

dr inż. Elżbieta Szafranko

Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie

AUTOREFERAT

Załącznik nr 3.a. (w j. polskim)

Do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

1. **Imię i nazwisko:** Elżbieta Hanna Szafranko
2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe (nazwa, miejsce i rok uzyskania)**

- stopień doktora nauk technicznych, nadany uchwałą Rady Wydziału Budownictwa Lądowego Politechniki Gdańskiej w 1997 roku, tytuł rozprawy: „Zastosowanie teorii sieci do zagadnienia optymalnego wyboru terenów budowlanych”.

Promotor pracy:

prof. dr hab. inż. Zdzisław Kowalczyk.

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Kazimierz M. Jaworski

Prof. dr hab. inż. Czesław Szymczak

- dyplom magistra inżyniera Budownictwa, uzyskany na Wydziale Budownictwa Lądowego Akademii Rolniczo – Technicznej w Olsztynie w 1984 roku.

- Inżynier budownictwa, uprawnienia budowlane nr 85/91/OL

3. **Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

2015- obecnie - Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie, Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa, Instytut Budownictwa – adiunkt

1999-2015 - Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych – adiunkt

1997-1999 - Akademia Rolniczo Techniczna w Olsztynie, Wydział Budownictwa Lądowego – adiunkt

1987-1997 - Akademia Rolniczo Techniczna w Olsztynie, Wydział Budownictwa Lądowego – asystent

1985-1987 - Akademia Rolniczo Techniczna w Olsztynie, Wydział Budownictwa Lądowego – specjalista

1
Sza

Informacja o pełnionych funkcjach na Uniwersytecie Warmińsko – Mazurskim w Olsztynie

- Prodzikan ds. studenckich na Wydziale Nauk Technicznych – kadencje 1999-2002 i 2002-2005.
- Zastępca Dyrektora Instytutu Budownictwa, 2016 – 2019.
- Członek Rady Instytutu Budownictwa, 2016 - 2019
- Członek Rady Wydziału – kadencje 1999-2002 i 2002-2005.
- Członek Komisji Senackiej ds. Kształcenia – kadencje 1999-2002 i 2002-2005.
- Koordynator programu ERASMUS -1999 – 2002.
- Kierownik Studiów Podyplomowych „Metody kosztorysowania w warunkach gospodarki rynkowej” – 1997 – 2008.
- Zastępca Kierownika Studiów Podyplomowych „Eksploatacja Dróg” – 2000 – 2010.
- Honorowy członek – założyciel studenckiego Koła Naukowego KRESKA, 2002 – 2006.
- Przewodniczący Wydziałowej komisji egzaminacyjnej Prowadzącej Egzaminy dyplomowe na kierunku Budownictwo – 1999 – 2018.
- Wydziałowa Komisja ds. Oceny Nauczycieli Akademickich – członek w latach 2015-2018.
- Członek zespołu ds. Opracowania Strategii Rozwoju Wydziału Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa, 2017-2019.
- członek komisji ds. Kształcenia, 2015 -2019.

4. Wskazanie osiągnięcia w zakresie naukowo - badawczym,

Jako osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.) przedkładam monografię mojego autorstwa wydaną w roku 2019.

- a) Tytuł monografii: **Wariantowanie inwestycji budowlanych. Wielokryterialna ocena koncepcji projektowych z wykorzystaniem teorii podobieństwa**
- b) Autor: Elżbieta Szafranko, wydawnictwo: Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Warszawa 2019, Studia z zakresu inżynierii, nr 101, ISSN 0137-5393, ISBN 978-83-939534-5-5, język polski ze streszczeniem w języku angielskim, recenzenci: prof. dr hab. inż. Anna Sobotka, dr hab. inż. Piotr Jaśkowski
- c) Omówienie celu naukowego pracy, osiągniętych wyników i możliwości ich praktycznego wykorzystania

Celem przygotowanej przeze mnie monografii było zaproponowanie metody poprawiającej efektywność podejmowania decyzji o wyborze wariantu optymalnego planowanej inwestycji budowlanej i usprawnienie tego procesu w praktyce.

Monografia obejmuje 162 strony i składa się ze spisu treści, listy ważniejszych skrótów, oznaczeń i akronimów, wstępu, siedmiu rozdziałów (w tym podsumowanie pracy i wnioski), spisu cytowanej literatury, oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. Studium literatury obejmuje łącznie 161 pozycji literatury krajowej i zagranicznej.

Tematyka pracy stanowi oryginalne podejście do problemu wspomaganie decyzji o wyborze wariantu optymalnego koncepcji projektowanej inwestycji budowlanej z wykorzystaniem interpretacji graficznej problemu oraz teorii podobieństwa i w przedstawionym ujęciu stanowi oryginalne podejście do problemu.

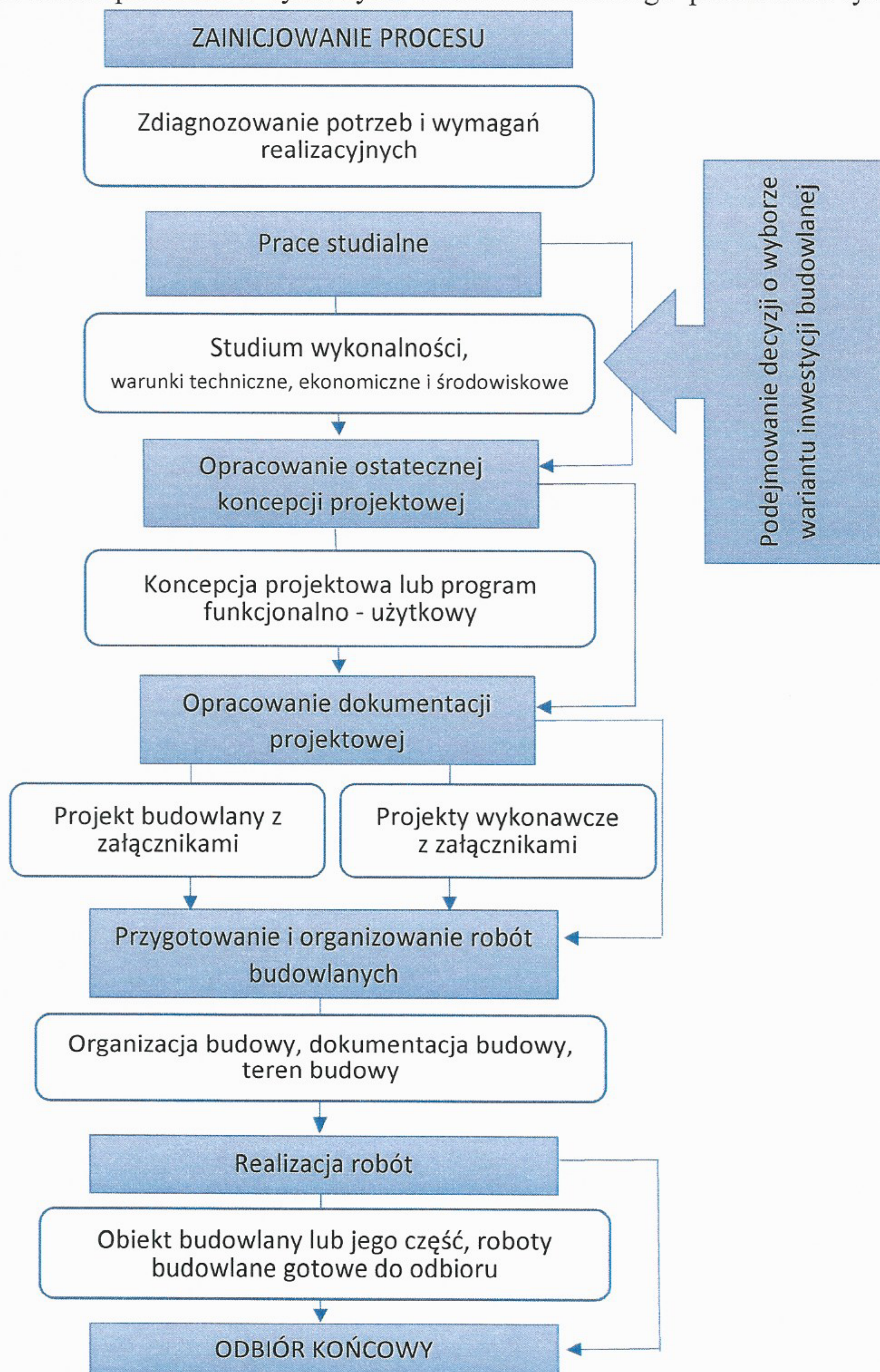
Osiągnięcie celu głównego zrealizowałam poprzez cele szczegółowe tj.:

- analizę uwarunkowań formalno - prawnych wariantowania przedsięwzięć budowlanych,
- identyfikację problemu wyboru wariantu inwestycji i umiejscowienie go w realiach uwarunkowań formalno-prawnych,
- analizę stanu wiedzy w zakresie stosowania metod analizy wielokryterialnej do oceny wariantów,
- rozpoznanie problemów związanych z zastosowaniem najpopularniejszych metod analizy wielokryterialnej przy ocenie wariantów inwestycji budowlanych,
- porównanie wyników analizy przeprowadzonej różnymi metodami i ich ocena,
- opracowanie autorskiej metody opartej na interpretacji graficznej wyników badań,
- opracowanie metody graficznej analizy wariantów opartej na teorii podobieństwa,
- implementacja komputerowa metody w formie autorskiego programu komputerowego ułatwiającego stosowanie metody w praktyce.

Przygotowanie i realizacja każdego przedsięwzięcia budowlanego wymaga opracowania wielu analiz, przeglądów i opinii. Im dokładniej i szerzej przeanalizujemy wszystkie aspekty planowanej inwestycji, tym mniej problemów przysporzy nam ona w kolejnych etapach. Wśród najczęściej przeprowadzanych analiz można wymienić: ocenę zasadności inwestowania, identyfikację możliwości realizacyjnych, ocenę ekonomicznej efektywności inwestycji, ocenę oddziaływania na środowisko, ocenę wrażliwości i ryzyka oraz opracowanie i analizę wariantów realizacji planowanej inwestycji budowlanej. Opracowanie alternatywnych koncepcji przedsięwzięcia jest procesem złożonym, a charakter wariantów narzucany jest często przez obowiązujące przepisy. Przykładem tego są wytyczne zawarte w przepisach dotyczących ochrony środowiska. Ustawa Prawo Ochrony Środowiska Dz.U. 2018 poz. 799, wymogi związane z finansowaniem inwestycji ze środków Unii Europejskiej (Rozporządzenie

Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 1303/2013 z dnia 17 grudnia 2013 r.) czy Ustawa z dnia 29 stycznia 2004r. Prawo zamówień publicznych. Wymienione i przeanalizowane w monografii akty prawne wskazują na konieczność opracowania kilku wariantów koncepcji projektowych na etapie przygotowania i planowania inwestycji. Ze względu na charakter obiektów budowlanych proces przygotowania opracowań wariantowych przebiega różnorodnie a zakres tych prac jest związany ze specyfiką inwestycji. Jednak zawsze konieczne jest przygotowanie wielu informacji i danych wejściowych, przeprowadzenia badań statystycznych lub ankietowych, między innymi w celu wykrycia potrzeb i obaw społeczności lokalnych.

Umieszczenie problemu w cyklu życia obiektu budowlanego przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Umieszczenie badanego problemu w cyklu życia przedsięwzięcia budowlanego.

Konstruowanie wariantów decyzyjnych, z których zostanie wybrane rozwiązanie najlepsze, wydaje się zadaniem stosunkowo oczywistym, chociaż pracochłonnym. Celem tego etapu jest szczegółowa ocena czynników, które w różny sposób wpływają na ostateczną decyzję, oraz ustalenie kilku realnych wariantów rozwiązania. Najtrudniejszym zadaniem jest ocena otrzymanych wyników i skutków realizacji rozwiązań alternatywnych. Każdy z rozpatrywanych wariantów powoduje zazwyczaj znaczną liczbę skutków, które można oceniać w różny sposób. Generalnie wyróżnia się skutki, które sprzyjają osiągnięciu celu - to korzyści, oraz te, które są niepożądane i pragniemy je wyeliminować - tzw. koszty. Istnieje również trzecia kategoria skutków jakimi są skutki zewnętrzne, mające niewielki wpływ na przebieg przedsięwzięcia. Skutki mogą być oceniane w wartościach mierzalnych oraz jako niemierzalne - nie wyrażane liczbowo lecz opisowo (np.: skutki społeczne określane jako bardzo korzystne, korzystne, obojętne, niekorzystne). Koszty podjęcia takiej czy innej decyzji mogą być rozważane zarówno jako nakłady związane z realizacją wybranego wariantu, ale również jako utracone korzyści lub niewykorzystane okazje. Oznacza to, że kosztem danego przedsięwzięcia jest również to co można było uzyskać, gdyby nie wybrano tego konkretnego wariantu.

Najczęściej nie można znaleźć jednego rozwiązania optymalnego. Często poszukuje się rozwiązania zadowalającego - czyli takiego, które w największym stopniu spełnia oczekiwania. W przypadku przedsięwzięć i inwestycji budowlanych jest to najczęściej wybór jednego z dopuszczalnych wariantów realizacji zadania. Ocena wariantów prawie zawsze wiąże się z uwzględnieniem wielu kryteriów, które muszą być spełnione przez każde alternatywne rozwiązanie.

