

Tadeusz TRZASKALIK
Wydział Informatyki i Komunikacji
Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

WIELOKRYTERIALNE WSPOMAGANIE DECYZJI. PRZEGLĄD METOD I ZASTOSOWAŃ

Streszczenie. Powszechność sytuacji, w których podejmujemy decyzje, oraz wielka waga wielu z nich przyczyniły się do rozwoju wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji. Są to głównie metody dwuetapowe – wyróżniamy etap analityczny i etap syntezy. Wśród przedstawionych metod znajdują się m.in. metody AHP, ANP, ELECTRE, PROMETHEE, metody werbalne, TOPSIS, BIPOLAR oraz metody interaktywne w warunkach ryzyka. Celem artykułu jest prezentacja najczęściej wykorzystywanych wielokryterialnych metod dyskretnych oraz możliwości ich zastosowań.

Słowa kluczowe: dyskretne metody wielokryterialne, funkcja użyteczności, porównywanie parami, relacja przewyższania, punkty referencyjne.

MULTICRITERIA DECISION SUPPORT. REVIEW OF METHODS AND APPLICATIONS

Summary. The universality of the decision situations and the importance of many of them contributed to the development of multicriteria decision support methods. These are mainly the two-stage methods – the analytical and synthesis stage are distinguished. Among the presented methods there are AHP, ANP, ELECTRE, PROMETHEE, verbal methods, TOPSIS, BIPOLAR, and interactive methods in terms of risk. The aim of the paper is to present the most frequently used multicriteria discrete methods and the examples of their applications.

Keywords: multicriteria discrete methods, utility function, pairwise comparison, outranking relation, reference points.

1. Wprowadzenie

Dyskretne metody wielokryterialnego wspomagania decyzji rozwinęły się dynamicznie w ostatnich latach i mogą być wykorzystane do analizy podejmowania decyzji w różnych dziedzinach aktywności ludzkiej. Do chwili obecnej powstało wiele propozycji analizy i syntezy dyskretnych problemów wielokryterialnych. Ich zebranie i usystematyzowanie, a także dalszy rozwój metodologii, jak również rozwój aplikacji realizowane były w latach 2009 – 2012 w ramach badań zespołowych pod kierunkiem T. Trzaskalika (projekt NN 111235036). Uczestniczyli w nich pracownicy i doktoranci Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach oraz Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu: D. Górecka, B. Krzeszowska, D. Kudyba, M. Nowak, A. Sabo, S. Sitarz, K. Targiel, T. Trzaskalik, A. Twardoch, T. Wachowicz.

Celem niniejszego artykułu jest przegląd metod wspomagania decyzji w wielokryterialnych dyskretnych procesach decyzyjnych oraz wybranych zastosowań. Omawiając metody, podano odwołania do literatury źródłowej.

2. Zadanie deterministyczne, stochastyczne i rozmyte

Zajmiemy się sytuacją, gdy decydent określił skończony, m -elementowy zbiór wariantów decyzyjnych $A = \{\mathbf{a}^1, \dots, \mathbf{a}^m\}$ oraz ustalił n -elementowy zbiór kryteriów oceny $F = \{f_1, \dots, f_n\}$.

Zadanie deterministyczne

Ocenę i -tego wariantu decyzyjnego ze względu na k -te kryterium zapiszemy jako $f_k(\mathbf{a}^i)$. Zbiór wszystkich rozpatrywanych ocen tworzy tablicę decyzyjną.

Zadanie stochastyczne

Ocena każdego wariantu decyzyjnego \mathbf{a}^i ze względu na kryterium f_k jest zmienną losową. Będziemy rozpatrywać sytuację, gdy zmienne te przyjmują skończoną liczbę wartości i znamy ich rozkłady prawdopodobieństwa. Porównując ze sobą oceny wariantów decyzyjnych, wykorzystamy reguły wyboru oparte na stochastycznych dominacjach (SD): FSD, SSD, TSD, odwrotnych dominacjach stochastycznych SISD, TISD1, TISD2, prawie dominacjach stochastycznych AFSD i ASSD oraz reguły wyboru oparte na relacji dominacji stochastycznej dla kryteriów ocenianych w skali porządkowej OFSD oraz OSSD [31].

Zadanie rozmyte

Oceną wariantu decyzyjnego \mathbf{a}^i ze względu na kryterium f^k jest trójkątna liczba rozmyta.

W każdym z opisanych powyżej przypadków zakładamy, że decydent dąży do jednego z wymienionych poniżej celów:

- wyboru wariantu najlepiej odpowiadającego jego preferencjom (problem wyboru),
- uszeregowania rozpatrywanych wariantów decyzyjnych od najlepszego do najgorszego (problem szeregowania),
- przyporządkowania rozpatrywanych wariantów do jednej z góry predefiniowanych klas (problem klasyfikacji wielokryterialnej).

Sformułowane powyżej zadania są rozwiązywane dwuetapowo. W pierwszym etapie przeprowadzamy porównania rozpatrywanych wariantów decyzyjnych ze względu na ustalone kryteria ich oceny.

3. Wybrane wielokryterialne metody wspomagania decyzji

3.1. Metody addytywne

SAW (ang. *Simple Additive Weighting Method*) [3]

Metoda SAW stanowi do dzisiaj najbardziej znaną i najczęściej stosowaną wielokryterialną metodę dyskretną. Jej zaletami są prostota i intuicyjność w modelowaniu preferencji decydena za pomocą addytywnej funkcji liniowej. Znajdujemy macierz znormalizowanych ocen i wariant decyzyjny, dla którego suma ważona ocen jest największa.

F-SAW (ang. *Fuzzy Simple Additive Weighing Method*) [33]

Do modelowania wag możemy wykorzystać trójkątne liczby rozmyte, a parametry tych liczb uzyskać przez dialog z ekspertem.

SMART (ang. *Simple Multi-Attribute Ranking Technique*) [5]

Ustalamy oceny wariantów decyzyjnych ze względu na poszczególne kryteria w skali od 0 do 100, wykorzystując unitaryzację, ocenę bezpośrednią lub funkcję wartości. Wagi kryteriów uzyskuje się dzięki porównaniu zmian z najmniej pożądanego na najbardziej korzystny stan pod względem jednego z kryteriów z podobną zmianą w odniesieniu do innego kryterium. Ocenę końcową interpretujemy jako globalną użyteczność danego wariantu.

SMARTER (ang. *Simple Multi-Attribute Ranking Technique Exploiting Ranks*) [6]

Algorytm postępowania jest taki sam jak w metodzie SMART. Modyfikacje są związane z oceną wariantów – funkcje wartości są liniowe, oraz sposobem ustalania wag – stosuje się (w sposób mechaniczny, zależnie od liczby rozpatrywanych kryteriów) wagi ROC (*rank*

ordered centroid) lub – gdy liczba rozpatrywanych kryteriów jest większa od trzech – metodę sumy rang.

3.2. Metoda analitycznej hierarchizacji i metody pokrewne

AHP (ang. *Analytical Hierarchy Process*) [28]

Metoda ta umożliwia, na podstawie werbalnych porównań parami kryteriów ze sobą oraz wariantów decyzyjnych ze względu na kolejne kryteria, na utworzenie wektora skali, którego składowe pozwalają na porządkowanie wariantów decyzyjnych i wybór najlepszego z nich. Do porównań wykorzystuje się 9-stopniową skalę ocen, zwaną skalą Saaty'ego. Strukturę hierarchiczną należy rozumieć w ten sposób, że cel ogólny znajduje się na najwyższym poziomie hierarchii. Jest on dekomponowany na niezależne od siebie kryteria oceny, wyznaczone przez preferencje decydenta. Znajdują się one na kolejnym poziomie hierarchii. Hierarchia może być wielopoziomowa, co oznacza, że rozpatrywane kryteria mogą dzielić się na podkryteria, które z kolei mogą podlegać kolejnemu podziałowi. Na najniższym poziomie hierarchii znajdują się rozpatrywane warianty decyzyjne. Przyjmuje się, że znajdujące się na kolejnych poziomach elementy są w pełni porównywalne.

