnie podstawę do opracowania algorytmu, pseudokodu oraz prototypu systemu ekspertowego wspomagającego dobór metod MCDA również w sytuacji częściowego braku wiedzy o problemie decyzyjnym.** Prototyp systemu ekspertowego jest publicznie dostępny pod adresem [www.mcda.it](http://www.mcda.it). Prezentowane podejście poddano weryfikacji. W tym celu utworzono zbiór 40 przypadków referencyjnych z obszaru zarządzania zrównoważoną logistyką i transportem. Zbiór ten obejmuje naukowe opracowania literaturowe, gdzie autorzy wykorzystali metody MCDA do rozwiązania poszczególnych problemów decyzyjnych. Rekomendacje autorów (traktowane jako wzorowe) zestawiono z wynikami wykorzystania zaprezentowanego zbioru reguł wykazując stosowalność i poprawność proponowanego rozwiązania.

Efekty badań przedstawione w **A3** zostały poddane rygorystycznej ocenie ekspertów o zasięgu światowym. W efekcie praca **A3** została opublikowana w czasopiśmie *Omega – The International Journal of Management Science*. Czasopismo to posiada wysokie wskaźniki bibliometryczne (Impact Factor: 4,31, 5-year Impact Factor (2017): 5,525, CiteScore(2018): 7,6, SNIP: 2,805) i jest sklasyfikowane w bazach *Web of Science / Scopus* w pierwszym kwartylu czasopism w obszarze nauk o zarządzaniu.

W pracy **A4** zamieszczono rezultaty kontynuacji badań zawartych w pracy **A3**. Dla procesu **modelowania luk w opisie sytuacji decyzyjnej przedstawiono całą przestrzeń dopuszczalnych rozwiązań**. Uzyskane efekty są o tyle istotne, że obejmują nie tylko wszystkie możliwe przypadki rekomendacji istniejących metod MCDA w zależności od poziomu szczegółowości opisu sytuacji decyzyjnej, lecz uwzględniają również reguły doboru ewentualnych przyszłych metod MCDA. Dodatkowo, **wykorzystując prototyp systemu ekspertowego zawarty w pracy A3 rozszerzono go i opracowano jego w pełni funkcjonalną postać**. Używając notacji BPMN przedstawiono podstawowe algorytmy i strukturę bazy danych oraz kod zasadniczych elementów rozwiązania autorskiego. W efekcie, ostateczna, zaktualizowana postać w pełni funkcjonalnego i responsywnego systemu ekspertowego wspomagającego dobór metod MCDA dla zadanej sytuacji decyzyjnej jest dostępna na stronie [www.mcda.it](http://www.mcda.it). Przykładowe ekrany aplikacji zamieszczono na Rysunku 3. Opracowany system ekspertowy w pełni odzwierciedla ewentualną niepewność opisu sytuacji decyzyjnej opisaną w **A3** i **A4**. Dodatkowo, należy przypomnieć, że proponowane podejście metodyczne oraz algorytmizacja metodyki doboru metod wielokryterialnych do zadanej sytuacji decyzyjnej są niezależne od domeny sytuacji decyzyjnej, co implikuje szeroką stosowalność proponowanego podejścia w dowolnie zorientowanym praktycznie problemie decyzyjnym.



Rysunek 3. Przykładowe ekrany systemu ekspertowego wspomagającego dobór metod MCDA do zadanej sytuacji decyzyjnej.

Podsumowując powyżej wskazany zbiór publikacji A za istotne osiągnięcie uznaje:

- skuteczną próbę budowy taksonomii metod MCDA wykorzystującą pełen zbiór dostępnych aktualnie metod MCDA,
- prezentacja zbioru sformalizowanych wytycznych doboru metod MCDA do zadanej sytuacji decyzyjnej (w formie algorytmu, zbiorów reguł i deskryptorów oraz drzewa decyzyjnego),
- uniezależnienie podejścia od zadanej domeny problemu decyzyjnego, zapewniając tym samym szeroką aplikacyjność rozwiązania,
- według najlepszej wiedzy autora, pierwszą udaną próbę modelowania niepewności opisu sytuacji decyzyjnej i uwzględnienia jej wpływu w procesie doboru właściwej metody MCDA,
- utrzymanie wysokiej jakości rekomendacji poszczególnych metod MCDA w zadanej sytuacji decyzyjnej,

- potwierdzoną studiami empirycznymi skuteczność prezentowanego podejścia w zakresie doboru metod MCDA do problemu decyzyjnego,
- w pełni funkcjonalny i responsywny system ekspertowy wspomagający dobór metod MCDA i uwzględniający jednocześnie niepewność opisu problemu decyzyjnego.

#### 2.4.2. Zbiór publikacji obejmujący problem doboru metod wielokryterialnych do zadanej sytuacji decyzyjnej

(CZĘŚĆ B – Zarządzanie wiedzą – konceptualizacja, budowa repozytorium wiedzy oraz ontologii metod MCDA)

- B1** Wątróbski, J., & Jankowski, J. (2015). **Knowledge management in MCDA domain**. In 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 1445-1450). IEEE.
- B2** Wątróbski, J., & Jankowski, J. (2016). **An ontology-based knowledge representation of MCDA methods**. In Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems (pp. 54-64). Springer, Berlin, Heidelberg.
- B3** Wątróbski, J. (2016). **An Ontology Supporting Multiple-Criteria Decision Analysis Method Selection**. In International Conference on Intelligent Decision Technologies (pp. 89-99). Springer, Cham.

Prezentowany podzbiór publikacji **B** koncentruje się na problematyce zarządzania wiedzą w obszarze metod MCDA, jej konceptualizacji (w formie ontologii) oraz wykorzystania dla potrzeb doboru metod wielokryterialnych w konkretnym problemie decyzyjnym.

Zarządzanie wiedzą w przedsiębiorstwie staje się obecnie kluczowym czynnikiem przewagi konkurencyjnej. Tworzenie i umiejętne rozpowszechnianie (dyfuzja) wiedzy prócz czynnika ludzkiego (np. budowa kapitału intelektualnego), może być wspierana za pomocą technik i narzędzi komputerowych, i przyjmować formę taksonomii wiedzy dziedzinowej czy ontologii. Aktualnie, właśnie ontologie stanowią podstawowe narzędzie konceptualizacji i formalizacji wiedzy. Najczęściej przytaczana w literaturze definicja ontologii mówi, że jest ona formalną specyfikacją konceptualizacji, która może uchwycić wiedzę dziedzinową, nadającą się do wielokrotnego użycia<sup>84</sup>. Z praktycznego punktu widzenia ontologie i szerzej semantyczne przedstawienie danych znajdują szereg zastosowań, a przytoczyć tu można choćby możliwość efektywnego pozyskiwania, przetwarzania danych, informacji oraz wiedzy, zachowując ich maszynową (komputerową) odczytywalność i przetwarzalność. Zdaniem wielu badaczy stanowi to podstawę Internetu przyszłości.

Zastosowanie ontologii do tworzenia modeli wiedzy wynika z zestawu immanentnych cech - wydobywanie informacji z ontologii ma charakter wnioskowania logicznego oraz ontologie charakteryzują się monotonicznością (nowa wiedza dodana do bazy wiedzy nie może zmienić uzyskiwanych z niej wniosków)<sup>85</sup>. Zatem ontologie najczęściej reprezentują świat otwarty (*open-world assumption*), w którym wnioskowanie odbywa się z założeniem, że baza zawiera niekompletny opis świata. W związku z tym, jeżeli jakiś fakt nie jest jawnie zaprzeczony, nie jest on uznawany za fałsz. Ponadto niemożność dowiedzenia prawdziwości

<sup>84</sup> Gruber, T.R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199-220.

<sup>85</sup> Goczyła, K. (2011). Ontologie w systemach informatycznych (pp. 241-249). Akademia Oficyna Wydawnicza EXIT.

jakiegoś faktu nie powoduje uznania go za fałsz<sup>86</sup>. Wskazane cechy ontologii są spójne z regułami propagacji cech dla metod MCDA, zaprezentowanymi przez Guitouni i in.<sup>87</sup>. Mianowicie reguły te mówią, że bogatsza funkcjonalnie metoda może służyć do rozwiązania problemów dopasowanych do niej złożonością oraz problemów mniej złożonych. Przykładowo, za pomocą metody Electre III można rozwiązać problem, w którym wagi kryteriów są różne oraz taki gdzie wagi nie występują (wszystkie kryteria są tak samo ważne). Z kolei za pomocą mniej złożonej metody nie można, bez strat informacji, obsłużyć bardziej złożonego problemu decyzyjnego. Przykładowo za pomocą metody Electre IV nie można bez strat informacji rozwiązać problemu decyzyjnego, w którym poszczególne kryteria mają różne wagi, gdyż metoda ta nie uwzględnia wag kryteriów. W przypadku ontologii podana spójność z regułami propagacji cech objawia się tym, że definiując wymagania względem problemu decyzyjnego, ontologia wskaże wszystkie metody MCDA spełniające wymagania, w tym również metody bogatsze funkcjonalnie.

Ulokowane w części **B** prace zawierają wyniki badań prowadzonych równolegle do podzbioru **A** i są z nim ściśle powiązane. Etap początkowy badań (**B1**) obejmował **opracowanie taksonomii obszaru wiedzy dla metod MCDA**. Wykorzystując tutaj studia literaturowe oraz opracowania (**A1**) i (**A2**) zidentyfikowano zbiór właściwości metod MCDA oraz zaimplementowano elementy ontologicznej reprezentacji modelu wiedzy. Praca (**B2**) stanowi kontynuację badań zawartych w poprzednim artykule. Zaprezentowana w (**B1**) taksonomia metod MCDA została uzupełniona. Dodatkowo, opracowano oraz zweryfikowano w pełni funkcjonalną **ontologię dla rozszerzonego zbioru metod MCDA**. Opisana ontologia została w pełni zaimplementowana, a technologiczna postać ontologii została przedstawiona z użyciem standardu OWL i jest dostępna w sieci Internet pod adresem <http://tinyurl.com/ontoMCDAext> oraz <http://tinyurl.com/ontoMCDAext-inferred>. Dodatkowo, oceny proponowanej ontologii dokonano za pomocą zapytań kompetencyjnych.

W kolejnej z prac (**B3**) rozbudowano zakres opracowanej uprzednio ontologii. Zatem prócz faktu, że w ontologii ujęto charakterystyki poszczególnych metod MCDA (zgodnie z przedstawieniem w pracach (**B1**) oraz (**B2**)) **rozszerzono jej zakres o przykładowe referencyjne przypadki użycia poszczególnych metod MCDA**, wraz z wymaganiami problemu decyzyjnego odniesionymi do właściwości poszczególnych metod. Skonstruowana ontologia dostępna jest on-line w sieci Internet pod adresem <http://tinyurl.com/ontoMCDAabil>. Jej testy zostały przeprowadzone również z wykorzystaniem pytań kompetencyjnych. Wykorzystano tutaj zapytania, sprowadzające się do wskazania metod MCDA spełniających poszczególne deskryptory przypadków użycia, uwzględniających poszczególne wymagania problemów decyzyjnych.

Warto wskazać, że praktyczne implementacje autorskich ontologii zrealizowano z użyciem języka OWL (*Web Ontology Language*) stanowiący światowy standard w zakresie budowy baz wiedzy. I pomimo że opracowane ontologie same w sobie nie stanowią w pełni autonomicznych systemów ekspertowych, mają postać baz wiedzy gotowych do wielokrotnego wykorzystania (*reusing*) przykładowo, w procesach budowy systemów wspomagania decyzji, systemów ekspertowych czy autonomicznych rozwiązań agentowych.

