

ŁAPUŃKA Iwona¹
PISZ Iwona²

Wielokryterialna ocena efektywności ekonomicznej projektów logistycznych cz. 2

WSTĘP

Controllingowo projekt logistyczny stanowi specyficzne centrum inwestycji lub jest czymś z pogranicza centrum inwestycji, kosztów, wyników, przychodów. Z jednej strony projekt determinują przyjęte ograniczenia czasowe i budżetowe, z drugiej zaś, traktowany jest jako przedsięwzięcie inwestycyjne. Oznacza to, że projekt powinien prowadzić przede wszystkim do osiągnięcia celów rozwojowych oraz podnoszenia efektywności gospodarowania, wzrostu konkurencyjności danego przedsiębiorstwa (por. [8,7]).

Trudności w oszacowaniu korzyści płynących z realizacji projektu inwestycyjnego, czy uruchamianie projektów bez uzasadnienia biznesowego (tzw. *business case*) są częstą bolączką wielu przedsiębiorstw. Nierzadko podczas realizacji okazuje się, że koszty przewyższają korzyści nie tylko w krótkiej, ale także w długiej perspektywie. Problemem w przeprowadzeniu rzetelnych kalkulacji często jest nie tyle brak odpowiednich kompetencji, co trudności w pozyskaniu wiarygodnych informacji dotyczących struktury kosztów oraz przyszłych efektów ekonomicznych przy uwzględnieniu specyfiki rozważanej inwestycji.

Z finansowego punktu widzenia każda inwestycja jest natychmiastowym zaangażowaniem środków finansowych w celu osiągnięcia wpływów finansowych w przyszłości. Zatem wszystkie inwestycje w obszarze logistyki będą charakteryzowały się: określonym prawdopodobieństwem zysków, szacowanym ryzykiem inwestycyjnym oraz określoną rentownością. Angażując pewien kapitał z reguły zakłada się, że istnieje duże prawdopodobieństwo odzyskania tego kapitału i osiągnięcia zysków w przyszłości. Problem polega jednak na tym, że wpływy finansowe z inwestycji nie nastąpią w tym samym czasie co wydatek inwestycyjny. W momencie podjęcia decyzji wysokość wydatku inwestycyjnego jest znana podczas gdy oczekiwany wpływ jedynie hipotetyczny.

Ocena projektów inwestycyjnych odbywa się przeważnie w warunkach niepewności, zwłaszcza w mało ustabilizowanym systemie ekonomiczno-finansowym, jaki cechuje państwa znajdujące się w okresie transformacji systemowej. Przy ocenie efektywności ekonomicznej inwestycji niepewność i ryzyko są funkcją dwóch grup czynników, do których zalicza się ilość i jakości informacji będących w dyspozycji inwestora oraz zmienność warunków realizacji i eksploatacji inwestycji. Należy pamiętać, że niepewność ma wymiar informacyjny, a jej przyczyną jest bariera dostępu do informacji lub niewiarygodność uzyskanych informacji, natomiast ryzyko ma wymiar finansowy, ponieważ można dokonać jego pomiaru. Dotyczy to sytuacji, gdy istnieją dostępne informacje umożliwiające ocenę strat lub zysków związanych z danym projektem inwestycyjnym, czyli skutków przyszłych decyzji.

W fazie wstępnej projektu logistycznego jego ryzyko inwestycyjne wynika z zaangażowania wydatku natychmiastowego przeciwstawionego wpływom niepewnym i dodatkowo rozłożonym w czasie. Przed podjęciem realizacji przedsięwzięcia, inwestor powinien każdorazowo dokonać analizy jego rentowności. Rentowność inwestycji jest nadwyżką wpływów pieniężnych nad kosztami i kapitałem zaangażowanym w inwestycję. Dzięki analizie rentowności można dokonać oceny planowanego przedsięwzięcia logistycznego ze względu na jego zdolność do wytworzenia zysku w stosunku do kapitału zainwestowanego, jak również porównać różne warianty projektu między sobą.

¹Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, 45-370 Opole, ul. Ozimska 75.

²Uniwersytet Opolski, Wydział Ekonomiczny, 45-058 Opole, ul. Ozimska 46a.

1 PROBLEM OCENY WIELOKRYTERIALNEJ

Podczas wyboru odpowiedniego wariantu projektu logistycznego, menedżerowie logistyki zazwyczaj nie mają pewności, czy ich wybór będzie w pełni zaspokajać potrzeby przedsiębiorstwa. Tego typu decyzje podejmowane są w warunkach niepewności i ryzyka. Każda decyzja jest związana z przewidywaniem określonego stanu w przyszłości. Niestety, nigdy nie można w sposób absolutnie pewny ustalić, jak w przyszłości ukształtują się poszczególne czynniki stanowiące podstawę bieżącej decyzji. Ryzyko w tym rozumieniu polega na tym, że dzisiejsza decyzja może nie przynieść w przyszłości oczekiwanych efektów.

Zmniejszanie skali ryzyka i niepewności w niemal każdej działalności rozwojowej przedsiębiorstw stało się możliwe dzięki ewolucji przystosowań organizacyjnych, które można określić mianem systemu poszukiwania oceny i selekcji wielowariantowych rozwiązań. Składa się on z następujących elementów: (1) kryteria i cele działalności, (2) zbiór wariantów realizacji celów, (3) istniejące warunki i ograniczenia, (4) metody oceny i selekcji. Taki system umożliwia wzrost efektywności realizowanych procesów, dając przesłanki do racjonalizacji w podejmowaniu decyzji, poprzez dążenie do wyboru kryterialnego, rozumianego jako świadomy wybór poprzedzony analizą wariantów przyszłego działania dokonaną z punktów widzenia, do których się dąży.