REMBRANDT (ang. *Ratio Estimation in Magnitudes or deciBells to Rate Alternatives which are Non-Dominated*) [18]

Skala Saaty'ego zostaje zastąpiona skalą logarytmiczną, a wykorzystywana do wyznaczania wektorów skali metoda wartości własnej Perrona-Frobeniusa – metodą logarytmicznych najmniejszych kwadratów. Struktura hierarchiczna obejmuje trzy poziomy: najwyższy – na którym znajduje się cel nadrzędny, środkowy – na którym znajdują się kryteria oceny, i najniższy, na którym umieszczone są rozpatrywane warianty. Ocena wariantów jest otrzymywana z wykorzystaniem reguły opartej na średniej geometrycznej. Metoda ta jest odpowiedzią na zarzuty wysuwane pod adresem AHP, dotyczące stosowanej tam skali ocen, sposobu uzyskiwania syntetycznej oceny wariantów oraz możliwości pojawienia się zmian w rankingu w wyniku dodania nowego wariantu.

F-AHP (ang. *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*) [19]

Ocnom werbalnym przyporządkowane są trójkątne liczby rozmyte. Wykorzystywane są α – odcięcia uzyskanych ocen. Dla każdego wybranego α_i tworzymy zadanie programowania liniowego, uzyskując wektor skali dla kryteriów. Pozostałe kroki metody są podobne do wersji nierozmytej.

ANP (ang. *Analytic Network Process*) [29]

Metoda stanowi rozwinięcie metody AHP. Uchylone założenie o preferencyjnej niezależności kryteriów pozwala na uwzględnienie powiązań między kryteriami, a także

między kryteriami i wariantami decyzyjnymi. Powiązane ze sobą elementy tworzą grupy, zwane komponentami. Zależności pomiędzy komponentami są przedstawione za pomocą sieci. Porównanie parami komponentów, jak również elementów przebiega w taki sam sposób jak w metodzie AHP.

F-ANP (ang. *Fuzzy Analytic Network Process*) [33]

Ocnom werbalnym przyporządkowujemy trójkątne liczby rozmyte, wykorzystując skalę Changa. Wektor skali uzyskujemy na podstawie porównań lingwistycznych. Oryginalny algorytm ANP zmienia się w krokach, w których porównujemy komponenty i elementy.

MACBETH (ang. *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) [1]

Określamy relatywną atrakcyjność porównywanych elementów (ocena porządkowa), a następnie – w przypadku gdy elementy nie zostaną uznane za równie atrakcyjne – wyrażamy jakościową ocenę dotyczącą różnicy w atrakcyjności między elementem atrakcyjniejszym a tym mniej atrakcyjnym, wykorzystując do tego celu zbiór sześciu semantycznych kategorii (różnica „bardzo mała”, „mała”, „umiarkowana”, „duża”, „bardzo duża”, „ekstremalna”). Na podstawie uzyskanych odpowiedzi ustala się prekardynalną skalę przedziałową. W kolejnych krokach dla każdego z przeprowadzonych porównań rozwiązujemy odpowiednie zadanie programowania liniowego, zapewniamy unikalność otrzymanego rozwiązania i ustalamy oceny końcowe wariantów decyzyjnych.

3.3. Metody werbalne

Werbalna analiza decyzji (ang. Verbal Decision Analysis – VDA) jest wykorzystywana do analizy problemów nieustrukturyzowanych, w których występują głównie parametry jakościowe i dla których nie istnieje obiektywny model agregacji. Stosowane są oceny werbalne, dla których nie stosuje się żadnych operacji ilościowych.

ZAPROS (ros. *Метод ЗАПРОС - ЗАмкнутые ПРОцедуры у Опорных Ситуаций*)[17]

W metodzie wykorzystane są werbalne skale porządkowe. Na podstawie preferencji decydenta konstruowana jest wspólna skala porządkowa (Joint Ordinal Scale – JOS) dla rozpatrywanego problemu decyzyjnego i tworzony jest częściowy porządek na zbiorze wariantów decyzyjnych.

ZAPROS III [16]

Jest to modyfikacja metody ZAPROS. Wprowadzone zostało pojęcie wariacji jakościowej (Quality Variation – QV), która powstaje w wyniku zmiany jednej oceny w ramach skali dotyczącej jednego z kryteriów rozpatrywanych w problemie decyzyjnym. Oceniając

warianty decyzyjne, porównujemy wariacje jakościowe dla wszystkich par kryteriów i konstruujemy wspólne skale dla wariacji jakościowych dla wszystkich możliwych par kryteriów, tworzymy wspólną skalę wariacji jakościowych dla kryteriów (Joint Scale for Quality Variation – JSQV) i znajdujemy wartości rang oraz porównujemy parami rozpatrywane warianty decyzyjne, tworząc częściowy porządek na ich zbiorze.

3.4. Metody ELECTRE (fr. *ELimination Et Choix Traduisant la REalia*)

Podejście oparte na teorii użyteczności wieloatrybutowej jest krytykowane przez B. Roya i jego współpracowników. Roy proponuje rozszerzenie zbioru podstawowych sytuacji preferencyjnych w taki sposób, by obejmował sytuacje równoważności, preferencji słabej, preferencji silnej oraz nieporównywalności. Ponadto definiuje on relacje zgrupowane, co w połączeniu z zastosowaniem progów równoważności i progów preferencji, jak również zasady ograniczonej kompensacji pozwala na zdefiniowanie rozmytej relacji przewyższania.

ELECTRE I [27]

Wszystkie kryteria są oceniane na tej samej skali ocen. Dla każdej pary wariantów decyzyjnych wyznaczamy współczynnik zgodności, a następnie zbiór zgodności, poziom niezgodności, zbiór niezgodności i relację przewyższania.

ELECTRE Iv [27]

Metoda ta różni się od ELECTRE I tym, że próg weta może mieć inną wartość dla każdego kryterium.

ELECTRE Is [27]

Wykorzystane są progi równoważności i preferencji, co pozwala na zastosowanie pseudokryterium.

ELECTRE III [27]

Dla każdej pary wariantów decyzyjnych wyznaczamy współczynnik zgodności, a następnie – współczynnik wiarygodności, obniżając wartość współczynnika zgodności z tytułu wysokiej przewagi wariantu drugiego nad pierwszym ze względu na przynajmniej jedno kryterium. Następnie stosujemy procedurę destylacji zstępującej, wyznaczając pierwszy z wykorzystywanych dalej porządków (rozpoczynając od wariantów najlepszych do najgorszych), oraz destylacji wstępującej (rozpoczynając od wariantów najgorszych do najlepszych) i wyznaczamy na ich podstawie ranking końcowy.

ELECTRE TRI [27]

Metoda pozwala na zaklasyfikowanie wariantów decyzyjnych do predefiniowanych, uporządkowanych kategorii, opisanych przez profile. Przypisanie wariantu do danej kategorii następuje z wykorzystaniem procedury pesymistycznej lub optymistycznej.

ELECTRE I + SD [34]

Dla każdej pary wariantów decyzyjnych obliczamy współczynniki wyraźnej i niewyraźnej zgodności, a w razie potrzeby – wyjaśniamy sytuacje niejasne z decydentem. Po ustaleniu relacji przewyższania konstruujemy graf przewyższania w taki sam sposób jak w metodzie ELECTRE I.