**Podsumowując powyżej wskazany zbiór publikacji B za istotne osiągnięcie uznaję:**

<sup>86</sup> Martinez-Cruz, C., Blanco, I.J., & Vila, M.A. (2012). Ontologies versus relational databases: are they so different? A comparison. *Artificial Intelligence Review*, 38(4), 271-290.

<sup>87</sup> Guitouni, A., Martel, J.M., Vincke, P., & North, P.B. (1998). A framework to choose a discrete multicriterion aggregation procedure. *Defence research establishment valcatier (DREV)*.

- opracowanie modelu wiedzy dziedzinowej metod MCDA oraz na jego bazie wspomaganie ich doboru,
- budowę kompletnej taksonomii metod MCDA oraz kompletnej ontologii metod MCDA i przypadków użycia tychże metod w literaturze referencyjnej,
- reprezentację formalną powyższej ontologii w postaci języka OWL oraz postać technologiczną dostępną publicznie (*open access*) do dowolnego wykorzystania,
- potwierdzoną studiami empirycznymi poprawność utworzonych ontologii w zakresie doboru metod MCDA do problemu decyzyjnego.

Oczywiście przedstawione prace nie zawierają kompletnej wiedzy dla dziedziny MCDA. Prezentowane ontologie wymagają uzupełnień w zakresie kompletności naukowej literatury referencyjnej zawierającej przypadki użycia metod MCDA w konkretnych problemach decyzyjnych, jak też niewątpliwie aktualizacji zbioru nowopowstałych oraz rozwijanych metod MCDA, co niewątpliwie będzie stanowić kierunek dalszych badań autora.

### 2.4.3. Zbiór publikacji obejmujący wykorzystanie i rozwój metod MCDA (CZĘŚĆ C – Problemy zrównoważonego zarządzania)

- C1 Wątróbski, J., Ziemia, P., & Wolski, W. (2015). **Methodological aspects of decision support system for the location of renewable energy sources**. In 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 1451-1459). IEEE.
- C2 Wątróbski, J., Ziemia, P., & Wolski, W. (2016). **MCDA-based decision support system for sustainable management-RES case study**. In 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 1235-1239). IEEE.
- C3 Sałabun, W., Wątróbski, J., & Piegat, A. (2016). **Identification of a multi-criteria model of location assessment for renewable energy sources**. In International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing (pp. 321-332). Springer, Cham.
- C4 Wątróbski, J., Ziemia, P., Jankowski, J., & Ziolo, M. (2016). **Green energy for a green city – A multi-perspective model approach**. Sustainability, 8(8), 702.
- C5 Wątróbski, J., Małecki, K., Kijewska, K., Iwan, S., Karczmarczyk, A., & Thompson, R. (2017). **Multi-criteria analysis of electric vans for city logistics**. Sustainability, 9(8), 1453.
- C6 Wątróbski, J., & Sałabun, W. (2016). **The characteristic objects method: A new intelligent decision support tool for sustainable manufacturing**. In International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (pp. 349-359). Springer, Cham.
- C7 Wątróbski, J., Sałabun, W., Karczmarczyk, A., & Wolski, W. (2017). **Sustainable decision-making using the COMET method: An empirical study of the ammonium nitrate transport management**. In 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 949-958). IEEE.

Zbiór prac zawarty w części C koncentruje się na poszukiwaniu podstaw metodycznych i algorytmicznych wspomaganie decyzji w wybranych problemach zrównoważonego zarządzania. Pierwsza część zbioru (prace C1, C2, C3, C4) posadowiona jest we wzorcowej problematyce wyboru lokalizacji energetycznych farm wiatrowych. Problematyka ta jest szeroko dyskutowana w literaturze przedmiotu, a konkluzje autorów często wskazują na potrzebę doskonalenia warsztatu istniejących modeli wspomaganie tego procesu decyzyjnego. Przyczyny tego (prócz oczywistej sprzeczności występujących tutaj celów) stanowią niedostatki samych metod MCDA, złożony i wielopoziomowy zbiór kryteriów czy też naturalna niepewność danych pomiarowych.

W ostatnich latach zaobserwować można wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii (OZE). Uwarunkowań takiej sytuacji można doszukiwać się m.in. w rozwoju technologii i poszukiwaniu dróg uzależnieniu się gospodarek narodowych wielu krajów od konwencjonalnych źródeł energii. Dodatkowo, postępujący spadek zasobów naturalnych zasobów energetycznych, przy jednoczesnym wzroście ich cen na rynku światowym, wymusza zmiany w makro i mikro strategiach pozyskiwania energii. Odnawialne źródła energii mogą być wykorzystywane niemal w każdym miejscu na świecie. Głównym problemem jest jednak poprawne ekonomicznie, technologicznie, ekologicznie i społecznie uzasadnienie lokalizacji oraz budowy infrastruktury wykorzystującej ten rodzaj zasobów np. niewłaściwie zlokalizowana farma może być źródłem negatywnych oddziaływań środowiskowych i społecznych. Analiza literatury wskazuje na możliwość zastosowania metod wielokryterialnego wspomaganą decyzji w problematyce wyboru lokalizacji różnego rodzaju działalności gospodarczych. Niezwykle istotny jest jednak odpowiedni wybór rodziny kryteriów, warunkujących poprawność całego procesu decyzyjnego. Wielość, często konfliktowych kryteriów powoduje, że metodycznie problem sprowadzono do rozwiązania wielokryterialnego problemu decyzyjnego. Ważnym zadaniem badawczym pozostaje więc poprawne zamodelowanie struktury tej klasy problemów decyzyjnych, jak też zagwarantowanie w opracowanym modelu odpowiednich możliwości analitycznych narzędzia badawczego wspierających decydenta w procesie poprawnej lokalizacji OZE. W tym kontekście zbiór prac C1, C2, C3 stanowi **próbę budowy podstaw metodycznych systemu wspomaganie decyzji dla potrzeb lokalizacji farm wiatrowych.**

W pracy C1 ukazano **procedurę generowania rekomendacji decyzyjnych** z wykorzystaniem hybrydy metod AHP (*Analytic Hierarchy Process*) oraz Promethee II (*The Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations*). Problem decyzyjny posadowiono praktycznie w obszarze lokalizacji morskich farm wiatrowych. Przeprowadzone badania w zakresie analizy wrażliwości oraz odporności (*robustness analyses*) wygenerowanego zbioru rozwiązań ukazały duże możliwości analityczne proponowanego rozwiązania. Dodatkowo, dla zbioru wyników uzyskanych metodą Promethee II, wykorzystano również narzędzie analityczne GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Assistance*), dostarczające kompletną analizę „dobroci” uzyskanego rozwiązania i wskazujące kierunki jego ewentualnej poprawy. Sporządzono reprezentację graficzną problemu decyzyjnego oraz przeprowadzono dyskusję rezultatów. Uzupełnieniem publikacji C1 jest publikacja C2, w której podjętym problemem badawczym było **wierniejsze zamodelowanie struktury problemu decyzyjnego lokalizacji farm wiatrowych.** W tym celu zmodyfikowano i rozszerzono strukturę modelu zaproponowaną w pracy C1 i **w jego obrębie dokonano skutecznej próby identyfikacji wzajemnych zależności występujących pomiędzy wybranymi kryteriami.**

W kolejnym z artykułów, badania skoncentrowano na usunięciu niedostatków metodycznych zawartych w pracy C1. Istotnym mankamentem większości metod MCDA jest brak oporności zbioru rozwiązań na zjawisko „odwrócenia rankingu” (*rank reversal*) występującego w przypadku zmian w zbiorze wariantów decyzyjnych. W tym celu w pracy C3 **zaproponowano adaptację Metody Obiektów Charakterystycznych (COMET)<sup>88</sup> dla**

<sup>88</sup> Salabun, W. (2015). The Characteristic Objects Method: A New Distance-based Approach to Multicriteria Decision-making Problems. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 22(1-2), 37-50.

**potrzeb modelowania problemów lokalizacji farm wiatrowych.** Metoda COMET pozwala identyfikować model decyzyjny w całej przestrzeni stanu problemu, przy czym identyfikacja ma charakter ciągły, a nie dyskretny. Jest ona jednocześnie w pełni odporna na zjawisko odwracania rankingów i nie wymaga deklaratywnego (arbitralnego) określenia globalnych wag kryterialnych, identyfikując je pośrednio. Co istotne, metoda COMET uwzględnia zależności pomiędzy kryteriami oraz umożliwia przetwarzanie informacji niepewnej reprezentowanej w postaci liczb rozmytych. Sam model decyzyjny jest zapisywany w postaci regułowej. W wymiarze metodycznym, adaptacja metody COMET do problemu lokalizacji farm wiatrowych wymagała opracowania hierarchicznej reprezentacji problemu oraz celu działań w kierunku ograniczenia liczebności wygenerowanego zbioru reguł wynikowych.

Problematyka lokalizacji farm wiatrowych została podjęta również w pracy C4. W pracy tej dokonano identyfikacji wielokryterialnego modelu doboru lokalizacji lądowych farm wiatrowych. Oprócz opracowania procedury generowania rankingu rozwiązań decyzyjnych (z użyciem hybrydy metod Promethee II oraz AHP) oraz analizy wrażliwości zbioru rozwiązań, wkład metodyczny opracowania obejmował **budowę wytycznych modelowania wielokryterialnego w celu maksymalizacji użyteczności (pozycji w rankingu) zadanego wariantu decyzyjnego.** Zagadnienie to jest o tyle istotne w modelowaniu zagadnień zrównoważenia, że pozwala zidentyfikować progowe wartości niektórych kryteriów (np. stopień społecznej akceptacji inwestycji) dla zadanej hierarchii celów. Proponowane podejście poddano praktycznej weryfikacji obejmującej budowę modelu oceny dla 4 lokalizacji lądowych farm wiatrowych Polsce.

W problematyce modelowania zrównoważonej logistyki miejskiej posadowiona jest publikacja C5. Imperatywy zrównoważonego rozwoju powodują, że zarządzanie transportem i logistyką miejską, wymagają uwzględnienia nie tylko kryteriów o charakterze technologicznym i ekonomicznym, lecz również kryteriów pro środowiskowych oraz społecznych. Implikuje to szereg problemów w odpowiednim odwzorowaniu i postaci modelu decyzyjnego. W związku z naturalnie ograniczonym dostępem do danych historycznych na temat elektrycznych pojazdów dostawczych (są to rozwiązania stosunkowo nowe) poważne wyzwanie badawcze stanowiła próba **opracowania podstaw formalnych procedury podejmowania decyzji w środowisku wielu kryteriów, w sytuacji częściowego braku danych wejściowych modelu.** Wykorzystując metody Promethee II oraz rozmytą wersję metody TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) przeprowadzono szereg eksperymentów, w których dokonano redukcji zbioru wariantów wejściowych modelu, jak też zbudowano kompletną reprezentację rozmytego modelu dla wszystkich wariantów decyzyjnych (ocenianych pojazdów) i dokonano jego agregacji (budowy rankingu z użyciem wersji rozmytej metody TOPSIS). Przeprowadzono również studia porównawcze i badania korelacji otrzymanych rankingów. Dodatkowo, istotną wartością metodyczną pracy C5 jest próba analizy istotności wybranych kryteriów wejściowych modelu, co stanowi ważny etap obiektywizacji budowanego modelu decyzyjnego. Zaprezentowane w C5 podejście metodyczne cechuje szeroka aplikacyjność, szczególnie w sytuacjach gdy decydent/analityk nie dysponuje pełnym zbiorem wartości wejściowych modelu.