W skomplikowanej sytuacji decyzyjnej, przy konieczności oceny wariantów z uwzględnieniem wielu kryteriów o różnym charakterze, przydatne okazują się metody analizy wielokryterialnej często stosowane w procesie oceny rozwiązań alternatywnych opracowanych rozwiązań projektowych.

Przegląd literatury

Zarówno w literaturze polskiej jak i zagranicznej możemy spotkać szereg przykładów stosowania metod analizy wielokryterialnej w budownictwie. Problem wyboru jednego z możliwych wariantów może dotyczyć przygotowania, realizacji i eksploatacji przedsięwzięć budowlanych. Pierwsze przytoczone tu przykłady dotyczą wyboru ofert oraz postępowania przetargowego. Autorzy artykułu z 2010 roku (Minasowicz, Kostrzewa 2010) przedstawiają szereg kryteriów charakteryzujących zarówno przyszłego wykonawcę jak i planowane przedsięwzięcie budowlane. Opisują możliwości budowy systemu eksperckiego mogącego wspomagać proces wyboru oferenta spełniającego warunki i założenia planowanego przedsięwzięcia budowlanego. Do opisu reguł systemu eksperckiego posłużono się metodą lingwistyczną definiowania wartości kryteriów a do oceny wykonawców i ofert użyto określeń: marginalne, średnie, duże i kluczowe. Ze względu na wagę problematyki ustalania kryteriów oceny ofert, wielu innych autorów poświęciło tej tematyce wiele uwagi. W pracach (Plebankiewicz, 2008; Kosecki, Plebankiewicz 2011) przedstawiono procedurę prekwifikacji jako metodę selekcji oferentów. Ustalone przez autorów kryteria mogą posłużyć jako baza danych wyjściowych do zastosowania wybranej metody analizy wielokryterialnej. Kolejni autorzy (Leśniak, Radziejowska 2017) przedstawiają możliwości zastosowania metod analizy hierarchicznej w procedurach przetargowych. W trakcie przygotowań do realizacji przedsięwzięć budowlanych pojawia się często problem współpracy partnerskiej. Literatura prezentuje wiele metod wspomagania decyzji o podjęciu relacji partnerskich w wykonawstwie (Radziszewska - Zielina 2014). Metodę rankingu wykonawców prezentuje Turskis w artykule z 2008 roku, a Ulubeyli, Manisali i Kazas w artykule z 2010 roku pokazują badania procedury wyboru podwykonawców przez wykonawców w ramach przedsięwzięć międzynarodowych. Większość badań potwierdza przydatność metod analizy wielokryterialnej jako narzędzi wspomagających proces decyzyjny w zakresie wyboru partnerów do współpracy w ramach

działalności budowlanej (Radziszewska – Zielina 2016; Jaśkowski, Biruk, Bucon 2010). Kolejne etapy procesu inwestycyjnego również wymagają podejmowania decyzji.

Podobnie jak przy wyborze ofert czy partnerów, przy realizacji kolejnych działań pojawia się problem wyboru. Wybór wariantów lokalizacji inwestycji jest przeprowadzany najczęściej przy planowaniu inwestycji oddziałujących na środowisko. W tym przypadku najczęściej są stosowane metody wagowo-punktowe z grupy metod MCDA i MADM (Szafranko 2017; Rybka, Bondar-Nowakowska, Połowski 2015). Przy ocenie wariantów technologicznych związanych z realizacją robót budowlanych stosowano metody z grupy analizy hierarchicznej AHP (Skorupka, Duchaczek 2010; Leśniak, Radziejowska 2017; Skibniewski, Chao 1992; Dziadosz 2008). Metodę AHP przy wyborze ofert stosowali również Leśniak, Radziejowska (2017) i Szafranko (2012). Podejście dwuetapowe do analizy planowanej inwestycji zastosowała min. Dziadosz (2008), opracowując schemat hierarchiczny oceny kosztów i korzyści związanych z planowaną inwestycją.

Szerokie możliwości do zastosowania metod analizy wielokryterialnej generują działania związane z realizacją robót budowlanych oraz z późniejszą eksploatacją obiektów budowlanych. Autorzy wielu artykułów pokazują przydatność tych metod do wspomaganie procesu projektowania realizacji robót budowlanych, a szczególnie wyboru technologii robót (Jaśkowski, Biruk 2018; Nowak, Skłodkowski 2016; Yazdani, i inni 2017; Brelak, Dachowski 2017), wyboru rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych (Sobotka 2016; Gicala, Sobotka 2017; Szafranko 2015), metod remontów, napraw i modernizacji (Radziszewska-Zielina, Śladowski 2017; Jaśkowski, Sobotka, Czarnigowska 2018; Turskis, i inni 2016). W większości przypadków autorzy prezentują możliwości wykorzystania procedur obliczeniowych, modeli matematycznych oraz założeń ogólnych do wspomaganie procesów decyzyjnych w budownictwie. Stosują również schematy postępowania i całe systemy, w których metoda wielokryterialna jest jednym z elementów procedury (Bucon Tomczak 2018; Bucon, Sobotka 2015). Przegląd literatury uzupełnia szereg publikacji odnoszących się do procesów decyzyjnych w budownictwie (Turskis, Daniūnas, Zavadskas, Medzvieckas 2016; Erdogan, Šaparauskas, Turskis 2017) oraz do metodyki badań z zastosowaniem metod analizy wielokryterialnej (Trzaskalik, Wachowicz 2017; Liang, Wang, Zhang 2017; Chattopadhyay, Rodriguez, 2018).

Stosowanie metod analizy wielokryterialnej do oceny wariantów w działalności inwestycjo-budowlanej nie jest pozbawione wad. Praktyczne zastosowanie metod wygląda nieco inaczej niż procedury teoretyczne. Postępowanie bywa często skomplikowane, proces przygotowania danych i współpraca z ekspertami z reguły przysparza wiele trudności (o czym nie piszą autorzy artykułów naukowych!). Metody zaawansowane matematycznie z reguły wzbudzają niechęć w środowisku inżynierskim. Ponadto czytelność rozwiązania oraz interpretacja wyników analiz wzbudza niejednokrotnie wątpliwości.

Możliwości zastosowania analizy wielokryterialnej – studium przypadku

Prowadząc wieloletnie badania zauważyłam brak w literaturze metod przyjaznych dla praktyki budowlanej, a zwłaszcza, takich które w przystępny sposób zilustrują wyniki analizy. Dlatego też w ramach swojej pracy badawczej podjęłam się opracowania metody graficznej w czytelny sposób przedstawiającej wyniki badania, jednocześnie pozwalającej na prześledzenie charakteru każdego z ocenianych wariantów - w inny sposób niż proponują to metody obliczeniowe. Proponowana w pracy metoda została przedstawiona na przykładzie analizy dwóch przypadków skomplikowanych inwestycji budowlanych. Proponowana metoda jest podejściem dotychczas nie stosowanym i stanowi wkład w rozwój metodyki oceny wariantów poszerzający osiągnięcia w podjętej tematyce.

Pierwszym obiektem objętym analizą jest obiekt zakwalifikowany jako służący ochronie środowiska – Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów. W związku z ustalonymi warunkami funkcjonowania obiektu niezwykle ważne okazały się podstawowe wymogi, jakie

powinna spełniać lokalizacja. W postępowaniu przygotowawczym ustalono pięć możliwych lokalizacji zakładu. W wyniku konsultacji z kilkoma grupami ekspertów ustalono ponad 20 kryteriów istotnych dla oceny wariantów lokalizacji inwestycji. Ze względu na ich liczbę pogrupowano je zgodnie z ich specyfiką na sześć grup kryteriów głównych, w których znalazło się od sześciu do trzech podkryteriów. Problem rozwiązano stosując metody skalaryzacji punktowej (Tabela 1, 2 i 3) oraz metodę analizy hierarchicznej (AHP). Wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiają Tabele 1, 2 i 3

Tabela.1. Zestawienie wartości wag dla kryteriów głównych i podkryteriów

Kryteria	Podkryteria	Wagi dla kryteriów głównych	Wagi podkryteriów	Wagi wypadkowe
A	A1	0,20	0,18	0,0360
	A2		0,18	0,0360
	A3		0,22	0,0440
	A4		0,16	0,0320
	A5		0,06	0,0120
	A6		0,20	0,0400
B	B1	0,10	0,11	0,0110
	B2		0,55	0,0550
	B3		0,34	0,0340
C	C1	0,25	0,45	0,1125
	C2		0,22	0,0550
	C3		0,33	0,0825
D	D1	0,15	0,11	0,0165
	D2		0,65	0,0975
	D3		0,24	0,0360
E	E1	0,20	0,66	0,1320
	E2		0,17	0,0340
	E3		0,17	0,0340
F	F1	0,10	0,56	0,0560
	F2		0,22	0,0220
	F3		0,22	0,0220

Tabela 2. Zestawienie wyników oceny wariantów metodą wagowo-punktową

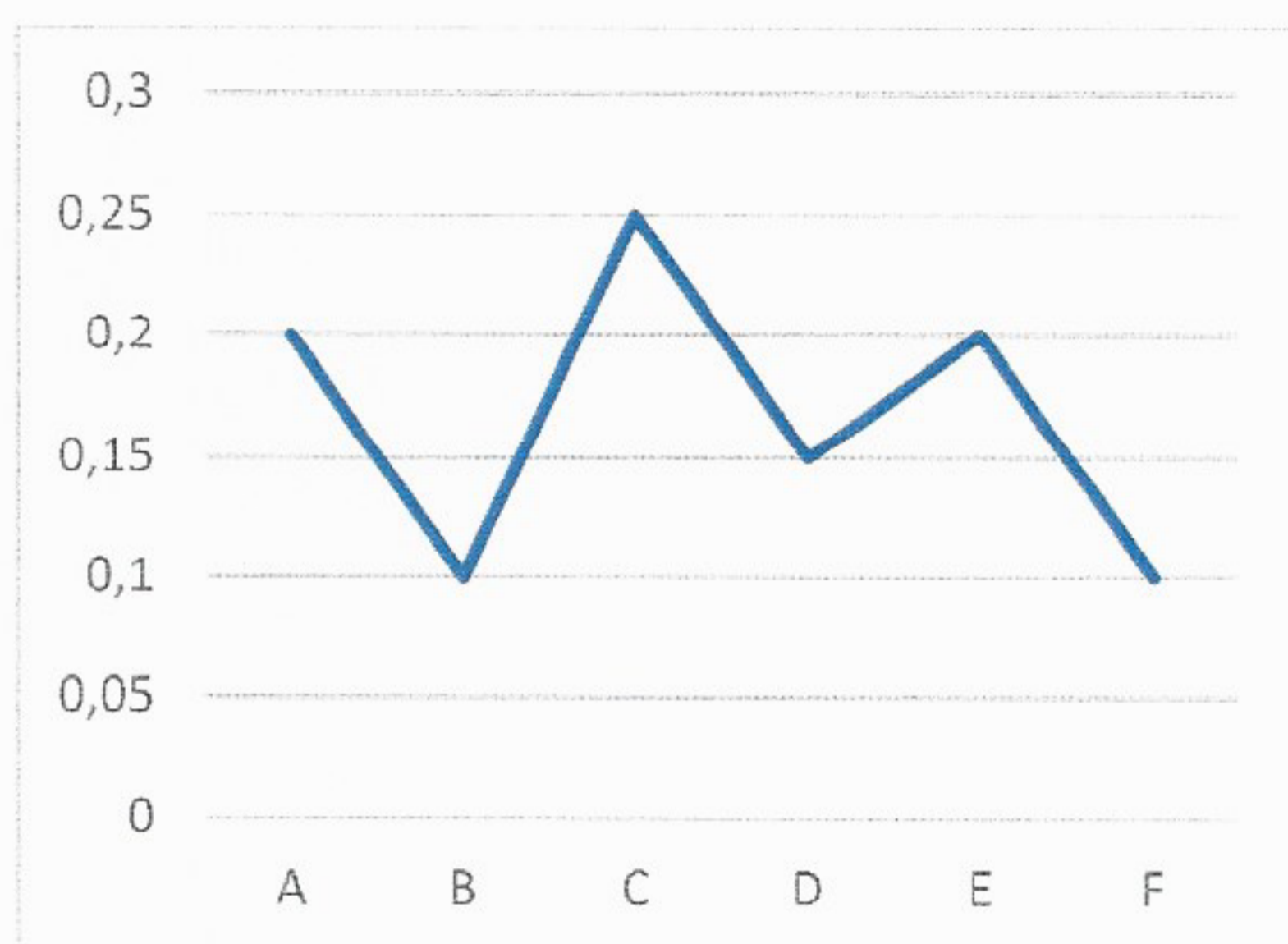
Kryteria	Podkryteria	Wagi wypadkowe	L1	L2	L3	L4	L5
A	A1	0,036	0,072	0,072	0,036	0,108	0,036
	A2	0,036	0,000	0,108	0,036	0,108	0,036
	A3	0,044	0,088	0,088	0,044	0,132	0,132
	A4	0,032	0,096	0,064	0,032	0,096	0,096
	A5	0,012	0,036	0,024	0,024	0,024	0,012
	A6	0,040	0,040	0,080	0,080	0,080	0,080
	razem	0,200	2,200	2,600	1,600	3,200	2,200
B	B1	0,011	0,033	0,011	0,022	0,033	0,033
	B2	0,055	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165
	B3	0,034	0,068	0,068	0,000	0,102	0,068
	razem	0,100	0,800	0,600	0,500	0,900	0,800
C	C1	0,113	0,225	0,225	0,225	0,338	0,338
	C2	0,055	0,165	0,110	0,165	0,165	0,165
	C3	0,083	0,165	0,248	0,165	0,248	0,248
	razem	0,250	1,750	1,750	1,750	2,250	2,250
D	D1	0,017	0,050	0,017	0,033	0,033	0,017
	D2	0,098	0,195	0,195	0,098	0,293	0,195
	D3	0,036	0,072	0,072	0,072	0,000	0,108
	razem	0,150	1,050	0,750	0,750	0,750	0,900
E	E1	0,132	0,132	0,396	0,264	0,396	0,132
	E2	0,034	0,034	0,034	0,068	0,102	0,034
	E3	0,034	0,034	0,068	0,068	0,102	0,034
	razem	0,200	0,600	1,200	1,200	1,800	0,600
F	F1	0,056	0,056	0,112	0,056	0,112	0,112
	F2	0,022	0,044	0,044	0,044	0,066	0,066
	F3	0,022	0,066	0,044	0,022	0,066	0,022
	razem	0,100	0,600	0,600	0,400	0,800	0,600
Razem			7,000	7,500	6,200	9,700	7,350

Tabela 3. Ranking wariantów.