ELECTRE III + SD [24]

Preferencja silna następuje wówczas, gdy zachodzi relacja SD zgodnie z przyjętym typem funkcji użyteczności, a ponadto różnica pomiędzy wartościami oczekiwanymi ocen jest nie mniejsza niż próg preferencji. Gdy różnica ta jest mniejsza niż próg preferencji, zachodzi preferencja słaba. Podobnie jak w metodzie ELECTRE III wyznaczamy współczynnik zgodności i współczynnik wiarygodności, jak również wykorzystujemy procedurę destylacji wstępującej i zstępującej.

3.5. Metody PROMETHEE (ang. *Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations*)

W metodach tej grupy pod uwagę brane są różnice między ocenami wariantów dla wszystkich kryteriów. Im większa jest różnica pomiędzy ocenami, tym silniej – ze względu na dane kryterium – preferowany jest jeden z wariantów. Jeśli różnica jest niewielka, to decydent słabo preferuje jeden z wariantów bądź też uznaje je za równoważne. Każdemu z kryteriów przyporządkowywana jest funkcja preferencji, służąca do pomiaru siły preferencji, stanowiąca przekształcenie różnicy między ocenami rozpatrywanych wariantów decyzyjnych ze względu na rozpatrywane kryterium i przyjmująca wartości z przedziału $[0,1]$.

PROMETHEE I [2]

Dla każdej pary wariantów obliczamy zagregowany indeks preferencji, a następnie dodatni i ujemny przepływ przewyższania. Dodatni przepływ przewyższania wyraża stopień, w jakim rozpatrywany wariant przewyższa wszystkie pozostałe. Ujemny przepływ przewyższania wyraża z kolei stopień, w jakim jest on przewyższany przez wszystkie inne warianty. Korzystając z wartości przepływów, tworzymy częściowy ranking wariantów decyzyjnych.

PROMETHEE II [2]

Dla każdej pary wariantów decyzyjnych obliczamy zagregowany indeks preferencji oraz dodatni i ujemny przepływ przewyższania. Uporządkowanie całkowite otrzymujemy, wykorzystując przepływ preferencji netto.

PROMETHEE II + weto [11]

Metoda ta stanowi połączenie podejścia wykorzystywanego w rodzinach metod ELECTRE i PROMETHEE. Dla każdej pary wariantów obliczamy współczynnik zgodności, wskaźniki niezgodności względem każdego z kryteriów i współczynnik wiarygodności. Następnie dla każdego wariantu decyzyjnego obliczamy dodatni i ujemny przepływ przewyższania oraz przepływ przewyższania netto i konstruujemy całkowite uporządkowanie wariantów.

EXPROM (ang. *EXtension of the PROMethee method*) [4]

Jest to modyfikacja metod PROMETHEE z wykorzystaniem wariantu idealnego i antyidealnego. Dla każdej pary wariantów obliczamy zagregowany słaby indeks preferencji oraz zagregowany ścisły indeks preferencji. Celem ścisłych indeksów preferencji jest zróżnicowanie stanów silnej preferencji występujących w przypadku więcej niż jednej pary wariantów. Następnie obliczamy dla każdej pary wariantów całkowity indeks preferencji, a dla każdego wariantu – dodatni i ujemny przepływ przewyższania. Konstruujemy uporządkowanie częściowe lub całkowite (po uprzednim obliczeniu przepływu netto).

EXPROM II + weto [12]

Dla każdej pary wariantów decyzyjnych obliczamy współczynnik zgodności, wskaźniki niezgodności względem każdego z kryteriów i współczynnik wiarygodności, następnie obliczamy zagregowany ścisły indeks preferencji i całkowity indeks preferencji, z kolei dla każdego wariantu dodatni i ujemny przepływ przewyższania oraz przepływ netto i konstruujemy całkowity ranking wariantów.

PROMETHEE II + weto + SD [23]

Obliczając współczynniki zgodności, niezgodności oraz wiarygodności, wykorzystujemy reguły SD. Dalsze postępowanie jest takie samo jak w metodzie PROMETHEE II + weto.

EXPROM II + weto + SD [9]

Obliczając współczynniki zgodności, niezgodności oraz wiarygodności wykorzystujemy reguły SD. Dalsze postępowanie jest takie samo jak w metodzie EXPROM II + weto.

3.6. Wykorzystanie punktów referencyjnych

TOPSIS (ang. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) [13]

Jest to jedna z najpopularniejszych metod rozwiązywania wielokryterialnych zadań dyskretnych. Rozpatrywane warianty decyzyjne porównujemy z abstrakcyjnymi ważonymi rozwiązaniami referencyjnymi: idealnym i antyidealnym. Wyznaczenie uporządkowania wymaga, przy uwzględnieniu wag kryteriów i normalizacji oraz wybranej metrycy, obliczenia dla każdego rozpatrywanego wariantu decyzyjnego odległości tego wariantu od rozwiązań referencyjnych i znalezienia wartości miernika syntetycznego, pozwalającego na utworzenie uporządkowania końcowego.

F-TOPSIS (ang. *Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) [14]

Wartości kryteriów charakteryzujących warianty decyzyjne są podane jako trójkątne liczby rozmyte. Przebieg algorytmu jest taki sam jak w źródłowej metodzie TOPSIS, konieczne jest operowanie arytmetyką rozmytą.

VIKOR (serb. *Vlsekriterijumska Optimizacija i Kompromisno Resenje*) [25]

Jest to metoda bardzo rozpowszechniona dzięki pracy Opricovica i Tzenga [26], porównującej ją z metodą TOPSIS. Punktami odniesienia są: wariant idealny i wariant antyidealny. Dla każdego wariantu decyzyjnego obliczamy średnią ważoną odległość od punktu idealnego i maksymalną ważoną odległość od punktu idealnego oraz wartość kompleksowego wskaźnika. Na tej podstawie konstruujemy trzy uporządkowania, które następnie porównujemy ze sobą przez testowanie warunków akceptowalnej przewagi i akceptowalnej stabilności decyzji.

DEMATEL + ANP + VIKOR [33]

Pozwala na rozpatrywanie problemów decyzyjnych, w których zachodzi zależność między kryteriami i wariantami. Jest połączeniem trzech metod. Pierwszą z nich jest DEMATEL (ang. *DEcision Making Trial and Evaluation Laboratory*) [7]. Pozwala ona na wyjaśnienie zależności pomiędzy elementami modelu i określenie macierzy relacji bezpośrednich i pośrednich bez konieczności wykonywania uciążliwych porównań parami. Do uzyskania granicznej supermacierzy wykorzystywana jest metoda ANP, natomiast końcowe uporządkowanie otrzymujemy z wykorzystaniem metody VIKOR.

BIPOLAR [15]

Porównanie wariantów decyzyjnych nie jest przeprowadzane bezpośrednio, lecz z wykorzystaniem podanego przez decydenta dwubiegunowego układu referencyjnego, zawierającego obiekty „dobre” i „złe”. Porównań tych dokonujemy w sposób zbliżony do metodologii wykorzystywanej w metodach ELECTRE. Wyznaczamy w ten sposób wskaźniki

przewyższania i określamy strukturę preferencji. Pozwala to na określenie pozycji każdego wariantu względem całego układu referencyjnego, a następnie na wnioskowanie o relacjach w zbiorze wariantów decyzyjnych i określenie bipolarnego uporządkowania wariantów decyzyjnych.