W obszarach **zarządzania zrównoważoną produkcją** jak też **zrównoważonym transportem** posadowione są prace C6 i C7. W pracach tych dokonano adaptacji i budowy wielokryterialnych modeli decyzyjnych z użyciem metody COMET. Ze względu na fakt, że

w metodzie COMET identyfikacja modelu ma charakter ciągły a nie dyskretny. W przedstawionych pracach dokonano budowy modeli dla całej dziedziny problemu decyzyjnego. W pracy C7 dodatkowo dokonano analizy wrażliwości opracowanego modelu, jak też jego porównań z odpowiadającym modelem liniowym.

**Podsumowując** powyżej wskazany zbiór publikacji C za istotne osiągnięcie uznaje:

- algorytmizację oraz budowę podstaw metodycznych systemów wspomagania decyzji opartych na metodach MCDA dla potrzeb modelowania problemów zrównoważenia,
- wytyczne budowy modelu wielokryterialnego maksymalizujące użyteczność danego wariantu decyzyjnego,
- opracowanie procedury wspomagania decyzji w warunkach niepewności i braku danych pomiarowych w modelu MCDA,
- adaptację metody COMET dla potrzeb modelowania zagadnień zrównoważonego zarządzania.

#### 2.4.4. Zbiór publikacji obejmujący wykorzystanie i rozwój metod MCDA (CZĘŚĆ D – Modelowanie cyfrowego zrównoważenia)

- D1 Wątróbski, J., Ziemia, E., Karczmarczyk, A., & Jankowski, J. (2018). **An index to measure the sustainable information society: the Polish households case.** *Sustainability*, 10(9), 3223.
- D2 Wątróbski, J., Jankowski, J., & Ziemia, P. (2016). **Multistage performance modelling in digital marketing management.** *Economics & Sociology*, 9(2), 101.
- D3 Wątróbski, J., Ziemia, P., Jankowski, J., & Wolski, W. (2016). **PEQUAL-E-commerce websites quality evaluation methodology.** In 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS) (pp. 1317-1327). IEEE.
- D4 Wątróbski, J., Ziemia, P., Jankowski, J., & Wolski, W. (2016). **Using pequal methodology in auction platforms evaluation process.** In *Information Technology for Management: New Ideas and Real Solutions* (pp. 222-241). Springer, Cham.
- D5 Wątróbski, J., Jankowski, J., Karczmarczyk, A., & Ziemia, P. (2017). **Integration of eye-tracking based studies into e-commerce websites evaluation process with eQual and TOPSIS methods.** In *EuroSymposium on Systems Analysis and Design* (pp. 56-80). Springer, Cham.
- D6 Wątróbski, J., Karczmarczyk, A., Jankowski, J., Ziemia, P., & Wolski, W. (2017). **Hierarchical Representation of Website Evaluation Model Using Survey and Perceptual Based Criteria.** In *Information Technology for Management. Ongoing Research and Development* (pp. 229-248). Springer, Cham.

Zbiór prac przedstawiony w części D koncentruje się na **aplikacji i doskonaleniu metod MCDA w obszarze cyfrowego zrównoważenia**<sup>89</sup>. Jest to pojęcie stosunkowo nowe i swym zakresem pokrywa szereg pojęć związanych z poszukiwaniem zrównoważenia w obszarach technologii informacyjnych oraz informatycznych. Przykładowe obszary badawcze obejmują tutaj: poszukiwania zrównoważonych interfejsów, zrównoważoną ocenę jakości systemów informatycznych oraz witryn internetowych, czy poszukiwanie zrównoważonych strategii w marketingu cyfrowym (interaktywnym)<sup>90</sup>.

Analizując literaturę przedmiotu, można zauważyć również, że badania ukierunkowane na identyfikację czynników i badanie wpływu technologii informacyjnych na społeczeństwo, doprowadziły do wykształcenia nowych pojęć takich jak na przykład -

<sup>89</sup> Bradley, K. (2007). Defining digital sustainability. *Library Trends*, 56(1), 148-163.

<sup>90</sup> Richardson, N., Kelley, N., & James, J. (2015). *Customer-centric marketing: Supporting sustainability in the digital age*. Kogan Page Publishers.



zrównoważone społeczeństwo informacyjne<sup>91</sup>. W ostatnich latach, rosnąca rola informacji i technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT) doprowadziła do wykształcenia pojęcia społeczeństwa informacyjnego (*information society*). Przeniesienie imperatyw zrównoważonego rozwoju na grunt społeczeństwa informacyjnego doprowadziło do wykształcenia pojęcia zrównoważonego społeczeństwa informacyjnego (*Sustainable Information Society - SIS*). Jednym z wyzwań badawczych podjętych w pracy D1 stało się **wypracowanie podstaw metodycznych i praktycznych pomiaru zrównoważonego społeczeństwa informacyjnego** zarówno w wymiarze globalnym, jak też wybranych grup społecznych<sup>92</sup> <sup>93</sup>(np. gospodarstwa domowe, przedsiębiorstwa). Kierowano się przy tym wytycznymi literatury przedmiotu, gdzie do podstawowych zadań realizowanych podczas pomiaru SIS zalicza się: możliwość elastycznej definicji kryteriów i celów pomiaru SIS<sup>94</sup>, ocenę stopnia realizacji zakładanych celów<sup>95</sup>, możliwość monitoringu procesu pomiaru SIS<sup>96</sup>, możliwości analityczne opracowanego narzędzia wspierające podejmowanie decyzji w obszarze kierunku rozwoju SIS<sup>97</sup>, szczegółowy pomiar wybranych składowych oceny SIS<sup>98</sup> oraz możliwość benchmarkingu<sup>99</sup>. Przeprowadzone w pracy D1 studia literaturowe ukazały możliwość budowy **syntetycznych wskaźników oceny SIS z wykorzystaniem metod MCDA**. W efekcie opracowany został **autorski indeks pomiaru SIS** uwzględniający możliwość definicji własnych priorytetów decydenta. Określono go mianem „*Adjustable Index of SIS*”. Wykorzystanie podstaw metodycznych z obszaru MCDA, a w szczególności adaptacja metod AHP, TOPSIS oraz Promethee II w jednym modelu pomiaru SIS umożliwiło jednocześnie, dokładne zamodelowanie hierarchicznej struktury kryteriów oceny SIS (metoda AHP) wraz z możliwością wyznaczenia wartości referencyjnych opracowanego indeksu (metoda TOPSIS), przy jednoczesnym zachowaniu dużych możliwości analitycznych (modelowanie preferencji decydenta) z użyciem metody Promethee II. Proponowane rozwiązanie poddano praktycznej weryfikacji z użyciem danych obejmujących ponad 600 polskich gospodarstw domowych. Przeprowadzone badania wyraźnie ukazały duże możliwości praktyczne proponowanego rozwiązania i jego skuteczność w zakresie modelowania ewentualnych priorytetów oraz zakładanych celów dla SIS z użyciem analizy wrażliwości.

W obszarze cyfrowego zrównoważenia, a dokładnie zrównoważonego marketingu cyfrowego posadowiona jest praca D2. Efektywne zarządzanie w tym obszarze wymaga opracowania odpowiednich narzędzi i metod badawczych wspierających ocenę poszczególnych kampanii reklamowych. Specyfika medium, jakim jest sieć Internet, powoduje, że klasyczne metody oceny działań marketingowych nie są w pełni skuteczne. Wpływ na to mają też nowe czynniki (np. *user experience* – całość wrażeń / doświadczeń użytkownika produktu cyfrowego), które nie mają swych odpowiedników w mediach klasycznych. W artykule przedstawiono **algorytm zarządzania kampanią reklamową**, w którym to uwzględniono specyfikę konfliktujących kryteriów (np. *user experience*,

<sup>91</sup> Ziemba, E. (2019) The contribution of ICT adoption to the sustainable information society. *Journal of Computer Information Systems*, 59(2), 116-126.

<sup>92</sup> Sala, S., Farioli, F., & Zamagni, A. (2013). Progress in sustainability science: lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: Part 1. *The international journal of life Cycle Assessment*, 18(9), 1653-1672.

<sup>93</sup> Albadvi, A. (2004). Formulating national information technology strategies: A preference ranking model using PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 290-296.

<sup>94</sup> Jokinen, P., Malaska, P., & Kaivo-oja, J. (1998). The environment in an information society: A transition stage towards more sustainable development?. *Futures*, 30(6), 485-498.

<sup>95</sup> Sironen, S., Seppälä, J., & Leskinen, P. (2015). Towards more non-compensatory sustainable society index. *Environment, Development and Sustainability*, 17(3), 587-621.

<sup>96</sup> Ulgiati, S., & Brown, M.T. (1998). Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 108(1-3), 23-36.

<sup>97</sup> Ueda, K., Takenaka, T., Váncza, J., & Monostori, L. (2009). Value creation and decision-making in sustainable society. *CIRP annals*, 58(2), 681-700.

<sup>98</sup> Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., & Olsson, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological economics*, 60(3), 498-508.

<sup>99</sup> Hanna, N.K. (2010). *Transforming Government and Building the Information Society: Challenges and Opportunities for the Developing World*, Springer Science & Business Media, Berlin, Germany.

intensywność kontentu reklamowego czy uzyskane przychody). Wkład metodyczny obejmował **opracowanie algorytmu temporalnej agregacji danych w metodach MCDA**. Podejście to rozszerza klasyczny model prezentowany w pracach Guitouni&Martel<sup>100</sup> oraz Roy<sup>101</sup> o istotny etap temporalnej agregacji danych z różnych okresów. Podejście to w praktyce eliminuje niepożądany efekt równomiernego wpływu danych z różnych okresów czasu na finalną postać rankingu końcowego. W badaniach empirycznych, wykorzystując metodę TOPSIS oraz używając odmiennych strategii agregacji danych marketingowych, wykazano skuteczność proponowanego podejścia autorskiego. Badania porównawcze z użyciem wersji rozmytej metody TOPSIS wykazały również większe dopasowanie rozwiązania autorskiego dla obszaru zarządzania marketingiem cyfrowym.

Seria publikacji **D3, D4, D5, D6** koncentruje się na próbie budowy **nowej metody oceny jakości serwisów internetowych**. Jest to zagadnienie istotne. Ocena jakości witryn internetowych jest wprost związana z ich wartością ekonomiczną i popularnością. W literaturze wyróżnia się wiele modeli oceny jakości serwisów WWW, różniących się wykorzystywanymi kryteriami opisu jakości, ich liczbą, skalą oceniania oraz metodyką pozyskiwania wartości ocen. Przykładowe z nich stanowią : eQual<sup>102</sup>, Ahn<sup>103</sup>, czy SiteQual [A3]<sup>104</sup>. Podstawową wadą tych metod jest trywialny aparat matematyczny stosowany do agregacji wyników oceny oraz „umowność” skali ocen. Stosowana jest w nich średnia arytmetyczna, służąca do agregacji ocen wyrażonych na skali punktowej. Poza „klasycznymi” metodami oceny serwisów internetowych, w literaturze pojawiają się również próby zastosowania do tego celu metod MCDA. Jest to uzasadnione, ponieważ ocena serwisów internetowych jest problemem wielokryterialnym, w którym należy uwzględnić wiele wymiarów jakości<sup>105</sup>. Analizując literaturę przedmiotu należy wskazać, że tylko w części prac do budowy modelu kryteriów wykorzystano podstawy teoretyczne wskazujące na potrzebę ujęcia konkretnych wymiarów jakości, a jedynie w kilku pracach przeprowadzono analizę wrażliwości rozwiązań. Tymczasem zastosowanie metod MCDA do oceny serwisów internetowych niesie większy potencjał niż tylko konstrukcja rankingu.