Proces oceny i podejmowania decyzji zawsze oparty jest na kreowaniu pewnego modelu. Model matematyczny oceny wielokryterialnej ma na celu przedstawienie wariantów, ograniczeń, kryteriów i zależności między nimi, za pomocą którego można w sposób przybliżony opisać jakiś aspekt rzeczywistości.

Powszechnie istnieje przekonanie, że zwiększenie ilości danych jest ekwiwalentne do zwiększenia wiedzy o rzeczywistości. Jednak wiedza zawsze jest modelem pozwalającym łączyć i wytłumaczyć fakty otaczającej rzeczywistości tylko w ramach określonych koncepcji. Rozwój cybernetyki w końcu lat 50. XX wieku wyjął istnienie całego szeregu problemów w modelowaniu matematycznym, które doprowadziły twórcę logiki rozmytej L. Zadeha do sformułowania stwierdzenia zwanego zasadą niespójności [10]: „w miarę wzrostu złożoności systemu, nasza zdolność do formułowania istotnych stwierdzeń, dotyczących jego zachowania maleje, osiągając w końcu próg, poza którym precyzja i istotność stają się cechami wzajemnie prawie się wykluczającymi”.

Praktyka współczesnych przedsiębiorstw udowodniła, że wybór właściwego wariantu inwestycyjnego w projektach logistycznych jest zadaniem skomplikowanym właśnie poprzez nadmierną „złożoność systemu”. Podczas takiego wyboru zachodzi potrzeba porównania alternatyw względem siebie nawzajem. W związku z tym pojawia się problem: w jaki sposób dokonać prawidłowego wyboru w sytuacji, kiedy liczba kryteriów, jakie należy uwzględnić, jest na tyle duża, że nie jest możliwe w sposób jednoznaczny oszacować, który z wariantów jest lepszy.

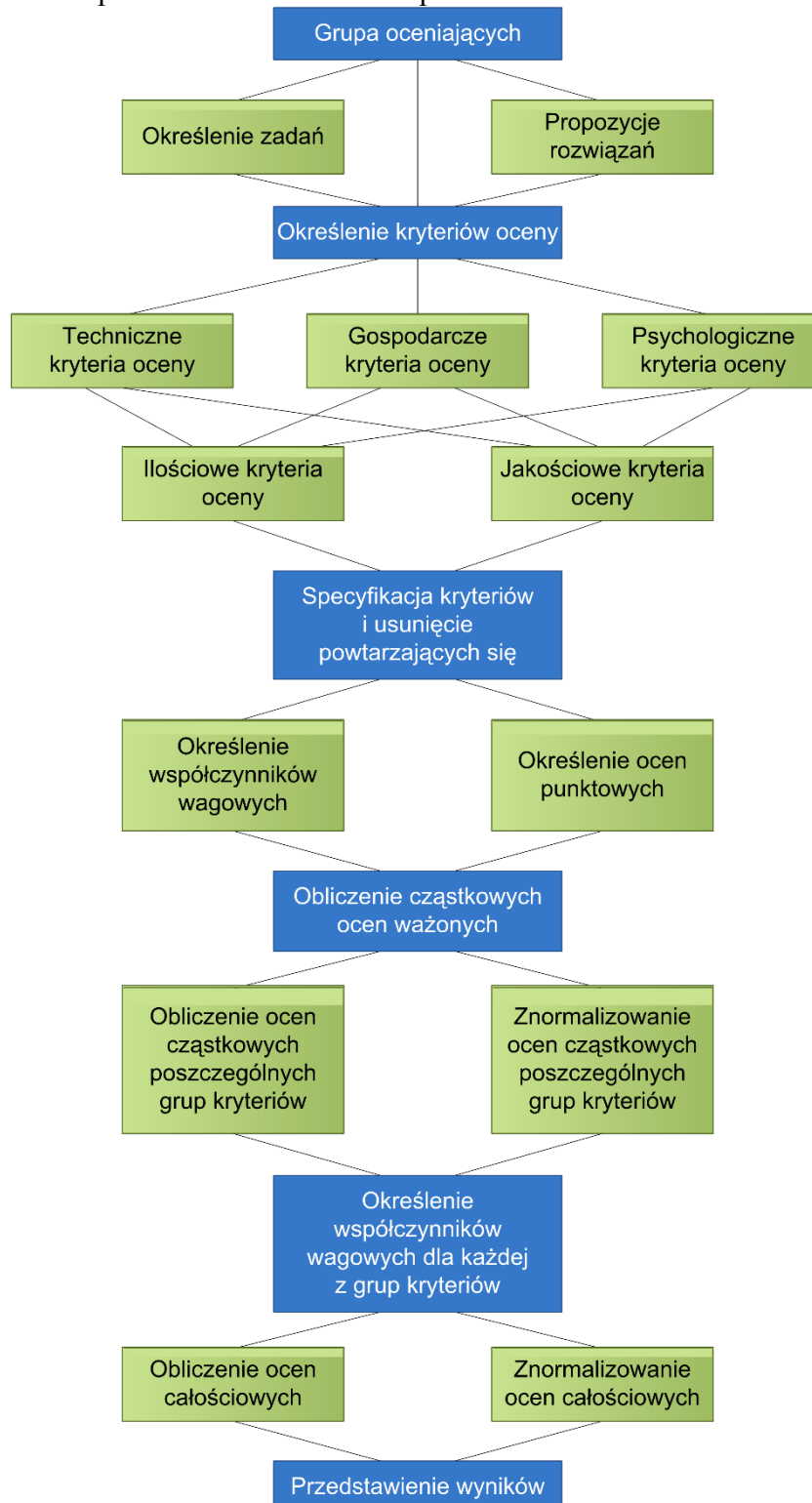
Potrzebę stosowania oceny wielokryterialnej w szacowaniu efektywności ekonomicznej projektów logistycznych doskonale oddaje maksyma „lepiej nie dopracować szczegółów w dobrym wariacie, niż idealnie rozwiązać wariant z gruntu zły”.

