

Elżbieta Broniewicz, Ewelina Dziurdzikowska

Politechnika Białostocka

e-mail: e.broniewicz@pb.edu.pl

METODY WIELOKRYTERIALNE W RÓWNOWAŻENIU PROCESÓW SPOŁECZNO-GOSPODARCZYCH*

MULTI-CRITERIA METHODS IN BALANCING SOCIO-ECONOMIC PROCESSES

DOI: 10.15611/pn.2017.491.05

JEL Classification: O220, Q560

Streszczenie: Celem artykułu jest wskazanie metod wielokryterialnych do podejmowania decyzji w warunkach rozwoju zrównoważonego, a więc zapewniającego równowagę aspektów społecznych, gospodarczych i środowiskowych. Przydatność analizy wielokryterialnej ukazano na przykładzie decyzji lokalizacji inwestycji liniowej – obwodnicy miejscowości. Przy pomocy trzech metod: AHP, TOPSIS oraz PROMETHEE, dokonano wyboru najlepszego wariantu lokalizacyjnego. Badania wykazały spójność uzyskanych wyników analizy z wykorzystaniem wszystkich metod oraz ich użyteczność przy podejmowaniu decyzji mających na celu równowagę procesów społeczno-gospodarczych.

Słowa kluczowe: wielokryterialne wspomaganie decyzji, lokalizacja inwestycji.

Summary: The aim of the paper is to identify multi-criteria methods for decision-making in the framework of sustainable development, thus taking into account the balance between social, economic and environmental aspects. The usefulness of multi-criteria analysis is illustrated by the decision of the linear investment's location. Three methods (AHP, TOPSIS and PROMETHEE) were used to choose the best location of the investment. Research has shown the consistency of different methods' results as well as their usefulness in decision-making to balance the socio-economic processes.

Keywords: multi-criteria decision support, investments location.

1. Wstęp

Gospodarowanie w warunkach i zgodnie z zasadami rozwoju zrównoważonego wymaga podejmowania racjonalnych i wyważonych decyzji. Równowagę aspektów

* Artykuł powstał w ramach pracy S/WBiŚ/4/2016 i został sfinansowany ze środków na naukę MNiSW.

społecznych, gospodarczych i środowiskowych powinno odbywać się na podstawie rzetelnych analiz, uwzględniających szeroki zakres rozpatrywanych zagadnień. Każdy proces decyzyjny ma charakter wielokryterialny ze względu na złożoność i zawiłość sytuacji decyzyjnej. Często upraszcza się wybór rozwiązania, sprowadzając proces podejmowania decyzji tylko do jednego kryterium (przeważnie kosztów lub zysków), co pozwala na podjęcie szybkiej decyzji, nie zawsze słusznej [Witkowska 1996]. Zastosowanie jednego kryterium w warunkach rozwoju zrównoważonego jest niedopuszczalne, dlatego też wybór optymalnego rozwiązania jest złożony i skomplikowany. Jedną z propozycji jest zastosowanie analiz wielokryterialnych, które tworzą zbiór powiązanych ze sobą kryteriów umożliwiających stworzenie, uzasadnienie i przekształcenie preferencji w procesie decyzyjnym [Roy 1990].

W artykule skupiono się na metodach wielokryterialnej analizy decyzji (*Multi-Criteria Decision Analysis* – MCDA), charakteryzujących się ograniczoną i niewielką liczbą ustalonych wariantów decyzyjnych, których wybór dokonywany jest poprzez wcześniej ustalone kryteria. Wśród metod MCDA można wyróżnić:

- metody oparte na agregacji ocen do postaci funkcji użyteczności, gdzie stosuje się klasyczną teorię użyteczności, np.: MAUT, AHP, DEMATEL;
- metody oparte na relacjach przewyższania, które reprezentują preferencje decydenta, a także zależności między danymi wariantami decyzyjnymi, np.: ELECTRE, PROMETHEE;
- inne metody, np.: TOPSIS, metoda Bordy, metoda Arrowa-Raynauda [Piwowski 2009; Kobryń 2014].