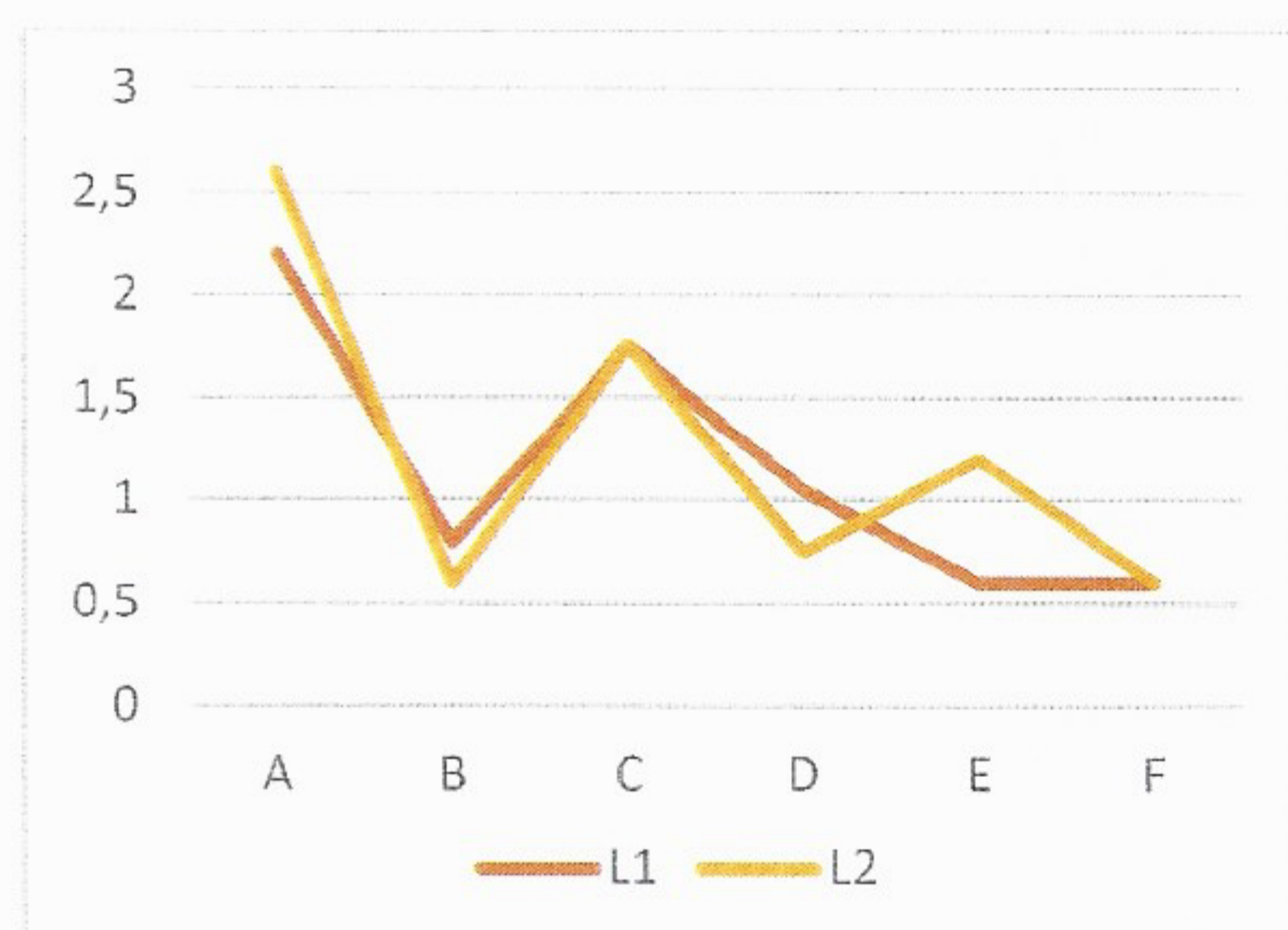
Miejsce w rankingu	1	2	3	4	5
Wariant lokalizacji (metoda punktowo – wagowa)	L4	L2	L5	L1	L3
Wariant lokalizacji (metoda punktowa)	L4	L2 i L5	-	L1	L3

Wyniki analizy przeprowadzonej tymi metodami okazały się zbieżne. W niektórych przypadkach okazuje się, że wprowadzenie wag nie jest uzasadnione i nie wpływa na końcowy wynik. Dzieje się tak najczęściej w przypadku dużej liczby kryteriów a co za tym idzie przy rozdrobnieniu wartości przypisywanym czynnikom oceny, a taka sytuacja miała miejsce w rozpatrywanym przykładzie. Można zauważyć, że pomimo prostoty stosowanych metod wynik może być trudny do zinterpretowania. Ostateczna ocena wynika z sumowania punktów przypisywanych w ocenach cząstkowych i trudno jest ocenić co ma wpływ na końcową lepszą lub gorszą ocenę.

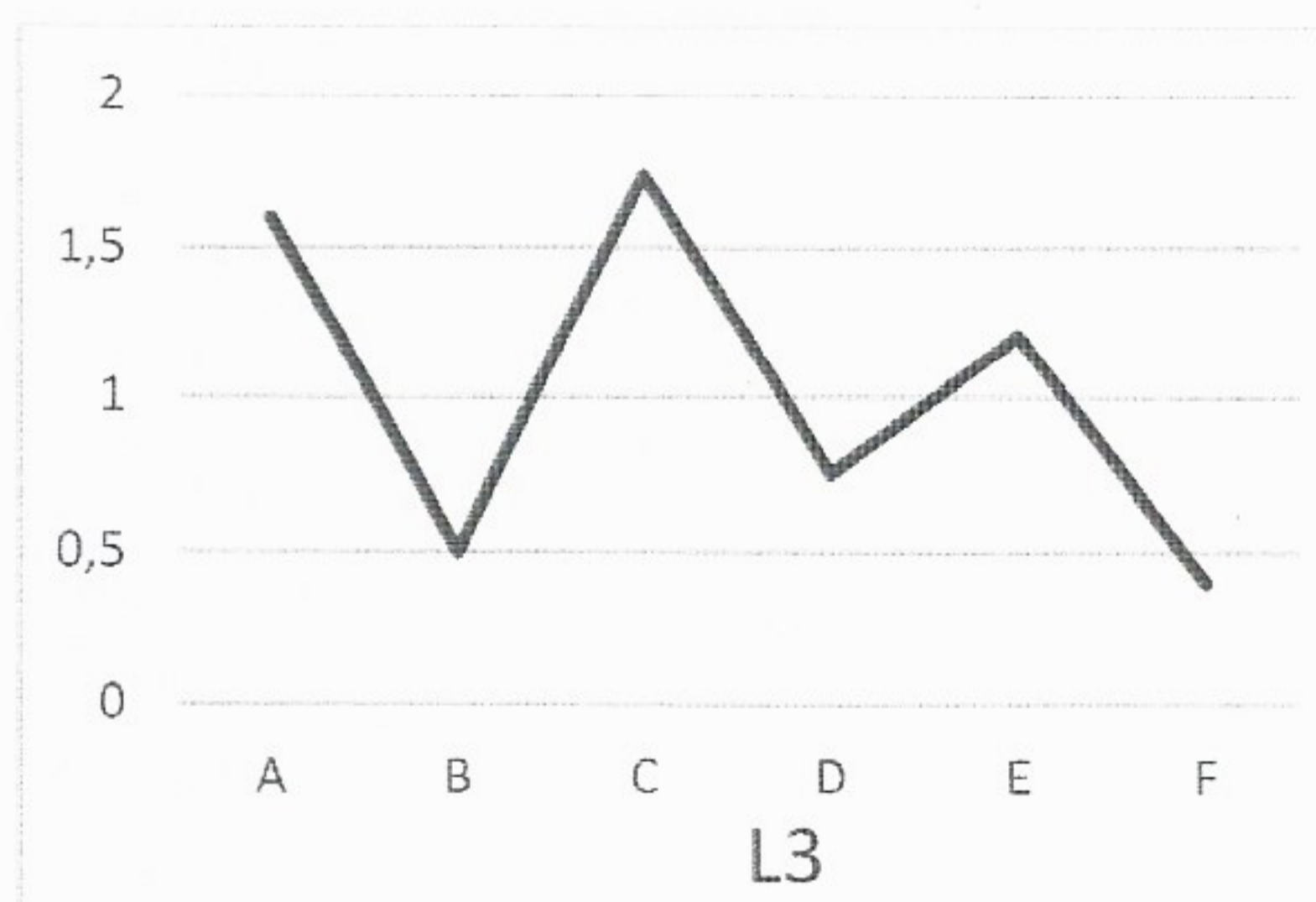
Ażeby przeanalizować charakter rozpatrywanych wariantów, przedstawiłam w sposób graficzny ich oceny. Do porównania wariantów lokalizacji inwestycji zastosowałam metodę opierającą się na wykresie liniowym pokazującym trendy, przy istniejącym zbiorze wielu punktów i istotnej kolejności danych. Sporządzono wykresy – profile dla wartości opisujących stopień spełnienia poszczególnych kryteriów przez oceniane warianty (oceny ważone dla kryteriów głównych) i porównano je z szablonem jakim jest graficzna ilustracja wag przypisanych kryteriom. Wykres na rys. 2 pokazuje szablon jakim jest wykres wartości wag przypisanych kryteriom głównym, a rys. 3-5 pokazują wykresy ilustrujące profile wariantów opracowane przez autorkę.



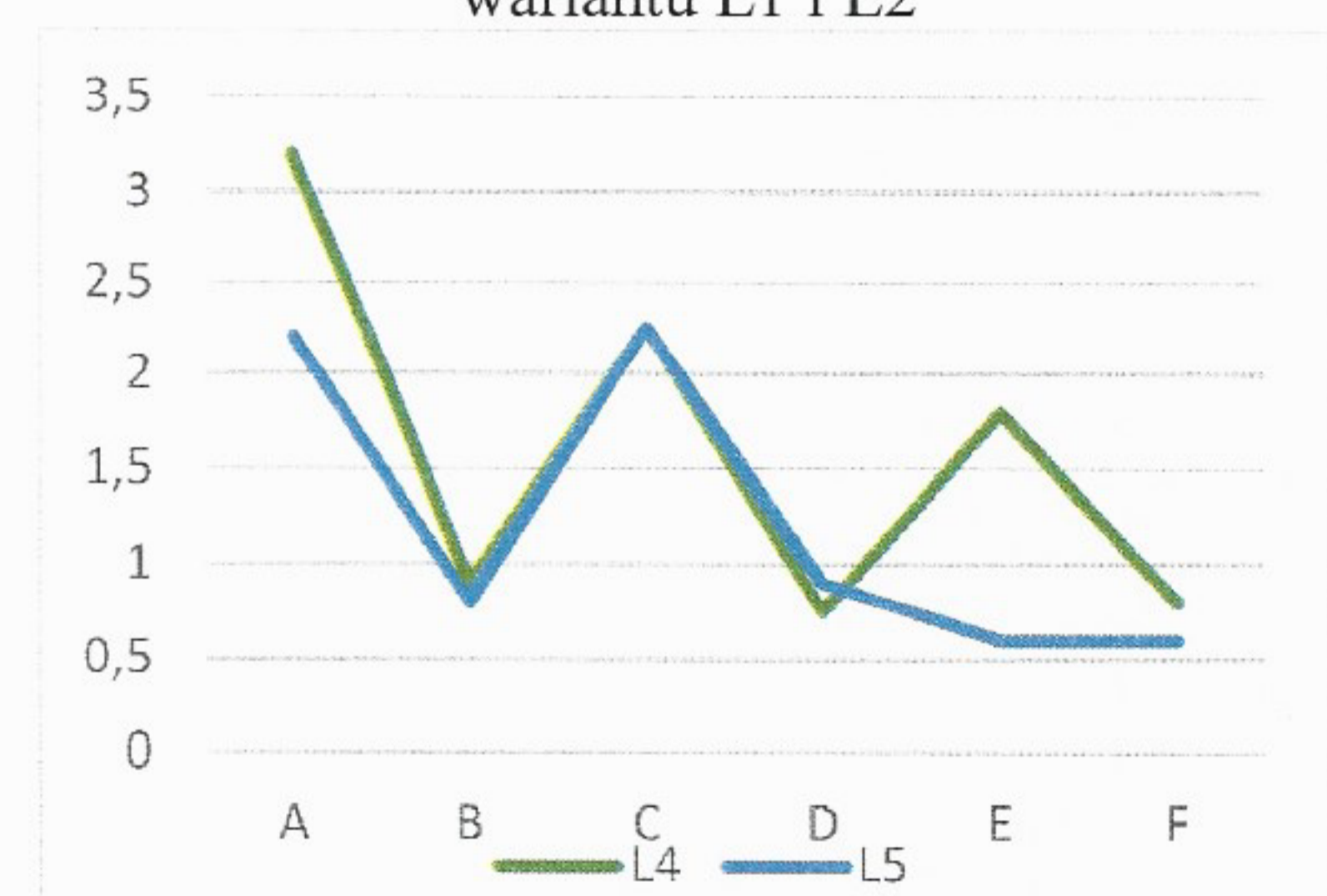
Rys. 2. Profil kryteriów głównych



Rys. 3. Ilustracja graficzna wyników oceny wariantu L1 i L2



Rys. 4. Ilustracja graficzna wyników oceny wariantu L3



Rys. 5. Ilustracja graficzna wyników oceny wariantu L4 i L5

Kształt otrzymanych wykresów łatwo porównać. Diagramy przedstawione na rysunkach pokazują dużą zbieżność profili wariantów z szablonem kryteriów. Nieznaczne odstępstwo od kształtu wykresu pokazującego profil kryteriów głównych daje się zauważyć w przypadku wariantu lokalizacji L1 i L5, pomimo że ten ostatni został dość wysoko oceniony. Analiza graficzna wyników pozawala zastanowić się co tak naprawdę decyduje o wyborze najlepszego wariantu. Problem ten jest rozpatrywany w kolejnych rozdziałach monografii.

