

WIELOKRYTERIALNE PLANOWANIE PROJEKTÓW

Tomasz Błaszczyk*, Tadeusz Trzaskalik**

Akademia Ekonomiczna w Katowicach

***Streszczenie:** Celem niniejszej pracy jest prezentacja przykładów metod wielokryterialnych w kontekście ich zastosowań w procesach planowania projektów. Przegląd ten daje możliwość rozpoznania metod, które znajdują praktyczne zastosowania w optymalizacji planów projektów. Może również stanowić wskazówkę co do wyboru metody w przeprowadzanej analizie decyzyjnej.*

***Słowa kluczowe:** planowanie projektu, wielokryterialne podejmowanie decyzji.*

MULTI-CRITERIA PROJECT PLANNING

***Abstract:** The article is a review of selected methods in the of the decision making aiding in the project planning processes. It may be helpful in choosing a method for the analysis of the project decision making.*

***Keywords:** Project Planning, Multiple Criteria Decision Making.*

1. Wprowadzenie

Przedmiotem badań niniejszej pracy jest szeroko rozumiany projekt¹, który ze względu na swoją systemową naturę², złożoność obiektową, interakcje pomiędzy ele-

* Tomasz Błaszczyk, Katedra Badań Operacyjnych Wydziału Zarządzania Akademii Ekonomicznej w Katowicach, ul. Bogucicka 14, 40-226 Katowice, e-mail: tblaszcz@ae.katowice.pl

** Tadeusz Trzaskalik, Katedra Badań Operacyjnych Wydziału Zarządzania Akademii Ekonomicznej w Katowicach, ul. Bogucicka 14, 40-226 Katowice, e-mail: ttrzaska@ae.katowice.pl

¹ Project Management Institute (2004) definiuje projekt jako tymczasowe przedsięwzięcie podejmowane w celu wytworzenia unikalnego wyrobu lub usługi.

² Zgodnie z definicją podaną przez Tavaresa (2002), projekt to celowe przekształcenie systemu ze stanu początkowego s w stan s' , określony celami, które mają zostać osiągnięte.

mentami wewnątrz oraz na zewnątrz systemu, podlega wielokryterialnej ocenie przez decydentów reprezentujących odmienne stanowiska i różne preferencje.

Szczególną uwagę zwrócono na ocenę planu projektu przez decydentów, którzy dążą do jego pomyślnego zakończenia. „Pomyślność” nie jest jednakże kryterium samym w sobie, jest jedynie sformułowaniem agregującym oczekiwania dotyczące osiągnięcia celów w warunkach ograniczających ich realizację w praktyce. Oczekiwania te, zgłaszane niejednokrotnie przez wielu uczestników procesów planowania projektów, mogą stanowić kryteria decyzyjne, brane pod uwagę przy wyborze środka, za pomocą którego cele decydentów mają zostać osiągnięte lub rozwiązania, które będą w postaci projektu realizowane.

Celem pracy jest przedstawienie stanu badań nad zastosowaniem wielokryterialnych metod oceny projektów oraz wskazanie, na podstawie przeglądu literatury, możliwości zastosowań istniejących narzędzi w szerokim zakresie problemów występujących podczas planowania projektów.

W drugim rozdziale pracy omówiono procesy planowania projektów w kontekście ich definicji oraz umiejscowienia w cyklu życia projektu. Rozdział trzeci obejmuje omówienie zagadnienia wielokryterialności w projektach, wraz z opisem przykładowych kryteriów, stosowanych do oceny różnego rodzaju przedsięwzięć. W czwartym rozdziale pracy znajduje się ogólna charakterystyka metod wielokryterialnych przywołanych następnie w przykładach stanowiących literaturowy przegląd dotychczasowych ich zastosowań w planowaniu projektów. Przykłady te, przedstawione w rozdziale piątym, podzielono na cztery następujące grupy:

- klasa projektów inżynierskich, dla których uwzględniano aspekty techniczne lub technologiczne,
- klasa projektów informatycznych, wyróżnione ze względu na specyfikę branży,
- klasa projektów infrastrukturalnych, która obejmuje również projekty realizowane w sferze inżynierjino-informatycznej, w których nie uwzględniano jednakże aspektów technicznych ani technologicznych,
- klasa projektów inwestycyjnych, obejmująca pozostałe analizowane przypadki, niezaliczone do klas poprzednich.

Pracę kończy podsumowanie (rozdział szósty) obejmujące dyskusję nad klasami problemów decyzyjnych, w których przytoczone metody znajdują zastosowanie oraz wykaz wykorzystanej literatury.

2. Planowanie projektu

Niepewność i ryzyko, którymi w różnym stopniu obarczone są wszystkie prognozy i założenia dotyczące stanu systemu i jego otoczenia w przyszłości, powodują konieczność badania wrażliwości systemu i planowania zabezpieczeń w razie wystąpienia warunków niekorzystnych. Praktyczne doświadczenia dowodzą, że koszty reakcji na zaistniałe w fazie realizacji zagrożenia projektu i poniesione straty są zazwyczaj niewspółmiernie wyższe od dodatkowych nakładów, które należałoby ponieść, aby planując projekt zapobiec im lub znacznie zmniejszyć prawdopodobieństwo ich wystąpienia. Stąd też to właśnie w fazie planowania projektu kładzie się szczególny nacisk na dogłębność i kompleksowość analiz decyzyjnych.

Według wytycznych Project Management Institute (2004) planowanie projektu obejmuje następujące procesy: opracowywanie planu projektu, planowanie i dopracowywanie planu zakresu, identyfikację działań, określenie ich kolejności oraz szacowanie czasu trwania dla potrzeb opracowania harmonogramu, planowanie zasobów, szacowanie i budżetowanie kosztów, planowanie jakości, planowanie organizacyjne i pozyskiwanie personelu, planowanie komunikacji, planowanie zarządzania ryzykiem, identyfikację ryzyka, ich ilościową oraz jakościową analizę, a także planowanie reakcji na ryzyko, planowanie zamówień oraz zapytań.

3. Kryteria wykorzystywane w ocenie projektów

W praktyce zarządzania projektami ocena prospektywna zajmuje szczególne miejsce – jest narzędziem niezbędnym w procesach planowania zarówno na poziomie operacyjnym, taktycznym oraz strategicznym. Innymi słowy, ocena *a priori* jest narzędziem służącym formułowaniu celów oraz dróg ich realizacji. Właściwe określenie celów jest natomiast podstawą prawidłowego zarządzania organizacją. Projekt należy więc oceniać nie tylko w kontekście przebiegu jego realizacji, lecz również jego efektu (np. produkt lub usługę), który jest nadrzędnym celem wszystkich wykonanych czynności.