2 METODY OCENY WIELOKRYTERIALNEJ

W praktyce wyróżnia się najczęściej stosowane, zarówno w przypadku jednego, jak i wielu kryteriów grupy metod oceny wariantów decyzyjnych [5]:

- metody matematyczne (standaryzacja, normowanie, metoda J. von Morgensterna, PATTERN, formuły ocen syntetycznych),
- metody geometryczne (sieci pajęczej, wektora wypadkowego),
- metody taksonomiczne (taksonomiczna miara rozwoju, metoda Czekanowskiego, taksonomii wrocławskiej),
- metody kwantytatywne (indeksowej oceny jakości, globalnego miernika jakości, efektu ekonomicznego, kompleksowego wskaźnika jakości, uśrednionych znamion jakości, ekspertów),
- metody zaawansowane matematycznie (ELECTRE, AHP, metoda punktu idealnego, metoda entropii oraz metody wykorzystujące elementy teorii zbiorów rozmytych).

Istniejące klasyczne metody oceny i wyboru (por. rys. 1) bazują głównie na intuicji oceniającego, nie mają więc dostatecznie rozwiniętego aparatu formalnego i na ogół nie wymagają komputerowego wspomaganie. W literaturze przedmiotu powszechnie znana jest także metoda wielokryteriowej oceny ważonej [2], w której to wykorzystuje się stopniowanie kryteriów oceny na podstawie wybranych preferencji. Wagi przynależne do każdego kryterium oceny powinny być statystycznie obiektywne, czego można dokonać na podstawie oszacowań ekspertów.



Rys. 1. Przebieg procesu oceny w metodzie klasycznej. Źródło: opracowanie na podst. [3]

Stosunkowo nowym jakościowo ujęciem tego problemu jest metoda oceny zobiektywizowanej wspomaganą komputerowo, uwzględniająca różnorodny charakter informacji w systemie

wartościującym [4]. Ocena ta ma charakter wielokryterialny i bazuje na wykorzystaniu teorii zbiorów rozmytych [9, 10]. Przy pomocy liczb rozmytych dokonuje się przekształcenia wskaźników kryterialnych do postaci rozmytych ocen cząstkowych wariantów za pomocą funkcji transformujących. Metoda ta umożliwia porównanie różnych wielkości poprzez transformację do postaci liczb rozmytych z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$. Zastosowanie i etapowa realizacja tej metody zostały przedstawione na przykładzie wielokryterialnej oceny efektywności ekonomicznej projektów logistycznych.

Zasadniczy podział kryteriów w proponowanej metodzie jest następujący:

- deterministyczne, mające charakter sprecyzowany, ostry (np.: liczba sztuk, koszt, wydajność),
- probabilistyczne, wyrażone w języku probabilistyki (np.: prawdopodobieństwo ryzyka, stopa dyskontowa),
- rozmyte, mające charakter subiektywny (np.: jakość wykonania, komplementarność założeń krytycznych).

Zarówno kryteria deterministyczne, jak i probabilistyczne są kryteriami ilościowymi. W przypadku kryteriów probabilistycznych wyjątek stanowi wykorzystanie prawdopodobieństwa subiektywnego, występującego często w procesach innowacyjnych, które traktowane jest przeważnie w ujęciu jakościowym. Kryteria rozmyte są kryteriami jakościowymi, nie są jednak wyrażone werbalnie, a za pomocą formalizmu zbiorów rozmytych [3].

Zastosowanie powyższego podziału nie prowadzi do utraty informacji w procesie oceny, jak to ma miejsce w przypadku metod klasycznych. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, iż w praktyce często dane informacyjne, które powinno się ujmować deterministycznie lub probabilistycznie są określane również w sposób subiektywny (np. poziom ryzyka jako mierzalny często jest wyrażany w sposób rozmyty), gdyż albo czas niezbędny do ich określenia albo też koszt tego działania nie pozwala na to w danej sytuacji. Tak więc obok danych informacyjnych, mających z natury charakter rozmyty, występują dane, które z określonych powodów mogą być również ujmowane w sposób rozmyty (niemniej jednak nie prowadzi to do utraty informacji co do nieprecyzyjności, niejednoznaczności oceny).