Z uwagi na fakt, że rodzina metod wielokryterialnego podejmowania decyzji jest rozległa, powstaje problem doboru metody do procesu decyzyjnego. Każda z przedstawionych metod ma swoje zalety i korzyści oraz wady i ograniczenia, co stwarza konieczność zbadania, która z metod zapewni najlepsze rozwiązanie danego problemu. Wybór metody sam w sobie może osiągnąć wymiar problemu wielokryterialnego [Trzaskalik 2014].

2. Metody wielokryterialne we wspomaganii decyzji

Celem analizy jest znalezienie takiego sposobu postępowania, który doprowadzi do uzyskania rozwiązania lepszego od pozostałych. Wielokryterialne wspomaganie decyzji definiowane jest zazwyczaj jako podejmowanie decyzji w obecności wielu kryteriów przy uwzględnieniu kilku, często przeciwstawnych, punktów widzenia [Vicke 1992]. Dąży się do uzyskania takiego efektu, który zmaksymalizuje wielokryterialną funkcję celu, co można zapisać następująco [Kobryń 2014]:

$$F(x) = \max(f_1(x), f_2(x), \dots, f_j(x)),$$

przy ograniczeniu $x \in A^{dop}$

gdzie: A^{dop} – zbiór rozwiązań dopuszczalnych; $f_j(x)$ – poszczególne cząstkowe funkcje kryterialne dla $j = 1, 2, \dots, J$.

Analizę rozpoczyna wybór wariantów decyzyjnych, które będą poddawane analizie podczas procedury decyzyjnej. Kolejnym krokiem jest dobór kryteriów będących miernikami służącymi za podstawę oceny oraz uszeregowanie kryteriów według ich ważności (poprzez przypisanie im wag). Kryteria, które mają charakter korzyści, określa się jako stymulanty. Pozwalają one na uporządkowanie wariantów tak, że im więcej korzyści one przynoszą, tym mają wyższe wartości wag w świetle danego kryterium. Natomiast kryteria, które mają charakter kosztów, określane są jako destymulanty. Porządkują one warianty w ten sposób, że im niższe koszty generują, tym wyższe wartości wag są im przyznawane [Kobryń 2014]. W przyznawaniu wag poszczególnym kryteriom wyrażane są preferencje decydenta i często decydują one o wyborze konkretnego wariantu. W tego typu przypadkach zaleca się przeprowadzenie analizy wrażliwości, która koncentruje się na rozważaniu zmian współczynników funkcji lub wyrazów wolnych.

Wynik procesu wielokryterialnego wspomaganie decyzji uzależniony jest także od dokładności ocen wariantów. Ważne jest przeprowadzenie syntetycznej oceny poszczególnych wariantów za pomocą odpowiedniej agregacji ocen cząstkowych.

3. Metody wybrane do analizy

Propozycję zastosowania metod wielokryterialnego podejmowania decyzji w równoważeniu procesów społeczno-gospodarczych oparto na przykładzie decyzji lokalizacyjnej fragmentu drogi wojewódzkiej, stanowiącego obwodnicę miejscowości Filipów (woj. podlaskie). Do analizy wybrano warianty: zerowy, polegający na niepodjęciu inwestycji, oraz dwa warianty inwestycyjne.

Wybrano trzy metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji: AHP (*Analytic Hierarchy Process*), TOPSIS (*Technique for Order Preference using Similarity to Ideal Solution*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations*). Metody te charakteryzują się odmienną metodologią i innym ujęciem problemu decyzyjnego.

Metoda AHP oparta jest na funkcji użyteczności i charakteryzuje się hierarchicznym podejściem do problemu. Koncepcja hierarchii ma swoje zastosowanie na różnych poziomach analizy. Hierarchiczna analiza problemu jest użyteczna, gdy nie można określić związku funkcyjnego pomiędzy częściami składowymi dylematu decyzyjnego. Metoda odznacza się występowaniem subiektywnych ocen kryteriów, jak i wariantów, gdyż wynikają z nieobiektywnych ocen decydenta. Cechą charakterystyczną tej metody jest porównywanie przyjętych kryteriów między sobą, czego wynikiem jest macierz porównań. Kolejnym krokiem jest wyznaczenie preferencji globalnych i lokalnych na podstawie macierzy porównań oraz obliczenie współczynnika zgodności. Kończącym etapem jest stworzenie rankingu końcowego przy-

jętych alternatyw. Jest to możliwe poprzez wyliczenie funkcji użyteczności danych wariantów [Kobryń 2014].