Dążąc do realizacji zamierzonego celu, decydent spotyka się z zagadnieniem pomiaru stopnia jego osiągnięcia. W terminologii badań operacyjnych stosowane jest pojęcie *funkcji kryterialnej* wyrażającej ilościowo wartość decyzji w modelu decydenta. Stąd też *kryterium* oznacza przyporządkowanie każdej decyzji ilościowej lub jakościowej oceny korzyści wynikających z jej podjęcia. Internetowy słownik³ podaje, że kryteria w kontekście zarządzania projektami stanowią cele, wytyczne, procedury i stan-

³ <http://www.4pm.pl/slownik/criteria,868.html>

dardy wykorzystywane we wszystkich fazach realizacji projektów. W przypadku problemów decyzyjnych, w których istnieje potrzeba jednoczesnego osiągnięcia większej od jednego liczby celów, mamy do czynienia z problemami *wielokryterialnymi*. Niewątpliwie każdy projekt ze względu na swą systemową specyfikę⁴ zalicza się do tej właśnie klasy problemów decyzyjnych. Na specyfikę tę składa się między innymi potrzeba podejmowania bieżących decyzji, których skutki zrealizują się w przyszłości w niemożliwym do precyzyjnego przewidzenia stanie natury. Systemowa natura projektu wymaga, aby każda analiza decyzyjna dotycząca wybranych obiektów w systemie – projekcie uwzględniała istnienie wszelkich interakcji z innymi obiektami i ewentualną zmianę ich parametrów. Poszczególne obiekty mogą charakteryzować się odmiennymi parametrami, które w różnym stopniu mogą wpływać na cechy całego projektu.

Liczba i charakter analizowanych kryteriów nie są ustalone dla wszystkich, są wręcz specyficzne dla poszczególnych projektów. Innym kryteriom oceny podlegają projekty inwestycyjne, innym socjalne, jeszcze innym badawcze. Niezależnie od charakteru rozważanego projektu i środowiska, w jakim będzie on realizowany, nieuniknione jest poniesienie pewnych kosztów realizacji oraz założenie skończonego przedziału czasu na jego wykonanie. Przykładem problemu wielokryterialnego może być związek pomiędzy nakładem czasu na realizację pewnej czynności a terminami rozpoczęcia lub zakończenia czynności powiązanych z nią relacją poprzedzania/następowania. Przedłużenie czasu realizacji takiej czynności (w szczególności, gdy znajduje się ona na ścieżce krytycznej) skutkuje koniecznością takiego przyspieszenia prac w czynnościach następujących, który zapewni dotrzymanie terminu realizacji całego projektu. Przyspieszenie takie, o ile w danym przypadku jest w ogóle możliwe, wymaga zaangażowania dodatkowych zasobów pracy, co wiąże się ze wzrostem kosztów realizacji projektu. Wzrost kosztów jest natomiast zjawiskiem negatywnym i niepożądanym. Zjawisko takie zachodzi również w kierunku przeciwnym – przekroczenie budżetu na pewnym etapie skutkuje koniecznością oszczędności w dalszej realizacji, co może przełożyć się na opóźnienia w terminach. Stąd też w najczęstszym przypadku, gdy w projekcie dąży się jednocześnie do jak najszybszego zakończenia realizacji oraz minimalizacji kosztów mamy do czynienia z konfliktem kryteriów. Opisany przykład nosi w literaturze anglojęzycznej nazwę *time-cost trade-off*. W języku polskim nie funkcjonuje termin będący dosłownym tłumaczeniem terminu angielskiego, stosuje się jednakże określenie *analizy czasowo-kosztowej*⁵. Dwukryterialny problem czasowo-kosztowy jest analizowany⁶ od początku lat 60. XX wieku, wkrótce po sformułowaniu metod siecio-

⁴ Rozważania nad projektem w kontekście teorii i inżynierii systemów przeprowadzone zostały m.in. w pracy Błaszczyka (2006).

⁵ Zagadnienie opisują m.in.: Ignasiak (red.) (2001) oraz Trzaskalik (2003).

⁶ Szczegółowy przegląd większości dotychczasowych osiągnięć w tym zakresie, zwłaszcza w przypadku dyskretnym, zawarty jest w pracy De et al. (1995).

wych CPM oraz PERT. Niniejsze dwa kryteria są zazwyczaj analizowane w większości projektów, niezależnie od ich charakteru i gałęzi gospodarki, w której są realizowane. Autorzy poszczególnych prac różnią się jednakże w formułowaniu wielkości, które powinny pełnić rolę kryteriów decyzyjnych. Tavares (2002) podaje jako uniwersalne dla wszystkich projektów kryteria czasowe (czas całkowity, terminy osiągnięcia poszczególnych kamieni milowych), finansowo-ekonomiczne oraz wykorzystania zasobów.

W zakresie oceny finansowo-ekonomicznej decydent dysponuje szerokim spectrum narzędzi pozwalających na analizę projektu, w zależności od oczekiwanej informacji. Przykładowo, Remer i Nieto (1995a, 1995b) analizują 25 kryteriów finansowej oceny projektów, które podzielono na 5 kategorii: zaktualizowanej wartości netto, stopy zwrotu, rachunkowe, wskaźnikowe oraz okresu zwrotu.

Odmienne podejście do uniwersalności kryteriów proponowane jest m.in. przez stowarzyszenia: Project Management Institute (PMI) oraz International Project Management Association (IPMA). W tym podejściu projekt charakteryzowany jest trzema kryteriami: czasem, kosztem i szeroko rozumianym zakresem projektu mierzonym np. nakładem pracy niezbędnym do wykonania zaplanowanych zadań. Kryteria te są ze sobą nierozdzielnie powiązane istnieniem zasobów (pracy i materiałowych), które w realizacji danego projektu uczestniczą. Pula zasobów jest zazwyczaj ograniczona ilościowo.

Poza przedstawionymi powyżej przykładami kryteriów oceny, które mogą być uznane za uniwersalne dla wszystkich typów projektów, każda branża działalności gospodarczej charakteryzuje się akcentowaniem pewnych specyficznych, typowych dla niej kryteriów. Szwabowski i Deszcz (2001) podają przykład projektu realizowanego w branży budowlanej charakteryzującego się 19 kryteriami. Do oceny porównawczej wariantowych rozwiązań projektowych zespołu wielorodzinnych budynków mieszkalnych przyjęto m.in. takie kryteria, jak: wymagana powierzchnia placu budowy, koszt realizacji, planowany czas realizacji, planowane tempo realizacji, rozwiązania funkcjonalne powierzchni, pracochłonność (nakłady pracy żywej), dostępność technologii oraz inne kryteria konstrukcyjno-technologiczne.