Ogólną postać problemu w metodzie oceny zobiektywizowanej można zapisać następująco [4]. Dany jest zbiór wariantów V_i , $i=\overline{1, n}$ ocenianych w świetle zdefiniowanych kryteriów K_j , $j=\overline{1, m}$ o różnym stopniu ważności. Oceny dokonuje zespół ekspertów E_k , $k=\overline{1, K}$, którzy przeprowadzają ocenę wariantów w świetle poszczególnych kryteriów. Oceny cząstkowe wariantów B_{ij} (i -tego wariantu w świetle j -tego kryterium) są dane, w zależności od charakteru kryterium, w postaci rozmytej, deterministycznej i probabilistycznej.

W kolejnym etapie procesu oceny eksperci określają wagi kryteriów W_j i z założenia mają one charakter rozmyty. Oceny cząstkowe względem poszczególnych kryteriów oraz wagi tych kryteriów są następnie agregowane. Aby otrzymać ocenę całkowitą rozmytą wariantu Z_i , poddaje się agregacji oceny cząstkowe wariantów B_{ij} oraz współczynniki wagowe kryteriów W_j [3]:

$$Z_i = F(B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{im}, W_1, W_2, \dots, W_m), \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

gdzie:

Z_i – zbiór rozmyty określony w przedziale $\langle 0, 1 \rangle$,

F – funkcja agregująca, w szczególnym przypadku liniowa,

n – liczba ocenianych wariantów,

m – liczba kryteriów przyjętych dla oceny poszczególnych wariantów.

W wyniku przetwarzania ocen rozmytych uzyskuje się zbiory rozmyte Z_1, Z_2, \dots, Z_n , opisujące preferencje danych wariantów. Celem formalnego określenia stopni preferencji poszczególnych wariantów konieczne jest uporządkowanie zbiorów rozmytych Z_1, Z_2, \dots, Z_n zgodnie z przyjętą relacją preferencji $<$, gdzie $Z_i < Z_l$ oznacza, że i -ty wariant jest preferowany w stosunku do l -tego. Wybór najlepszego wariantu w świetle przyjętych kryteriów dokonywany jest na podstawie uzyskanych ocen końcowych, po przeprowadzeniu analizy wartości funkcji przynależności $Z_i(z)$, wskaźników interakcji

zbiorów rozmytych ρ_{il} oraz stopni identyczności ocen φ_{il} , przy uwzględnieniu wskaźnika precyzyjności informacji wejściowej ψ_o .

Etap ten jest realizowany całkowicie komputerowo. Proces oceny kończy prezentacja wyników. Do zalet metody oceny zobiektywizowanej należy zaliczyć [4]:

- zmniejszenie niepewności oceny związane ze znacznym zwiększeniem stopnia dokładności ujęcia parametrów i właściwości ocenianych wariantów,
- obiektywizację oceny poprzez znaczną eliminację błędów subiektywnej natury,
- możliwość werbalnego lub ilościowego ujęcia ważności kryteriów,
- możliwość formułowania kryteriów w formie pozytywnej lub negatywnej,
- otrzymanie pełniejszej informacji o strukturze ocen i ich uporządkowaniu,
- eliminację niebezpieczeństwa zbyt pochopnego wykorzystania wyników oceny,
- wskazanie na konieczność dodatkowej analizy wyników oceny.

Dokładny opis metody proponowanej do wielokryterialnej oceny efektywności ekonomicznej projektów logistycznych znajduje się w [3,4].

3 PRZYKŁAD WIELOKRYTERIALNEJ OCENY WARIANTÓW INWESTYCYJNYCH W PROJEKCIE LOGISTYCZNYM

3.1 Charakterystyka projektu logistycznego

Projekt dotyczy budowy terminalu przeładunkowego dla jednego z krajowych operatorów usług logistycznych. W fazie przedinwestycyjnej rozważano kilka lokalizacji w południowo-zachodniej Polsce, przy czym preferowano lokalizację w obrębie lub w niedalekiej odległości od dużych aglomeracji miejskich. Ponadto brano pod uwagę perspektywę rozwoju danego regionu pod kątem przyszłej lokalizacji dróg lokalnych, tras szybkiego ruchu, autostrad, międzynarodowych linii kolejowych czy przyszłych inwestycji zlokalizowanych w danym regionie. Istotnymi czynnikami, które zasadniczo wpływały na finansowe aspekty studium wykonalności były m.in.: cena za m² gruntów, średnia cena usług transportowych, koszt dostępu do infrastruktury, ewentualne ulgi podatkowe.

Oceny efektywności ekonomicznej wariantów dla rozważanego projektu logistycznego dokonano przy zastosowaniu metody oceny zobiektywizowanej, w ramach której wyróżnia się następujące etapy:

- 1) wyznaczenie zbioru kryteriów oceny,
- 2) dobór współczynników wagowych dla kryteriów oceny,
- 3) wyznaczenie ocen cząstkowych (dla każdej pary wariant projektu – kryterium oceny),
- 4) wyznaczanie ocen całkowitych – agregacja ocen cząstkowych.

Jedną z podstawowych danych wejściowych w metodzie wielokryterialnej oceny jest liczba rozważanych wariantów projektów logistycznych $V_i, i=\overline{1, n}$, gdzie $V_i \in \langle 3, 10 \rangle$ (zgodnie z założeniami metody). W omawianym przypadku $V_i=4i$ tworzy uzyskany w etapie wstępnej selekcji zbiór alternatywnych, możliwych do uruchomienia (dopuszczalnych) wariantów inwestycji $\{Projekt1, \dots, Projekt4\}$.