Metoda TOPSIS jest metodą podobieństwa do rozwiązania idealnego, którą zalicza się do metod odległościowych. Warianty podlegają ocenie poprzez wyznaczenie ich odległości względem wzorca (ideału) i antywzorca (antyideału) [Roszkowska 2011]. Wyznaczenie ciągu preferencyjnego wymaga uwzględnienia wag kryteriów oraz przeprowadzenia normalizacji ocen wariantów w świetle kryteriów. Najlepsze rozwiązanie charakteryzuje najbliższe położenie względem ideału oraz najdalsze w stosunku do antyideału. Pozwala to określić wartości miernika syntetycznego, który wskazuje miejsce poszczególnych wariantów w rankingu [Trzaskalik 2014; Kacprzak i Rudnik 2015].

Metody z rodziny PROMETHEE charakteryzują się analizą zróżnicowania ocen poszczególnych wariantów dla ogółu kryteriów. Im oceny są bardziej zróżnicowane w świetle danego kryterium, tym lepszy jest jeden z wariantów, natomiast gdy różnica nie przyjmuje dużych wartości, występuje równoważność wariantów lub jeden z wariantów nieznacznie przeważa nad pozostałymi. Kryteriom przypisywana jest funkcja preferencji, która mierzy siłę preferencji. Funkcja przedstawia przeobrażenie różnicy ocen analizowanych alternatyw ze względu na dane kryterium [Trzaskalik 2014]. Ranking końcowy uzyskuje się na podstawie przepływów, które wyznaczane są za pomocą zagregowanych indeksów preferencji.