Interesujący przegląd kryteriów oceny projektów konstrukcyjnych zamieszczony został w pracy Lai *et al.* (2004) opisującej procedury stosowane na rynku chińskim. Przynotowane tutaj kryteria podzielono na sześć grup:

- zgodność ze specyfikacją zamówienia,
- projekt organizacyjny,
- wiarygodność i kompetencje oferenta,
- cena oferty i ilość zużytych materiałów,

- stopień redukcji kosztów (w odniesieniu do kosztorysu inwestorskiego),
- ocena konkurencyjna.

Odmienną specyfiką kryteriów oceny projektów charakteryzuje się sektor informatyczny, powszechnie określany mianem *IT (Information Technologies)*. Niemalże każda działalność podmiotów reprezentujących branżę IT realizowana jest w formie projektów, zarówno w zakresie sprzętowym (*hardware*), jak i programistycznym (*software*). Szczególna rola narzędzi zarządzania projektami związana jest tutaj z dynamicznym rozwojem technologii oraz silnym zagrożeniem konkurencyjnym, wymuszającym nieustanne opracowywanie nowych produktów oraz szybkie i precyzyjne ich wdrażanie. Podobnie jak w przypadku projektów inżynierii budowlanej, każdy produkt lub usługa opracowywany jest w oparciu o indywidualną specyfikację. Nie sposób więc wymienić oraz przewidzieć wszystkich możliwych kryteriów oceny projektu informatycznego. Przykładowo, Richter⁷, poza uniwersalnymi kryteriami oceny projektu, podaje jako kryteria otwartość systemu, „przyjazność” użytkownikowi, poprawę (w stosunku do ewentualnych poprzednich wersji) jakości i cech wizualnych, możliwości rozbudowy. Blin i Tsoukias (2001), powołując się na międzynarodowe normatywy (ISO 9126 oraz IEEE 1061) wyróżniają następujący zbiór kryteriów jakości oprogramowania: efektywność, funkcjonalność, niezawodność oraz przenośność. Zagadnienie systematyzowania kryteriów oceny projektów informatycznych w jednostkach podległych Departamentowi Obrony USA reguluje standard MIL-STD-498 (1995). Jako generalne kryteria uznane tutaj są: zdolność oprogramowania do spełnienia określonych wymagań oraz jego efektywność kosztowa w „czasie życia” całego systemu. Zaproponowano również zestaw nieobowiązkowych kryteriów szczegółowych, takich jak:

- umiejętność wykazania wymaganych zdolności i sprostanie wymaganym ograniczeniom,
- umiejętność wykazania wymaganego bezpieczeństwa, ochrony i prywatności,
- niezawodność/dojrzałość, wynikająca z doświadczeń przedsiębiorstwa,
- „testowalność”,
- zdolność do współdziałania z innymi systemami i elementami poza systemem,
- kwestie handlowe,
- zdolność do zachowania systemu,
- krótko- i długoterminowe koszty używania produktu software,

⁷ http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/Lehrangebot/Sommer2002/MvIP/MvIPKap0-2_2auf1.pdf

- techniczne, kosztowe oraz czasowe ryzyko i niezgodności wynikające z użytkowania oprogramowania.

4. Charakterystyka metod wielokryterialnych stosowanych w planowaniu projektów

Metody wielokryterialne zajmują ważne miejsce w badaniach operacyjnych. Wśród wielu zastosowań tych metod znajdujemy również liczne próby ich wykorzystania w różnych problemach związanych z planowaniem projektu. Przedstawimy poniżej pewne uwagi dotyczące najczęściej stosowanych ujęć w tym zakresie⁸.

Wielokrotnie rozpatrywanym przypadkiem jest sytuacja, w której decydent rozpatruje pewien zbiór kryteriów i preferowana jest sytuacja osiągnięcia jak najwyższej wartości przez każde z nich. Zadanie takie nazywamy *zadaniem wektorowej maksymalizacji*. Ponieważ kryteria są zazwyczaj konfliktowe, rzadko występuje sytuacja, w której istniałoby *rozwiązanie dominujące*, najlepsze jednocześnie ze względu na wszystkie kryteria. Stąd też jako rozwiązania optymalne przyjmujemy w zadaniach wektorowej maksymalizacji *rozwiązania niezdominowane* (Pareto-optymalne), czyli takie, że nie istnieje żadne inne rozwiązanie, umożliwiające polepszenie wartości któregośkolwiek z kryteriów bez konieczności obniżenia wartości przynajmniej jednego z pozostałych kryteriów.

Jeżeli wszystkie występujące w rozpatrywanym problemie kryteria oraz ograniczenia są funkcjami liniowymi, wówczas otrzymujemy *zadanie wektorowego programowania liniowego*. Istnieje możliwość efektywnego wygenerowania wszystkich wierzchołkowych rozwiązań sprawnych, jednak ich liczba jest zazwyczaj zbyt duża do efektywnego podjęcia decyzji, stąd następnym etapem jest uzyskanie ich reprezentacji o ustalonej liczebności (procedury filtracji). Odmiernym od opisanego powyżej modelowania preferencji decydenta jest uwzględnienie ich już na etapie konstrukcji modelu. Prowadzi to w procesie *skalaryzacji* do jednokryterialnego zadania optymalizacyjnego lub też ciągu takich zadań. Jako przykład ujęcia skalaryzującego można podać wykorzystanie addytywnej funkcji użyteczności.

Innym, często stosowanym sposobem rozwiązywania problemów wielokryterialnych jest podejście *programowania celowego*. Uwzględniamy tu, oprócz celów kierunkowych, przede wszystkim cele punktowe i przedziałowe. Formułując zadanie podstawowe, decydent określa charakter rozpatrywanych celów oraz pożądaną wartość od-

⁸ Pełny opis przedstawionych poniżej metod można znaleźć m.in. w książce Steuera (1986) oraz książce pod redakcją Figueiry, Greco i Ehrgotta (2005). W języku polskim metody te opisane są w książkach Trzaskalika (red.) (2006), Trzaskalik (2007).

powiadających im kryteriów. Dopuszczając możliwość nieosiągnięcia pewnych celów, minimalizuje się odchylenia otrzymanego rozwiązania od wielkości uznanych za pożądane. Często wykorzystywaną możliwością jest połączenie podejścia programowania celowego z hierarchizacją celów.