BIPOLAR zmodyfikowany [32]

Proponowane zmiany w stosunku do metody wyjściowej dotyczą pojawienia się wariantów decyzyjnych lepszych od „dobrych” i gorszych od „złych”. W zależności od zaistniałej sytuacji modyfikowane są wówczas zbiory obiektów „dobrych”, zbiory obiektów „złych” lub też rozszerzony jest zbiór kategorii. Drugi rodzaj zamian dotyczy sytuacji, gdy system referencyjny składa się z dużej liczby elementów. Elementy te wykorzystujemy do określenia funkcji lokalnej preferencji, pozycji względem bipolarnego systemu referencyjnego, określenia wag oraz progów weta.

BIPOLAR + SD [10]

Zmiany w stosunku do źródłowej metody BIPOLAR polegają na uwzględnieniu w pierwszej fazie procedury rozkładów ocen wariantów względem każdego z kryteriów i zastosowaniu reguł SD, wykorzystaniu koncepcji pseudokryterium oraz określeniu pozycji badanych wariantów w stosunku do bipolarnego systemu referencyjnego w sposób, w którym można rozpoznać ideę metody PROMETHEE II.

3.7. Metody interaktywne

Wykorzystując podejście interaktywne, zakładamy, że decydent potrafi dostarczyć informacji o charakterze lokalnym, tzn. ocenić pojedynczy wariant lub niewielki podzbiór wariantów. Każda iteracja jest podzielona na dwie fazy: obliczeniową oraz dialogu z decydentem. W fazie dialogu decydent jest proszony o wyrażenie preferencji przez sformułowanie opinii na temat wartości parametrów rozkładów prawdopodobieństwa opisujących konsekwencje wynikające z wyboru proponowanych wariantów decyzyjnych. Decydent ujawnia swoje preferencje, oceniając proponowane rozwiązanie oraz wskazując kierunki jego poprawy. Proces jest kontynuowany do momentu uzyskania rozwiązania uznawanego przez decydena za satysfakcjonujące.

STEM-DPR (ang. *STEp Method for Discrete Decision Making Problems under Risk*) [21]

Metoda jest oparta na podejściu zastosowanym po raz pierwszy w metodzie STEM. W każdej iteracji decydentowi proponowane jest pojedyncze rozwiązanie, wyznaczone przy wykorzystaniu minimaksowej zasady pomiaru odległości od rozwiązania idealnego. Faza dialogu: decydent jest proszony o ocenę proponowanego wariantu i wskazanie, które

kryterium osiągnęło wartość satysfakcjonującą oraz w jakim stopniu ocena wariantu ze względu na to kryterium może być osłabiona.

INSDECM (ang. *INteractive Stochastic DECision Making Procedure*) [22]

Metoda jest oparta na podejściu wykorzystywanym w interaktywnym programowaniu celowym. W każdej iteracji decydentowi przedstawiana jest macierz osiągnięć, na którą składają się najlepsze i najgorsze oceny wariantów ze względu na poszczególne kryteria. W przypadku uznania przez decydenta ocen pesymistycznych za niesatysfakcjonujące, jest on proszony o sformułowanie warunku, który powinien być spełniony, by rozwiązanie mogło być zaakceptowane. Wymagania decydenta są formułowane jako ograniczenia na wartości wybranych parametrów rozkładów ocen.

ATO-DPR (ang. *Analysis of Trade-Offs for Discrete Decision Making Problems under Risk*) [20]

W celu wyznaczenia wariantu próbnego analizowane są współczynniki wymiany. Rozwiązania początkowe wyznaczane są tak jak w metodzie STEM-DPR – przy wykorzystaniu minimaksowej zasady pomiaru odległości od rozwiązania idealnego. Jeżeli decydent nie jest usatysfakcjonowany zaproponowanym rozwiązaniem, to jest proszony o uporządkowanie kryteriów zgodnie z rosnącą satysfakcją z ocen, jakie względem nich uzyskał wariant próbny. Do wyznaczenia nowej propozycji dla decydenta wykorzystywana jest informacja na temat relacji pomiędzy rozkładami prawdopodobieństwa współczynników wymiany.

4. Wybór metody wielokryterialnej

Z uwagi na ogromną różnorodność dostępnych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, z których każda ma specyficzne zalety, wady i ograniczenia, konieczne jest przeprowadzenie szczegółowej analizy jakościowej w celu wybrania techniki odpowiedniej dla rozpatrywanego problemu decyzyjnego. Zagadnienie wyboru metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji stanowi samo w sobie problem wielokryterialny.

Model Gershona [8]

Zawiera 27 kryteriów (tabela 1) umożliwiających porównywanie wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji.

Zostały one podzielone na 4 grupy:

- kryteria $f_1 - f_5$: obowiązkowe kryteria binarne, których niespełnienie powoduje wyeliminowanie rozpatrywanej metody z dalszych rozważań,

- kryteria $f_6 - f_{12}$: fakultatywne kryteria binarne,
- kryteria $f_{13} - f_{19}$: kryteria odnoszące się do własności metody wielokryterialnej, oceniane w skali od 0 do 10,
- kryteria $f_{20} - f_{27}$: kryteria odnoszące się do implementacji metody, oceniane w skali od 0 do 10.

Tabela 1

Kryteria wyboru metody wielokryterialnej stosowane w procedurze Gershona

f_1	Kryteria jakościowe	f_{15}	Czas na interakcję
f_2	Zbiory dyskretne	f_{16}	Świadomość decydenta
f_3	Zbiory ciągłe	f_{17}	Zgodność/ konsekwencja/ logika rozwiązań
f_4	Problemy dynamiczne	f_{18}	Odporność rozwiązań
f_5	Problemy stochastyczne	f_{19}	Grupowy decydent
f_6	Porównanie z punktem docelowym	f_{20}	Liczba celów/ oczekiwań
f_7	Porównanie z poziomem aspiracji	f_{21}	Liczba systemów
f_8	Bezpośrednie porównania	f_{22}	Liczba ograniczeń
f_9	Sprawność rozwiązań	f_{23}	Liczba zmiennych
f_{10}	Kompletny ranking	f_{24}	Poziom wiedzy decydenta
f_{11}	Ranking na skali kardynalnej	f_{25}	Czas dostępny na interakcję
f_{12}	Zmienne całkowitoliczbowe	f_{26}	Potrzeba interakcji
f_{13}	Czas pracy komputera	f_{27}	Przekonanie dotyczące struktury preferencji
f_{14}	Czas na implementację metody		

Źródło: [12].

Model Teclé'a [30]

Zawiera 49 kryteriów (tabela 2) umożliwiających porównywanie wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji. Zostały one również podzielone na 4 grupy:

- kryteria $f_1 - f_{13}$: kryteria dotyczące problemu decyzyjnego,
- kryteria $f_{14} - f_{20}$: kryteria dotyczące decydenta lub analityka,
- kryteria $f_{21} - f_{40}$: kryteria dotyczące techniki wielokryterialnej,
- kryteria $f_{41} - f_{49}$: kryteria dotyczące rozwiązania.