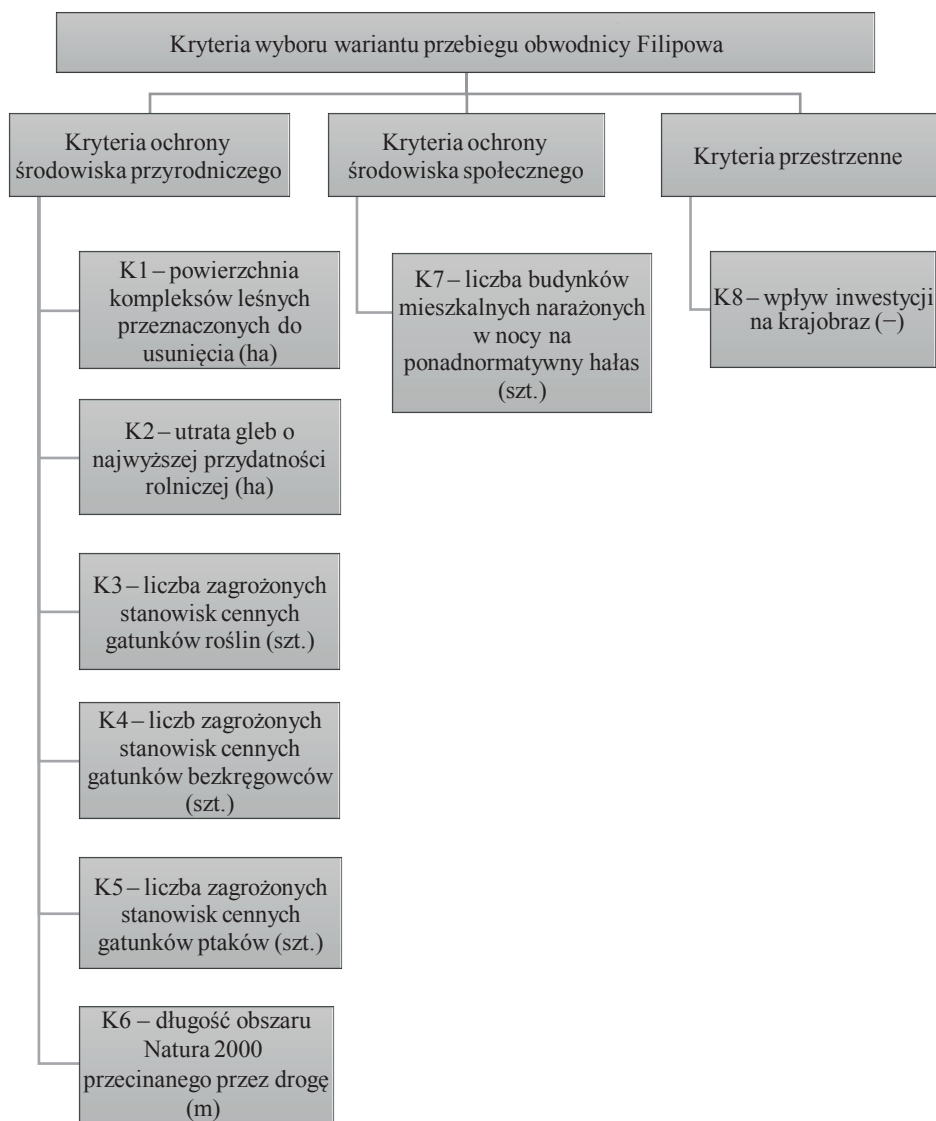
4. Wyniki analizy

W opracowaniu przyjęto osiem kryteriów mogących mieć wpływ na wybór najkorzystniejszej lokalizacji inwestycji. Kryteria te zostały podzielone na trzy grupy – *środowiskowe, społeczne i przestrzenne* (rys. 1). W analizie pominięto kryteria ekonomiczne, gdyż głównym jej celem była ocena oddziaływania na środowisko.

Przeprowadzając analizę wszystkich potencjalnych kryteriów, bierze się pod uwagę te, które różnicują warianty między sobą. Oprócz przedstawionych kryteriów rozpatrywano również:

- kolizję inwestycji z wodami powierzchniowymi,
- drożność korytarzy ekologicznych,
- liczbę zagrożonych stanowisk cennych gatunków ssaków,
- liczbę domów narażonych na ponadnormatywny hałas w dzień,
- liczbę budynków mieszkalnych narażonych na zanieczyszczenia komunikacyjne,
- wpływ na stanowiska archeologiczne,
- wpływ na zabytki kultury.

Nie uwzględniono ich jednak w dalszej analizie z uwagi na jednakowe oddziaływanie we wszystkich wariantach. Pominięto również inne kryteria, które nie miały zastosowania w tym konkretnym przypadku, przykładowo wpływ na wody podziemne, liczbę budynków mieszkalnych do wyburzenia i inne.



Rys. 1. Klasyfikacja kryteriów mających wpływ na wybór wariantu przebiegu obwodnicy Filipowa

Źródło: opracowanie własne.

Wszystkie oceny wariantów w świetle użytych do analizy kryteriów zostały wyznaczone za pomocą programu geoinformatycznego QGIS (Quantum GIS). Program ten daje możliwość zarządzania bazami danych geograficznych, topograficznych czy przestrzennych, sporządzania własnych baz danych, przeprowadzania analiz przestrzenni oraz tworzenia i komponowania map.

Metody zastosowane przy analizie wielokryterialnego wyboru lokalizacji obwodnicy Filipowa wymagają wyznaczenia macierzy decyzyjnej, której elementami składowymi są oceny trzech wariantów lokalizacyjnych w świetle poszczególnych kryteriów. Macierz została przedstawiona w formie tabelarycznej (tabela 1).