Bardzo często występującym zadaniem wielokryterialnym są *problemy dyskretne*, w których mniej lub bardziej licznym, ale skończony zbiór wariantów decyzyjnych oceniany jest ze względu na ustalone kryteria o charakterze ilościowym lub też jakościowym. Wśród bardzo wielu proponowanych szczegółowych rozwiązań znajdują się takie, które oparte są na klasycznej teorii podejmowania decyzji i zakładają porównywalność każdego dwóch rozpatrywanych wariantów decyzyjnych. Do najczęściej wykorzystywanych metod tej grupy można zaliczyć metodę *AHP* (Analytic Hierarchy Process), w której ranking końcowy otrzymujemy w wyniku prostej procedury rachunkowej wykorzystującej wyniki porównań parami rozpatrywanych wariantów decyzyjnych ze względu na kolejne kryteria oraz porównania parami kryteriów. We wszystkich tych porównaniach wykorzystywana jest dziewięciostopniowa skala. Rozwinięciem metody *AHP* jest metoda *ANP* (Analytic Network Process).

W opozycji do ujęcia, opartego na funkcji użyteczności, znajdują się metody z rodziny *Electre*. Porównując ze sobą dwa warianty decyzyjne ze względu na określone kryterium, możemy wykorzystać progi: równoważności i preferencji, pozwalające na określenie relacji równoważności, słabej preferencji i silnej preferencji. Przyjmuje się jednocześnie założenie o ograniczonej kompensacji, z wykorzystaniem progu weta. Otrzymane w wyniku agregacji wielokryterialnej uporządkowanie końcowe dopuszcza nieporównywalność pewnych par wariantów decyzyjnych. W przypadku gdy oceny wariantów decyzyjnych są wartościami losowymi ze znanymi rozkładami prawdopodobieństwa, do porównań tych rozkładów prawdopodobieństwa wykorzystuje się *dominacje stochastyczne*.

Inną grupą metod wykorzystujących rozmyte modelowanie relacji pomiędzy rozpatrywanymi wariantami decyzyjnymi są metody z rodziny *Promethee*. Decydent określa swe preferencje względem wariantów decyzyjnych na podstawie różnicy pomiędzy wartościami kryteriów dla rozpatrywanych parami wariantów decyzyjnych. Pozwala to na określenie indeksów oraz przepływów preferencji, co z kolei umożliwia – w zależności od wykorzystanej wersji metody – całkowite lub częściowe uporządkowanie rozpatrywanych wariantów decyzyjnych.

W proponowanych w literaturze rozwiązaniach jako uzupełnienie metod wielokryterialnych, stanowiących podstawę procesu podejmowania decyzji, stosuje się – jako uzupełnienie – metody heurystyczne i symulacyjne. Pierwsze z nich pozwalają na efektywne (choć przybliżone) rozwiązanie powstających w trakcie rozwiązania rozpatrywanego zadania trudnych problemów obliczeniowych. Swoje uzasadnienie w wielokryterialnym planowaniu projektów znajdują również metody symulacyjne, których

zastosowanie pozwala stwierdzić wpływ decyzji podjętej w celu zmiany pewnego parametru systemu (projektu) na zmiany, zazwyczaj niezamierzone, innych wielkości, pełniących często funkcje kryteriów decyzyjnych. Stąd też zastosowania metod symulacyjnych są szczególnie wyraziste w obrębach projektów, gdzie szczególnie trudno przewidzieć przyszłe stany otoczenia, w których będą one realizowane.

Znamienna dla projektów jest konieczność kreatywnego poszukiwania *nowych* rozwiązań dla różnych problemów. Oznacza to, że ostatecznie przyjęte rozwiązanie niekoniecznie musi być przewidywalne i opierać się na stanie wiedzy sprzed analizy. Doświadczenia praktyczne zarządzania projektami wskazują przypadki efektywnego poszukiwania rozwiązań złożonych problemów projektowych z wykorzystaniem metod grupowego podejmowania decyzji, takich jak: burza mózgów, metoda delficka czy synektyka. Przykładowo, Badiru i Pulat (1995) wskazują na szczególną użyteczność tych metod w przypadku, gdy decyzja musi zostać oparta na pewnym zestawie kwantyfikowalnych wskaźników, które poddają się obróbce ilościowej (pozwalają na obliczenie wartości średnich, mediany itp.). Z kolei Lee i Kim (2001) wskazują również na możliwość zastosowania metody delfickiej w połączeniu z analitycznym podejściem zero-jedynkowego programowania celowego.

5. Przykłady wykorzystania metod wielokryterialnych w planowaniu projektów

(i) Projekty inżynierskie

PRZYKŁAD 1. Wykonanie elewacji hotelu

Przykład zastosowania wielokryterialnego programowania liniowego omówiony został przez Arikana i Güngöra (2001). Przedmiotem badań jest projekt wykonania elewacji hotelu realizowanego w Rosji, w którym ocenie podlegały kryteria całkowitego kosztu oraz czasu realizacji. Dla wyróżnionych w projekcie zmiennych decyzyjnych $X(x_i; i = 1, 2, \dots, n)$, którymi są terminy i -tych zdarzeń, oraz $Y(y_{ij}; i = 1, 2, \dots, n-1, j = 2, 3, \dots, n)$, oznaczających kompresję czasu czynności pomiędzy zdarzeniami i oraz j , sformułowano model wielokryterialnego programowania liniowego.

PRZYKŁAD 2. Wybór wykonawcy projektu (zarządzanie zamówieniami w projekcie)

Al-Harbi (2001) opisuje możliwość wykorzystania metody AHP podczas sesji grupowego podejmowania decyzji, w tym przypadku burzy mózgów, oraz prezentuje

przykład jej zastosowania do wyboru wykonawcy projektu. W omówionym przykładzie zaprezentowano procedurę oceny pięciu oferentów, względem następujących kryteriów: doświadczenia (wyrażonego w latach funkcjonowania na rynku oraz liczby zrealizowanych podobnych projektów), stabilności finansowej (wyrażonej dysponowanym kapitałem oraz wielkością zadłużenia z uwzględnieniem dodatkowych informacji dotyczących relacji z bankami lub udziałem w konsorcjach), jakością wykonawstwa (mierzoną jakościowo charakterystyką organizacji wraz z informacjami o reputacji oferenta), ilością dysponowanych zasobów ludzkich oraz ich dostępnością, wielkością parku maszyn niezbędnych do realizacji projektu, a także liczbą i wielkością aktualnie realizowanych projektów.

PRZYKŁAD 3. Projekt jako oferta przetargowa

Metody wielokryterialne znajdują swoje zastosowania zarówno wśród zamawiających, jak i oferentów. Błaszczyk (2006) proponuje zastosowanie programowania celowego w połączeniu z metodą rachunku kosztów docelowych (metoda KDPC) w modelowaniu problemu decyzyjnego związanego z konstruowaniem oferty realizacji projektu. Autor omawia własne podejście metodologiczne, które zilustrowane jest dwoma przykładami: sformułowania oferty projektu serwisowego ocenianej względem kryteriów czasu, kosztu usługi oraz długości okresu udzielonej gwarancji oraz oferty realizacji projektu budynku jednorodzinnej z ocenianym przez klienta kryterium ceny realizacji brutto.