Autorska metoda **Pequal** przedstawiona w pracach **D3** oraz **D4** oparta jest na funkcji dostosowania jakości (*Quality Function Deployment*) oraz na metodzie wielokryterialnej Promethee. Funkcja dostosowania jakości jest ustrukturalizowanym procesem zapewniającym środki identyfikacji i dostarczającym opinii użytkowników o jakości produktu na kolejnych etapach jego tworzenia. Metodycznie, Pequal uwzględnia relacje nierozróżnialności i preferencji, co pozwala różnicować jakość ocenianych serwisów internetowych. Bierze ona pod uwagę fakt, że pewne elementy serwisu mogą przekonać użytkowników do korzystania z niego, nawet pomimo tego, że pod innymi względami nie spełnia on do końca oczekiwań. Wobec tego Pequal charakteryzuje się występowaniem efektu częściowej kompensacji kryteriów. Dodatkowo, ze względu na to, że jest ona oparta na metodzie Promethee, uwzględnia niepewność preferencji decydenta, co ma znaczenie, ponieważ opinie użytkowników o serwisach są często subiektywne. Należy też zauważyć, że

<sup>100</sup> Guitouni, A., & Martel, J. M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.

<sup>101</sup> Roy, B. (2005). Paradigms and Challenges. In Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott M. (eds.) *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp. 3-24). Springer-Verlag, New York.

<sup>102</sup> Barnes, S.J., & Vidgen, R. (2005). The eQual Approach to the Assessment of E-Commerce Quality: A Longitudinal Study of Internet Bookstores. In Suh, W. (ed.) *Web Engineering: Principles and Techniques* (pp. 161-181). IGI Global, PA, USA.

<sup>103</sup> Ahn, T., Ryu, S., & Han, I. (2007). The impact of Web quality and playfulness on user acceptance of online retailing. *Information & management*, 44(3), 263-275.

<sup>104</sup> Webb, H.W., & Webb, L. A. (2004). SiteQual: an integrated measure of Web site quality. *Journal of Enterprise Information Management*, 17(6), 430-440.

<sup>105</sup> Kim, S. & Stoel, L. (2004). Dimensional hierarchy of retail website quality. *Information & Management*, 41(5), 619-633.

Pequal umożliwia ocenę serwisu przez wielu użytkowników, implementując grupowe rozwinięcie metody Promethee, tj. Promethee GDSS. W efekcie, Pequal umożliwia badanie jakości serwisów internetowych, stanowiąc podstawę do ich oceny wraz z weryfikacją poprawności uzyskanych ocen i preferencji ankietowanych użytkowników. Jest to rozwiązanie bogatsze funkcjonalnie od dotychczas stosowanych w literaturze, klasycznych i opartych na MCDA, metod oceny serwisów internetowych. W pracach D3 oraz D4 przedstawiono również **możliwości praktycznego wykorzystania proponowanej metody w obszarach oceny serwisów e-commerce oraz platform aukcyjnych.**

W kolejnej pracy, D5 istotnie przebudowano i **rozszerzono postać proponowanego w D3 oraz D4 modelu autorskiego.** W celu maksymalizacji obiektywizmu eksperckiej oceny obiektów interaktywnych (witryn internetowych) zbior danyh wejściowych rozszerzono o **zestaw danych pomiarowych możliwych do uzyskania z użyciem urządzeń okulo granicznych (eye tracker).** Umożliwiło to uwzględnienie w modelu zobiektywizowanych cech obiektów (np. obszary zainteresowań czy czasy obserwacji) oraz analizę ich wpływu na końcowy ranking ocenianych obiektów. Metodycznie, badania przeprowadzono z użyciem metody TOPSIS. Zdecydowano się uwzględnić również naturalny brak precyzji ocen eksperckich stosując arytmetykę liczb rozmytych. Przeprowadzono analizę porównawczą wpływu dodatkowych kryteriów perceptualnych oraz użytej techniki agregacji danych (wersje klasyczne i rozmyte metody TOPSIS) na końcową postać rankingu ocenianych witryn e-commerce. Zdecydowano się również przeprowadzić analizę odporności oraz wrażliwości dla wygenerowanego rankingu końcowego witryn.

Rozwinięcie badań przeprowadzonych w D5 zawarto w pracy D6. W pracy zdecydowano się podjąć próbę usunięcia niedostatków struktury modelu oceny proponowanego w D5. Jednopoziomowa strukturalizacja modelu zawarta w D5 niesie ze sobą pewne uproszczenia. Analiza literatury przedmiotu wskazuje na potrzebę modelowania **hierarchicznej struktury zbiorów kryteriów oceny.** Ich wielopoziomowa strukturalizacja, stwarza również nowe możliwości analityczne obejmujące **badanie istotności poszczególnych grup/klastrów kryteriów na końcową postać rankingu ocenianych obiektów.** W procesie modelowania wykorzystano metody AHP oraz COMET. Przeprowadzono skuteczną próbę konstrukcji rankingów dla wybranych witryn e-commerce, uwzględniając zmienne rangi poszczególnych grup kryteriów oraz w ich obrębie przeprowadzono badanie wrażliwości modelu. W celu podniesienia stabilności uzyskanego rankingu ocen (w wymiarze metodycznym wiąże się to z uniknięciem niedostatku metody AHP w postaci zjawiska *rank reversal*) wyznaczono również ranking końcowy obiektów z użyciem metody COMET.

**Podsumowując** powyżej wskazany zbiór publikacji D za **istotne osiągnięcie uznaje:**

- budowę metody oceny Zrównoważonego Społeczeństwa Informacyjnego,
- opracowanie założeń i algorytmu modelowania temporalnego w metodach MCDA i weryfikacja tego podejścia w obszarze cyfrowego marketingu,
- opracowanie metody oceny jakości witryn internetowych (PEQUAL) bazującej na zbiorze metod MCDA oraz praktyczne studia w obszarze oceny jakości internetowych witryn sklepowych i oraz jej rozwinięć.

### 3. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

#### 3.1. Sylwetka dorobku naukowego

Moje zainteresowania badawcze, od rozpoczęcia pracy naukowej na Politechnice Szczecińskiej w 1997 roku, (przekształconej w 2009 roku w Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny), powiązane były z systemami wspomaganie decyzji, optymalizacją wielokryterialną, wielokryterialnym wspomaganie decyzji, interakcją człowiek-komputer oraz ewaluacją systemów informatycznych. Pierwotnie, rezultaty moich prac naukowych były publikowane w wydawnictwach krajowych, a następnie, wraz z rosnącą tendencją umiędzynarodowienia badań, nastąpiło przeorientowanie na wydawnictwa i konferencje międzynarodowe. W badaniach wypracowano podstawy algorytmiczne doboru metod wielokryterialnych do zadań decyzyjnych, a na bazie tego, wykorzystano metody MCDA w modelowaniu zagadnień z obszaru zrównoważonych decyzji w zarządzaniu oraz zrównoważeniu cyfrowym, poświęcając szczególną uwagę zagadnieniom ewaluacji i ocen jakości systemów informatycznych zarządzania, zagadnieniom zrównoważonego marketingu czy też oceny zrównoważonego społeczeństwa informacyjnego. Podstawę formalną stanowiły metody wspomaganie decyzji w środowisku wielu kryteriów, często wykorzystując jednocześnie logikę rozmytą. Poza aspektem badawczym prace mają również charakter aplikacyjny.

Jestem autorem oraz współautorem 137 prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora (Załącznik 4). 16 z nich to prace samodzielne. 16 jest prac zostało opublikowanych w czasopismach z listy *Journal Citation Report (JCR)* posiadających współczynnik Impact Factor. W Tabeli 2 przedstawiono wskaźniki bibliometryczne całości dorobku.

**Tabela 2.** Wskaźniki bibliometryczne całości dorobku naukowego po uzyskaniu stopnia doktora

Nazwa wskaźnika	Wartość
<b>Liczba publikacji w czasopismach z Impact Factorem</b>	<b>16</b>
<b>Sumaryczny wskaźnik Impact Factor</b>	<b>35,7</b>
Index H według Web of Science	12
Index H według Scopus	11
Index H według Google Scholar	15
Liczba cytowań Web of Science bez autocytowań	210
Liczba cytowań Scopus bez autocytowań	238
Liczba cytowań Google Scholar bez autocytowań	412
Liczba publikacji indeksowanych w bazie Web of Science	59
Liczba publikacji indeksowanych w bazie Scopus	64
Liczba publikacji na konferencjach międzynarodowych	45

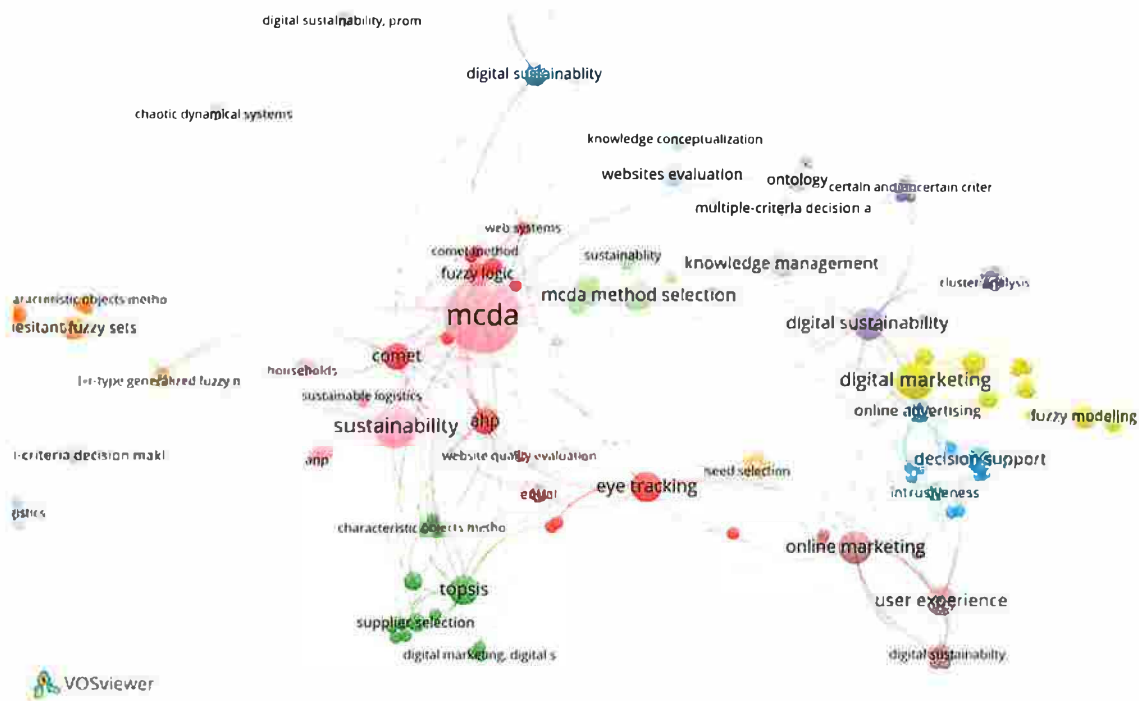
Liczba publikacji krajowych z listy B MNiSW	47
Liczba rozdziałów w monografiach krajowych	10
<hr/>	
Sumaryczna liczba punktów MNiSW	1187
Liczba punktów MNiSW według udziału	409