Tabela 2

Kryteria wyboru metody wielokryterialnej stosowane w procedurze Teclé'a

f_1	Skończona liczba wariantów	f_{26}	Stosowalność do rzeczywistych problemów
f_2	Nieskończona liczba wariantów	f_{27}	Wiarygodność algorytmu
f_3	Kryteria jakościowe	f_{28}	Łatwość użycia
f_4	Problemy stochastyczne	f_{29}	Elastyczność
f_5	Problemy dynamiczne	f_{30}	Sposób osiągnięcia rozwiązania
f_6	Rozmiar problemu	f_{31}	Łatwość kodowania
f_7	Liczba celów/kryteriów	f_{32}	Ciężar obliczeniowy

cd. tabeli 2

f_8	Liczba wariantów	f_{33}	Wymagany czas interakcji
f_9	Liczba i typ ograniczeń	f_{34}	Wymagany czas pracy komputera
f_{10}	Liczba zmiennych	f_{35}	Szybkość osiągnięcia zbieżności
f_{11}	Infomacja rozmyta	f_{36}	Wymagane charakterystyki parametrów
f_{12}	Problemy całkowitoliczbowe	f_{37}	Wymagana ilość informacji
f_{13}	Problemy nieliniowe	f_{38}	Procedura <i>ad hoc</i>
f_{14}	Indywidualne lub grupowe podejmowanie decyzji	f_{39}	Technika interaktywna
f_{15}	Czas przeznaczony przez decydenta na interakcję (dostępność)	f_{40}	Konieczność wykorzystania specjalnego oprogramowania
f_{16}	Zainteresowanie decydenta interakcją (chęć)	f_{41}	Typ rozwiązania (rangowe, numeryczne)
f_{17}	Założenia dotyczące informacji o preferencjach	f_{42}	Efektywność rozwiązania
f_{18}	Rzeczywisty stan wiedzy decydenta	f_{43}	Liczba rozwiązań w każdej iteracji
f_{19}	Wymagany stan wiedzy decydenta	f_{44}	Zupełny ranking
f_{20}	Potrzeba zaangażowania wykwalifikowanego analityka	f_{45}	Kardynalny ranking
f_{21}	Porównanie z punktem docelowym	f_{46}	Spójność rozwiązań
f_{22}	Porównanie z poziomem aspiracji	f_{47}	Odporność rozwiązań
f_{23}	Porównania bezpośrednie	f_{48}	Zaufanie do otrzymanego rozwiązania
f_{24}	Zdolność do przewidywania najlepszego wariantu	f_{49}	Użyteczność rozwiązania dla decydenta
f_{25}	Zdolność do wyznaczania punktów efektywnych		

Źródło: [30].

Obie procedury obejmują wybór kryteriów adekwatnych do rozpatrywanego problemu decyzyjnego, przydzielenie wag kryteriom, ocenę rozpatrywanych metod ze względu na ustalony wcześniej zbiór kryteriów i wskazanie metody z wykorzystaniem programowania kompromisowego.

5. Przykłady zastosowań [31]

5.1. Zastosowanie metod wielokryterialnych przy ocenie projektów Regionalnych programów Operacyjnych

Regionalne Programy Operacyjne to jedna z możliwości, dzięki której projekty mogą być współfinansowane przez Unię Europejską. Projekty ubiegające się o dofinansowanie w latach 2007-2013 podlegały ocenie kwalifikacyjnej, ocenie wykonalności oraz ocenie strategicznej. Wybór wniosków o dofinansowanie realizacji projektów odbywał się w ramach konkursu. Czynniki warunkujące kompletność i jakość wniosku były weryfikowane w procesie kwalifikacji opartym na procedurze rankingowej, której podstawą były oceny ekspertów, przyznawane każdemu zgłoszonemu wnioskowi zgodnie z ustalonymi kryteriami oraz przyjętą skalą ocen. Od uzyskanych ocen zależy, które projekty uzyskają wsparcie finansowe.

Funkcjonujący w ramach RPO Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2007-2013 system oceny i wyboru projektów w ramach Poddziałania 5.2.2. *Wsparcie inwestycji przedsiębiorstw* uwzględniał możliwość wykorzystania do wyboru projektów metodologii wielokryterialnego dyskretnego wspomaganie decyzji. Jeżeli alokacja środków na dany konkurs była większa od bądź równa wartości dofinansowania projektów, które dotarły do tego etapu, to wszystkie one zostały skierowane do dofinansowania, jeżeli natomiast jest ona niższa, to porządkuje się projekty za pomocą:

- metody średniej ważonej (stanowiącej wariant metody SAW), jeśli w odpowiedzi na konkurs złożonych zostało mniej niż 50 wniosków,
- metody PROMETHEE II z progiem veta, jeśli w odpowiedzi na konkurs złożonych zostało co najmniej 50 wniosków.

Wagi dla merytorycznych kryteriów oceny były ustalane przez Komitet Monitorujący za pomocą metody AHP. Komitet ten określał także – na zasadzie konsensusu – wartości progów równoważności, preferencji i veta wykorzystywane w metodzie PROMETHEE II z progiem veta. Inną propozycją było wykorzystanie do wyboru metody EXPROM z progiem veta.

Przeanalizowana została również procedura kwalifikacji wniosków, obowiązująca w województwie śląskim, wykorzystująca w procedurze rankingowej metodę sumy ważonej. Przeanalizowano ją pod kątem zgodności opinii ekspertów oceniających projekty. Jako alternatywny sposób postępowania zaproponowano procedurę wykorzystującą metodę ELECTRE III.

5.2. Interaktywny wybór projektów w firmie

Analizie poddajemy problem wyboru projektów inwestycyjnych w przedsiębiorstwie, które można scharakteryzować jako organizację o projektowym stylu zarządzania. Jego działalność skupia się na specyficznej gałęzi przemysłu wyróżniającej się szczególną dbałością o bezpieczeństwo oferowanych urządzeń oraz świadczonych usług. Po dyskusjach z przedstawicielami firmy ustalono, że celem przeprowadzanej analizy powinno być skonstruowanie portfela projektów maksymalizującego zysk, minimalizującego pracochłonność (mierzoną w roboczogodzinach), a jednocześnie takiego, który jest możliwie najmniej ryzykowny i gwarantuje największy potencjał przyszłych korzyści. Uzyskane informacje pozwoliły na zdefiniowanie kryteriów:

- f_1 – łączny zysk z realizacji projektów,
- f_2 – łączny czas realizacji projektów,
- f_3 – ryzyko związane z partnerem/kooperantem,
- f_4 – ryzyko ze strony klienta,
- f_5 – ryzyko wewnętrzne,
- f_6 – pozytywny wpływ projektu na działalność firmy.

Dotychczas firma nie wykorzystywała żadnych usystematyzowanych procedur, które pozwalałyby na oszacowanie rozkładów prawdopodobieństw kosztu oraz czasu realizacji projektów. Po dyskusjach przeprowadzonych z przedstawicielami firmy przyjęto, że w celu przeprowadzenia tego typu analizy zostanie wykorzystany model symulacyjny. Ustalono, że odpowiednie parametry rozkładów zostaną oszacowane przez pracowników przedsiębiorstwa.

Do oceny ryzyka projektu firma wykorzystuje macierz ryzyka projektu. Kartę ryzyka wypełnia grupa pracowników zaangażowanych w realizację projektu, tym samym dla każdego rozważanego obszaru ryzyka uzyskuje się kilka oszacowań wskaźnika wpływu ryzykownego zdarzenia na projekt. W ten sam sposób można również analizować wpływ niepewnych zdarzeń pozytywnie oddziałujących na przedsięwzięcie. W tym wypadku jednak preferowane są wyższe wartości wskaźnika.

Na podstawie przeprowadzonego wywiadu stwierdzono, że w fazie drugiej można skorzystać z jednej z dwóch metod interaktywnych: STEM_DPR oraz INSDECM. Ustalono, że zostanie przeprowadzony eksperyment w celu sprawdzenia, która z nich zostanie lepiej oceniona przez przedstawicieli przedsiębiorstwa.

5.3. Wybór systemu klasy ERP w przedsiębiorstwie

Wprowadzenie systemu ERP powinno się przyczynić do zwiększenia kontroli nad poszczególnymi projektami, redukcji zapasów oraz zmniejszenia kosztów magazynowania. Podstawą analizy wymagań przedsiębiorstwa powinno być to, że system ERP jest wybierany

na minimum 5 lat, więc formułowane cele wdrożenia systemu powinny uwzględniać strategię rozwoju przedsiębiorstwa.