PRZYKŁAD 4. Projekt inżynierski – wybór wariantu projektowego

Koncepcję połączenia metod: AHP i grupowego podejmowania decyzji zaprezentowano w pracy Hwanga (2004) w odniesieniu do oceny alternatywnych projektów inżynierskich. Przedstawiona tamże procedura zawiera następujące trzy etapy:

- burzę mózgową przeprowadzaną wśród ekspertów poprzez sieć Internet lub intranet, rezultatem której jest określenie kryteriów oceny,
- wygenerowanie wariantów projektowych,
- indywidualną ocenę wariantów w oparciu o AHP dla rozmytych wartości ocen.

(ii) Projekty informatyczne

PRZYKŁAD 5. Wybór projektu informatycznego (1)

Santhanam i Kyprasis (1995) prezentują model programowania celowego, mający na celu wyłonienie najlepszego spośród 14 projektów. W tym celu definiują zmien-

ne binarne, oznaczające wybór lub brak wyboru poszczególnych projektów. W modelu tym konstruuja funkcję odchylen dla trzech syntetycznie sformulowanych celów: pierwszego – opisującego korzyści związane z wyborem konkretnych projektów, drugiego – kwantyfikującego ryzyko związane z dokonanym wyborem oraz trzeciego – minimalizacji poniesionych kosztów.

PRZYKŁAD 6. Wybór projektu informatycznego (2)

W pracy Lee, Kim (2000) wykorzystano zero-jedynkowe programowanie celowe wsparte analitycznym procesem sieciowym (ANP) do wyboru projektu informatycznego spośród sześciu dostępnych propozycji. Analizowano cztery kryteria: dokładność w operacjach obliczeniowych, efektywność procesów informatycznych, wsparcie idei organizacji uczącej się oraz koszt implementacji.

PRZYKŁAD 7. Wybór projektu informatycznego (3)

Praca Kearnsa (2004) stanowi omówienie przykładów wykorzystania metody AHP do oceny i wyboru projektów w branży informatycznej. Omówiony w niej problem dotyczy wyboru poszczególnych składowych projektu wdrożeniowego systemu informatycznego w przedsiębiorstwie, obejmującego: zaprojektowanie i instalację nowego systemu zarządzania kontaktami z klientami (CRM), zamówienie i instalację systemu gospodarki materiałowej, zamówienie i instalację systemu zarządzania produkcją, zamówienie i instalację systemu kontroli logistycznej oraz zamówienie i instalację bazy danych. Warianty projektowe ocenione zostały w świetle pięciu kryteriów: ryzyka inwestycyjnego, wzrostu dochodowości działalności przedsiębiorstwa, wzrostu efektywności operacyjnej, wzrostu poziomu zadowolenia klientów oraz podniesienia pozycji rynkowej.

(iii) Projekty infrastrukturalne

PRZYKŁAD 8. Planowanie rurociągu naftowego

Praca Dey *et al.* (1996) zawiera opis trzech modeli optymalizacyjnych projektu budowy rurociągu naftowego w ujęciu programowania celowego. Pierwszy z nich opracowany został dla potrzeb optymalizacji projektu w ujęciu całościowym, ze względu na kryteria kosztów realizacji projektu, natomiast dla poszczególnych okresów analizowano kryteria: poziomu wykonania planu projektu, procentu wykonanej pracy oraz kosztu pracy. Zmiennymi decyzyjnymi w powyższym modelu były wielkości nakładów pracy poniesionych w analizowanych okresach czasu. Drugi model, zastosowany do problemu planowania pracy zasobów, wykorzystywał cztery kategorie zmiennych decyzyj-

nych: stopnie zaawansowania poszczególnych czynności, nakłady pracy żywej, nakłady pracy sprzętu oraz zużycie poszczególnych materiałów. Jako cele w modelu drugim przyjęto: wykonanie założonych czynności w planowanym horyzoncie czasowym, wykorzystanie zasobów, nieprzekroczenie zaplanowanego poziomu wydatków, procentowe wykonanie planowanej pracy w danym czasie. W modelu trzecim, wykorzystanym na poziomie planowania poszczególnych czynności, uwzględniono zmienne opisujące stopień wykonania zadań związanych z poszczególnymi czynnościami, czas pracy żywej i sprzętu, koszty ewentualnej kompresji czasu czynności, koszty ewentualnych korekt planu projektu. W modelu trzecim założono osiągnięcie następujących celów: wykonanie określonych zadań w planowanym okresie, koszty wykonania poszczególnych czynności, koszty zużytych materiałów, ilość pracy poświęconej na wykonanie jednostki produktu (jednostki długości rurociągu), ilość wykonanej pracy w założonym terminie.

PRZYKŁAD 9. Projekt rozwoju regionalnego (Brazylia)

De Oliveira *et al.* (2003) rozważają problem planistyczny w pięcioletnim horyzoncie czasowym. Przedmiotem analizy jest projekt eksploatacji obszaru leśnego obejmującego ok. 2000 hektarów w stanie Parana. Skonstruowany model zakłada optymalizację przedsięwzięcia ze względu na następujące cele cząstkowe: wysokość wycinki poszczególnych gatunków drzew, wysokość zbiorów liści herbaty *erva-mate*, maksymalizacja liczby turystów odwiedzających omawiany obszar, możliwości wypasu bydła, zwiększenie zatrudnienia w celu przyczynienia się do rozwoju regionu, wzrost zróżnicowania flory i fauny na danym obszarze. Dla potrzeb konstrukcji modelu programowania celowego dokonano oceny wpływu zmiany wartości poszczególnych kryteriów na pozostałe, co pozwoliło na wyróżnienie celów konfliktowych, oraz ustalono priorytety celów. Funkcją celu w modelu decyzyjnym stanowiła ważona suma odchyleń dla wszystkich celów, dla wszystkich okresów.