### 3.2. Analiza bibliograficzna dorobku naukowego zawartego w bazie Scopus

W niniejszym punkcie profil dorobku naukowego autora (obejmujący główne obszary i kierunki badań) został przedstawiony w oparciu o pozycje dorobku zaindeksowane w bazie Scopus. Jest to jedynie część dorobku autora i obejmuje on 64 opracowania naukowe skategoryzowane jako artykuły naukowe w czasopismach oraz materiały konferencyjne. Używając narzędzia do analizy bibliograficznej Vosviewer<sup>106</sup>, dokonano próby wizualizacji tej części dorobku naukowego oraz analizy jego profilu, biorąc pod uwagę kategoryzację i przynależność do obszarów i dyscyplin naukowych poszczególnych publikacji w bazie Scopus. Wybór narzędzia Vosviewer podyktowany był faktem, że program ten znajduje powszechne zastosowanie w światowych opracowaniach naukowych, gdzie celem jest zobiektywizowana analiza określonego zbioru publikacji z rękojmią zapewnienia braku stronniczości opracowania (*lack of bias*). Poniższy rysunek (Rysunek 4) ilustruje tak utworzoną mapę bibliometryczną. Rysunek przedstawia wybrany zbiór zidentyfikowanych przez narzędzie 169 słów kluczowych, gdzie dla każdego z nich została obliczona siła połączenia z innymi słowami kluczowymi. Największą liczbę (33) przypisano do słowa kluczowego MCDA. Kolejno po nim występują: sustainability (10) oraz digital marketing (8). Finalnie, utworzonych zostało 19 klastrów<sup>107</sup>, zawierających powiązane ze sobą elementy. Największy klaster został oznaczony kolorem czerwonym. Zawiera on 15 słów kluczowych (elementów). Znajduje się on w centralnej części wizualizacji, a dominującym słowem kluczowym jest MCDA. Drugim klastrem pod względem liczebności (14 elementów) jest klaster oznaczony kolorem zielonym, trzecim zaś klaster oznaczony kolorem niebieskim. Zielony klaster, znajdujący się w dolnym obszarze, obejmuje pojęcia związane z doбором zrównoważonych dostawców, marketingiem cyfrowym i zrównoważonym zarządzaniem. W górnym obszarze wizualizacji niebieskie i fioletowe klastry składają się z terminów związanych z zarządzaniem wiedzą, zrównoważonym rozwojem oraz wielokryterialnymi metodami wspomagania decyzji. Zastosowany kolor ukazuje główne zorientowanie danego klastra na wybraną tematykę pojęć.

<sup>106</sup> <http://www.vosviewer.com/>

<sup>107</sup> W narzędziu Vosviewer poszczególne słowa kluczowe są przedstawione za pomocą etykiet o kształcie okręgu, oznaczonych różnymi kolorami w zależności od przynależności do danego klastra. Im ważniejszy jest dany element, tym większą etykietą i okręgiem jest reprezentowany.



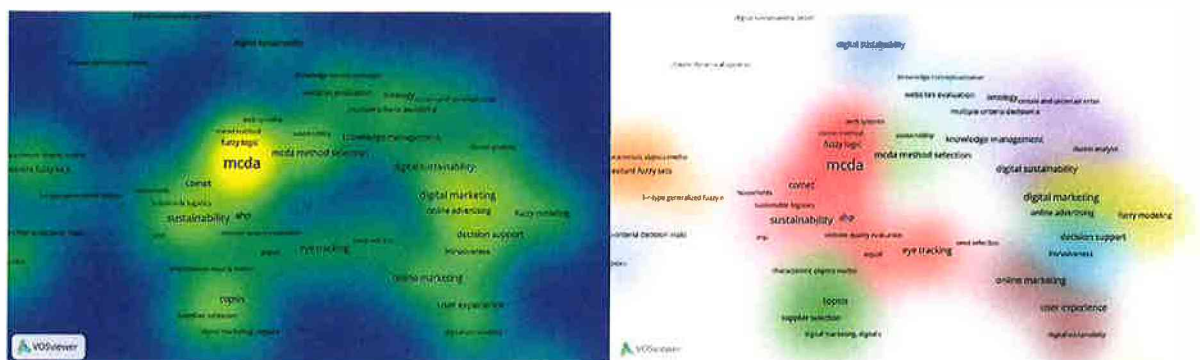
Rysunek 4. Mapa bibliometryczna wizualizująca zbiór kluczowych oraz powiązań pomiędzy nimi.

W przedstawionej na Rysunku 4 formie wizualizacji kluczową rolę odgrywają również odległości (dystans) pomiędzy poszczególnymi elementami (słowa kluczowymi) oraz rozmiar okręgu reprezentującego słowo kluczowe. Sam rozmiar okręgu oznacza liczbę wystąpień słów kluczowych w danej publikacji. Odległość między dwoma elementami na przedstawionej wizualizacji w przybliżeniu wskazuje na pokrewieństwo słów kluczowych w kategoriach powiązań występowania<sup>108</sup>.

Używając narzędzia Vosviewer można dodatkowo dokonać wizualizacji „gęstości” rozmieszczenia poszczególnych słów kluczowych (Rysunek 5A) oraz gęstości poszczególnych klastrów zawierających zbiory słów kluczowych (Rysunek 5B). W przypadku gęstości rozmieszczenia poszczególnych słów kluczowych kolor punktu na mapie zależy od liczby słów kluczowych w sąsiedztwie danego punktu i od znaczenia sąsiadujących elementów. Domyślnie przyjęto skalę kolorów od niebieskiego, poprzez kolor zielony, do żółtego<sup>109</sup>. Wizualizacja gęstości rozmieszczenia poszczególnych słów kluczowych ukazuje, że do obszarów o wysokim znaczeniu zaliczyć można obszary powiązane z MCDA oraz zrównoważeniem.

<sup>108</sup> Ogólnie rzecz ujmując, im bliżej siebie znajdują się dwa elementy, tym silniejszy jest ich związek. Najsilniejsze powiązania występowania między rozpatrywanymi słowami kluczowymi są również reprezentowane przez linie.

<sup>109</sup> Im większa liczba elementów w sąsiedztwie punktu, tym bardziej kolor danego punktu zbliżony jest do żółtego. Tym samym, im mniejsza jest liczba słów kluczowych w sąsiedztwie punktu i im niższa waga sąsiednich słów kluczowych, tym bardziej kolor punktu zbliżony jest do niebieskiego.



Rysunek 5. Mapa bibliometryczna wizualizująca gęstość rozmieszczenia poszczególnych słów kluczowych (Rysunek 5A) oraz gęstość poszczególnych klastrów zawierających zbiory słów kluczowych (Rysunek 5B).

W przypadku wizualizacji gęstości poszczególnych klastrów, zawierających zbiory słów kluczowych, gęstość elementów jest wyświetlana osobno dla każdego klastra zawierającego słowa kluczowe. Waga przypisana do danego koloru jest determinowana przez liczbę elementów (słów kluczowych) należących do danego klastra w sąsiedztwie tego punktu<sup>110</sup>.

Poprawna analiza danych bibliograficznych wymaga tak zwanego „czyszczenia” danych wejściowych. W praktyce oznacza to operacje związane np. ze scalaniem różnych wariantów leksykalnych danego pojęcia w różnych źródłach, scalanie skróconych terminów z pełnymi nazwami pojęć, czy łączenie synonimów i korygowanie różnic w pisowni. W bieżącym przypadku, realizując proces czyszczenia danych, przyjęto następujące założenia:

1. Pojęcia: *decision-making system* oraz *decision support system* zostały zinterpretowane jako synonimy i dodane do istniejącego terminu: *decision support system*.
2. Pojęcia: *multiple-criteria decision analysis*, *multiple-criteria decision making*, *multi-criteria decision-making*, *multiple-criteria decision analysis (mcd)* oraz *multi-criteria decision making* zostały zinterpretowane jako synonimy i dodane do istniejącego terminu: *MCD*.
3. Pojęcie *fuzzy modeling* zostało zinterpretowane jako różnica w pisowni i dodane do terminu: *fuzzy modelling*.
4. Pojęcie *promethee ii method* zostało zinterpretowane jako błędny zapis i zastąpiono go terminem: *promethee II method*.

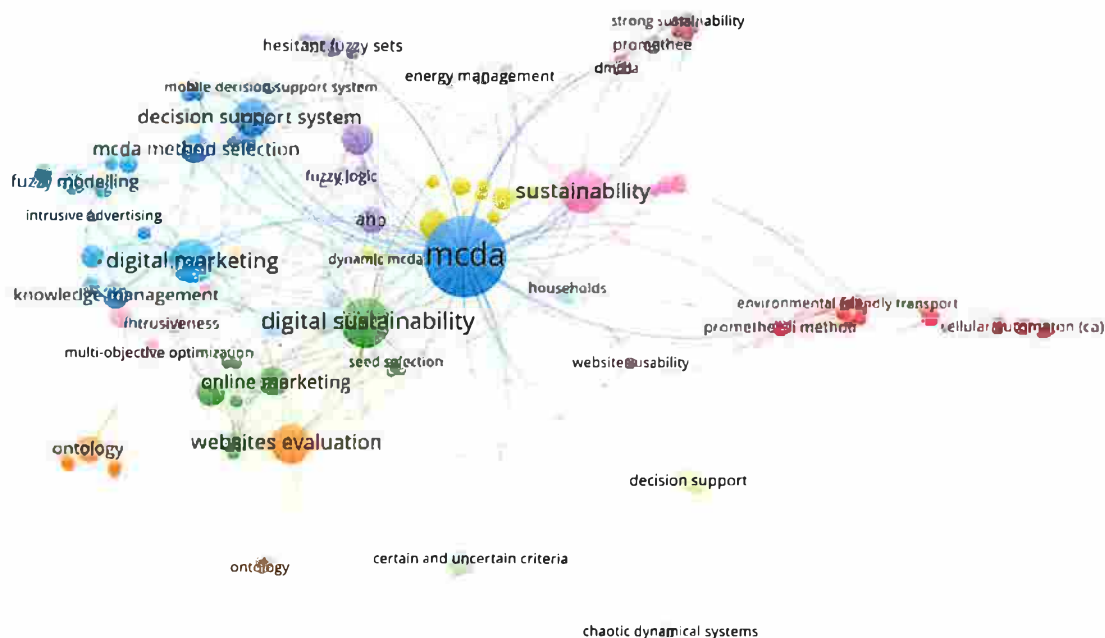
Następstwem powyższych działań były korekta zbioru analizowanych słów kluczowych oraz zmiana wynikowych postaci poszczególnych wizualizacji. W przypadku wizualizacji zbioru słów kluczowych (Rysunek 6) największa liczba wystąpień została przypisana do terminu: *mcd* (39 wystąpień). Kolejno, sklasyfikowano termin *digital sustainability* (15 wystąpień) oraz pojęcia: *sustainability* (12) i *digital marketing* (12). Pojęcie *sustainability* ma przypisaną wyższą całkowitą siłę łączną, stąd zostało sklasyfikowane wyżej

<sup>110</sup> Przedstawienie graficzne gęstości poszczególnych klastrów zawierających słowa kluczowe ukazuje zarówno sposób w kategoryzacji w obrębie danego klastra oraz w jaki klustry elementów są ze sobą powiązane.

niż

digital

marketing.