Dla porównania przeprowadzono analizę opisanych wcześniej wariantów metodą analizy hierarchicznej. Wyniki oceny przeprowadzonej przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Wyniki oceny wariantów inwestycji przeprowadzonej metodą AHP

warianty lokalizacji	A	wektor prioryt. A	ocena w aspekcie kryterium A	B	wektor prioryt. B	ocena w aspekcie kryterium B	warianty lokalizacji
L1	0,1399	0,2046	0,0286	0,3341	0,0800	0,0267	L1
L2	0,2009	0,2046	0,0411	0,1254	0,0800	0,0100	L2
L3	0,0678	0,2046	0,0139	0,0774	0,0800	0,0062	L3
L4	0,4692	0,2046	0,0960	0,2190	0,0800	0,0175	L4
L5	0,1223	0,2046	0,0250	0,2441	0,0800	0,0195	L5
warianty lokalizacji	C	wektor prioryt. C	ocena w aspekcie kryterium C	D	wektor prioryt. D	ocena w aspekcie kryterium D	warianty lokalizacji
L1	0,0811	0,3379	0,0274	0,3762	0,1197	0,0450	L1
L2	0,0904	0,3379	0,0305	0,1725	0,1197	0,0206	L2
L3	0,0904	0,3379	0,0305	0,1136	0,1197	0,0136	L3
L4	0,3327	0,3379	0,1124	0,1136	0,1197	0,0136	L4
L5	0,4054	0,3379	0,1370	0,2240	0,1197	0,0268	L5
warianty lokalizacji	E	wektor prioryt. E	ocena w aspekcie kryterium E	F	wektor prioryt. F	ocena w aspekcie kryterium F	ocena końcowa
L1	0,0737	0,1907	0,0140	0,1451	0,0671	0,0097	0,1515
L2	0,1952	0,1907	0,0372	0,1451	0,0671	0,0097	0,1493
L3	0,1952	0,1907	0,0372	0,0742	0,0671	0,0050	0,1064
L4	0,4624	0,1907	0,0882	0,4777	0,0671	0,0320	0,3598
L5	0,0737	0,1907	0,0140	0,1580	0,0671	0,0106	0,2330

W wyniku oceny metodą AHP ustalono następujący ranking wariantów:

L4 – L5 – L1 – L2 – L3.

Najlepszym (z dużą przewagą punktową) okazał się wariant 4, na drugim miejscu znajduje się wariant 5, a 1 i 2 są porównywalne. Najsłabiej spełniającym określone wymogi okazał się wariant 3. Porównując wynik analizy przeprowadzonej metodą AHP z efektem uzyskanym metodami skalaryzacji możemy stwierdzić, że najlepszym w wyniku oceny wszystkimi metodami okazał się wariant L4 a najslabszym L3.

Jako drugi ciekawy przypadek wymagający analizy wariantów przedstawiono problem wyboru wariantów dla projektowanego odcinka drogi. Obiekty tego typu, ze względu na charakter liniowy i nietypowe jak dla obiektów budowlanych rozmiary, generują szereg specyficznych problemów. Przekładają się one na charakterystyczne dla inwestycji transportowych kryteria oceny. Dla rozpatrywanego przedsięwzięcia budowlanego opracowano trzy warianty. Na podstawie analiz projektów realizowanych w regionie o wysokich walorach przyrodniczych oraz opinii ekspertów określono, że najczęściej brane pod uwagę przy opracowaniu tego typu przedsięwzięć są cztery grupy kryteriów. W każdej grupie wyszczególniono najczęściej powtarzające się podkryteria (kryteria cząstkowe).

Wyniki analizy metodami skalaryzacji punktowej i wagowo punktowej przedstawiają tabele 5 – 8.

Tabela 5. Ocena wariantów metodą punktową

Lp.	Kryteria oceny	Symbol kryterium	Ocena punktowa		
			W1	W2	W3
1	A1 – praca przewozowa	A1	1	2	5
2	A2 – czas przewozów	A2	1	3	4
3	A3 – długość drogi w km	A3	2	2	3
4	A4 - eksploatacja pojazdów	A4	1	3	4
5	B1 – koszt budowy drogi	B1	1	5	3
6	B2 – koszt wykupu terenu	B2	1	4	2
7	B3 – koszty odszkodowań	B3	2	3	2
8	C1 – naruszenie obszarów chronionych	C1	5	2	2
9	C2 – długość przebiegu tras przez obszary leśne	C2	5	3	3
10	C3 – liczba drzew do wycięcia	C3	3	1	2
11	C4 – przecięcie szlaków wędrówek zwierząt	C4	2	3	3
12	C5 – przecięcie cieków wodnych	C5	3	2	3
13	D1 – liczba budynków do wyburzenia	D1	3	2	2
14	D2 – liczba budynków w odległości 0-50m	D2	2	5	3
15	D3 – liczba budynków w odległości 50-100m	D3	3	4	3
16	D4 – powierzchnia gruntów do wywłaszczenia	D4	3	5	1
17	D5 – kolizje z planowanym zagospodarowaniem przestrzennym	D5	2	5	3
	Suma punktów uzyskanych w ocenie punktowej		40	54	48

Tabela 6. Ocena wariantów metodą wagowo-punktową z zastosowaniem wag ustalonych pierwszym sposobem

Lp.	Kryteria oceny	Symbol kryterium	Wagi ustalone metodą 1	Ocena z wagą 1		
				W1	W2	W3
1	A1 – praca przewozowa	A1	0,001	0,001	0,002	0,005
2	A2 – czas przewozów	A2	0,001	0,001	0,003	0,004
3	A3 – długość drogi w km	A3	0,002	0,004	0,004	0,006
4	A4 - eksploatacja pojazdów	A4	0,001	0,001	0,003	0,004
5	B1 – koszt budowy drogi	B1	0,12	0,12	0,6	0,36
6	B2 – koszt wykupu terenu	B2	0,07	0,07	0,28	0,14
7	B3 – koszty odszkodowań	B3	0,05	0,1	0,15	0,1
8	C1 – naruszenie obszarów chronionych	C1	0,22	1,1	0,44	0,44
9	C2 – długość przebiegu tras przez obszary leśne	C2	0,15	0,75	0,45	0,45
10	C3 – ilość drzew do wycięcia	C3	0,11	0,33	0,11	0,22
11	C4 – przecięcie szlaków wędrówek zwierząt	C4	0,1	0,2	0,3	0,3
12	C5 – przecięcie cieków wodnych	C5	0,08	0,24	0,16	0,24
13	D1 – liczba budynków do wyburzenia	D1	0,03	0,09	0,06	0,06
14	D2 – liczba budynków w odległości 0-50m	D2	0,04	0,08	0,2	0,12
15	D3 – liczba budynków w odległości 50-100m	D3	0,01	0,03	0,04	0,03
16	D4 – powierzchnia gruntów do wywłaszczenia	D4	0,008	0,024	0,04	0,008
17	D5 – kolizje z planowanym zagosp. Przestrz.	D5	0,007	0,014	0,035	0,021
	Suma ocen		1	3,155	2,877	2,508

Tabela 7. Ocena wariantów metodą wagowo-punktową z zastosowaniem wag ustalonych pierwszym sposobem

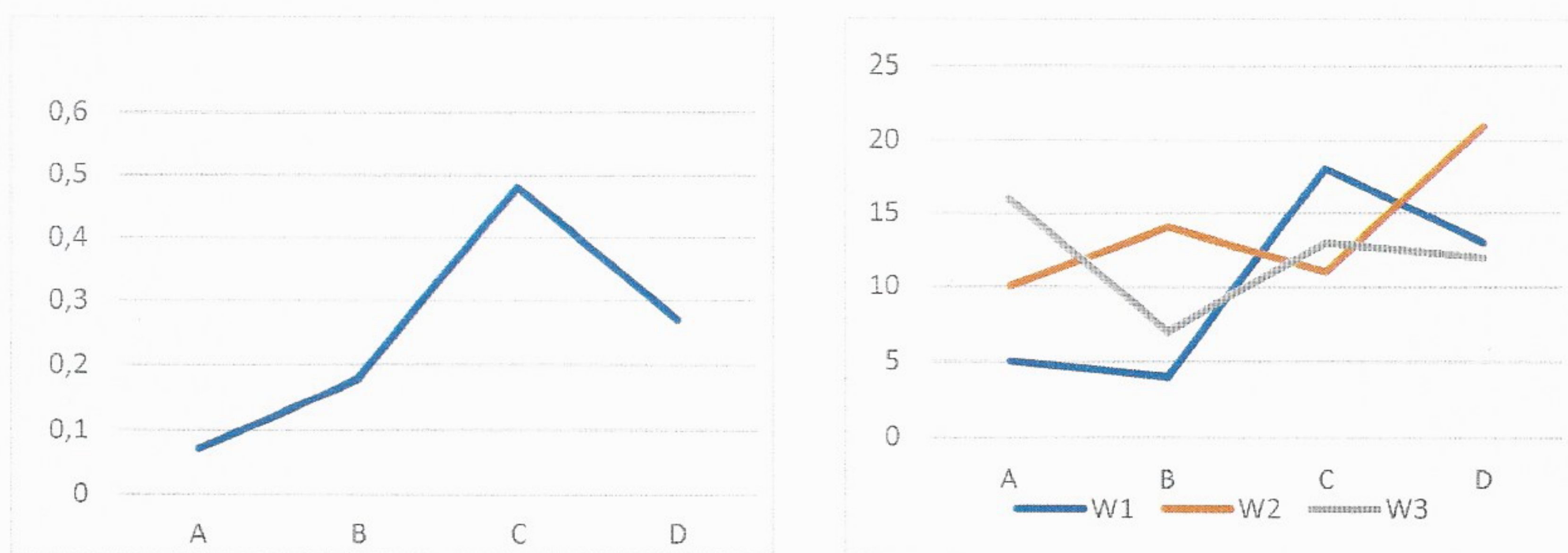
Lp.	Kryteria oceny	Symbol kryterium	Wagi ustalone metodą 2	ocena z wagą 2		
				W1	W2	W3
1	A1 – praca przewozowa	A1	0,0154	0,0154	0,0308	0,077
2	A2 – czas przewozów	A2	0,0189	0,0189	0,0567	0,0756
3	A3 – długość drogi w km	A3	0,021	0,042	0,042	0,063
4	A4 - eksploatacja pojazdów	A4	0,0147	0,0147	0,0441	0,0588
5	B1 – koszt budowy drogi	B1	0,117	0,117	0,585	0,351
6	B2 – koszt wykupu terenu	B2	0,0306	0,0306	0,1224	0,0612
7	B3 – koszty odszkodowań	B3	0,0324	0,0648	0,0972	0,0648
8	C1 – naruszenie obszarów chronionych	C1	0,1536	0,768	0,3072	0,3072
9	C2 – długość przebiegu tras przez obszary leśne	C2	0,1344	0,672	0,4032	0,4032
10	C3 – ilość drzew do wycięcia	C3	0,0816	0,2448	0,0816	0,1632
11	C4 – przecięcie szlaków wędrówek zwierząt	C4	0,0528	0,1056	0,1584	0,1584
12	C5 – przecięcie cieków wodnych	C5	0,0576	0,1728	0,1152	0,1728
13	D1 – liczba budynków do wyburzenia	D1	0,1134	0,3402	0,2268	0,2268
14	D2 – liczba budynków w odległości 0-50m	D2	0,1026	0,2052	0,513	0,3078
15	D3 – liczba budynków w odległości 50-100m	D3	0,0216	0,0648	0,0864	0,0648
16	D4 – powierzchnia gruntów do wywłaszczenia	D4	0,0027	0,0081	0,0135	0,0027
17	D5 – kolizje z planowanym zagosp. przestrzennym	D5	0,0297	0,0594	0,1485	0,0891
Suma ocen				2,9443	3,032	2,6474

Analizując wyniki przeprowadzonych obliczeń można zauważyć, że ocena metodą punktową nie daje miarodajnych wyników. W wyniku oceny z zastosowaniem wag określonych sposobem 2 najwyższą ocenę uzyskał wariant nr 2 a najslabiej został oceniony wariant 1, który w najwyższym stopniu spełniał kryteria środowiskowe, jednak w przypadku spełnienia pozostałych czynników nie uzyskał wysokich ocen. W metodzie skalaryzacji wagowo-punktowej wariant W1 jest wyżej oceniony. W celu dokładniejszej analizy wyników wykonano zestawienie spełnienia kryteriów głównych.