PRZYKŁAD 10. Projekt rozwoju regionalnego (Chiny)

Li oraz Sherali (2003) omawiają procedurę AHP w ocenie wybranych projektów regionalnych przygotowanych w ramach programu rozwoju regionu rzeki Tumen w Chinach. Celem analizy było zgrupowanie 103 projektów względem ich atrakcyjności dla inwestorów zagranicznych. Kryteria oceny odniesiono zarówno do potrzeb potencjalnych inwestorów, jak i lokalnej społeczności. W pierwszym poziomie hierarchii uwzględniono dwa cele – zyski bezpośrednie oraz możliwości realizacji zysków w przyszłości. W ramach zysków bezpośrednich rozważono wewnętrzne wskaźniki ekonomiczne (aktualną wartość netto, wewnętrzną stopę zwrotu, okres zwrotu inwestycji, stopę zwrotu, wartość inwestycji) oraz zewnętrzne wskaźniki ekonomiczne (wartość wszystkich inwestycji w regionie na mieszkańca, stopę zyskowności inwestycji na

całkowitą zyskowność inwestycji w regionie). Wśród jakościowych wskaźników opisujących potencjalne przyszłe korzyści rozważono trzy podgrupy: lokalizacyjne (określające celowość uruchamiania inwestycji w danej lokalizacji oraz wpływ lokalizacji na systemy infrastrukturalne), produkcyjne (określające łatwość pozyskiwania surowców i ich ewentualnej obróbki na terenie danej lokalizacji) oraz produktowo – rynkowe (uwzględniające technologię wytwarzania oraz usytuowanie rynków zbytu na produkcję uruchomioną w ramach inwestycji). Wynikiem analizy jest klasyfikacja projektów w pięciu grupach, określających atrakcyjność w ujęciu obydwu głównych celów (konkurencyjności dla potencjalnego inwestora oraz korzyści dla regionu).

PRZYKŁAD 11. Wybór projektu infrastrukturalnego – przebieg autostrady

Ferrari (2003) przytacza propozycję modyfikacji metody AHP do potrzeb związanych z wyborem projektu infrastrukturalnego wraz z przykładem dotyczącym wyboru jednego z czterech wariantów przebiegu planowanej autostrady. Problem rozpatrzono względem następujących kryteriów: redukcji natężenia ruchu w aktualnym systemie drogowym po zakończeniu realizacji projektu, kosztu realizacji projektu, redukcji zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery po zakończeniu realizacji projektu oraz powierzchni obszaru wykorzystanego pod budowę nowej autostrady.

PRZYKŁAD 12. Projekt rozwoju infrastruktury pozyskiwania energii wiatrowej

Opisana przez Mavrotasa *et al.* (2003) klasyfikacja wariantów projektowych pozyskiwania energii elektrycznej z energii wiatrowej na terenie Grecji stanowi przykład wykorzystania metody Electre TRI w studium wykonalności projektów. Porównanie wszystkich analizowanych wariantów względem wybranych kryteriów pozwoliło na sklasyfikowanie ich w pięć predefiniowanych grup: wariantów bardzo dobrych, dobrych, średnich, złych, bardzo złych. Następnie wariantom z najlepszych klas przyporządkowano zmienne binarne oraz skonstruowano model binarnego programowania liniowego z celem maksymalizacji sumy agregowanych wielokryterialnych ocen wybranych wariantów.

PRZYKŁAD 13. Wybór wariantu projektowego – inwestycja proekologiczna (1)

Al-Rashdan *et al.* (1999) opisują metodologię przyjętą do planowania rozwiązań proekologicznych w zakresie gospodarki wodno-ściekowej na terenie Jordanii. Metodologia ta oparta jest na procesie złożonym z identyfikacji problemów i celów, w którym wykorzystują metodę burzy mózgów w ujęciu zorientowanym na cele planowania projektów, selekcji celów, specyfikacji kryteriów oraz ich wag, autorskiego opracowania szczegółowych projektów oraz rankingu i wyboru projektów do dalszej realizacji (w tym to etapie wykorzystywana jest metoda Promethee V).

PRZYKŁAD 14. Wybór wariantu projektowego – inwestycja proekologiczna (2)

Podobne zastosowanie tej samej metodologii, wykorzystującej Promethee V, również w projektach ekologicznych na terenie Jordanii opisują Abu-Taleb i Mareshal (1995). Opisujący przez nich problem dotyczy usprawnienia gospodarowania wodą pitną poprzez realizację wybranych projektów z zakresu inwestycji rzeczowych (29 wariantów), zmiany procesów zarządzania dotychczasowego systemu zarządzania wodą (6 wariantów), zmiany sposobów rozdziału wody i ustalania jej ceny (5 wariantów) oraz zmian w zakresie regulacji gospodarki (2 warianty). Porównania i wyboru dokonano w oparciu o 18 kryteriów, o charakterze zarówno ilościowym, takich jak: koszt inwestycji, pokrycie zapotrzebowania na wodę, sedimentacja itd., oraz jakościowym (np. jakość wody).

PRZYKŁAD 15. Projekt rozwoju infrastruktury pozyskiwania energii geotermalnej

Goumas *et al.* (1999) proponują zastosowanie metod Promethee I oraz Promethee II do planowania i oceny projektów pozyskiwania ciepła geotermalnego. Analizie podlega pięć wariantów decyzyjnych. Kryteria, względem których porównywane są warianty projektowe to: ekwiwalent wykorzystanej energii w masie ropy naftowej, stopy zwrotu inwestycji oraz liczba powstałych nowych miejsc pracy.

PRZYKŁAD 16. Projekt rozwoju infrastruktury melioracyjnej

Raju i Pillai (1999) przedstawiają wielokryterialną ocenę projektu systemu melioracyjnego w Indiach. Przedmiotem pracy jest ośmiokryterialna analiza pięciu wariantów projektowych. Badane kryteria mają charakter zarówno ilościowy (np. wydajność, całkowite zużycie wody), jak i jakościowy (np. odbiór społeczny). W analizie wykorzystują stochastyczną modyfikację metody Promethee II. Otrzymane rezultaty porównano z wynikami analizy tegoż problemu metodą multiplikatywnej funkcji użyteczności. Ze względu na rozbieżności w rankingach otrzymanych powyższymi metodami, ostatecznego wyboru dokonano w drodze konsensusu ekspertów.

(iv) Projekty inwestycyjne**PRZYKŁAD 17. Wybór portfela projektów inwestycyjnych**

Zastosowanie wielokryterialnego programowania liniowego w problemie wyboru portfela projektów inwestycyjnych proponują Graves i Ringuest (2003). W załączonych przykładach analizują projekty charakteryzujące się rozkładami prawdopodobieństw zwrotu inwestycji. Wielokryterialna analiza omawianych problemów dotyczy optymalnego doboru projektów, względem ponoszonego ryzyka oraz całkowitej wartości port-

fela. Autorzy ukazują ponadto znaczenie całościowego (systemowego) podejścia do analizy portfela projektów, które w odróżnieniu od indywidualnej oceny wariantów projektowych zabezpiecza przed odrzuceniem pozornie mniej korzystnych wariantów.