Rysunek 6. Mapa bibliometryczna wizualizująca zbiór kluczowych oraz powiązań pomiędzy nimi po procesie czyszczenia danych.

Analogicznie zostało zmienione również rozmieszczenie elementów na wizualizacji przedstawiającej gęstość rozmieszczenia poszczególnych elementów (Rysunek 7A) oraz ich klastrów (Rysunek 7B). W przypadku wizualizacji gęstości rozmieszczenia poszczególnych słów kluczowych, obszarem o najwyższym znaczeniu jest obszar zlokalizowany koło słowa kluczowego MCDA. Do obszarów o bardzo wysokim znaczeniu zaliczyć digital sustainability, sustainability oraz digital marketing.



Rysunek 7. Mapa bibliometryczna wizualizująca gęstość rozmieszczenia poszczególnych słów kluczowych (Rysunek 7A) oraz gęstość poszczególnych klastrów zawierających zbiory słów kluczowych (Rysunek 7B) po procesie czyszczenia danych.

Spśród pozostałych możliwości analizy danych bibliometrycznych w narzędziu Vosviewer wykorzystano dodatkowo wizualizację zbioru słów kluczowych względem względnej średniej liczby uzyskanych cytowań. Na Rysunku 8 ukazano efekty takiej





zarządzania wiedzą i konceptualizacji wiedzy dziedzinowej. Wykaz publikacji, do których następują odwołania w tej części znajduje się w Załączniku 4.

W realizowanych badaniach jeden z obszarów stanowią prace nad doskonaleniem metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji. W literaturze przedmiotu wskazać można liczne prace zorientowane na rozwój nowych oraz doskonalenie istniejących metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Genezę tych badań stanowią aktualnie występujące niedostatki tych metod. Wśród głównych wyzwań badawczych często podnoszone są: uwzględnienie różnych form nieprecyzji i naturalnej niepewności danych pomiarowych jak też modelowanie preferencji z wykorzystaniem arytmetyki liczb rozmytych. Wyzwania metodyczne obejmują także niedostatki samych algorytmów. Przykładowo użycie niektórych metod skutkuje substytucją czynników czy niepożądanym zjawiskiem o nazwie „rank reversal”. Prace autora wpisują się w ten nurt badawczy i zorientowane są właśnie na próby usunięcia powyższych niedostatków.

Podjęcie prac w specjalizowanym zespole międzynarodowym<sup>111</sup> umożliwiło opracowanie rozwinięć wielokryterialnej metody COMET w środowisku *hesistant fuzzy sets*, a kolejno wersji metody wspomagającej proces grupowego podejmowania decyzji. Efekty badań, obejmujące prace [3][4][7][8] zostały opublikowane w uznanych czasopismach światowych (wszystkie 4 publikacje znajdują się na Liście A MNIŚW i posiadają łączny Impact Factor o wartości 6,57), przy czym publikacje [4] oraz [8] uzyskały relatywnie wysokie wskaźniki cytowań w bazie *WebofScience* w kolejności: 30 oraz 17 (publikacja [4] w bazie *WebofScience* uzyskała dodatkowo status *Highly Cited Paper*). Dalsze badania wskazały, że opracowane rozwinięcia metody COMET mogą być skutecznie wykorzystane w obszarze zrównoważonej logistyki [22]. Aktualnie trwają dalsze badania, w których zaadoptowano do potrzeb modelowania metodą COMET również arytmetykę przedziałową [21]. Pierwsze efekty przedstawione na konferencji 2018 *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence* (SSCI 8-21.11.2018r., Bangalore, India) zostały pozytywnie przyjęte przez międzynarodowe środowisko naukowe.

W kolejnej z prac [9], badania ukierunkowano na opracowanie nowej metody wielokryterialnej. Istotnym problemem metodycznym, który brano pod uwagę w badaniach była próba ograniczenia nieporządanego efektu tzw. „liniowej kompensacji czynników” (czy też ich substytucji). W efekcie opracowano metodę PROSA, stanowiącą rozwinięcie metody Promethee II. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że w porównaniu z Promethee II, metoda PROSA preferuje bardziej zrównoważone alternatywy decyzyjne. Stopień kompensacji kryteriów jest mniejszy niż w przypadku klasycznej metody Promethee II. W badaniach wykazano także, że metoda PROSA umożliwia ocenę zrównoważenia pojedynczych działań oraz badanie zrównoważonego rozwoju, spełniając w dużym stopniu paradygmat *strong sustainability*. PROSA zachowuje jednak uniwersalność metody Promethee II w zakresie możliwości wykorzystania sześciu różnych funkcji preferencji, oferując przy tym szerokie możliwości analityczne dostępne w Promethee. Ponadto, opierając się na konkretnym problemie decyzyjnym zrównoważenia, zauważono, że rozwiązanie uzyskane z zastosowaniem PROSA jest stabilniejsze i mniej wrażliwe na zmiany wag kryteriów od rozwiązania otrzymanego z użyciem metody PROMETHEE II. Efekty prowadzonych badań znalazły uznanie na poziomie międzynarodowym. Artykuł [9] został przyjęty do druku w czasopiśmie „Energies” (*Impact Factor 2,67*), a jego wartość została

<sup>111</sup> W pracach zespołu uczestniczyli naukowcy z Wydziału Informatyki, Auckland University of Technology, Auckland 1010, New Zealand, Wydziału Matematyki, University of Management and Technology, Lahore-54770, Pakistan, Wydziału Matematyki, Quaid-i-Azam University, Islamabad-45320, Pakistan

wysoko oceniona nie tylko przez grono recenzentów, lecz również przez redaktora tego czasopisma. W efekcie, spośród 248 publikacji, artykuł został wytypowany na stronę tytułową wydania<sup>112</sup> (*Volume 10, Issue 11, November 2017*).

Tematyka obejmująca wykorzystanie metod MCDA w problemach zrównoważenia została również podjęta w opracowaniach [20][26][28][37]. W pracach tych wykazano skuteczność autorskiego rozszerzenia metodyki MCDA o aspekty agregacji temporalnej danych w modelowaniu problemu oceny i doboru zrównoważonego dostawcy produktów czy usług. W pracach ukazano podstawy metodyczne i formalne proponowanego podejścia oraz przeprowadzono badania porównawcze wyników uzyskanych z użyciem klasycznych algorytmów wybranych metod MCDA oraz wyników uzyskanych przy zastosowaniu autorskiego podejścia.

W nurt prac zorientowanych na tematykę doskonalenia oraz doboru metod MCDA do zadanej sytuacji decyzyjnej wpisują się również prace [32][35][40] oraz [44][85][86][89][92]. W pracach [32][35][40] został podjęty i dyskutowany problem tzw. „rank reversal” występujący w metodach AHP oraz ANP. W pracach porównano dokładność różnych metod wielokryterialnych, jak też zbadano skuteczność i dokładność odmiennych algorytmów agregacji danych. Prace [44][85][86][89] oraz [92] zorientowane są na analizę wpływu czynników związanych ze środowiskiem podejmowania decyzji (np. domena decyzji, jej typ) na finalną postać rekomendowanej metody MCDA. Przedstawiono tutaj również wytyczne doboru metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji w oparciu o tzw. kontekst sytuacji decyzyjnej.

Istotną część pozostałego dorobku naukowego zajmują **prace posadowione w obszarze marketingu cyfrowego**. Prowadzone prace dotyczyły stosunkowo nowych obszarów, które dopiero od niedawna są przedmiotem badań naukowych. Rozwój sieci Internet oraz gwałtowny wzrost znaczenia platform społecznościowych rodzą szereg wyzwań naukowych w obszarze zarządzania. Liczne prace badawcze ukazują potencjał badawczy tych domen, często wskazując na potrzebę studiów w zakresie modelowania i eksploatacji tychże systemów społeczno-technicznych. Badania realizowane w interdyscyplinarnych, międzynarodowych zespołach naukowych<sup>113</sup> dotyczyły w szczególności: poszukiwania zrównoważonego podejścia do marketingu elektronicznego, oceny skuteczności oraz efektywności ekonomicznej przekazu marketingowego i szerzej systemów internetowych, badań formy interaktywnego przekazu reklamowego z udziałem urządzeń okulograficznych (*eye trackingowych*). Uzyskanie rezultaty badań (zbiór publikacji [1][2][10][11][12]) zostały upublicznione w czasopismach o zasięgu światowym. Wszystkie 5 publikacji znajduje się na liście *Journal Citation Reports*, a ich łączny Impact Factor wynosi 13,33. Publikacje [1] oraz [11] zostały wydane w czasopismach *Internet Research* (ISSN: 1066-2243, Wydawca: Emerald Group Publishing Limited, Impact Factor: 3.838, 5-year Impact Factor (2017): 4.947) oraz *Expert Systems With Applications* (ISSN: 0957-4174, Wydawca: Pergamon-Elsevier Science Ltd, Impact Factor: 3.76, 5-year Impact Factor (2017): 3,71), które są sklasyfikowane w bazach *WebofScience / Scopus* w pierwszym kwartylu czasopism w dziedzinie nauk o zarządzaniu.

Działania marketingowe prowadzone w sieciach społecznych z udziałem mechanizmów propagacji informacji wymagają odpowiedniego planowania i analizy efektywności. Podczas gdy dotychczasowe rozwiązania koncentrują się na ocenie

<sup>112</sup> <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/11>

<sup>113</sup> W pracach zespołu uczestniczyli naukowcy z Gamification Group, Faculty of Information Technology and Communications, Tampere University, Tampere, Finland, Gamification Group, Faculty of Humanities, University of Turku, Turku, Finland, The University of Thessaly, Greece