Tabela.8. Zestawienie oceny wariantów – kryteria główne

Kryteria główne	wagi	Ocena wariantów		
		W1	W2	W3
A	0,07	5	10	16
B	0,18	4	14	7
C	0,48	18	11	13
D	0,27	13	21	12

W celu zbadania rozbieżności, przygotowano ilustrację graficzną wyników pokazującą rozkład wartości kryteriów przedstawiony w określonej kolejności. Do porównania wariantów lokalizacji inwestycji, posłużono się tą samą metodą jak w pierwszym przypadku. Wykonano wykresy dla wartości opisujących stopień spełnienia poszczególnych kryteriów dla analizowanych wariantów - profile i porównano je z szablonem, jakim jest graficzna ilustracja wag przypisanym kryteriom głównym. Ilustracja graficzna (rys. 6.) pokazuje, że najbardziej zbliżony z wymogami określonymi przy określaniu ważności kryteriów oceny jest wariant 1, pomimo tego, że nie uzyskał on najwyższej oceny.



a)

b)

Rys. 6. Graficzna interpretacja rozkładu wartości kryteriów głównych – szablon (a) oraz profile analizowanych wariantów (b).

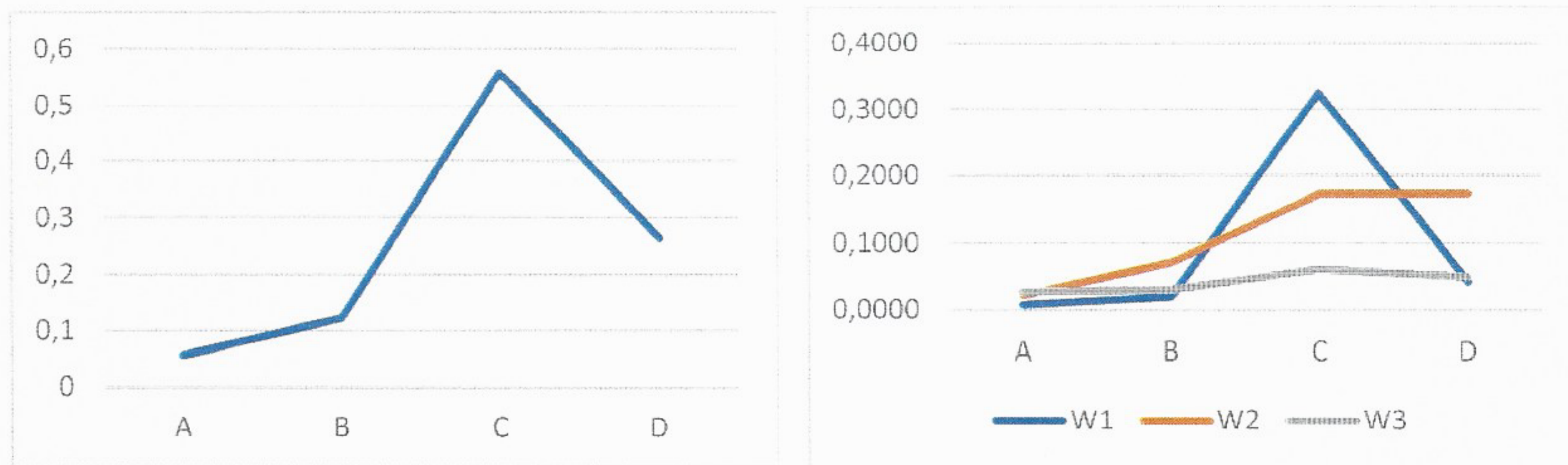
Przykład drugi został również przeanalizowany metodą analizy hierarchicznej AHP wyniki zestawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Obliczenia wektora wypadkowego oceny

Kryteria	Wektor priorytetów dla kryteriów głównych	Wektory priorytetów dla wariantów	Wektor wypadkowy oceny
Wariant 1			
A	0,0569	0,1339	0,0076
B	0,1219	0,1593	0,0194
C	0,5579	0,5813	0,3243
D	0,2633	0,1578	0,0416
		suma	0,3929
Wariant 2			
A	0,0569	0,3839	0,0218
B	0,1219	0,5889	0,0718
C	0,5579	0,3092	0,1725
D	0,2633	0,6560	0,1728
		suma	0,4389
Wariant 3			
A	0,0569	0,4822	0,0274
B	0,1219	0,2519	0,0307
C	0,5579	0,1096	0,0611
D	0,2633	0,1867	0,0492
		suma	0,1684

Na uwagę zasługuje fakt, że wariant 2 który uzyskał najwyższą ocenę nie spełnia w najwyższym stopniu kryterium C – środowiskowego, które jest priorytetowe dla tej inwestycji.

Podobnie jak w poprzednich przypadkach dla porównania wariantów wykonano diagram nazwany szablonem kryteriów oraz wykresy przedstawiające profile wariantów inwestycji. (rys.7).



a)

b)

Rys. 7. Ilustracja graficzna szablonu kryteriów (a) i profili wariantów (b) analizowanej inwestycji.

Porównanie kształtu wykresów pozwala wywnioskować, że najbardziej zbliżony z wymogami określonymi przez ekspertów ustalających ważność kryteriów jest wariant 1. Pomimo, że nie uzyskał maksymalnej punktacji w końcowej ocenie, to stopień spełnienia wszystkich analizowanych wymogów utrzymuje się na poziomie zgodnym z założonymi na poziomie przypisywania wag kryteriom oceny.

Ocena drugiego wariantu inwestycji wskazała na inne aspekty analiz wykonywanych metodami wielokryterialnymi. Poza tym, że podobnie jak w pierwszym przypadku obliczenia mogą być nie dla wszystkich zainteresowanych czytelne a odnalezienie informacji o rozwiązaniu bywa trudne, analiza wyników wykazała rozbieżności pomiędzy wariantami najwyżej ocenionym a oczekiwaniem spełnienia w najwyższym stopniu kryteriów priorytetowych. W przypadku inwestycji drogowej duże znaczenie nadano kryteriom środowiskowym, ale w wyniku sumowania punktów przypisanych za spełnienie pozostałych kryteriów wyższą ocenę uzyskał wariant nie spełniający pod tym względem maksymalnie oczekiwań. Rozbieżność pomiędzy ważnością kryteriów a ich spełnieniem przez analizowane warianty daje się zauważyć na ilustracjach graficznych.

Spostrzeżenia poczynione w trakcie wieloletnich badań przedstawione w monografii doprowadziły do sformułowania następujących wniosków:

- W metodach stosowanych powszechnie końcowy ranking wariantów jest konstruowany na podstawie sumy ocen punktowych. Może to prowadzić do wyboru wariantów, które w równym stopniu spełniają wszystkie kryteria, ale żadnego na poziomie maksymalnym.
- Wariant najwyżej oceniony może nie spełniać wymogów najważniejszych zdefiniowanych jako kryteria wiodące. Metody wielokryterialne wydają się w niektórych przypadkach nieefektywne i rozwiązania wskazane jako optymalne mogą nie spełniać istotnych oczekiwań.
- Metody matematyczne są niezbyt chętnie stosowane ze względu na mało zachęcającą formę przedstawiania wyników analizy. Rozbudowane tablice z rzędami wartości nie wzbudzają entuzjazmu inwestorów oraz instytucji zainteresowanych wynikami analizy.
- Próba analizy wyników oparta na graficznym przedstawieniu problemu spotkała się z dużą życzliwością i zainteresowaniem w środowisku inżynierskim, a porównanie graficzne profili wariantów z szablonem kryteriów pozwala wskazać wariant najbardziej zbliżony do oczekiwań określonych na wstępie przez grono ekspertów.

Rozważania nad problemami jakie stwarza analiza wielokryterialna doprowadziły do opracowania metody oceny graficznej uzupełniającej obliczenia i eliminującej wyżej wskazane niedoskonałości.

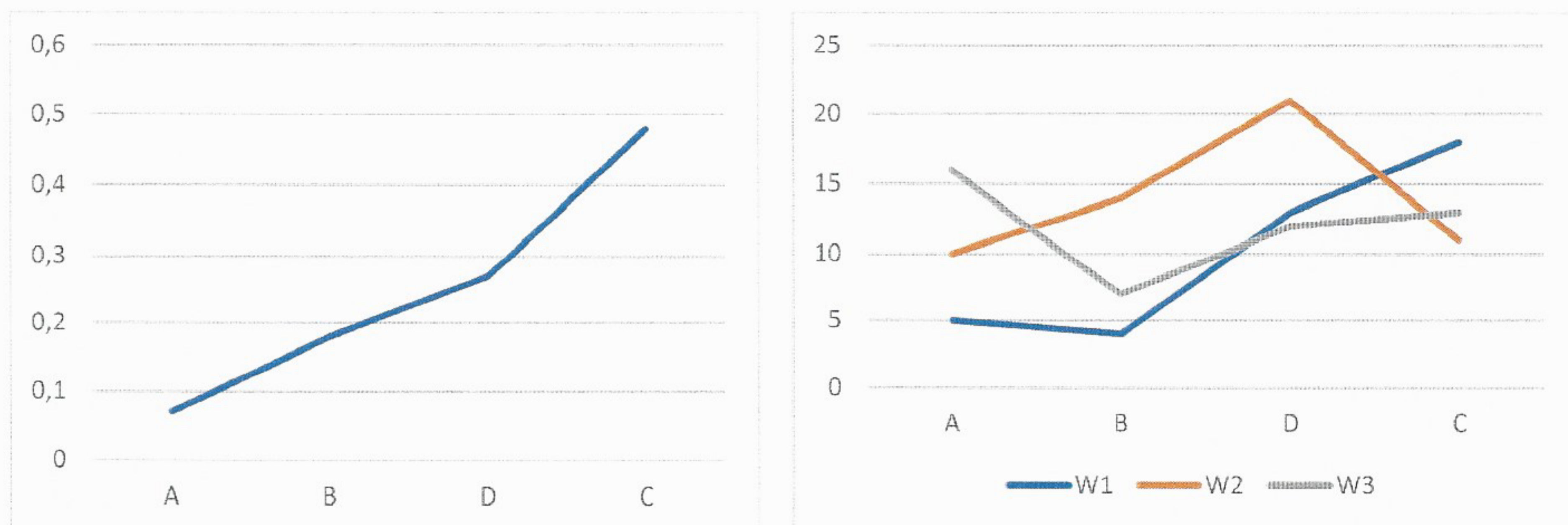
Metodyka proponowana przez autorkę w monografii

Konieczność przeprowadzenia analiz wielokryterialnych do oceny wariantów inwestycji budowlanych generuje wiele problemów. Poza często skomplikowanym procesem przygotowania obliczeń oraz w niektórych metodach, zaawansowanym procesem matematycznym, wyniki obliczeń są nierzadko trudne do odczytania dla osób zainteresowanych wynikiem porównania. Ponadto metody wielokryterialne wydają się w niektórych przypadkach nieefektywne i rozwiązania wskazane jako optymalne mogą nie spełniać istotnych oczekiwań.