Tabela 1. Dane wyjściowe do obliczeń metodą AHP, TOPSIS, PROMETHEE II

Kryteria	Warianty		
	Wariant 0	Wariant I	Wariant II
K1 – powierzchnia kompleksów leśnych przeznaczonych do usunięcia (ha)	0	1,17	1,97
K2 – utrata gleb o najwyższej przydatności rolniczej (ha)	0	3,03	1,79
K3 – liczba zagrożonych stanowisk cennych gatunków roślin (szt.)	0	5	3
K4 – liczba zagrożonych stanowisk cennych gatunków bezkręgowców (szt.)	5	2	1
K5 – liczba zagrożonych stanowisk cennych gatunków ptaków (szt.)	4	4	2
K6 – długość obszaru Natura 2000 przecinanego przez drogę (m)	150,9	911,4	992,9
K7 – liczba budynków mieszkalnych narażonych w nocy na ponadnormatywny hałas (szt.)	147	2	4
K8 – wpływ inwestycji na krajobraz (–)	nie	tak	tak

Źródło: opracowanie własne.

W celu wyznaczenia końcowego rankingu wariantów lokalizacyjnych metodą AHP obliczono ocenę syntetyczną każdego wariantu (tabela 2). Ocena syntetyczna składa się z sum ilorazu wag wariantów i kryteriów.

Tabela 2. Ocena syntetyczna metodą AHP

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Ocena syntetyczna
Waga	0,087	0,044	0,131	0,131	0,131	0,067	0,387	0,021	
W 0	0,731	0,731	0,701	0,086	0,143	0,766	0,49	0,818	0,305
W I	0,188	0,081	0,097	0,297	0,143	0,076	0,642	0,091	0,346
W II	0,081	0,188	0,202	0,617	0,714	0,158	0,309	0,091	0,349

Źródło: opracowanie własne.

Ogólną zasadą przy wyznaczaniu końcowego rankingu jest uporządkowanie ocen syntetycznych poszczególnych alternatyw malejąco. Im wariant ma wyższą wartość, tym wyżej znajduje się w rankingu. Zgodnie z tą zasadą wyznaczono ranking wariantów decyzyjnych analizowanego problemu:

$$W II > W I > W 0.$$

Oznacza to, że najkorzystniejszą lokalizacją obwodnicy Filipowa jest wariant II. Ocena syntetyczna tej alternatywy jest niedużo wyższa od wariantu znajdującego się na drugim miejscu – wariantu I oraz wariantu 0. Różnica pomiędzy wariantami wyprowadzającymi ruch tranzytowy poza teren miejscowości wynosi 0,003.

Uwzględniając wartości rozwiązań idealnych i antyidealnych **metodą TOPSIS** wyznaczono odległości poszczególnych wariantów od rozwiązań idealnych i antyidealnych, które były bazą do obliczeń oceny globalnej (tabela 3).

Tabela 3. Ocena globalna metodą TOPSIS

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	Ocena syntetyczna
Waga	0,087	0,044	0,131	0,131	0,131	0,067	0,387	0,021	
W 0	0,731	0,731	0,701	0,086	0,143	0,766	0,49	0,818	0,305
W I	0,188	0,081	0,097	0,297	0,143	0,076	0,642	0,091	0,346
W II	0,081	0,188	0,202	0,617	0,714	0,158	0,309	0,091	0,349

Źródło: opracowanie własne.

Tak jak w przypadku metody AHP ranking końcowy ma postać:

$$W II > W I > W 0.$$

Między wariantem II i I występuje niewielka różnica w ocenie globalnej, wynosząca 0,045. Natomiast między dwoma dominującymi wariantami a wariantem polegającym na niepodejmowaniu inwestycji, różnica w ocenie globalnej jest znacząca i wynosi około 0,460.

Do rozwiązania problemu decyzyjnego **metodą PROMETHEE II** użyto oprogramowania Visual PROMETHEE Academic. Po wprowadzeniu wszystkich niezbędnych danych oraz wyznaczeniu preferencji decydenta uzyskano automatycznie wygenerowaną tabelę przepływów, w której zawarte są wartości przepływów wariantów uporządkowanych w kolejności od najkorzystniejszego do najgorszego. W wyniku przeprowadzenia analizy najlepszym wariantem lokalizacyjnym okazał się wariant II, drugim z kolei – wariant I, zaś najgorszym wariant 0:

$$W II > W I > W 0.$$

Najkorzystniejsza alternatywa odznacza się najwyższym przepływem netto, którego wartość kształtuje się na poziomie 0,2199. Oznacza to, że wariant II przewyższa inne w dość znaczny sposób. Alternatywa ta dominuje nad pozostałymi wysokim wskaźnikiem przepływów dodatnich oraz niskim przepływów ujemnych. Mimo że wariant I charakteryzuje się najniższym przepływem dodatnim w końcowym rankingu, znacznie przewyższa wariant 0 dzięki niższej wartości przepływu ujemnego.