Oceniane warianty, w zależności od rodzaju badanego problemu, zawierają różne wskaźniki finansowe obrazujące opłacalność inwestycji. Analizowane warianty różnią się między sobą sumą zdyskontowanych przepływów pieniężnych związanych z projektem w przyjętym horyzoncie czasu, współczynnikiem rentowności projektu, jego wewnętrzną stopą zwrotu oraz zdyskontowanym okresem zwrotu nakładów inwestycyjnych przeznaczonych na realizację projektu logistycznego. Istotne są także różnice w poziomie ryzyka rozważanych wariantów inwestycyjnych.

Liczba kryteriów $K_j, j=\overline{1, m}$ o różnym stopniu ważności (w tym przypadku $K_j=5$) oraz ich zbiór w postaci $\{K1, \dots, K5\}$ stanowi odwzorowanie zaobserwowanych różnic pomiędzy wskaźnikami finansowymi analizowanych wariantów projektu logistycznego. Wybór kryteriów oceny końcowej zależy od eksperta wiodącego i jest określany zaraz na wstępie przeprowadzanej oceny dopuszczalnych wariantów finansowych realizacji inwestycji.

Oceny dokonuje zespół ekspertów $E_k, k=\overline{1, K}$, w liczbie $E_k=3$. W analizowanym przykładzie, ocena efektywności ekonomicznej projektów została przeprowadzona przy pomocy menedżerów logistyki, pełniących funkcje kierownicze w przedsiębiorstwie. Ekspert wiodący wskazał na następujące kryteria ewaluacji (wybrane metody dyskontowe dla projektów oraz ich poziom ryzyka):

- K1: IRR – wewnętrzna stopa zwrotu,
- K2: NPV – wartość zaktualizowana netto,
- K3: PI – wskaźnik rentowności,
- K4: DPP – zdyskontowany okres zwrotu nakładów,
- K5: R – poziom ryzyka.

Zestawienie wskaźników kryterialnych dla poszczególnych wariantów planowanych inwestycji w obszarze logistyki zawarto w tabeli 1.

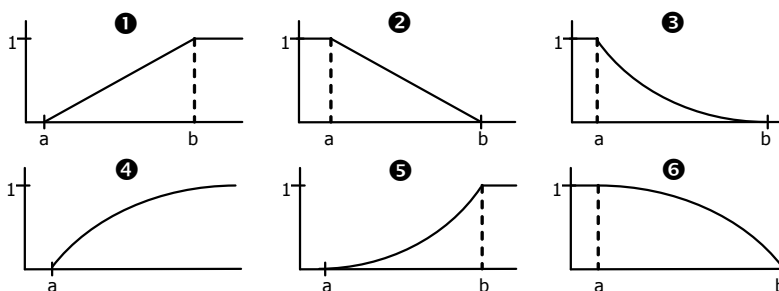
Tab. 1. Wskaźniki kryterialne dla ocenianych projektów logistycznych. Źródło: opracowanie własne

	IRR	NPV	PI	DPP	R
Projekt1	27,92%	276,8	1,14	41	0,25
Projekt2	42,83%	435,2	1,45	48	0,6
Projekt3	34,56%	399,6	1,23	24	0,3
Projekt4	38,91%	310,7	1,32	36	0,5

3.2 Określenie ocen cząstkowych w świetle przyjętych kryteriów

Ze względu na charakter danych informacyjnych występujących w problemie wyboru najbardziej opłacalnego wariantu projektu logistycznego zdecydowano się na przeprowadzenie oceny przy użyciu jedynie kryteriów ilościowych. Szczegółowy proces określania ocen cząstkowych w świetle kryteriów deterministycznych został przedstawiony w pozycji [4].

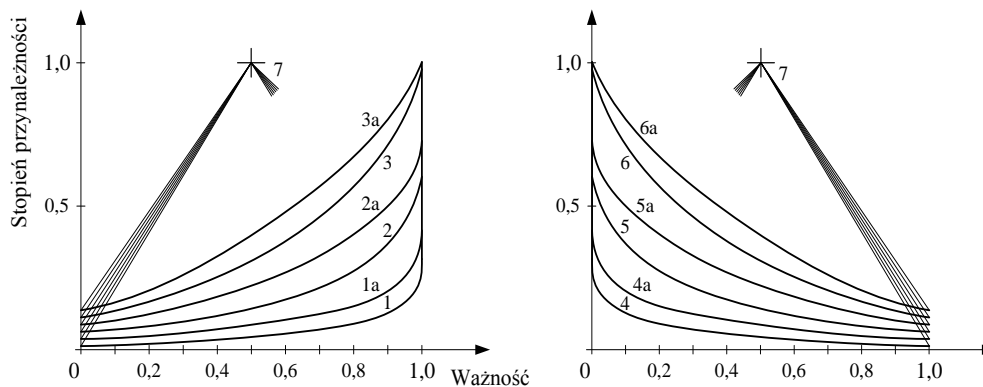
Oceny wariantów zostały określone w różnych wymiarach w zależności od kryterium i przyjętej skali wartości. Wartości tych ocen zostały przetransformowane za pomocą typowych funkcji transformujących według funkcji nr 1 (możliwe do zastosowania również funkcje nr 4 lub 5) dla kryteriów IRR, NPV, PI oraz funkcji nr 2 (ewentualnie 3 lub 6) dla kryteriów DPP, R w przedział $\langle 0, 1 \rangle$ (por. rys. 2).