PRZYKŁAD 18. Projekty offsetowe

Radasch i Kwak (1998) przeanalizowali ogólny problem planowania inwestycji realizowanych w ramach offsetu w krajach nabywających amerykańskie technologie wojskowe. Powyższe zagadnienie analizowano z punktu widzenia oferenta, który łącznie z ofertą sprzedaży zobowiązany jest do przedstawienia projektów inwestycji w kraju nabywcy. Początkowy etap analizy obejmował ustalenie priorytetów poszczególnych kryteriów oceny (usystematyzowanych jako zbiory kryteriów ekonomicznych, społecznych, politycznych, wewnętrznych przedsiębiorstw – w sumie 23 kryteria o charakterze ilościowym i jakościowym) z wykorzystaniem metody AHP. Następnie skonstruowano oraz rozwiązano model programowania celowego minimalizujący ważoną (wagami uzyskanymi z AHP) sumę odchyień wartości poszczególnych kryteriów od założonych dla nich poziomów aspiracji. Rozważania przeprowadzono dla sześciu wariantów wartości inwestycji: od 250 do 450 milionów dolarów.

PRZYKŁAD 19. Analiza scenariuszy projektu inwestycyjnego

Badiru i Pulat (1995) akcentują przydatność metody AHP do rozwiązywania złożonych problemów decyzyjnych oraz proponują równoczesne stosowanie opartej na niej wielokryterialnej analizy scenariuszy projektu z wykorzystaniem symulacji. W analizowanym przykładzie autorzy rozpatrują pięć projektów porównywanych względem kryteriów: możliwości wsparcia zarządczego, wymagań zasobowych, wydajności technicznej, efektywności czasowej oraz wskaźnika kosztów do korzyści.

PRZYKŁAD 20. Wybór metody przygotowania i realizacji obiektu budowlanego

Al. Khalil (2002) opisuje zastosowanie metody AHP w procesie wyboru najkorzystniejszej metody przygotowania i realizacji projektu konstrukcyjnego. Rozważano następujące warianty decyzyjne:

- DBB (*design-bid-build*), w którym właściciel projektu zleca osobno zadania fazy koncepcyjnej, natomiast – dysponując opracowaną przez wygrywającego oferenta dokumentacją – dokonuje dalszego wyboru wykonawcy (lub generalnego wykonawcy) fazy realizacyjnej,
- DB (*design-bid*), gdzie właściciel projektu dokonuje jednorazowego wyboru oferty zawierającej zarówno usługę koncepcyjną, jak i wykonawczą,

- CM (*construction management*) polegającym na wyborze kierownika projektu odpowiedzialnego za cały przebieg prac nad projektem do określonego momentu, np. oddania obiektu do eksploatacji.

Oceny wariantów dokonano względem trzech następujących grup kryteriów:

- charakterystyk projektu: przejrzystość zakresu projektu, harmonogram projektu, kompleksowość i zgodność poszczególnych procesów, sposób określania wartości kontraktu,
- potrzeb właściciela projektu: dodatkowe obostrzenia wynikające z indywidualnych wymagań zleceniodawcy (dotyczyć mogą one np. studiów wykonalności, projektu technicznego, warunków kontraktowych itp.),
- preferencji właściciela projektu: odpowiedzialność poszczególnych uczestników realizacji, możliwość kontroli przebiegu realizacji, możliwość wpływania przez właściciela projektu na proces realizacji po zawarciu kontraktu.

PRZYKŁAD 21. Projekt inwestycyjny – rozwój produkcji

Wybór projektów na podstawie reguł opartych na dominacjach stochastycznych opisuje Dominiak (2000), przedstawiając problem wyboru wariantu inwestycyjnego linii produkcyjnej. Analiza decyzyjna obejmuje 5 wariantów inwestycji (zakup tańszej linii finansowanej kredytem, zakup droższej linii finansowanej kredytem, zakup tańszej linii finansowanej emisją akcji, zakup droższej linii finansowanej emisją akcji, odstąpienie od inwestycji) i przeprowadzona została w oparciu o 3 kryteria decyzyjne: skumulowany wolny przepływ gotówki na akcję, sprzedaż po dziesięciu latach jako miara pozycji firmy na rynku, aktualna wartość projektu netto – NPV. Rozkłady prawdopodobieństwa autor uzyskał, wykorzystując symulację Monte Carlo. Relacje pomiędzy kolejnymi wariantami ustalone zostały na podstawie analizy dominacji stochastycznych w ujęciu wielokryterialnym.

PRZYKŁAD 22. Wybór wariantu projektowego – inwestycja budowlana

Wong *et al.* (2006) stosują procedurę opartą na dominacjach stochastycznych do wyboru projektu inwestycji budowlanej przez agencję rządową. W analizie decyzyjnej pod uwagę wzięte zostały cztery kryteria ilościowe (NPV, liczba utworzonych nowych stanowisk pracy, liczba zatrudnionych w określonych grupach, liczba dodatkowo zatrudnionych w zarządzie właściciela obiektu) oraz jedno kryterium jakościowe – prestiż agencji. Oszacowanie wartości kryteriów w postaci liczb lub przedziałów rozmytych zlecono zespołowi ekspertów, natomiast do oceny poszczególnych wariantów zastosowano addytywną funkcję użyteczności.

6. Podsumowanie

Analizując powyższe przykłady zastosowań, stwierdzić można, że metody wielokryterialne w procesach planowania projektów znajdują zastosowania w trzech klasach problemów decyzyjnych:

- wyboru optymalnego, najlepszego w danej sytuacji decyzyjnej wariantu projektowego, zgodnie z oczekiwaniami i ograniczeniami decydenta (projekty opisane w przykładach: 4, 5, 6, 7, 8, 19, 20, 21, 22),
- optymalizacji w zakresie przyjętego wariantu projektowego, mającej na celu techniczną, technologiczną lub organizacyjną poprawę realizacji przyjętego wariantu (projekty opisane w przykładach: 1, 2, 3),
- zarządzania wieloma projektami, gdzie problem wyboru projektu wpisuje się w zagadnienie optymalizacji w projekcie nadrzędnym, czyli programem lub portfelem projektów (projekty opisane w przykładach: 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18).

Klasy te natomiast, o ile nie wyczerpują, to w znacznym stopniu wspomagają większość problemów decyzyjnych, przed którymi stają decydenci podczas planowania projektów. Stąd też stwierdzić można, że istniejące i opisane metody wielokryterialne stanowią efektywne narzędzia wsparcia zespołów projektowych.

W niniejszej pracy omówiono obszar zastosowań wielokryterialnych metod wspomagania decyzji. Jego rozległość świadczy zarówno o potrzebie poszukiwań optymalnych rozwiązań projektowych w kontekście wielu kryteriów oraz o możliwościach aplikacji wielu metod wykorzystywanych również w innych problemach decyzyjnych.