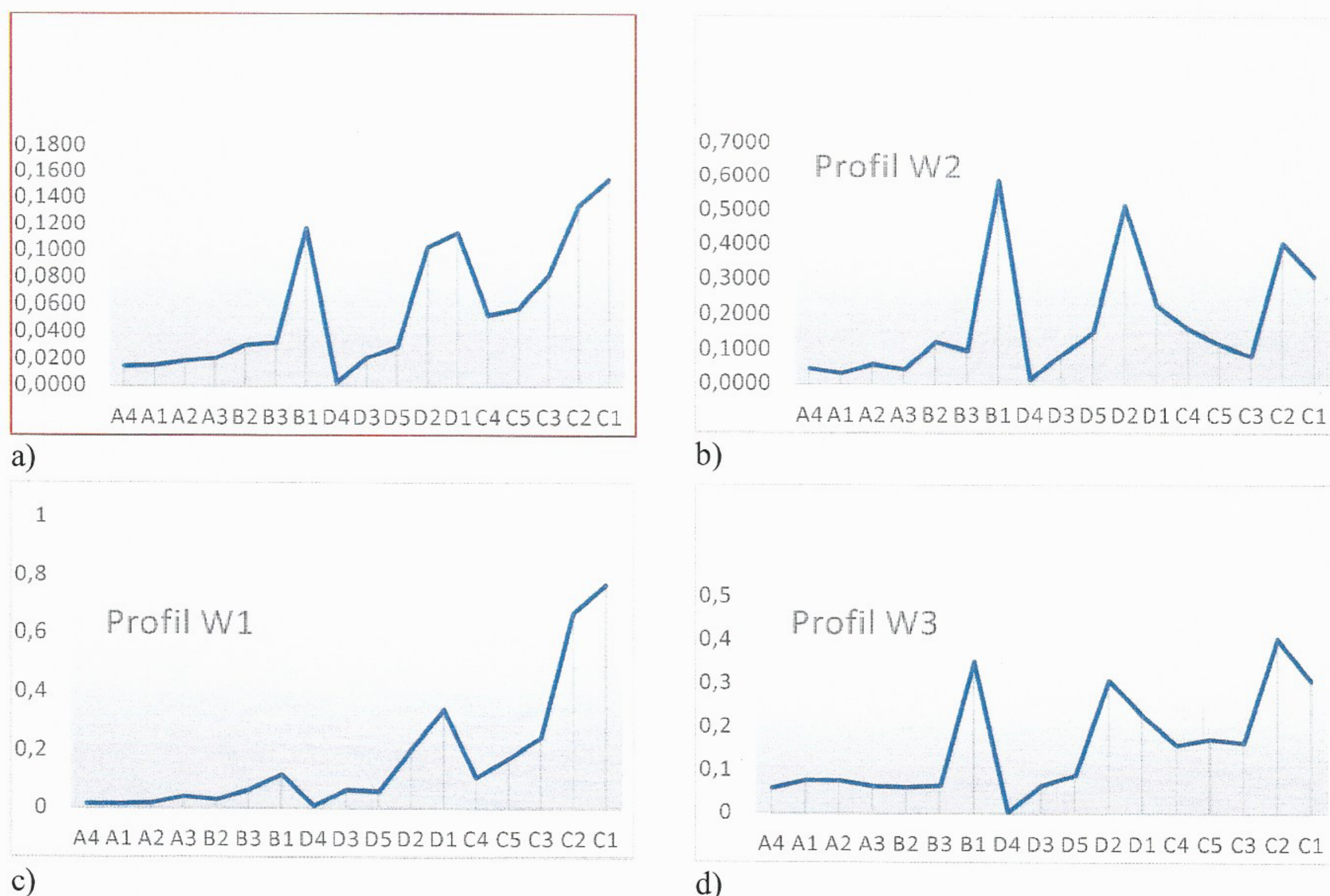
W celu wyeliminowania tych problemów, autorka zaproponowała w swoich badaniach oryginalną metodę graficznej oceny wariantów.

Aby zastosować metodę, należy w pierwszej kolejności uporządkować kryteria zgodnie z rosnącą wartością wag. Tak samo należy postąpić z podkryteriami w ramach każdej grupy kryteriów głównych. Tak uporządkowane kryteria oceny pozwalają wygenerować szablon kryteriów dla badanej inwestycji. W takim samym porządku jak dla szablonu szereguje się oceny spełnienia wszystkich kryteriów dla wszystkich rozpatrywanych wariantów, a interpretacja graficzna obrazuje profil wariantu. Porównanie kształtu szablonu i wszystkich profili pozwala dobrać wariant o profilu najbardziej zbliżonym do szablonu i jest to wariant w najwyższym stopniu spełniający oczekiwania stawiane przed planowanym do realizacji przedsięwzięciem budowlanym.

Rysunek 8 pokazuje przykładowy szablon kryteriów głównych i profile analizowanych wariantów. Na rysunku 9 przedstawiono szablon podkryteriów i odpowiednio przygotowane profile analizowanych wariantów.



Rys. 8. Ilustracja graficzna szablonu głównych (a) i profili wariantów (b) analizowanej inwestycji.



Rys. 9. Ilustracja graficzna szablonu podkryteriów (a) i profili wariantów (b, c, d) analizowanej inwestycji.

Porównanie diagramów ilustrujących szablony kryteriów i profile ocenianych wariantów pozwala dobrać rozwiązania najbardziej pasujące kształtem. Daje się zauważyć, że porównanie poprzez obserwację optyczną szablonu kryteriów głównych jest stosunkowo proste to jednak taka metoda porównania kształtu wykresów uwzględniająca większą grupę podkryteriów może wzbudzać wątpliwości. W tym przypadku trudno jest zdecydować, który z profili jest bardziej zbliżony z szablonem. Dlatego też dla usprawnienia procesu oceny zaproponowałam teorię podobieństwa prowadzącą w końcowym etapie do przygotowania aplikacji komputerowej wspomagającej proces decyzyjny.

Punktem wyjścia do rozważań teoretycznych jest definicja odległości między określonymi punktami na wykresie stanowiącym szablony i profile wariantów. Program oparto na kilku koncepcjach uwzględniających elementy geometryczne analizy. Definiują one różne metryki odległości między dwoma zbiorami punktów (wg różnych definicji) oraz miary podobieństwa opisane za pomocą funkcji liniowych i nieliniowych. Teorię oparto na definicji odległości wg koncepcji "Manhattan" i "Canberra", „Euklidesa”, „Minkowskiego i Czebyszewa”.

Najprostszą formą funkcji podobieństwa jest jej liniowa postać o następującej definicji:

$$f(d) = \alpha - \beta d,$$

gdzie α i β są predefiniowanymi stałymi. W większości przypadków α przyjmuje wartość 1,0 a β normalizuje argument d funkcji f , np. w następujący sposób:

$$\beta = \frac{1}{\max_i(d(x_i, y_i))}.$$

Nieliniowe relacje między metrykami odległości i miarami podobieństwa są bardziej złożone (Tran, Srokosz 2010), ale w praktycznych zastosowaniach najbardziej przydatne są ich najprostsze postaci, np.:

$$f(d) = \frac{\alpha}{\beta + \delta d^\gamma} \quad ,$$

$$f(d) = e^{-\alpha d} \quad ,$$

gdzie α , β , δ i γ są predefiniowanymi stałymi. Należy podkreślić fakt, że spełnienie zależności jest dla relacji nieliniowych trudniejsze niż w przypadku funkcji liniowych, ale tę niedogodność można w prosty sposób usunąć wprowadzając do analiz pojęcie podobieństwa referencyjnego f_{ref} .

$$\bar{f}(d) = \frac{f(d) - f_{ref}}{1.0 - f_{ref}} \quad ,$$

gdzie f_{ref} reprezentuje największą możliwą odmiennosć pomiędzy sztucznie wygenerowanym zbiorem X_{ref} i analizowanym zbiorem X . Należy zauważyć, że porównywane zbiory również można znormalizować liniowo (co jest ogólnie zalecaną procedurą):

$$\bar{x}_i = \lambda x_i + \mu \quad ,$$

$$\bar{y}_i = \lambda y_i + \mu \quad ,$$

gdzie λ i μ są współczynnikami skalującymi, które wyznacza się na podstawie analizy wartości ekstremalnych, występujących w zbiorze X i/lub Y , zależnie od tego, w którym zbiorze wystąpią stosowne ekstrema. Wyznaczoną parą wartości λ i μ skaluje się wszystkie elementy obu zbiorów w następujący sposób:

$$\lambda = \frac{1}{c_{\max} - c_{\min}} \quad ,$$

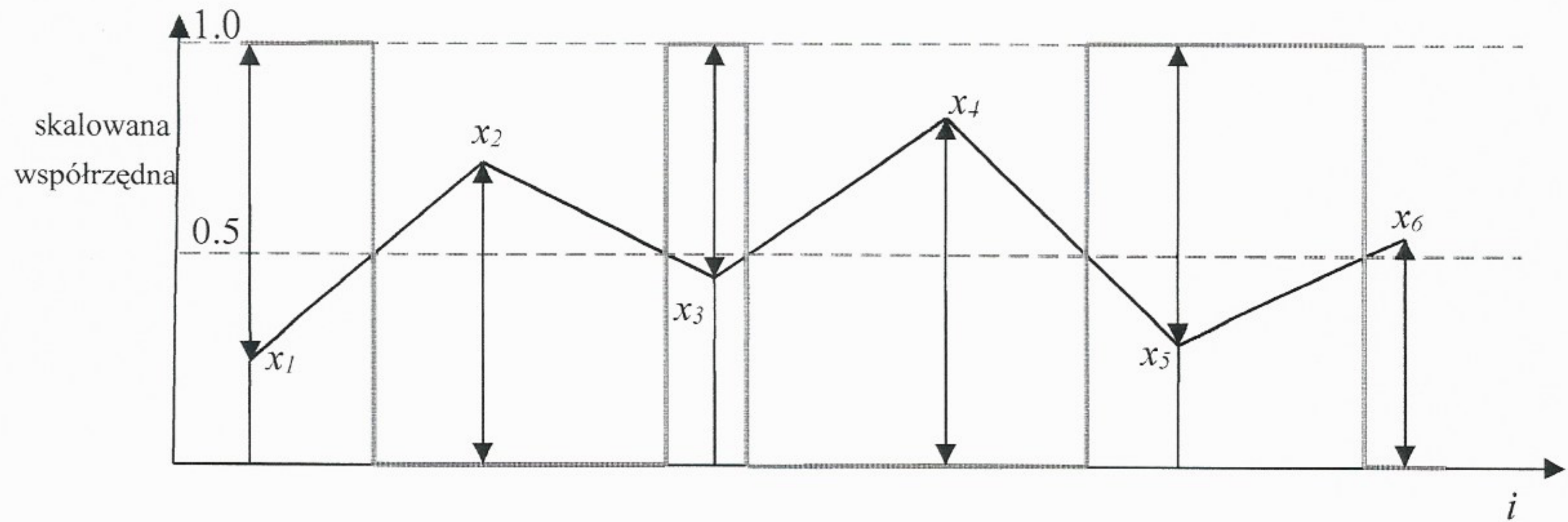
$$\mu = \frac{c_{\min}}{c_{\min} - c_{\max}} \quad ,$$

gdzie:

$$c_{\max} = \max(\max_i(x_i), \max_i(y_i)) \quad ,$$

$$c_{\min} = \min(\min_i(x_i), \min_i(y_i)) \quad ,$$

Rysunek 10 ilustruje założenia proponowanej metody .



Rys. 10. Idea pojęcia podobieństwa referencyjnego (strzałki wskazują odległości pomiędzy punktami skalowanego zbioru X i referencyjnego zbioru X_{ref}).

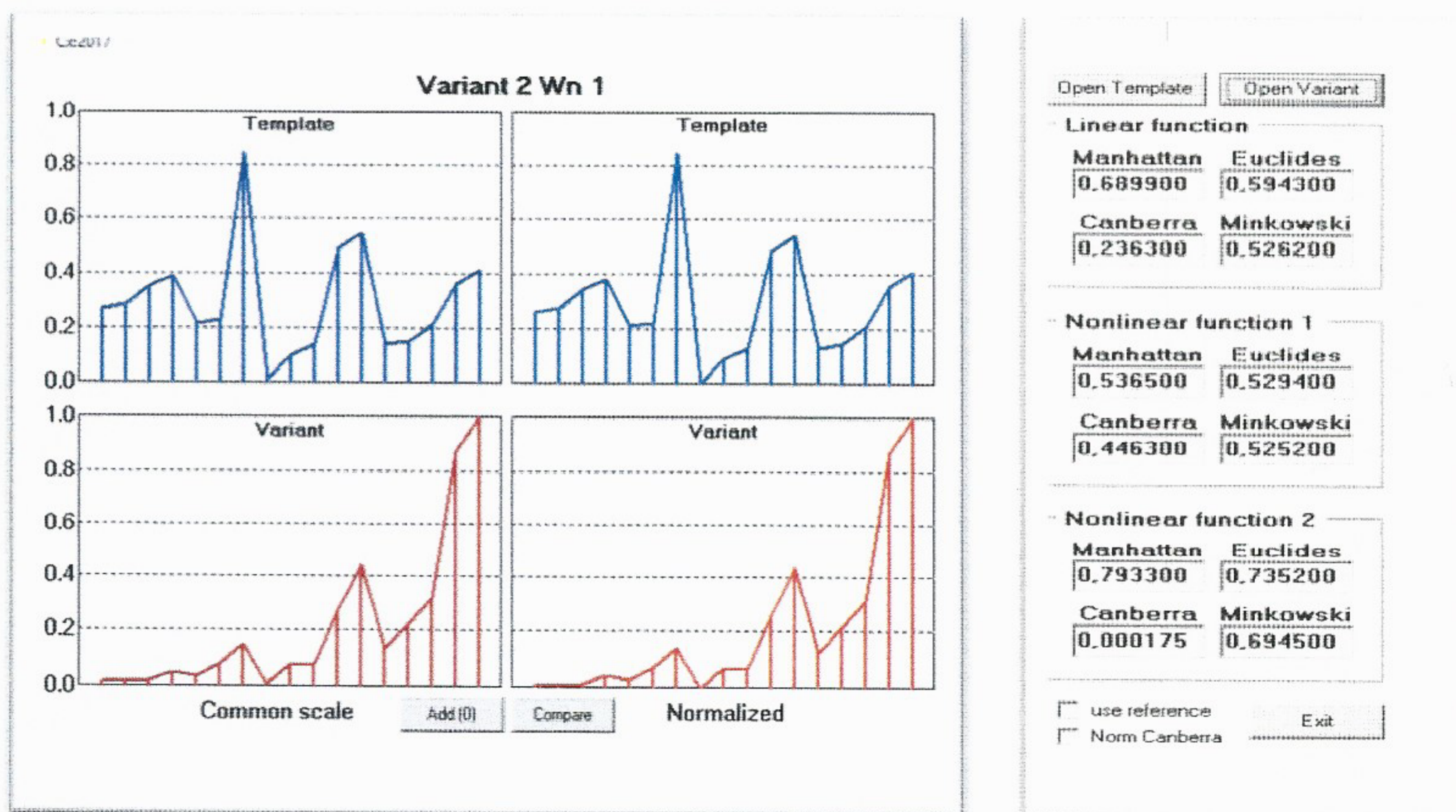
Zbiór referencyjny można zdefiniować zgodnie z następującymi założeniami:

$$\forall x \in X [x < 0.5 \rightarrow x_{ref} = 1] ,$$

$$\forall x \in X [x \geq 0.5 \rightarrow x_{ref} = 0] ,$$

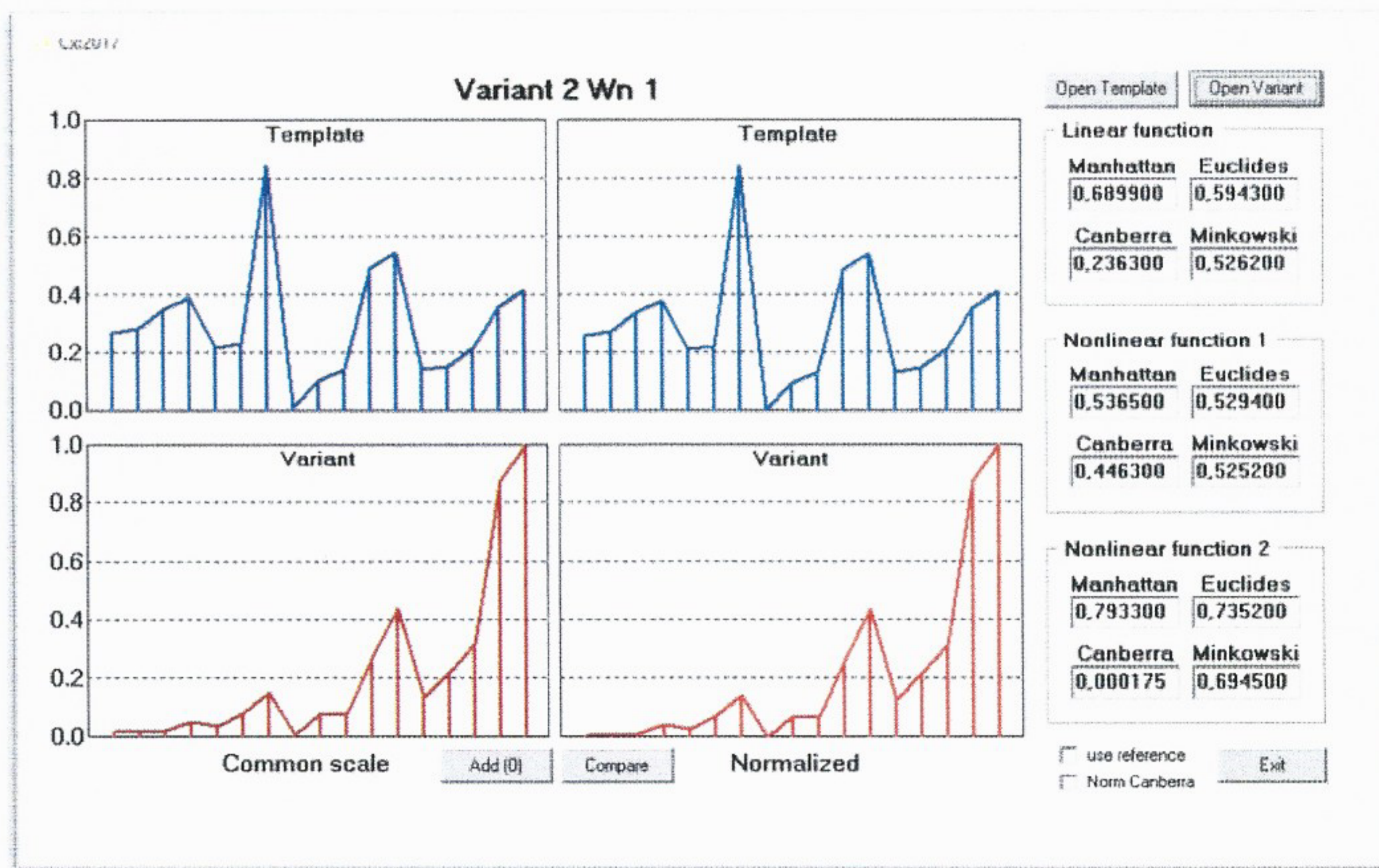
$$d_{ref} = d(X, X_{ref}) .$$

Wyniki porównania są generowane w postaci graficznej (rys. 5.19). Ponadto możemy odczytać wartości wskaźnika podobieństwa wg teorii Manhattan, Canberra, Euclidesa i Minkowskiego.

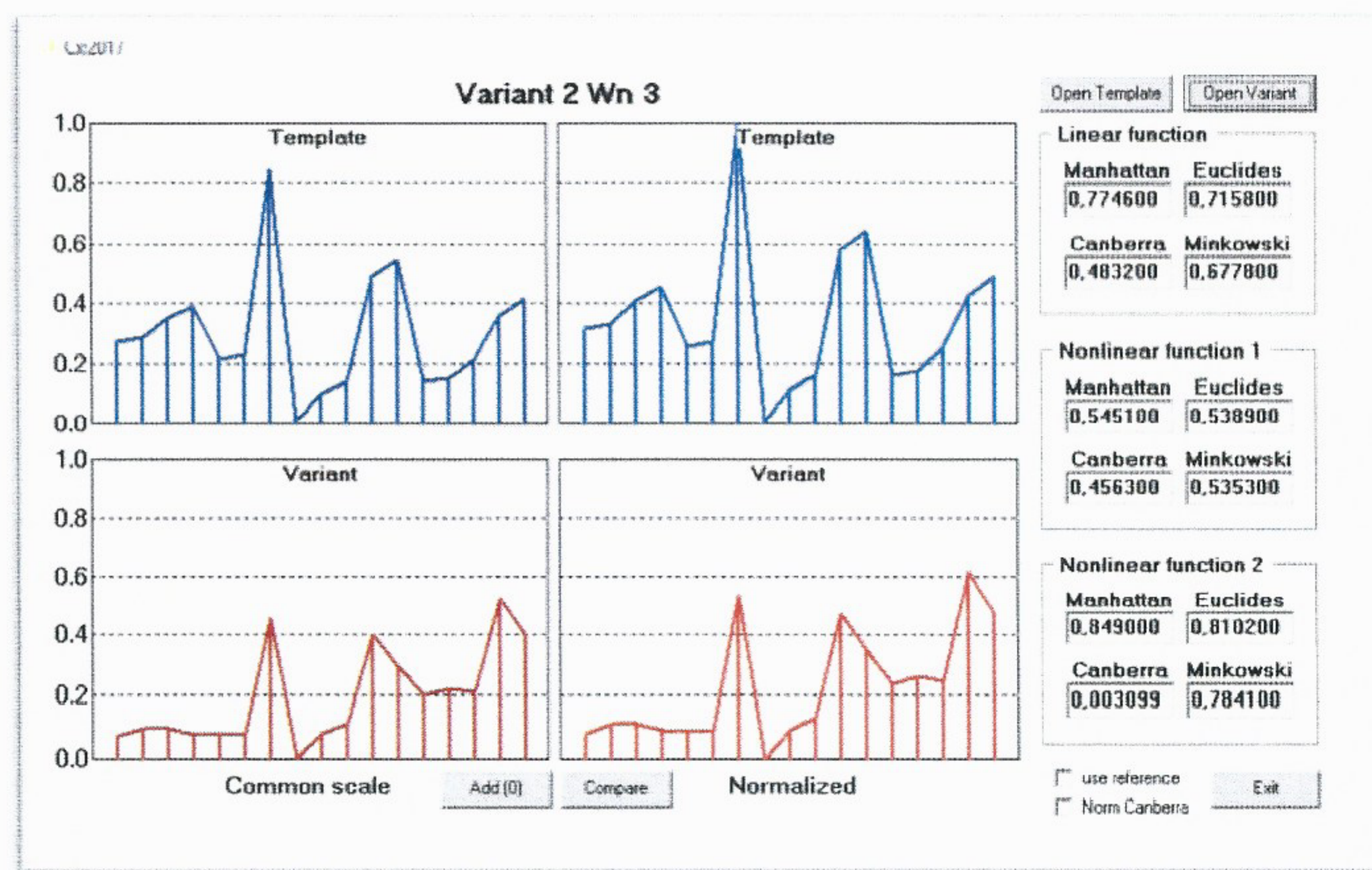


Rys. 11. Część graficzna analizy (a) i wskaźniki podobieństwa generowane przez aplikację komputerową (b)

Aplikacja komputerowa pokazuje efekt porównania szablonów z profilami oraz wartości obliczonych wskaźników podobieństwa wg. przedstawionej wcześniej procedury. Na rys. 12 pokazałam wynik porównania szablonu uwzględniającego podkryteria z profilem wygenerowanym dla wariantu pierwszego a na rys. 13 dla wariantu trzeciego analizowanego przedsięwzięcia budowlanego.



Rys. 12.. Porównanie szablonu podkryteriów z profilem wariantu 1



Rys. 13. Porównanie szablonu podkryteriów z profilem wariantu 1

Dla podsumowania analizy prowadzonej z zastosowaniem opracowanej aplikacji komputerowej można wygenerować zestawienie tabelaryczne wskaźników podobieństwa (Tabela10). Wskaźniki podobieństwa zgodnie z przedstawioną wcześniej teorią powinny być

jak najbliższe wartości 1,00. Najwyższe wartości zaznaczono pogrubioną czcionką. W zestawieniu można zauważyć dużą zgodność wyników.

Tabela 10. Zestawienie wskaźników podobieństwa dla przykładu 2

Funkcja	Wariant	Manhattan	Canberra	Euclides	Minkowski
Liniowa	W1	0,689900	0,236300	0,594300	0,526200
	W2	0,790000	0,466400	0,736000	0,703100
	W3	0,774600	0,483200	0,715800	0,677800
Nieliniowa 1	W1	0,536500	0,446300	0,529400	0,525200
	W2	0,546700	0,455100	0,540500	0,537100
	W3	0,545100	0,456300	0,538900	0,535300
Nieliniowa 2	W1	0,793300	0,000175	0,735200	0,694500
	W2	0,857400	0,002366	0,821000	0,797700
	W3	0,849000	0,003099	0,810200	0,784100

Podsumowanie badań przedstawionych w monografii

Wynikiem końcowym badań opisanych w niniejszej pracy jest metoda graficzna pozwalająca na porównanie kształtu szablonu kryteriów oceny z profilem graficznym każdego analizowanego wariantu. Metoda jest przyjazna i łatwiejsza w odbiorze niż tabele zawierające kolumny cyfr, a graficzna interpretacja wyników spotkała się z akceptacją środowiska inżynierskiego. Porównanie profili oparte na teorii podobieństwa zostało wykorzystane do opracowania aplikacji komputerowej, która ułatwia stosowanie metody w praktyce.

Za największe osiągnięcie związane z monografią uważam:

1. Identyfikację problemów związanych ze stosowaniem metod analizy wielokryterialnej w środowisku inżynierskim co stanowiło impuls do podjęcia prac nad opracowaniem nowego podejścia do oceny wariantów inwestycji budowlanych oraz poddanie szczegółowym badaniom procesu podejmowania decyzji związanych z wyborem wariantu koncepcji projektowej przedsięwzięcia budowlanego w praktyce oraz ocena możliwości zastosowania wybranych metod analizy wielokryterialnej,
2. Zdefiniowanie problemów, jakie stwarza stosowanie metod analizy wielokryterialnej w praktyce oraz stworzenie bazy analizowanych przypadków, przypisanie problemów z zastosowaniem metod analizy wielokryterialnej do inwestycji o określonym charakterze,
3. Opracowanie metodyki oceny graficznej (zaproponowane w pracy), opartej na analizie kształtów szablonu kryteriów oceny i profili wariantów pozwalające uwzględnić szereg aspektów, innych niż w przypadku stosowania metod matematycznych, opracowanie podstaw teoretycznych graficznej oceny wariantów,
4. Zastosowanie teorii podobieństwa w metodyce oceny do porównań szablonów i profili wariantów w praktyce co pozwoliło na zobiektywizowanie procesu podejmowania decyzji i wyboru najlepszego wariantu.
5. Opracowanie aplikacji komputerowej wygodnej i łatwej w praktycznym zastosowaniu.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych związanych z głównym nurtem moich badań

Przygotowanie inwestycji budowlanych, oraz ich realizacja były od wielu lat tematem moich zainteresowań. Obserwując praktyczne doświadczenia oraz zgłębiając literaturę tematu zauważyłam szereg problemów, z którymi borykają się uczestnicy procesu inwestycyjno - budowlanego. Pierwszym zagadnieniem, na które zwróciłam uwagę przygotowując jeszcze pracę doktorską był problem przygotowania terenów dla budownictwa i udostępnienia ich w odpowiednim terminie. Z tym tematem wiązał się również problem wyboru najlepszej możliwej lokalizacji inwestycji [21, 22, 23, 24]. Zgłębiając się w tematykę planowania inwestycji budowlanych dostrzegłam szereg kolejnych problemów. Większość z nich dotyczyła sytuacji, gdy uczestnicy procesu budowlanego stoją przed wyborem jednego z możliwych rozwiązań. Są to np. problemy związane z projektowanymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, materiałowymi i funkcjonalnymi, problemy realizacyjne oraz eksploatacyjne. W wielu przypadkach o wyborze konkretnego rozwiązania decyduje szereg czynników a znalezienie optymalnego sposobu realizacji zadania w sposób bezpośredni jest bardzo trudne. Szukałam, więc metod wspomagania tego typu decyzji.