Rys. 2. Funkcje transformujące dla ocen wariantów projektu. Źródło: opracowanie na podst. [3]

Określenie ważności poszczególnych kryteriów sprowadza się do obliczenia wag, które mają charakter rozmyte. Wagi kryteriów w ujęciu rozmytym wyrażane są zbiorem rozmytym o funkcji przynależności W_j . Tworzone funkcje przynależności są odwzorowane w przedziale $\langle 0, 1 \rangle$, a przedział ten określany jest mianem przestrzeni bazowej.

Ważność kryteriów określana jest w sposób jakościowy za pomocą pojęć lingwistycznych. Taki sposób określania ważności kryteriów wymaga przyjęcia przez wszystkich ekspertów jednego wspólnego kryterium uważanego jako ważne (poziom ryzyka R dla analizowanego przykładu), a także ustalenia wspólnych zbiorów kryteriów uważanych jako bardziej ważne i mniej ważne. Ważności kryteriów w obydwu zbiorach mogą być wyrażone przez ekspertów indywidualnie. Wzorcowe funkcje przynależności zamodelowanych pojęć lingwistycznych dla wag kryteriów oceny przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Funkcje przynależności wag kryteriów oceny. Źródło: [3]

Tabela 2 prezentuje listę kryteriów wraz z przyporządkowanymi im wagami w postaci oceny lingwistycznej dla każdego z trzech ekspertów oraz cząstkowe oceny wariantów w postaci trójkątnych funkcji przynależności.

Tab. 2. Oceny ważności kryteriów oraz cząstkowe oceny wariantów. Źródło: opracowanie własne

OCENY WAŻNOSCI KRYTERIÓW lingwistyczne	CZĄSTKOWE OCENY WARIANTÓW w postaci trójkątnych funkcji przynależności
<p>Lista kryteriów</p> <p>K 1: Kryterium IRR</p> <p>K 2: Kryterium NPV</p> <p>K 3: Kryterium PI</p> <p>K 4: Kryterium DPP</p> <p>K 5: Kryterium R</p>	<p>Kryterium IRR</p> <p>V 1: 0.0000 0.0000 0.2000 T.2</p> <p>V 2: 0.3127 0.8000 1.0000 T.1</p> <p>V 3: 0.1605 0.2178 0.4800 T.1</p> <p>V 4: 0.2592 0.6400 0.6800 T.1</p>
<p>Ekspert: Ekspert1</p> <p>K 1: najbardziej ważne - funkcja 1</p> <p>K 2: najmniej ważne - funkcja 6a</p> <p>K 3: nieco mniej ważne - funkcja 4</p> <p>K 4: nieco bardziej ważne - funkcja 3</p> <p>K 5: ważne</p>	<p>Kryterium NPV</p> <p>V 1: 0.0000 0.0000 0.0400 T.2</p> <p>V 2: 0.3486 0.6400 1.0000 T.1</p> <p>V 3: 0.3103 0.5184 0.8667 T.1</p> <p>V 4: 0.1331 0.1600 0.3333 T.1</p>
<p>Ekspert: Ekspert2</p> <p>K 1: najbardziej ważne - funkcja 1a</p> <p>K 2: najmniej ważne - funkcja 6</p> <p>K 3: mniej ważne - funkcja 5a</p> <p>K 4: bardzo ważne - funkcja 2</p> <p>K 5: ważne</p>	<p>Kryterium PI</p> <p>V 1: 0.0000 0.1426 0.4000 T.1</p> <p>V 2: 0.3193 0.7000 1.0000 T.1</p> <p>V 3: 0.1111 0.2061 0.5000 T.1</p> <p>V 4: 0.2649 0.4444 0.6000 T.1</p>
<p>Ekspert: Ekspert3</p> <p>K 1: bardzo ważne - funkcja 2</p> <p>K 2: mniej ważne - funkcja 5</p> <p>K 3: najmniej ważne - funkcja 6</p> <p>K 4: najbardziej ważne - funkcja 1</p> <p>K 5: ważne</p>	<p>Kryterium DPP</p> <p>V 1: 0.9143 1.0000 1.0000 T.3</p> <p>V 2: 0.0571 0.1211 0.5353 T.1</p> <p>V 3: 0.7429 0.8825 0.9648 T.1</p> <p>V 4: 0.4000 0.6836 0.6873 T.1</p>
	<p>Kryterium R</p> <p>V 1: 0.9000 0.9722 1.0000 T.1</p> <p>V 2: 0.0000 0.2000 0.5580 T.1</p> <p>V 3: 0.8000 0.8889 0.9200 T.1</p> <p>V 4: 0.0000 0.4000 0.6592 T.1</p>

3.3 Agregacja ocen cząstkowych i ważności kryteriów

Agregacja ocen cząstkowych uzyskanych w odniesieniu do poszczególnych kryteriów, a także ze względu na ich ważność, może być wyrażona dla *i*-tego wariantu przez zbiór rozmyty $Z_i: \langle 0, 1 \rangle \rightarrow \langle 0, 1 \rangle$, zgodnie z zależnością (1) [1,6].