Rozważmy przedsiębiorstwo, które działa na rynku wytwórstwa i montażu konstrukcji stalowych. Powstało ono dzięki fuzji trzech przedsiębiorstw z branży stalowej, specjalizujących się w różnych etapach cyklu produkcyjnego. Zarząd postanowił wdrożyć jeden zintegrowany system zarządzania klasy ERP, ponieważ rozwiązania występujące w poszczególnych przedsiębiorstwach grupy nie spełniały swojej funkcji w całej firmie.

Kryteria wyboru zostały podzielone na trzy grupy:

kryteria funkcjonalne, które określają możliwości systemu bezpośrednio postrzegane przez użytkownika:

- f_1 – kryterium zakresu funkcjonalnego,
- f_2 – kryterium elastyczność systemu,
- f_3 – kryterium stabilności systemu,
- f_4 – kryterium dostosowania strategicznego,
- f_5 – kryterium przyjazności użytkownikowi;

kryteria techniczne, które nie są dostrzegalne dla przeciętnego użytkownika w sposób bezpośredni, ale przekładają się na wiele cech określających możliwości systemu. Są to:

- f_6 – kryterium bezpieczeństwa danych,
- f_7 – kryterium innowacyjności,
- f_8 – kryterium architektury systemu,
- f_9 – kryterium dostosowania do technicznych potrzeb przedsiębiorstwa;

kryteria oceniające dostawcę. Należą do nich:

- f_{10} – kryterium możliwości organizacyjno – finansowych dostawcy,
- f_{11} – kryterium czasu i metodyki wdrożenia,
- f_{12} – kryterium udziału w rynku dostawcy,
- f_{13} – kryterium wsparcia ze strony dostawcy,
- f_{14} – kryterium kosztu całkowitego;

Na liście potencjalnych rozwiązań znalazły się: IFS Applications, IMPULS 5, SAP, BAAN IVc4, VANTAGE. Wstępna analiza wariantów pozwoliła na odrzucenie niektórych z nich. Dalej rozpatrywanymi wariantami decyzyjnymi są:

- a^1 – system IFS Applications,
- a^2 – system IMPULS 5
- a^3 – system SAP.

Ze względu na zależności występujące pomiędzy kryteriami oraz kryteriami i wariantami decyzyjnymi jako metodę rozwiązania zadania przyjęto ANP.

5.4. Selekcja akcji do portfela

Zagadnienie selekcji akcji do portfela obejmuje określenie zbioru akcji podlegających rozważaniom, wybór charakterystyk oceny każdej akcji, ustalenie ważności poszczególnych charakterystyk oraz wybór podzbioru akcji, które zostały uznane za szczególnie atrakcyjne i sugeruje się ich włączenie w skład portfela. Ponieważ istotą procesu selekcji jest redukcja rozpatrywanego zbioru, konieczne jest zastosowanie metod umożliwiających grupowanie i porządkowanie obiektów. Zbiór kryteriów oceny jest określony przez decydenta. Powyższa procedura nie ma na celu pełnej automatyzacji tego procesu. Głównym jej celem jest wskazanie decydentowi pewnego podzbioru ze zbioru rozpatrywanych akcji, które w świetle posiadanych informacji i preferencji mogą być uznane za szczególnie atrakcyjne i rekomendowane w celu włączenia do portfela.

W prowadzonych badaniach w wykorzystano następujące kryteria oceny:

- f_1 – stosunek ceny do zysku przypadającego na akcję,
- f_2 – stosunek ceny do wartości księgowej przypadającej na akcję,
- f_3 – stopę zwrotu z kapitału własnego,
- f_4 – stosunek kapitalizacji spółki do poziomu przychodów ze sprzedaży,
- f_5 – stopę zadłużenia,
- f_6 – stosunek średniego kursu spółki do maksymalnego kursu w poprzednich dwunastu miesiącach,
- f_7 – dynamikę zmiany średniego kursu w miesiącu do miesiąca poprzedniego.

Zastosowano zmodyfikowaną metodę Bipolar. Decydent definiuje kryteria przyporządkowania akcji do zbiorów referencyjnych zbioru akcji uznanych za zdecydowanie korzystne oraz zbioru akcji uznanych za zdecydowanie niekorzystne, nazywane odpowiednio zbiorem zwycięzców i zbiorem przegranych. Na podstawie danych historycznych budujemy system referencyjny. Następnie wyznaczamy pozycje poszczególnych akcji w stosunku do elementów systemu referencyjnego i konstruujemy ranking końcowy. Proces wspomaganie decyzji obejmuje następujące fazy:

- przedstawienie decydentowi proponowanych wag kryterialnych,
- prezentacja decydentowi progów veta,
- prezentacja decydentowi uporządkowań przygotowanych na podstawie pozycji akcji w stosunku do elementów systemu referencyjnego.

5.5. Ranking centrów handlowych

Rozpatrywany problem decyzyjny dotyczy wyboru najbardziej atrakcyjnego dla potencjalnego inwestora centrum handlowego spośród następujących czterech dostępnych na rynku (warianty decyzyjne):

- a^1 – centrum handlowe Sarni Stok w Bielsku-Białej,
- a^2 – centrum handlowe Ogrody w Elblągu,
- a^3 – centrum handlowe King Cross Praga w Warszawie,
- a^4 – centrum handlowe Piast w Szczecinie.

Na podstawie wiedzy eksperta określono 14 standardowych kryteriów oceny wykorzystywanych przy dokonywaniu tego typu inwestycji. Kryteria te można podzielić na dwie grupy:

kryteria dochodowe:

- f_1 – dochód operacyjny netto,
- f_2 – średnia wysokość stawki czynszu płacona w centrum (euro/m²/mies.);

kryteria atrakcyjności:

- f_3 – udział w rynku,
- f_4 – liczba najemców w danym centrum handlowym,
- f_5 – całkowita powierzchnia sprzedaży w ramach danego centrum (m²),
- f_6 – wielkość konkurencji,
- f_7 – możliwość rozbudowy centrum handlowego,
- f_8 – średnie zarobki brutto ludności w rejonie obiektu,
- f_9 – parking (liczba miejsc),
- f_{10} – wiek obiektu (lata),
- f_{11} – analiza SWOT,
- f_{12} – średnia miesięczna liczba klientów odwiedzających centrum handlowe,
- f_{13} – obecność rozrywki w centrum handlowym,
- f_{14} – obecność hipermarketu w centrum handlowym.

Do analizy wykorzystano VDA i program Unicombos. Po zakończeniu procesu przeprowadzania porównań otrzymujemy wynik w postaci grafu. Program pozwala także na wyświetlenie wszystkich decyzji, które doprowadziły do finalnego wyniku.

5.6. Analiza negocjacyjna

Przedstawiony dalej problem jest typowym przykładem negocjacji prowadzonych w ramach zarządzania przez firmę łańcuchem dostaw. Firma Comp4You od kilku lat zajmuje się produkcją gotowych zestawów komputerowych na rynek Polski. Komponenty do produkcji komputerów Comp4You zamawia bezpośrednio u azjatyckich dostawców. Doszło już do wstępnego porozumienia z firmą ChinBoard, mającą siedzibę w Chińskiej Republice Ludowej. Do podpisania kontraktu brakuje jeszcze ustaleń dotyczących trzech najbardziej kontrowersyjnych kwestii:

- f_1 – czasu dostawy partii produkcyjnej,
- f_2 – ceny jednostkowej przedmiotowej płyty głównej,

f_3 – gwarancji jakości partii produkcyjnej, specyfikującej warunki ewentualnego zwrotu wadliwych części.