Problem związany z podejmowaniem decyzji to przede wszystkim wybór tego rozwiązania, które najpełniej spełnia zbiór wcześniej określonych kryteriów. Oznacza to, że przed podjęciem decyzji określany jest cel oraz alternatywne możliwości działania w dążeniu do jego osiągnięcia. Rozwiązując problemy wielokryterialne, starajmy się często wyrazić swoje oczekiwania za pomocą jednego kryterium agregującego wszystkie istotne konsekwencje problemu. Mamy wtedy do czynienia z analizą jednokryterialną, w której każdy potencjalny wariant jest oceniany względem jednego wybranego a priori kryterium, np. wielkość kosztów, nakładów, czas realizacji, zysk, rentowność, korzyść. Postępowanie takie jest uzasadnione tylko w pewnych prostych przypadkach. Pojedyncze kryterium nie jest zalecane w sytuacjach skomplikowanych procesów inwestycyjnych. Nie jest ono w pełni wiarygodne, i nie ma własności pozwalających przedstawić i przeanalizować całe spektrum zagadnień i problemów związanych z planowaniem i przygotowaniem obiektów budowlanych. Wielokryterialne podejmowanie decyzji w przeciwieństwie do analizy jednokryterialnej pozwala wyrazić spójną rodzinę kryteriów, jako instrument pełnej i wyczerpującej komunikacji, która powinna umożliwić stworzenie, uzasadnienie i przekształcenie preferencji w procesie decyzyjnym. W związku z tym kolejne lata badań poświęciłam zgłębianiu tajników analiz wielokryterialnych i możliwości ich zastosowania w konkretnych przykładach decyzyjnych.

Z grupy metod, które najczęściej spotykałam można wyróżnić proste metody punktowe lub metodę MCE (Multi Criterial Evaluation) gdzie postępowanie opiera się, z jednej strony na ustaleniu grupy kryteriów, od których będzie zależała ostateczna decyzja, a z drugiej strony na ocenie spełnienia tych kryteriów przez alternatywne rozwiązania. Innym sposobem postępowania są metody z grupy AHP gdzie wyznaczanie wag kryteriów oraz ocen ich spełnienia przez kolejne warianty rozwiązania odbywa się poprzez porównywanie ich parami. Przykłady zastosowania tych metod można znaleźć w publikacjach przedstawionych do oceny. W pierwszych skupiłam się na określeniu podstawowych grup kryteriów, które mogą później posłużyć ocenie [20, 17], a w następnych zastosowałam metodę Analizy Hierarchicznej do oceny wybranych inwestycji [18, 19, 20]. We wszystkich metodach punktem wyjścia, poza ustaleniem grup kryteriów decydujących o wyborze rozwiązania optymalnego, jest zebranie opinii ekspertów odpowiadających na pytania zawarte we wcześniej przygotowanych ankietach. Ponieważ zagadnienie zebrania opinii wydało mi się stosunkowo skomplikowane a jednocześnie

niezwykle ciekawe opracowałam system ekspercki wraz z własnymi wzorami ankiet i sposobami postępowania. Można się z nimi zapoznać w artykułach [5, 6, 8, 14, 15, 17]. Analizując wiele inwestycji stosowałam wcześniej wymienione metody. Przykłady zastosowania porównania możliwości różnych metod przedstawiają artykuły [3, 4, 6, 7, 9, 10, 11]. W trakcie analiz inwestycji budowlanych o różnym charakterze spotykałam wiele problemów oraz odkryłam ich zalety i wady. W związku z tym opracowałam własne podejście do oceny wariantów opierające się na wytycznych do oceny inwestycji drogowych. Nazwałam je roboczo Metodą Wskaźnikową (Impact Method). Ze szczegółami stosowania tej metody można zapoznać się w artykułach [10, 12,].

Kolejnym efektem opracowanego przeze mnie systemu oceny i analizy wariantów inwestycji budowlanych jest analiza graficzna wariantów inwestycji w oparciu o opracowany przeze mnie graficzny profil inwestycji. Otrzymujemy go uwzględniając wyniki oceny spełnienia kryteriów a poprzez porównanie z szablonami wyjściowymi, których struktura jest oparta na wartości wag możemy określić czy wariant ma profil pro środowiskowy, czy ekonomiczny czy może uwzględnia przede wszystkim spełnienie wymogów technicznych [1, 2, 3].

Innym efektem moich badań jest opracowanie systemu eksperckiego do oceny wariantów inwestycji budowlanej. Jest on zbudowany z kolejnych etapów obejmujących różne metody przystosowane do tego typu analiz. Ze względu na różnorodność możliwości pozwala analizować inwestycje o różnym charakterze. Został on zastosowany z powodzeniem w praktyce. Opracowana przeze mnie metoda postępowania została przetestowana na przykładach inwestycji realizowanych na terenie Warmii i Mazur i stanowi mój wkład własny w rozwój teorii i zastosowania metod oceny wariantów inwestycji z uwzględnieniem wielu kryteriów decydujących.

Wyniki tych badań zostały opublikowane w następujących artykułach naukowych:

1. **Szafranko E., Srokosz P. E.** *Applicability of the theory of similarity in an evaluation of building development variants*, Automation in Construction, artykuł po recenzjach przyjęty do druku w 2019r., IF 4,437
2. **Szafranko E.** *The choice of variant technologies and materials supported by multicriteria methods and an assessment of variants with graphic profiles of criteria*, Materials Today Proceedings Volume 5, Issue 1, Part 1, 2018, Pages 2002–2009, International Conference on Processing of Materials, Minerals and Energy (July 29th – 30th), 2016, Ongole, Andhra Pradesh, India, www.materialstoday.com/proceedings. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.305>
3. **Szafranko E.** *Applicability of multi-criteria analysis methods for the choice of material and technology solutions in building structures*. Tehnicki Vjesnik/ Technical Gazette 6/2017, pp. 1935-1940, DOI 10.17559/TV-20150810135440 IF 0,686
4. **Szafranko E.** *Application of multi-criterial analytical methods to ranking environmental criteria in an assessment of a development project*, Journal of Ecological Engineering, 5(18)2017, pp. 151-159, DOI 10.12911/22998993/75761
5. **Szafranko E.** *Methodology of an Assessment of Building Construction Variants with the Use of Expert Systems*, 2017 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics), 22-25.06.2017, Polska, Gdańsk, pp.252-256, DOI: 10.1109/BGC.Geomatics.2017.13
6. **Szafranko E.** *Wybrane aspekty analiz wielokryterialnych w ocenie rozwiązań konstrukcyjno - materiałowych obiektów budowlanych*, Materiały budowlane 6/2016, str. 107-108,124, ISSN 0137-2971, DOI:10.15199/33.2016.06.46
7. **Szafranko E.** *Evaluation of the possibilities of investment using rural areas with a multicriterial analysis*, 15th International Scientific Conference Engineering For Rural Development, Proceedings p. 965 - 970, indexed in web of sciences 25.-27.05.2016 Jelgava, LATVIA

8. **Szafranko E.** *Evaluation of data obtained from expert opinions in multi-criteria analyses of construction investment variants*, Archives of Civil Engineering. Volume 62, Issue 2, Pages 205–216, ISSN 1230-2945, DOI: 10.1515/ace-2015-0075, August 2016
9. **Szafranko E. (2015).** *Multi-criteria methods in an analysis of variants of a construction project*, International Scientific Publication, Materials, Methods & Technologies, Volume 9/2015, p. 155-168, ISSN 1314-7269,
10. **Szafranko E. (2015).** *Evaluation of variant construction projects supported by expert opinion systems based on multi-criteria methods*, International Journal of New Technologies in Science and Engineering, Vol. 2, Issue. 5, 2015, ISSN 2349-0780 p. 39-46 IF 6.01
11. **Szafranko E. (2015).** *Możliwości zastosowania metod analizy wielokryterialnej przy doborze rozwiązań materiałowo-technologicznych w konstrukcjach budowlanych*, Materiały Budowlane 5/2015 str. 49-50, ISSN 0137-2971
12. **Szafranko E. (2015.)** *Applicability of the indicator method to evaluation of road building projects*, News in Engineering 1/ 2015 p.1-7, ISSN 1339-4886
13. **Szafranko E., Pawłowicz J.A. (2014).** *Metody analizy wielokryterialnej, jako narzędzie oceny możliwości inwestycyjnego wykorzystania obszarów wiejskich. roz. w monografii: Instrumenty kształtowania przestrzeni obszarów wiejskich*, str. 45-58, Wydawca UWM w Olsztynie i TROW, Olsztyn 2014, ISBN 978-83-940020-0-8
14. **Szafranko E. (2014).** *Ways to determine criteria in multi-criteria methods applied to assessment of variants of a planned building investment*. Czasopismo Techniczne, 2-B (6), 2014(111), 41-48. ISSN 0011-4561
15. **Szafranko, E. (2014).** *Metody analizy wariantów inwestycji drogowych*. Drogownictwo, 1,18-25. ISSN 0012-6357
16. **Szafranko E, Pawłowicz J. A. (2014).** *Metodyka określania przydatności różnych terenów do pełnienia funkcji rekreacyjnych na przykładzie lasu miejskiego w Olsztynie*. Infrastruktura I Ekologia Terenów Wiejskich, nr II/1, 279-292. ISSN 1732-5587
17. **Szafranko, E. (2013).** *Ocena ekspertów w analizach prowadzonych metodą AHP przy wyborze wariantów inwestycji*. Inżynieria Morska i Geotechnika, 5/2013, 400-404. ISSN 0867-429.
18. **Szafranko, E. (2013).** *Application of the AHP method to optimization of the choice of roadside tree*. Proceedings in International Conference: ARSA-Advanced Research In Scientific Areas, (1).p 441-445, ISSN: 1338-9831, ISBN: 978-80-554-0825-5
19. **Szafranko, E. (2013).** *Application of the analytic hierarchy process (AHP) to evaluation of variants of a planned road investment project*. Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, 7(1),p. 152-164, ISSN 1313-2539.
20. **Szafranko, E. (2012).** *Zastosowanie analizy hierarchicznej w ocenie wariantów planowanej inwestycji*. Archives of Institute of Civil Engineering, 13/2012, 319-333. ISSN 1897-4007
21. **Szafranko E. (2008).** *Possible applications of network methods to optimalization of certain aspects in the construction industry management*; Technical Sciences, No 11/2008 p. 131-140 ISSN 1505-4675
22. **Szafranko, E. (2005).** *Theory of multi-commodity stochastic-flow in management of construction process*, International Conference: Theoretical Foundation Of Civil Engineering, Żylna, 30.05 – 02.06, 2005 Conference Materials p. 327-333.
23. **Szafranko E. (2004).** *Application of network methods to optimization in construction management*, International Conference: Modern Building, Materials, Structures And Techniques, Vilnius, 19-22 May 2004, Conference Materials p. 144-146
24. **Szafranko E.(2001).** *Network methods for optimisation in construction management*,International Conference - Malta, 21-23 march 2001, Conference Materials p. 617 – 622

Wymienione publikacje tematyczne nie wyczerpują zakresu moich zainteresowań naukowych. Poza tymi pozycjami jestem autorem i współautorem kilkudziesięciu innych publikacji, które zostały przedstawione w załączniku nr 4.

Poniżej przedstawiam dane bibliograficzne oraz zestawienie informacji dotyczących mojego dorobku naukowego z uwzględnieniem pozostałych form aktywności naukowej.

Wskaźniki oceny dorobku:

Źródło danych	Research Gate	Scopus	Web of Sciences Clarivate analytics
Indeks Hirscha	3	2	2
Liczba cytowań	28	11	10
Liczba publikacji w bazie	59	27	28

Informacja sumaryczna o moim dorobku naukowym:

Lp.	Kategoria publikacji:	Przed doktoratem	Po doktoracie		
		Liczba publikacji	Liczba publikacji	punkty	
1	Publikacje w czasopismach wymienionym w części A wykazu MNiSW	0	1 (2*)	15 (40*)	
1	Publikacje w czasopismach wymienionym w części B wykazu MNiSW	3	49	264	
2	Publikacje w innym zagranicznym czasopiśmie naukowym, w języku podstawowym w danej dyscyplinie naukowej.	0	14	38	
3	Rozdziały w monografiach, redakcja monografii wieloautorskiej (j. polski)	0	25	116	
4	Rozdziały w monografiach, redakcja monografii wieloautorskiej (j. angielski)	0	3	15	
5	Publikacja w materiałach i udział w konferencjach indeksowanych w Web of Sciences	0	26	390	
		Suma punktów			828
	Inne formy działalności naukowej:				
5	Referaty wygłoszone na międzynarodowych konferencjach naukowych,	2	31		
6	Referaty wygłoszone na krajowych konferencjach naukowych,	8	56		
7	Recenzje artykułów w czasopismach z części B listy MNiSW	0	15		
8	Członek komitetu naukowego międzynarodowych konferencji naukowych	0	16		
9	Recenzje artykułów konferencji międzynarodowych	0	32		

* - publikacja złożona do druku w 2018r. (po pozytywnych recenzjach)