Interpretacja otrzymanych w procesie agregacji wyników powiązana jest z analizą wartości funkcji przynależności modelujących całkowitą ocenę efektywności poszczególnych wariantów projektów logistycznych. Każdy ze zbiorów $Z_i, i=1, n$, odwzorowany jest w przedziale $\langle 0, 1 \rangle$, a wartość $Z_i(z)$ określa w jakim stopniu wielkość *z* jest zgodna z oceną *i*-tego wariantu traktowanego jako najbardziej preferowany. W celu formalnego określenia stopni preferencji poszczególnych wariantów konieczne jest uporządkowanie wszystkich zbiorów rozmytych Z_1, Z_2, \dots, Z_n , gdzie np. $Z_i \prec Z_j$ oznacza, że *j*-ty wariant jest preferowany w stosunku do *i*-tego.

Oceny końcowe wariantów projektu logistycznego S_i , uzyskane po przekształceniu wartości rozmytych do przestrzeni liczb rzeczywistych $g: Z_i \rightarrow R$ za pomocą zależności (2) [3] przedstawiono w tabeli 3.

$$Z_i \rightarrow S_i = \frac{\int_0^1 z \cdot Z_i(z) dz}{\int_0^1 Z_i(z) dz}, \quad (2)$$

gdzie:

i -ty wariant jest preferowany w stosunku do l -tego wtedy, gdy zachodzi warunek $S_i > S_l$, przy czym $S_i, S_l \in \langle 0, 1 \rangle$.

Tab. 3. Oceny końcowe wariantów projektu logistycznego uzyskane dla analizowanego przykładu. Źródło: opracowanie własne

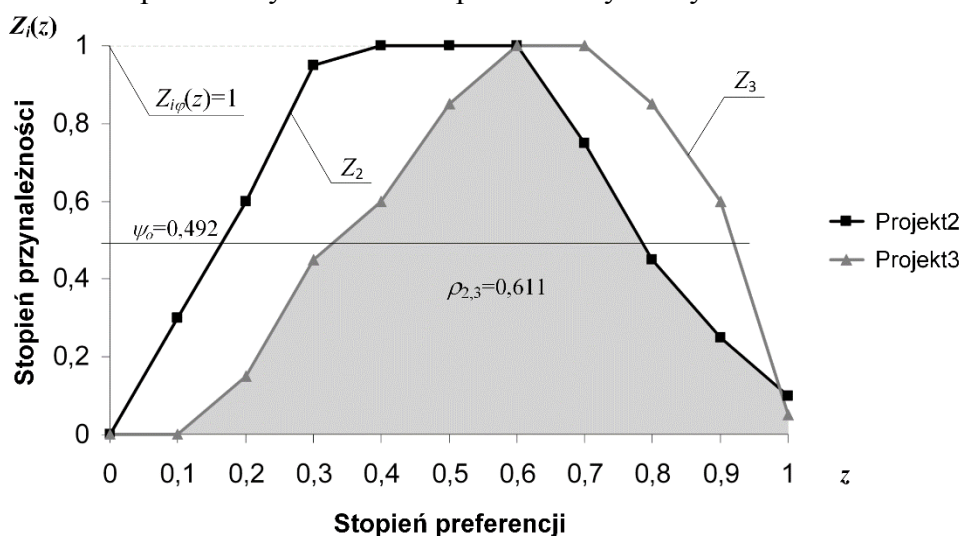
	Ocena	Ocena znormalizowana
Projekt1	0,6188	0,9174
Projekt2	0,5175	0,7671
Projekt3	0,6745	1,0000
Projekt4	0,5491	0,8140

Porównanie uzyskanych ocen wskazuje na następujące preferencje wariantów inwestycyjnych w analizowanym projekcie logistycznym:

$$Projekt3 \succ Projekt1 \succ Projekt4 \succ Projekt2 \quad (3)$$

W metodzie oceny zobiektywizowanej wprowadzono również miary powiązań wariantów ze sobą, co pozwala zachować informacje o istniejącej strukturze między poszczególnymi ocenami. Oceny w postaci zbiorów rozmytych są informacyjnie zasobniejsze niż jakiegokolwiek ich charakterystyki w formie punktowej. Zastąpienie zbioru rozmytego jego nierozmytym reprezentantem, chociaż pozwala na liniowe uporządkowanie wariantów, prowadzi do utraty informacji o istniejącej strukturze między ocenami. Wprowadzając miarę powiązania ze sobą ocen wariantów, można część tego zasobu informacji o strukturze zachować (por. rys. 4). Parametry obrazujące stopień sprzężenia zbiorów rozmytych, opisujących oceny wariantów to [3]:

- stopień powiązania ρ_{il} , nazywany również wskaźnikiem interakcji zbiorów rozmytych Z_i, Z_l – odzwierciedla wielkość nakładania się tych zbiorów na siebie,
- stopień identyczności ocen φ_{il} zbiorów rozmytych Z_i, Z_l – zależy wprost proporcjonalnie od wartości odpowiadającego im wskaźnika interakcji ρ_{il} , co oznacza, że wraz ze wzrostem stopnia powiązania rośnie stopień identyczności ocen przez nie wyrażany i odwrotnie.