5. Dyskusja wyników

Po przeprowadzeniu obliczeń mających na celu wskazanie najkorzystniejszej lokalizacji obwodnicy Filipowa zauważono, że w trzech zastosowanych metodach wielokryterialnego wspomagania decyzji końcowy ranking wariantów kształtował się jednakowo. Mimo uzyskania takiego samego wyniku końcowego, oceny analizowanych przebiegów obwodnicy nie są już tak spójne. W metodzie AHP różnica ocen syntetycznych pomiędzy dwoma najlepszymi wariantami wynosiła 0,003, co wskazuje, że wariant II przeważa w bardzo niewielkim stopniu nad wariantem I. W sytuacji modyfikacji macierzy porównań wariantów w świetle jednego z kryteriów mogłoby dojść do zmiany pozycji tych wariantów w końcowym rankingu. Stosunkowo nieduża różnica występuje również pomiędzy wariantami wyprowadzającymi ruch tranzytowy poza miejscowość a wariantem zerowym. Oznacza to, że metoda AHP poprzez subiektywne ujęcie w tym przypadku nie daje pełnej i oczywistej odpowiedzi, który z wariantów jest najlepszy, gdyż przy niewielkiej zmianie oceny preferencji decydenta mogłoby dojść do całkowitego odwrócenia rankingu końcowego.

Konieczności określania preferencji przez decydenta nie nakłada metoda TOPSIS, która jest metodą ściśle matematyczną. Oceny globalne uzyskane tą metodą nie pokrywają się z odpowiadającymi im ocenami syntetycznymi AHP. Analizując wyniki otrzymane metodą TOPSIS, można zauważyć, że warianty II i I znacznie przewyższają wariant polegający na niepodejmowaniu inwestycji. Różnica w ocenie globalnej między nimi wynosi około 0,5, co skutkuje przypisaniem wariantowi 0 ostatniego miejsca w końcowym ciągu preferencyjnym. Rozbieżność wariantu I w stosunku do II przyjmuje większą wartość niż w przypadku metody AHP, co wskazuje, że jeden z nich jest lepszy w stopniu, który pozwala na jego wybór bez konieczności dodatkowej analizy.

Podobna sytuacja ma miejsce podczas badań metodą PROMETHEE, gdzie ranking końcowy ustalany jest na podstawie przepływów netto. W tym przypadku wartości oceny końcowej wariantów I i II najbardziej różnią się. Przepływem netto o wartości dodatniej charakteryzuje się tylko alternatywa W II, co nadaje jej miano najlepszej. Pozostałe przyjmują wartość ujemną, choć wariant I oscyluje około zera. Dzięki obliczeniom za pomocą metody PROMETHEE można potwierdzić słuszność wyboru wariantu II jako najkorzystniejszego.

Wpływ na ranking końcowy mają również przyjęte wagi kryteriów. W większości opracowań dotyczących wyboru lokalizacji inwestycji wagi kryteriów są wyznaczane metodą AHP przy użyciu subiektywnych opinii ekspertów oraz społeczności lokalnej. Gdy ten sam problem decyzyjny rozpatruje kilku ekspertów, przeprowadzając oddzielne obliczenia mogą otrzymać różne wagi kryteriów i tym samym inny ranking końcowy. Przy przypisywaniu ocen niezbędna jest więc odpowiednia wiedza i rozeznanie głównego problemu decyzyjnego.