Ze względu na specyfikę realizowanej przez Comp4You produkcji, brak odpowiednich magazynów składowania dostaw, znaczną odległość geograficzną od dostawcy nie można precyzyjnie zdefiniować w przyszłej umowie niektórych parametrów kontraktu. Negocjatorzy Comp4You w ocenie propozycji pod kątem ceny posługują się więc dopuszczalnymi przedziałami wartości. Comp4You przyjęło też pewne poziomy aspiracji i rezerwacji wobec potencjalnych ofert negocjacyjnych. W trakcie negocjacji firma ChinBoard przedstawiła oferty a^1 , a^3 oraz a^5 , natomiast firma Comp4You – oferty a^2 , a^4 oraz a^6 , które ze względu na brak możliwości precyzyjnego zdefiniowania zostały przedstawione w postaci liczb rozmytych.

Do wspomagania procesu oceny ofert negocjacyjnych wykorzystano metodę TOPSIS, która uwalnia negocjatora od żmudnego oceniania wszystkich elementów składowych przestrzeni negocjacyjnej. Dodatkowo algorytm ocenia oferty w bipolarnym systemie referencyjnym, który w sposób naturalny tworzą poziomy rezerwacji i aspiracji.

5.7. Premiowy system motywacji do pracy

Rozpatrujemy zagadnienie rozdziału premii w dziale telefonicznej obsługi klienta firmy świadczącej usługi cyfrowe, takie jak Internet czy telefonia internetowa. Celem firmy, oprócz maksymalizacji zysku, jest zdobywanie nowych klientów oraz utrzymanie dotychczasowych przez dbanie o jakość usług, a także sprzedaż nowych, lepszych lub bardziej zaawansowanych usług obecnym klientom.

Ważnym elementem oceny jakości pracy jest czas pracownika poświęcony na poszczególne zadania oraz na przerwy. Proces rejestracji rozpoczyna się w momencie, gdy pracownik loguje się do systemu w celu rozpoczęcia pracy. Rejestrowany jest czas realizacji wszystkich czynności.

W proponowanym systemie ocena pracowników przebiega dwuetapowo. W etapie pierwszym oceniane są dyscyplina pracy oraz sumienność każdego pracownika. Następuje tutaj eliminacja tych pracowników, dla których:

- średni czas zalogowania jest krótszy od 8 godzin 15 minut,
- średnia przerwa prywatna jest dłuższa od 30 minut,
- średnia krótka przerwa jest dłuższa od 15 minut,
- absencja przekracza 4 dni.

Jesteśmy zainteresowani wyborem grupy pracowników o określonej liczności (8 pracowników), którzy otrzymają premię za szczególnie dobre wypełnianie swych obowiązków w minionym kwartale. Uwzględniane są następujące kryteria:

- f_1 – zestandaryzowana ocena rozmów z uwzględnieniem parametru liczby rozmów,
- f_2 – sprzedaż usług,
- f_3 – zadania dodatkowe.

Zadanie to dla konkretnych danych liczbowych zostało rozwiązane przy wykorzystaniu metod AHP i PROMETHEE.

5.8. Konserwacja dzieł sztuki

Działania konserwatorów zabytków, niezależnie od dziedziny, którą się zajmują, powinny poprzedzać badania naukowe mające na celu wyznaczenie kierunku prac konserwatorskich i wybranie najlepszych metod działania. Rzetelne ich przeprowadzenie wyznacza wiele możliwych sposobów postępowania, które uwypuklają różne grupy wartości. Możliwości kształtowania wyróżnionych wartości po rekonstrukcji zabytku pozwalają na to, żeby traktować je jako kryteria decyzyjne. Wariantami decyzyjnymi są możliwe sposoby rekonstrukcji.

W Polsce w wiekach XVII i XVIII bardzo popularnym instrumentem były organy przenośne, nazywane pozytywami. Były one na wyposażeniu niemal każdej parafii. Niestety do dnia dzisiejszego zachowało się w Polsce tylko kilkanaście egzemplarzy tego bardzo popularnego niegdyś instrumentu. Jeden z zachowanych instrumentów tej grupy, odnaleziony ostatnio, pochodzi z Sokół koło Łap na Podlasiu. Celem prowadzonych prac było określenie kryteriów oceny oraz wykorzystanie ich do oceny wariantów rekonstrukcji instrumentu.

Wśród wartości zabytkowych organów wyróżniamy wartości historyczne, artystyczne, muzyczne i użytkowe.

Wartości historyczne określają dokumentarny charakter zabytku i jego wpływ na rozwój wiedzy historycznej. Grupa **wartości artystycznych** dotyczy postrzegania zabytkowych organów jako dzieła sztuki. **Wartości muzyczne** uwidaczniają się w czasie gry. **Wartości użytkowe** wskazują na możliwość wykorzystania instrumentu do gry lub jako eksponatu muzealnego. W ramach wymienionych powyżej grup pojawiają się następujące wartości szczegółowe, wykorzystane dalej jako kryteria decyzyjne:

- f_1 – wartość historyczno-badawcza,
- f_2 – wartość historyczno-techniczna,
- f_3 – wartość emocjonalna,
- f_4 – wartość posiadanego oryginału,
- f_5 – wartość historyczno-artystyczna,
- f_6 – jakość artystyczna,
- f_7 – oddziaływanie artystyczne,
- f_8 – wartość historyczno-muzyczna,
- f_9 – jakość muzyczna,
- f_{10} – oddziaływanie muzyczne,

f_{11} – wartość użytkowa wizualna,

f_{12} – wartość użytkowa muzyczna.

Określono 12 wariantów rekonstrukcji instrumentu i oceniono je ze względu na sformułowane powyżej kryteria. Oceniającym sformułowane dalej warianty decyzyjne był ekspert, wykorzystujący w trakcie ekspertyzy swą wiedzę. Zadanie rozwiązano, wykorzystując metodę ELECTRE I oraz metodę hybrydową (DEMATEL+AHP+VIKOR).

6. Zakończenie

Aby przybliżyć związki pomiędzy podjętymi w pracy [31] problemami a dyskretnymi metodami wielokryterialnymi, przygotowano zestawienie (tabela 3). Zarówno przedstawione w niniejszym artykule metody, jak i ich zastosowania zostały szczegółowo opisane w wymienionej pracy.

Tabela 3

Dyskretne metody wielokryterialne i ich zastosowania

Lp.	Metoda	Z	Lp.	Metoda	Z	Lp.	Metoda	Z
1	SAW	1	13	ELECTRE I	8	25	PROM II+veto+SD	
2	F-SAW	6	14	ELECTRE Iv		26	EXPROM II+veto+SD	
3	SMART		15	ELECTRE Is		27	TOPSIS	
4	SMARTER		16	ELECTRE III	1	28	F- TOPSIS	6
5	AHP	7	17	ELECTRE TRI		29	VIKOR	
6	REMBRANDT		18	ELECTRE I+SD		30	DEMATEL+ANP+VIKOR	8
7	F-AHP		19	ELECTRE III + SD		31	BIPOLAR	
8	ANP	3	20	PROMETHEE I		32	BIPOLAR zmodyf.	4
9	Fuzzy ANP		21	PROMETHEE II	7	33	BIPOLAR + SD	
10	MACBETH		22	PROM II + veto	1	34	STEM-DPR	2
11	ZAPROS		23	EXPROM		35	INSDECM	2
12	ZAPROS III		24	EXPROM + veto	1	36	ATO-DPR	2

Zastosowania (Z):

1. wybór projektów dofinansowanych ze środków unijnych (1,16),
2. interaktywny wybór projektów w firmie (34, 35, 36),
3. wybór systemu klasy ERP w przedsiębiorstwie (8),
4. selekcja akcji do portfela (32),
5. inwestowanie w nieruchomości (VDA),
6. wspomaganie negocjacji dwustronnych (28),
7. selekcja pracowników (5, 21),
8. renowacja zabytku (13, 30).