Zarządzanie projektami jest dynamicznie rozwijającą się dziedziną wiedzy i umiejętności, nieustannie wzrasta liczba firm zarządzanych przez projekty i projektów przez nie realizowanych. Natomiast projekty te, z definicji⁹ pozostające przedsięwzięciami niepowtarzalnymi, w fazie planowania niezmiennie wymagać będą przeprowadzenia analiz *ex ante*, konstruowania modeli wielokryterialnych i narzędzi optymalizacyjnych wspomagających decydentów w efektywnym zarządzaniu nimi.

⁹ Project Management Institute (2004), str. 16.

Bibliografia

- Abu-Taleb M.F., Mareschal B. (1995), *Water resources planning in the Middle East; application of the PROMETHEE V multicriteria method*, European Journal of Operational Research 81, s. 500-512.
- Al.-Harbi K.M.Al.-S. (2001), *Application of the AHP in project management*, International Journal of Project Management 19, s. 19-27.
- Al Khalil M.I. (2002), *Selecting the appropriate project delivery method using AHP*, International Journal of Project Management 20, s. 469-474.
- Al-Rashdan D., Al-Kloub B. Dean A., Al-Shemmeri T. (1999), *Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan*, European Journal of Operational Research 118, s. 30-45.
- Arikan F., Güngör Z. (2001), *An application of fuzzy goal programming to a multiobjective project network problem*, Fuzzy Sets and Systems 119, s. 49-58.
- Badiru A.B., Pulat P.S. (1995), *Comprehensive Project Management: Integrating Optimization models, Management Principles, and Computers*, PRENTICE HALL PTR, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Blin M.-J. Tsoukiàs A. (2001), *Contribution of Multi-criteria Methodology to Software Quality Evaluations*, Software Quality Journal 9, s. 113-132.
- Błaszczuk T. (2006), *Metody wielokryterialne w planowaniu projektów*, dysertacja doktorska, niepublikowana, Akademia Ekonomiczna w Katowicach.
- De P., Dunne E.J., Ghosh J.B., Wells Ch.E. (1995), *The discrete time-cost tradeoff problem revisited*, European Journal of Operational Research 81, s. 225-238.
- De Oliveira F., Volpi N.M.P., Sanquetta C.R. (2003), *Goal programming in planning problem*, Applied Mathematics and Computation 140, s. 165-178.
- Dey P.K., Tabucanon M.T., Ongulana S.O. (1996), *Petroleum pipeline construction planning: a conceptual framework*, International Journal of Project Management 14, s. 231-240.
- Dominiak C. (2000), *Wielokryterialna procedura wspomaganie wyboru wariantu inwestycyjnego w warunkach ryzyka*, w: Trzaskalik T. (red.): Modelowanie preferencji a ryzyko '00, Katowice.
- Ferrari P. (2003), *A method for choosing from among alternative transportation projects*, European Journal of Operational Research 150, s. 194-203.
- Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (red.) (2005) *Multiple Criteria decision Analysis. State of the Art Surveys*. Springer Science + Business Media Inc.
- Goumas M.G., Lygerou V.A., Papayannakis L.E. (1999), *Computational methods for planning and evaluating geothermal energy projects*, Energy Policy 27, s. 147-154.
- Graves S.B., Ringuest J.L. (2003), *Models & methods for project selection*, Kluwer AP.
- Hwang H.-S. (2004), *Web-based multi-attribute analysis model for engineering project evaluation*, Computers and Industrial Engineering 46, s. 669-678.
- Ignasiak E. (red.) (2001), *Badania Operacyjne*, Wydanie trzecie zmienione, PWE, Warszawa.
- Kearns G.S. (2004), *A multi-objective, multi-criteria approach for evaluating IT investments: Results from two case studies*, Information Resources Management Journal 17, s. 37-62.

- Lai K.K., Liu S.L., Wang S. (2004), *A method used for evaluating bids in the chinese construction industry*, International Journal of Project Management 22, s. 193-201
- Lee J. W., Kim S.H. (2000), *Using analytic network process and goal programming for independent information system project selection*, Computers & Operations Research 27, s. 367-382.
- Lee J.W., Kim S.H. (2001), *An integrated approach for interdependent information system project selection*, International Journal of Project Management 19, s. 111-118.
- Li Q., Sherali H.D. (2003), *An approach for analyzing foreign direct investment projects with application to China's Tumen River area development*, Computers and Operations Research 30, s. 1467-1485.
- Mavrotas G., Diakoulaki D., Capros P. (2003), *Combined MCDA-IP Approach for project selection in the electricity market*, Annals of Operations Research 120, s. 159-170.
- MIL-STD-498 (1995), źródło: http://www.pogner.demon.co.uk/mil_498/
- Project Management Institute (2004) *A guide to the project management body of knowledge: PMBOK Guide – 3rd ed.* PMI Inc. Newtown Square.
- Radasch D.K., Kwak N.K. (1998), *An integrated mathematical programming model for offset planning*, Computers and Operations Research 25, s. 1069-1083.
- Raju K.S., Pillai C.R.S. (1999), *Multicriterion decision making in performance evaluation of an irrigation system*, European Journal of Operational Research 112, s. 479-489.
- Remer D.S., Nieto A.P. (1995a), *A compendium and comparison of 25 project evaluation techniques. Part 1: Net present value and rate of return methods*, International Journal of Production Economics 42, s. 79-96.
- Remer D.S., Nieto A.P. (1995b), *A compendium and comparison of 25 project evaluation techniques. Part 2: Ratio, payback and accounting methods*, International Journal of Production Economics 42, s. 101-129.
- Richter R.: *Management von Informatikprojekten v1.1.* Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB). Universität Karlsruhe.
- Santhanam R., Kyprasis J. (1995), *A multiple criteria decision model for information system project selection*, Computers & Operations Research 22, s. 807-817.
- Steuer R.E. (1986) *Multiple Criteria Optimization Theory: Computation and Application*. J. Wiley, New York.
- Szwabowski J., Deszcz J. (2001), *Metody wielokryterialnej analizy porównawczej. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Tavares L.V. (2002), *A review of the contribution of Operational Research to Project Management*, European Journal of Operational Research 136, s. 1-18.
- Trzaskalik T. (2007), *Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem*, PWE, Warszawa (w druku).
- Trzaskalik T. (red.) (2006), *Metody wielokryterialne na polskim rynku finansowym*, PWE, Warszawa.
- Wong E.T.T., Norman G., Flanagan R. (2000), *A fuzzy stochastic technique for project selection*, Construction Management and Economics 18, s. 407-414.