jednokryterialnej związanej z zasięgiem działań, w pracy [2] przedstawiono model planowania i ewaluacji działań z wykorzystaniem metod wielokryterialnych. Zaproponowane rozwiązania umożliwiają uwzględnienie zarówno zasięgu jak i dynamiki oraz kosztów działań w celu zapewnianie zrównoważonych rozwiązań decyzyjnych. Ponadto przedstawiona metoda umożliwia planowanie działań w oparciu o teoretyczne modele sieciowe, które stanowią uproszczenie docelowej sieci, w której realizowane są kampanie marketingu wirusowego. Modelowanie wielokryterialne wykorzystano również w pracy [11], gdzie celem badań był dobór wizualnych form reklamowych z uwzględnieniem nie tylko parametrów efektywności, ale również możliwego negatywnego oddziaływania na odbiorcę, przy udziale intensywnego oddziaływania wizualnego. Zaproponowane rozwiązania umożliwiły poszukiwanie zrównoważonych rozwiązań decyzyjnych. W pracy [1] podjęto tematykę przyrostowego stopniowania intensywności przekazu marketingowego i wpływu jego intensywności na efekty pozytywne reprezentowane przez liczbę interakcji oraz efekty negatywne reprezentowane przez próby blokowania przekazu marketingowego. W badaniach wykazano możliwość detekcji z udziałem zaproponowanej metody poziomu nasycenia, w którym nie następuje dalszy wzrost skuteczności, natomiast obserwowany jest przyrost negatywnych reakcji. Rozwiązanie to umożliwia poszukiwanie kompromisu i generowanie rozwiązań zrównoważonych. W kolejnej pracy [10] podjęto tematykę zrównoważonych działań marketingowych z wykorzystaniem kampanii wspomagających, które mają na celu zwiększenie zainteresowania promowanym produktem bez udziału technik inwazyjnych. Eksperymenty przeprowadzone w środowisku rzeczywistej platformy społecznościowej umożliwiły zbadanie efektywności kampanii wspomagających opartych na próbkach produktów cyfrowych i wykazały możliwość zwiększenia dynamiki kampanii głównej poprzez budowanie zainteresowania w grupie docelowej. W pracy [12] wykorzystano wnioskowanie rozmyte do wyznaczenia reguł powiązanych z aktywacją produktów wirtualnych. W efekcie przedstawiony model adaptacyjny umożliwił uwzględnienie nieprecyzyjnego charakteru danych pomiarowych i określenie wpływu relacji społecznych oraz aktywności komunikacyjnej na podejmowane decyzje zakupowe. Obszary powiązane z dynamicznym oddziaływaniem na przebieg kampanii marketingowych podjęto w pracach [14][38]. Uwzględniono w nich zmienność środowiska, pomiary interakcji i korekty planów kampanii w oparciu o bieżące dane pomiarowe. W badaniach wykorzystano model wieloetapowy, w którym, zamiast jednoetapowego generowania rozwiązań decyzyjnych, następuje zasilenie danymi pomiarowymi z kampanii marketingowej, które w sprzężeniu zwrotnym oddziałują na bieżące decyzje i modyfikują pierwotne założenia planu kampanii. W kolejnej pracy [19] w procesie poszukiwaniu zrównoważonych rozwiązań reklamowych wykorzystano badania percepcyjne, które umożliwiły ocenę intensywności oddziaływania na odbiorcę z wykorzystaniem metody wymuszonego wyboru i modelowania rozmytego [19]. Dodatkowo, w pracach [24][52] powiązano rozmyte mapy kognitywne z badaniami okولوجraficznymi przekazu marketingowego. Umożliwiło to budowanie modeli zorientowanych na wyznaczanie zależności między parametrami przekazu, a rejestrowanymi ścieżkami wzrokowymi. W pracy [30] wyznaczono zależności między intensywnością wizualną treści marketingowych (w odniesieniu do treści redakcyjnych) i opracowano model wielokryterialny, który umożliwia określenie parametrów przekazu w celu absorpcji uwagi użytkownika. Badania przedstawione w pracy [31] umożliwiły wyznaczenie wpływu inwazyjności przekazu wizualnego na decyzje konsumenckie i wykazały, że przekaz o podwyższonej inwazyjności, mimo możliwości absorpcji uwagi, nie przekłada się na

wybory konsumenckie. Pozostałe prace nawiązują do maksymalizacji konwersji w systemach internetowych [33][41], wyznaczenia zależności między *user experience*, a intensywnością przekazu [36], a także wpływem oddziaływania wizualnego na werbalne komunikaty marketingowe [39].

Ważną część pozostałego dorobku naukowego, związaną metodycznie i merytorycznie z pracami D3:D6, stanowią opracowania [18][23][45][55][58][62][67][69][80][82][87][88][90] oraz [110]. W pracach tych przedstawiono badania ukierunkowane na ocenę, badanie jakości oraz wspomaganie doboru systemów informatycznych zarządzania. Proces ewaluacji przeprowadzono również dla wybranych klas witryn internetowych [18][23][45] i portali społecznościowych [55][58][69]. Publikacja [23], wygłoszona w ramach konferencji *Information Systems Management / Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 3-6.09, 2017, Praga) uzyskała wyróżnienie „*Best paper awards*”. Pozostałe prace obejmują skuteczne próby budowy modeli:

- oceny systemów informatycznych zarządzania ([80][87][90]),
- wyboru zintegrowanych systemów informatycznych logistyki [62][82][88] oraz e-logistyki [67],
- oceny systemów informatycznych wspierających zarządzanie Zintegrowanym Łańcuchem Dostaw [110].

Zdecydowana większość modeli doboru oraz oceny opracowanych w powyższych pracach wykorzystuje metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji, a w szczególności metody AHP czy Promeethee II. W części prac przeprowadzono również analizę wrażliwości oraz odporności uzyskanych zbiorów rozwiązań.

Kolejny obszar tematyczny dorobku naukowego stanowi zbiór prac zorientowanych na dobór i zarządzanie wiedzą w dziedzinie oprogramowania użytkowego (określanego w literaturze jako „produkty z półki” – *COTS – Components of the Shelf*). Mianem tym określane są całe systemy (oraz ich autonomiczne elementy) wspomagające zarządzanie. W niektórych pracach mianem COTS określane są również systemy operacyjne czy oprogramowanie biurowe. Efekty badań naukowych, obejmujące liczny zbiór metod i technik wspomagających dobór składników COTS, jak też zasięg oraz dynamiczny rozwój samych rozwiązań informatycznych COTS, jednoznacznie wskazują na konieczność opracowania rozwiązań metodycznych i praktycznych konceptualizujących wiedzę dziedzinową oraz wspomagających proces doboru komponentów oraz systemów COTS. Prezentowany zbiór publikacji stanowi w dużej mierze próbę odpowiedzi na te wyzwania naukowe. Prace [46], [68][74][76][78][111][113] zorientowane są na próby konceptualizacji i wykorzystania wiedzy dziedzinowej obejmującej dostępne metody, techniki oraz narzędzia informatyczne wspierające proces oceny i doboru składników COTS. Prócz aspektów metodycznych, w pracach [54][57][65][72][108][109] zrealizowano badania praktyczne ukierunkowane na konceptualizację wiedzy dla wybranych systemów zarządzania. Warto wskazać, że efekty powyższych prac cechuje również duża aplikacyjność. Opracowane modele wiedzy, w formie ontologii, są szeroko wykorzystywane w informatyce. Ich standaryzowana postać jak też możliwości współdzielenia tak zgromadzonej wiedzy, jej ponownego wykorzystania oraz rozbudowy stanowią o ich dużym potencjale praktycznym.

Problem konceptualizacji wiedzy dziedzinowej, budowy i oceny ontologii podjęto również w wymiarze metodycznym. W pracy [51] oraz [13] dokonano analizy kolejno metod budowy oraz oceny ontologii. Prowadzono również szerokie studia praktyczne w kierunku budowy repozytoriów wiedzy w obszarze metod oceny jakości serwisów internetowych [25]

[34][43], systemów Web3.0 [60], systemów handlu elektronicznego [61][66], metod i technik modelowania procesów biznesowych [59]. W artykułach zbadano podstawy teoretyczne takiej konceptualizacji w szczególności, odnosząc się do doboru języka reprezentacji wiedzy, metodyki budowy bazy wiedzy oraz edytora znajdującego zastosowanie przy konstrukcji bazy wiedzy. Aspekty praktyczne tych prac obejmowały konceptualizację i budowę ontologii dziedzinowych, które następnie zostały poddane ocenie. W procesie oceny posłużono się mechanizmem wnioskującym oraz pytaniami kompetencyjnymi, kierowanymi do zbudowanych ontologii.

Niezależnie od wskazanych powyżej obszarów, badania prowadzono również w zakresie budowy systemów wspomagania decyzji [42][81][95] i systemów ekspertowych [56], analizy oraz oceny metod i technik modelowania procesów biznesowych [79][83][102][116], segmentacji klientów e-commerce [16], budowy modeli oceny jakości produktów [53] modelowania transportu i logistyki miejskiej [5][17][29][63][70][75] czy dystrybucji dokumentów elektronicznych [15].

\*\*\*

Efekty prowadzonych badań zostały dostrzeżone i zyskały uznanie w gronie międzynarodowe środowisk naukowych. Ich rezultatem jest udział habilitanta w komitetach programowych międzynarodowych konferencji naukowych oraz zaproszenia do pełnienia funkcji recenzenta w uznanych międzynarodowych czasopismach naukowych. Przykładowo, tylko dla grupy czasopism z listy *Journal Citation Reports* (posiadających Impact Factor) wykonano to tej pory 65 recenzji artykułów naukowych. Oprócz licznych wystąpień konferencyjnych, w dniu 29.01.2019r. na zaproszenie dziekana Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Szwecja prof. Vanii Lindberg zrealizowano 2 godzinny, gościnny wykład na temat problematyki doboru metod wielokryterialnych do zadanej sytuacji decyzyjnej.

Marcin  
Wojtowicz

## Bibliografia

1. Achillas, C., Moussiopoulos, N., Karagiannidis, A., Baniyas, G., & Perkoulidis, G. (2013). The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: a literature review. *Waste Management & Research*, 31(2), 115-129.
2. Adil, M., Nunes, M.B., & Peng, G.C. (2014). Identifying operational requirements to select suitable decision models for a public sector e-procurement decision support system. *JISTEM-Journal of Information Systems and Technology Management*, 11(2), 211-228.
3. Ahn, T., Ryu, S., & Han, I. (2007). The impact of Web quality and playfulness on user acceptance of online retailing. *Information & management*, 44(3), 263-275.
4. Albadvi, A. (2004). Formulating national information technology strategies: A preference ranking model using PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 290-296.
5. Al-Shalabi, M.A., Mansor, S.B., Ahmed, N.B., & Shiriff, R. (2006). GIS based multicriteria approaches to housing site suitability assessment. In *Proceedings of the XXIII FIG Congress, Shaping the Change, Munich, Germany*, pp. 8-13.
6. Al-Shemmeri, T., Al-Kloub, B., & Pearman, A. (1997). Model choice in multicriteria decision aid. *European Journal of Operational Research*, 97(3), 550-560.
7. Barnes, S.J., & Vidgen, R. (2005). The eQual Approach to the Assessment of E-Commerce Quality: A Longitudinal Study of Internet Bookstores. In Suh, W. (ed.) *Web Engineering: Principles and Techniques* (pp. 161-181). IGI Global, PA, USA.
8. Boggia, A., & Cortina, C. (2010). Measuring sustainable development using a multi-criteria model: A case study. *Journal of environmental management*, 91(11), 2301-2306.
9. Bouyssou, D. (1990). Building criteria: A prerequisite for MCDA. In *Readings in multiple criteria decision aid* (pp. 58-80). Springer, Berlin, Heidelberg.
10. Bouyssou, D., Perny, P., Pirlot, M., Tsoukias, A., & Vincke, P. (1993). A manifesto for the new MCDA era. *Journal of multi-criteria decision analysis*, 2(3), 125-127.
11. Bradley, K. (2007). Defining digital sustainability. *Library Trends*, 56(1), 148-163.
12. Celik, M., & Deha Er, I. (2009). Fuzzy axiomatic design extension for managing model selection paradigm in decision science. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6477-6484.
13. Celik, M., & Topcu, Y. I. (2009). Analytical modelling of shipping business processes based on MCDM methods. *Maritime Policy & Management*, 36(6), 469-479.
14. Chang, Y. H., Yeh, C. H., & Chang, Y. W. (2013). A new method selection approach for fuzzy group multicriteria decision making. *Applied Soft Computing*, 13(4), 2179-2187.
15. Cicek, K., Celik, M., & Topcu, Y.I. (2010). An integrated decision aid extension to material selection problem. *Materials & Design*, 31(9), 4398-4402.
16. Cinelli, M., Coles, S.R., & Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, 46, 138-148.
17. Cucchiella, F., D'Adamo, I., Gastaldi, M., Koh, S.L., & Rosa, P. (2017). A comparison of environmental and energetic performance of European countries: A sustainability index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 401-413.
18. Despontin, M., & Vincke, P. (1977). *Multiple criteria economic policy*. Advances in Operations Research, North-Holland.
19. Diaby, V., Campbell, K., & Goeree, R. (2013). Multi-criteria decision analysis (MCDA) in health care: a bibliometric analysis. *Operations Research for Health Care*, 2(1), 20-24.
20. Duckstein, L. (1981). *Multiobjective optimization in structural design: The model choice problem*. Arizona Univ Tucson Dept Of Systems And Industrial Engineering.
21. Duckstein, L., Gershon, M., & McAniff, R. (1982). Model selection in multiobjective decision making for river basin planning. *Advances in Water Resources*, 5(3), 178-184.
22. Edwards, W., Newman, J., Snapper, K., & Seaver, D. (1982). *Multiattribute evaluation*.