Przy tak dużej liczbie metod (a metody zaprezentowane w artykule stanowią tylko pewną część istniejących metod) nasuwa się pytanie o ich ocenę oraz rodzaje zadań, do których najlepiej je stosować. Ze względu na to, że metody mają odzwierciedlać subiektywne preferencje decydenta, trudno dokonać obiektywnej oceny. Można natomiast zwrócić uwagę na trudności w stosowaniu pewnych metod w konkretnych sytuacjach. Jeżeli chcemy np. wykorzystać metody wymagające porównania ze sobą kryteriów i wariantów decyzyjnych ze względu na kolejne kryteria i jeżeli liczba kryteriów i wariantów jest w rozpatrywanym problemie decyzyjnym znaczna, możemy napotkać istotne trudności.

Wybór metody w konkretnym problemie decyzyjnym wymaga merytorycznej dyskusji decydenta z analitykiem. Przedstawione w pracy propozycje, sformułowane przez Teckle'a, a także Gershona, nie wydają się wyczerpywać tego zagadnienia. Tak więc zarówno zagadnienia wyboru metody wielokryterialnej, jak i ocena tych metod w stosunku do odpowiednio określonych klas zadań powinny być przedmiotem dalszych szczegółowych badań.

Bibliografia

1. Bana e Costa C.A., Vansnick F.C.: Sur la quantification des jugements de valeur: L'approche MACBETH, Cahiers du LAMSADE, 117, Université Paris-Dauphine, Paris 1999.
2. Brans J.P.: L'ingenierie de la decision; Elaboration d'instruments d'aide a la decision. La methode PROMETHEE, [in:] Nadeau R., Landry M. (eds.): L'aide a la decision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir. Presses de l'Universite Laval, Quebec 1982.
3. Churchman C.W., Ackoff R.L.: An approximate measure of value. Journal of Operations Research Society of America, 2 (1), 1954.
4. Diakoulaki D., Koumoutsos N.: Cardinal ranking of alternative actions: extension of the PROMETHEE method. „European Journal of Operational Research”, 53, 1991.

5. Edwards W.: Social utilities, Engineering Economist, Summer Symposium, Series 6, 1971.
6. Edwards W., Barron F.H.: SMARTS and SMARTER: improved Simple methods for multiattribute measurement. „Organizational Behavior and Human Decision Process”, 60, 1994.
7. Gabus A, Fontela E.: Perceptions of the world problematic: Communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility. DEMATEL 1. Battelle Geneva Research Centre, Geneva 1973.
8. Gershon M.: Model choice in multi-objective decision-making in natural resource systems. Ph.D. Dissertation, University of Arizona, 1981.
9. Górecka D.: Zastosowanie metod wielokryterialnych opartych na relacji przewyższania do oceny europejskich projektów inwestycyjnych, [w:] M. Nowak (red.): Metody i zastosowania badań operacyjnych’10. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2010.
10. Górecka D.: Wielokryterialne wspomaganie wyboru projektów europejskich. TNOiK, Toruń 2009.
11. Górecka D., Muszyńska J.: Analiza przestrzenna innowacyjności polskich regionów. „Acta Universitatis Lodzianis Folia Oeconomica”, 253, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2011, 55-70.
12. Górecka D., Szałucka M.: Country market selection in international expansion using multicriteria decision aiding methods. “Multiple Criteria Decision Making”, 8, 2013, p. 31-55.
13. Hwang C.L., Yoon K.: Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications: A State of the Art Survey. Springer-Verlag, New York 1981.
14. Jahanshahloo G.R., Hosseinzadeh Lotfi F., Izadikhah M.: Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data. “Applied Mathematics and Computation” 185, p. 1544-1551.
15. Konarzewska-Gubała E.: Bipolar: Multiple Criteria Decision Aid Using Bipolar Reference System, LAMSADE, “Cashier et Documents”, 56, Paris 2009.
16. Larichev O.: Ranking multicriteria alternatives: The method ZAPROS III. „European Journal of Operational Research”, 131, 2001, p. 550-558.
17. Larichev O.I., Moskvich H.M.: ZAPROS-LM – a method and system for ordering multiattribute alternatives. “European Journal of Operational Research”, 82(3), 1995, p. 503-521.
18. Lootsma F.A.: The REMBRANDT system for multi-criteria decision analysis via pairwise comparisons or direct rating, Report 92–05, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, Delft 1992.
19. Mikhailov, L., Tzvetinov P.: Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. “Applied Soft Computing Journal”, 5, 2004, p. 23-33.

20. Nowak M.: Trade-off analysis in discrete decision making problems under risk, [in:] *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* 638, [in:] Jones D., Tamiz M., Ries J. (eds.): *New Developments in Multiple Objective and Goal Programming*. Springer Verlag, Berlin 2010, p. 103-115.
21. Nowak M.: *Interaktywne wielokryterialne wspomaganie decyzji w warunkach ryzyka. Metody i zastosowania*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2008.
22. Nowak M.: INSDECM – An interactive procedure for stochastic multicriteria decision problems. “*European Journal of Operational Research*”, 175, 2006, p. 1413-1430.
23. Nowak M.: Investment project evaluation by simulation and multiple criteria decision aiding procedure. “*Journal of Civil Engineering and Management*”, 11, 2005, p. 193-202.
24. Nowak M.: Preference and veto thresholds in multicriteria analysis based on stochastic dominance. “*European Journal of Operational Research*”, 158, 2004, p. 339-350.
25. Opricovic S.: *Multicriteria optimization of civil engineering systems*. Technical report, Faculty of Civil Engineering, Belgrade 1998.
26. Opricovic S. Tzeng G.H.: Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. “*European Journal of Operational Research*”, 156(2), 2004, p. 445-455.
27. Roy B., Bouyssou D.: *Aide Multicritere a la Decision: Methodes at Cas*, Economica. Paris 1993.
28. Saaty T.L.: *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, New York 1980.
29. Saaty T.L.: *Decision making with dependence and feedback. The analytic network process*. RWS Publications, 4922 Ellsworth Ave., Pittsburgh 1996.
30. Teclé A.: *Choice of multi-criteria decision-making techniques for watershed management*. Ph.D. Dissertation, University of Arizona 1988.
31. Trzaskalik T. (red.): *Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Metody i zastosowania*. PWE, Warszawa 2014.
32. Trzaskalik T., Sitarz S., Dominiak C.: Unified procedure for Bipolar method, [in:] Zadnik L., Žerovnik J., Poch. J., Drobne S., Lisec A. (eds.): *SOR'13 Proceedings* 2013.
33. Tzeng G.H., Huang J.J.: *Multiple Attribute Decision Making. Methods and Applications*. CRC Press, London 2011.
34. Zaráś K., Martel J.M.: *Multiattribute Analysis Based on Stochastic Dominance*, [in:] B. Munier B., Machina M.J. (eds.): *Models and Experiments in Risk and Rationality*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1994.

Abstract

Discrete multi-criteria decision support methods developed rapidly in the recent years and are used in decision making analysis in various fields of human activity. They may be considered as deterministic, stochastic or fuzzy problems. In deterministic problems decision table is created. In stochastic problems evaluation of each decision alternative is a random variable. Comparing among themselves decision alternatives according to each criterion we apply stochastic dominance rules. In fuzzy problems we use triangular fuzzy numbers to evaluate decision alternatives. We assume, that the decision maker want to choose the best alternative, to rank the alternatives or to classify them to the predefined classes. The purpose of this article is a representative overview of the multi-criteria discrete decision support methods, and selected applications.