Rys. 4. Oceny wariantów projektu logistycznego w postaci funkcji przynależności ze wskazanym stopniem powiązania zbiorów rozmytych Z_2, Z_3 . Źródło: opracowanie własne

Otrzymane w wyniku agregacji zbiory Z_1, Z_2, \dots, Z_n może cechować nadmierna, niepożądana w aspekcie interpretacji, rozmytość, szczególnie dla wartości funkcji $Z_i(z)$ bliskich zeru. Ograniczenia wpływu tego niepożądanego rozmycia, zaburzającego wyniki analizy funkcji przynależności, można dokonać poprzez przyjęcie odpowiedniego wskaźnika precyzyjności, poniżej którego funkcje te nie będą interpretowane. Oceny końcowe wariantów planu w opracowanym przykładzie uzyskano z uwzględnieniem globalnego wskaźnika precyzyjności informacji wejściowej ($\psi_o=0,492$).

PODSUMOWANIE

W omawianym przykładzie najlepszą ocenę końcową uzyskał wariant określany mianem *Projekt3* (por. tab. 3). Dalsze analizy, w tym również analiza wrażliwości, wskazały, iż ten wariant powinien zostać przyjęty jako właściwy do uruchomienia planowanej inwestycji w obszarze logistyki. W porównaniu z równie wysoko ocenionym wariantem o nazwie *Projekt1* wykazuje on bardziej satysfakcjonujący poziom wskaźników finansowych NPV i PI, przy nieznacznie podwyższonym poziomie ryzyka R, co świadczy o możliwości korzystniejszego zwrotu zainwestowanego kapitału i wyższej rentowności projektu logistycznego.

Ocena efektywności ekonomicznej projektów logistycznych jest zadaniem szczególnie skomplikowanym. Głównymi źródłami złożoności problemu są m.in. działanie w warunkach niepewności oraz wielokryterialność i wielopoziomowość podejmowanych decyzji.

Przedstawiona w rozdziale metoda oceny zobiektywizowanej, bazująca na wykorzystaniu teorii zbiorów rozmytych zastosowana do ewaluacji efektywności ekonomicznej projektów logistycznych w warunkach niepewności jest metodą uniwersalną. Umożliwia ona wsparcie dla decydentów w podejmowaniu decyzji z zakresu różnych dziedzin, praktycznie wszędzie tam, gdzie można określić zbiór kryteriów oceny. Ponadto uwzględnia nierównoważność i różnorodność kryteriów, ich hierarchię oraz niepewność ocen ekspertów, przy czym jest efektywna i stosunkowo prosta w implementacji do rzeczywistych problemów decyzyjnych.

Streszczenie

W artykule zaprezentowano przykład wielokryterialnej oceny wariantów inwestycyjnych w projekcie logistycznym. Ocena projektów nie jest zadaniem prostym w kontekście szacowania ich efektywności ex ante, a w ujęciu wielokryterialnym czyni ją nad wyraz skomplikowaną. Innym problemem jest odpowiednie sformułowanie i agregacja kryteriów oceny. Kryteria te mogą mieć charakter zarówno ilościowy (wskaźniki finansowe), jak i jakościowy (werbalne oceny). Kryteriów może być wiele i na ogół niektóre z nich mają dużo większy wpływ na ocenę końcową niż inne. Wielokryterialność podejmowanych decyzji wiąże się w tym przypadku z wyborem wariantu inwestycyjnego najbardziej preferowanego w świetle przyjętych kryteriów oceny, przy czym istotną rolę pełni określenie ważności poszczególnych kryteriów względem siebie.

Multi-criteria evaluation of economic efficiency of logistics projects – part 2

Abstract

The paper presents an example of a multi-criteria evaluation of investment variants in the logistics project. The projects evaluation is not an easy task in the context of their ex ante efficiency estimating, and in the multi-criteria approach it becomes extremely complex problem. Another problem is proper formulation and aggregation of evaluation criteria. The criteria may have quantitative (financial indexes) and qualitative character (verbal evaluations). There may be many criteria, and in general, some of them have a much higher impact on the final evaluation than others. Multi-criteria character of the made decisions is in this case related with a choice of the most preferred investment variant in the view the evaluation criteria assumed, whereas it is significant to determine the weight of individual criteria in relation to each other.

BIBLIOGRAFIA

1. Baas S.M., Kwakernaak H., Rating and ranking of multi-aspect alternatives using fuzzy sets. *Automatica*, 13, 1977.

2. Brandenburg H., Projekty restrukturyzacyjne. Planowanie i realizacja. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2010.
3. Breiing A., Knosala R., Bewertentechnischer Systeme. Springer Verlag, Berlin 1997.
4. Knosala R., Boratyńska-Sala A., Jurczyk-Bunkowska M., Moczala A., Zarządzanie innowacjami. PWE, Warszawa 2014.
5. Książek M., Analiza porównawcza wybranych metod wielokryterialnych oceny przedsięwzięć inwestycyjnych. Civil and Environmental Engineering (Budownictwo i Inżynieria Środowiska), 2, 2011, 555-561.
6. Kwakernaak H., An algorithm for rating multiple-aspect alternatives using fuzzy sets. Automatica, 15, 1979.
7. Łada M., Kozarkiewicz A., Zarządzanie wartością projektów. Instrumenty rachunkowości zarządczej i controllingu. Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2010.
8. Skalik J. (red.), Zarządzanie projektami. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2009.
9. Zadeh L.A., Fuzzysets. Information and Control, 8, 1965, 338-353.
10. Zadeh L.A., Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 3 (1), 1973, 28-44.