23. Ellis, H.M., & Keeney, R.L. (1971). A Rational Approach to Governmental Decision Concerning Air Pollution.
24. Gershon, M. (1984). The role of weights and scales in the application of multiobjective decision making. *European Journal of Operational Research*, 15(2), 244-250.
25. Gershon, M., & Duckstein, L. (1984). A procedure for selection of a multiobjective technique with application to water and mineral resources. *Applied Mathematics and Computation*, 14(3), 245-271.
26. Ghandforoush, P., & Greber, B.J. (1986). Solving allocation and scheduling problems inherent in forest resource management using mixed-integer programming. *Computers & operations research*, 13(5), 551-562.
27. Goczyła, K. (2011). Ontologie w systemach informatycznych (pp. 241-249). Akademia Oficyna Wydawnicza EXIT.
28. Govindan, K., & Jepsen, M.B. (2016). ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 1-29.
29. Gruber, T.R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199-220.
30. Guitouni, A., & Martel, J. M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research*, 109(2), 501-521.
31. Guitouni, A., Martel, J.M., Vincke, P., & North, P.B. (1998). A framework to choose a discrete multicriterion aggregation procedure. *Defence research establishment valcatier (DREV)*.
32. Haimes, Y.Y., & Hall, W.A. (1974). Multiobjectives in water resource systems analysis: The surrogate worth trade off method. *Water Resources Research*, 10(4), 615-624.
33. Hajkowicz, S., & Higgins, A. (2008). A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European journal of operational research*, 184(1), 255-265.
34. Hanna, N.K. (2010). *Transforming Government and Building the Information Society: Challenges and Opportunities for the Developing World*, Springer Science & Business Media, Berlin, Germany.
35. Hatefi, S.M., & Torabi, S.A. (2018). A slack analysis framework for improving composite indicators with applications to human development and sustainable energy indices. *Econometric Reviews*, 37(3), 247-259.
36. Herner, S., & Snapper, K.J. (1978). The application of multiple-criteria utility theory to the evaluation of information systems. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 29(6), 289-296.
37. Hwang, C.L., Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin.
38. Ishizaka, A, & Labib, A. (2009). Analytic hierarchy process and expert choice: Benefits and limitations. *Or Insight*, 22(4), 201-220.
39. Jansen, R. (1992). *Multi-objective decision support for environmental management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
40. Jokinen, P., Malaska, P., & Kaivo-oja, J. (1998). The environment in an information society': A transition stage towards more sustainable development?. *Futures*, 30(6), 485-498.
41. Keeney, R.L., & Raiffa, H. (1976). *Decision analysis with multiple conflicting objectives*. Wiley & Sons, New York.
42. Kim, S. & Stoel, L. (2004). Dimensional hierarchy of retail website quality. *Information & Management*, 41(5), 619-633.
43. Kodikara, P.N. (2008). *Multi-Objective Optima Operation of Urban Water Supply Systems*. (Ph.D. dissertation, Victoria University, Melbourne).
44. Kornysheva, E., & Salinesi, C. (2007). MCDM techniques selection approaches: state of the art. In *2007 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Multi-Criteria Decision-Making* (pp. 22-29). IEEE.





45. Koschke, L., Fürst, C., Frank, S., & Makeschin, F. (2012). A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological indicators*, 21, 54-66.
46. Kumar, T., & Jhariya, D.C. (2015). Land quality index assessment for agricultural purpose using multi-criteria decision analysis (MCDA). *Geocarto International*, 30(7), 822-841.
47. Kwak, N.K., Lee, C.W., & Kim, J.H. (2005). An MCDM model for media selection in the dual consumer/industrial market. *European Journal of Operational Research*, 166(1), 255-265.
48. Labuschagne, C., Brenta, A.C., Ron, P.G., & Van Ercka, P.G. (2005). Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production*, 13(4), 373-385.
49. Li, Y., & Thomas, M.A. (2014). A multiple criteria decision analysis (MCDA) software selection framework. In 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences (pp. 1084-1094). IEEE.
50. Linhoss, A., & Jeff Ballweber, J.D. (2015). Incorporating uncertainty and decision analysis into a water-sustainability index. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(12), A4015007.
51. Liu, H.C., Mao, L.X., Zhang, Z.Y., & Li, P. (2013). Induced aggregation operators in the VIKOR method and its application in material selection. *Applied Mathematical Modelling*, 37(9), 6325-6338.
52. MacCrimmon, K.R. (1968). Decision making among multiple-attribute alternatives: a survey and consolidated approach (No. RM-4823-ARPA). RAND CORP SANTA MONICA CA.
53. Martinez-Cruz, C., Blanco, I.J., & Vila, M.A. (2012). Ontologies versus relational databases: are they so different? A comparison. *Artificial Intelligence Review*, 38(4), 271-290.
54. Mendoza, G.A., & Martins, H. (2006). Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest ecology and management*, 230(1), 1-22.
55. Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., & Olsson, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological economics*, 60(3), 498-508.
56. Nijkamp, P., & Spronk, J. (1981). Interactive multidimensional programming models for locational decisions. *European Journal of Operational Research*, 6(2), 220-223.
57. Nijkamp, P., & Spronk, J. (1981). Multiple criteria analysis: operational methods. Lexington Books.
58. Nijkamp, P., & van Delft, A. (1977). Multi-criteria analysis and regional decision-making, 8. Springer Science & Business Media.
59. Nijkamp, P., Van Der Burch, M., & Vindigni, G. (2002). A comparative institutional evaluation of public-private partnerships in Dutch urban land-use and revitalisation projects. *Urban studies*, 39(10), 1865-1880.
60. Peng, Y., Wang, G., & Wang, H. (2012). User preferences based software defect detection algorithms selection using MCDM. *Information Sciences*, 191, 3-13.
61. Punj, G.N., & Staelin, R. (1978). The choice process for graduate business schools. *Journal of Marketing Research*, 15(4), 588-598.
62. Richardson, N., Kelley, N., & James, J. (2015). Customer-centric marketing: Supporting sustainability in the digital age. Kogan Page Publishers.
63. Romero, C., & Rehman, T. (1987). Natural resource management and the use of multiple criteria decision-making techniques: a review. *European Review of Agricultural Economics*, 14(1), 61-89.
64. Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*, 12. Springer Science & Business Media, Dordrecht.
65. Roy, B. (2005). Paradigms and Challenges. In Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott M. (eds.) *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp. 3-24). Springer-Verlag, New York.
66. Roy, B., & Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*. Paris: Economica.

67. Roy, B., & Hugonnard, J.C. (1982). Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by a multicriteria method. *Transportation Research Part A: General*, 16(4), 301-312.
68. Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J. E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., ... & Dore, T. (2008). Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 163-174.
69. Sala, S., Ciuffo, B., & Nijkamp, P. (2015). A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, 119, 314-325.
70. Sala, S., Farioli, F., & Zamagni, A. (2013). Progress in sustainability science: lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: Part 1. *The international journal of life Cycle Assessment*, 18(9), 1653-1672.
71. Sałabun, W. (2015). The Characteristic Objects Method: A New Distance-based Approach to Multicriteria Decision-making Problems. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 22(1-2), 37-50.
72. Samal, R.K., & Kansal, M.L. (2015). Sustainable development contribution assessment of renewable energy projects using AHP and compromise programming techniques. In 2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE) (pp. 1-6). IEEE.
73. Scott, J.A., Ho, W., & Dey, P.K. (2012). A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. *Energy*, 42(1), 146-156.
74. Shahroodi, K., Keramatpanah, A., Amini, S., & Sayyad Haghghi, K. Application of analytical hierarchy process (ahp) technique to evaluate and selecting suppliers in an effective supply chain. *Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review*, 33(835), 1-14.
75. Sironen, S., Seppälä, J., & Leskinen, P. (2015). Towards more non-compensatory sustainable society index. *Environment, Development and Sustainability*, 17(3), 587-621.
76. Siskos, J., & Zopounidis, C. (1987). The evaluation criteria of the venture capital investment activity: An interactive assessment. *European Journal of Operational Research*, 31(3), 304-313.
77. Teclé, A. (1988). Choice of multicriteria decision making techniques for watershed management, (Ph.D. Dissertation, The University of Arizona).
78. Teclé, A., & Fogel, M. (1986). Multiobjective wastewater management planning in a semiarid region. In *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest* (Vol. 16, pp. 43-61).
79. Ueda, K., Takenaka, T., Váncza, J., & Monostori, L. (2009). Value creation and decision-making in sustainable society. *CIRP annals*, 58(2), 681-700.
80. Ulengin, F., Topcu, Y.I., & Sahin, S.O. (2001). An artificial neural network approach to multicriteria model selection. In *Multiple criteria decision making in the new millennium* (pp. 101-110). Springer, Berlin, Heidelberg.
81. Ulgiati, S., & Brown, M.T. (1998). Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 108(1-3), 23-36.
82. Vachnadze, R.G., & Markozashvili, N.I. (1987). Some applications of the analytic hierarchy process. *Mathematical Modelling*, 9(3-5), 185-191.
83. Wang, J., & Zionts, S. (2008). Negotiating wisely: Considerations based on MCDM/MAUT. *European Journal of Operational Research*, 188(1), 191-205.
84. Wang, J.J., Jing, Y.Y., Zhang, C.F., & Zhao, J.H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263-2278.
85. Wang, X., & Triantaphyllou, E. (2008). Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. *Omega - The International Journal of Management Science*, 36(1), 45-63.
86. Webb, H.W., & Webb, L. A. (2004). SiteQual: an integrated measure of Web site quality. *Journal of Enterprise Information Management*, 17(6), 430-440.

87. Werczberger, E. (1976). A goal-programming model for industrial location involving environmental considerations. *Environment and Planning A*, 8(2), 173-188.
88. Yue, W., Cai, Y., Rong, Q., Cao, L., & Wang, X. (2014). A hybrid MCDA-LCA approach for assessing carbon foot-prints and environmental impacts of China's paper producing industry and printing services. *Environmental Systems Research*, 3(1), 4.
89. Zanakis, S.H., Solomon, A., Wishart, N., & Dublisch, S. (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *European Journal of Operational Research*, 107(3), 507-529.
90. Ziemba, E. (2019). The contribution of ICT adoption to the sustainable information society. *Journal of Computer Information Systems*, 59(2), 116-126.
91. Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2002). Multi-criteria decision aid in financial decision making: methodologies and literature review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11(4-5), 167-186.