6. Zakończenie

Prowadzenie procesów społeczno-gospodarczych uzależnione jest ściśle od preferencji decydenta uczestniczącego w procesie decyzyjnym i podejmującego decyzję. Preferencje te wynikają z odmiennego postrzegania rzeczywistości i procesów w niej zachodzących, a także z odmiennego systemu wartości. W takiej sytuacji użycie narzędzi, takich jak metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji, pozwalają na wyważenie wszystkich odmiennych postaw i ocen oraz znalezienie rozwiązania kompromisowego, najbardziej zbliżonego do idealnego. Jednak ze względu na złożoność procesu decyzyjnego, wynikającą właśnie ze sprzeczności interesów i poglądów, oddziaływania otoczenia, wielu etapów podejmowania decyzji itp., metody wielokryterialne można uznać za bardzo dobre narzędzie mające charakter wspomagający podejmowanie decyzji o zrównoważonym charakterze.

Po przeanalizowaniu uzyskanych wyników za pomocą trzech odmiennych metod dużą trudność stanowi wybór najlepszej z nich do rozwiązania przedstawionego w niniejszej pracy problemu wielokryterialnego. Zastosowane metody nie były wolne od wad. Metoda AHP pozwala na użycie dziewięciostopniowej skali werbalnej przekształconej na skalę liczbową, co z definicji powinno ułatwiać podejmowanie decyzji, jednak często prowadzi do sytuacji, w której trudno jest określić relacje między wariantami czy kryteriami ze względu na ich charakter. W analizowanym problemie decyzyjnym znalazło się około stu par porównań, co obarczało metodę dużym prawdopodobieństwem pojawienia się problemu braku spójności macierzy porównań. Ocena końcowa w AHP nie dała także jednoznacznej odpowiedzi, który z analizowanych wariantów jest najkorzystniejszy, gdyż przy niewielkiej zmianie preferencji decydenta ranking ulegnie zmianie, co nie daje pewności wyboru najlepszego rozwiązania. Z kolei metoda TOPISIS nie uwzględnia nawet w najmniejszym stopniu subiektywnych odczuć decydenta, co skutkuje otrzymaniem rankingu i wyborem lokalizacji inwestycji nie do końca o najkorzystniejszym położeniu. Natomiast metoda PROMETHEE uwzględnia preferencje decydenta bez potrzeby dokonywania szeregu uciążliwych porównań i nadawania punktów. Wadą tej metody jest konieczność określenia wartości i zależności poszczególnych specyficznych parametrów, których interpretacja może powodować duże trudności, np.: zdefiniowanie, czy różnica o wartości 1 w kryterium liczby zagrożonych stanowisk cennych gatunków bezkręgowców jest znacząca czy nie [Brzostowski, Wachowicz 2012).

Konkludując, przy podejmowaniu decyzji mających na celu równoważenie procesów społeczno-gospodarczych warto jest wykorzystać przynajmniej dwie z wielu metod wielokryterialnych, by mieć pewność słuszności wyboru.

Literatura

- Brzostowski J., Wachowicz T., 2012, *Użycie skal lingwistycznych do opisu użyteczności w procesie analizy preferencji. Modelowanie preferencji a ryzyko '12*, Zeszyty Naukowe Wydziałowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, s. 23-41.
- Kacprzak D., Rudnik K., 2015, *Rozmyta metoda TOPSIS wykorzystująca skierowane liczby rozmyte*. Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji 2015, Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, s. 958-968.
- Kobryń A., 2014, *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzenią*, Wydawnictwo Difin, Warszawa.
- Piwowski M., 2009, *Wielokryterialna analiza decyzyjna w systemach GIS*, Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, t.18, s. 123-134.
- Roszkowska E., 2011, *Multi-criteria decision making models by applying the TOPSIS method to crisp and interval data*, Multiple Criteria Decision Making, t. 6, s. 200-230.
- Roy B., 1990, *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Saaty T.L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process. Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, New York.
- Trzaskalik T., 2014, *Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Przegląd Metod i zastosowań*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Organizacja i Zarządzanie, z. 74, s. 239-263.
- Vicke P., 1992, *Multicriteria Decision-aid*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Witkowska D., 1996, *Wprowadzenie do badań operacyjnych*, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź.