

## ROZMYTY SYSTEM PODEJMOWANIA DECYZJI W OCENIE KOŃCOWEJ PROJEKTU

Katarzyna BŁASZCZYK, Iwona PISZ

**Streszczenie:** Zarządzaniu projektami towarzyszy duża niepewność. Realizacja określonych celów powinna być poddawana stałej ocenie. Istotna z punktu widzenia właściwego zarządzania projektami jest ocena końcowa projektów, która dostarcza cennych informacji decydentom. Celem analizy jest wyznaczenie całościowej/globalnej oceny zrealizowanego projektu, zweryfikowanie planowanych wielkości z wielkościami rzeczywistymi. W pracy przedstawiono problem oceny projektów. Określono kluczowe czynniki sukcesu projektu – wskaźniki efektywności projektu. Opracowano rozmyty system oceny projektów w programie MATLAB. Przeprowadzono ocenę przykładowego projektu w oparciu o rozmyte reguły wnioskowania.

**Słowa kluczowe:** projekt, sukces projektu, ocena projektu, logika rozmyta, rozmyty system podejmowania decyzji.

### 1. Wprowadzenie

Przedsiębiorstwa, na co dzień działają w szybkim tempie, turbulentnym otoczeniu. Przedsiębiorcy zmuszani są do podejmowania wielu decyzji, o różnym charakterze i różnym zasięgu, które mogą mieć fundamentalne znaczenie dla ich dalszego istnienia. Działalność wielu przedsiębiorstw opiera się w dużym stopniu na realizacji projektów. Projekt według Project Management Institute rozumiany jest jako przedsięwzięcie o tymczasowym charakterze, którego celem jest wykonanie nowego/unikatowego produktu lub świadczenie nowej/unikalnej usługi. Harold Kerzner definiuje projekt jako przedsięwzięcie, względem którego zostały zdefiniowane cele, określone wymagane zasoby, wyznaczone terminy wykonania zadań, oszacowane koszty, określony poziom jakości (por. [1]). Niemal we wszystkich projektach, realizowanych w przedsiębiorstwach, można wyróżnić pięć faz projektu, tj.: fazę koncepcyjną, fazę definicji projektu, fazę planowania, fazę realizacji oraz fazę powykonawczą. Ilość czasu oraz nakładów jest różna w zależności od danego projektu. W fazie koncepcyjnej planiści określają czym jest projekt tzn. określają jego zakres, najważniejsze zasoby oraz wstępną wysokość budżetu i czas realizacji. Wykonalność projektu implikuje kolejną fazę, tj. fazę definicji projektu. Podczas tej fazy określa się sposób wykonania pracy i sposób organizacji realizacji projektu, wskazuje najważniejsze osoby i zasoby, zawiera wstępne harmonogramy i wstępne założenia budżetowe. Z kolei w fazie planowania powstają szczegółowe plany, wyłoniona zostaje struktura organizacyjna utworzona na potrzeby danego projektu. Faza realizacji to okres właściwej realizacji przyjętego projektu. W tej fazie kierownik projektu kontroluje projekt monitorując trzy najważniejsze jego parametry: czas-koszty-jakość oraz zależności pomiędzy nimi. Faza powykonawcza to swego rodzaju podsumowanie procesu wykonania danego projektu (por. [1-3]).

W pracy odniesiono się do ostatniego etapu zarządzania projektami, tj. do fazy powykonawczej. Faza ta jest bardzo wartościująca, dostarcza cennych informacji dla

przedsiębiorcy. Ocena końcowa projektu przeprowadzana jest w oparciu o przyjęte kryteria oceny, w tym przypadku o proponowany zestaw mierników sukcesu – efektywności projektu. Na potrzeby procesu decyzyjnego opracowano rozmyty system wnioskowania w programie MATLAB. Do opisu kolejnych kryteriów wykorzystano sformułowania lingwistyczne, służące do określenia poziomu parametrów kolejnych kryteriów takie jak: bardzo niski, niski, średni, wysoki, bardzo wysoki. Wyznaczono poszczególne funkcje przynależności rozpatrywanych zbiorów rozmytych, które brały udział we wnioskowaniu rozmytym stanowiącym główny mechanizm oceny projektu.

## 2. Ocena projektów

Projekty realizowane są w systemie jeden pod drugim lub równolegle. Realizacja projektów odbywa się w środowisku wieloprojektowym. Liczba oraz rodzaj realizowanych projektów wpływa na wyniki osiągane przez przedsiębiorstwa w perspektywie finansowej, czasowej oraz perspektywie klienta. Podjęcie się realizacji niewłaściwych, niekorzystnych dla przedsiębiorstwa przedsięwzięć może skutkować w skrajnym przypadku upadłością. Przeprowadzenie w fazie koncepcyjnej wielokryterialnej oceny danego projektu – wykonalności projektu zmniejsza ryzyko podjęcia niewłaściwych decyzji. Oszacowanie czasu, kosztów realizacji projektów w całości, jak i w kolejnych jego etapach jest istotną częścią procesu zarządzania projektami. Niedoszacowanie danych parametrów może skutkować przekroczeniem terminów dyrektywnych oraz z karami umownymi za nieterminowe wywiązanie się z umowy handlowej. Z kolei błędne oszacowanie kosztów może wpłynąć na przekroczenie budżetu, zmniejszenie zysku finansowego z projektu, lub stratą z działalności.

Przykładowe projekty opisane poniżej obrazują problem niepewności wyznaczania wielkości planowanych do realizacji. W przypadku projektu budowy dwóch reaktorów jądrowych – SNR 300 i THTR 300 w Niemczech na przełomie lat 70. i 80. XX wieku czas budowy pierwszego reaktora planowany na pięć lat, w rzeczywistości wyniósł czternaście lat. Termin realizacji budowy drugiego reaktora został przekroczony o ponad siedem lat. Drugi przykład odnosi się do budowy tunelu pod Kanałem La Manche. Planowany budżet projektu wynosił ok. pięciu miliardów funtów. Koszt rzeczywisty wzrósł jednak dwukrotnie i wyniósł ok. dziesięciu miliardów funtów (por. [1]).

Problem szacowania czasu i kosztów jest szeroko poruszany w literaturze. W ostatnim czasie do szacunków stosuje się metody sztucznej inteligencji, w tym liczby rozmyte (por. [4, 5]).

Efektywne planowanie projektów zwiększa prawdopodobieństwo, że rzeczywiste wyniki danego projektu będą zgodne z założonymi. Kompletne zarządzanie projektami wymaga przeprowadzenia oceny końcowej projektu, porównania stanu pożądanego ze stanem końcowym/zaistniałym (por. [6]). Ocena końcowa projektu jest bardzo wartościująca, dostarcza cennych informacji. Istotne jest, żeby przeprowadzić ją bezpośrednio po zakończeniu wszystkich prac nad projektem. Łatwo jest bowiem zebrać konieczne informacje. Celem oceny końcowej projektu jest zebranie niezbędnych informacji dla lepszego oszacowania parametrów przyszłych, potencjalnych projektów. Dane te będą mogły posłużyć jako baza wiedzy przy planowaniu kolejnych projektów.

Ocena efektywności projektów jest przedmiotem zainteresowań wielu badaczy. Prowadzone badania wskazują kluczowe czynniki sukcesu projektu, wskaźniki efektywności projektu, mierniki oceny projektu. Koncepcja sukcesu projektu jest kontrowersyjna, budzi wiele emocji. Większość prac podkreśla jednak kryterium czasu, kryterium kosztu oraz kryterium jakości (por. [7-9]).

Rysunek 1 przedstawia proponowany zestaw podstawowy kryteriów oceny końcowej projektu. Parametr czasu projektu rozumiany jest jako stopień dotrzymania terminu dyrektywnego (zakładanego terminu zakończenia projektu). Oznaczany jest symbolem CP. Parametr kosztu, oznaczany symbolem KP, odnosi się do planowanego kosztu i określa stopień dotrzymania zakładanego



Rys. 2. Kryteria oceny powykonawczej projektu

budżetu. Parametr jakości projektu, oznaczany symbolem JP, należy rozumieć jako stopień zgodności projektu z wcześniej określonymi wymaganiami. Parametr zadowolenia klienta, oznaczany symbolem ZK, określa stopień zadowolenia klienta (klienta zewnętrznego lub klienta wewnętrznego) ze zrealizowanego projektu.

Zestaw mierników efektywności projektu proponuje się powiększyć o kolejne kryteria wagowe określane przez eksperta, tj. wagę czasu projektu (WCP), wagę kosztu projektu (WKP), wagę jakości projektu (WJP), wagę zadowolenia klienta (WZK).

### 3. Wstęp do teorii logiki rozmytej

Potrzeba matematycznego ujęcia zjawisk nieprecyzyjnych i wieloznacznych stała się punktem wyjścia do wprowadzenia pojęcia i teorii zbiorów rozmytych. Dzięki tym zagadnieniom mamy możliwość opisanie zjawisk określeniami odczuć człowieka-eksperta. Opisywanie cech obiektów pojęciami typu: mały, bardzo, trochę, nie za wiele, nieco więcej, nie stanowi wówczas przeszkód. Jest to niezwykle ważne, gdyż procedura rozumowania i interpretowania pewnych wielkości przez człowieka zachodzi w sposób przybliżony a nie ścisły. Ma to również znaczenie podczas budowania systemów wspomagających podejmowanie decyzji, których aparat wnioskujący i baza wiedzy opiera się na zasobie wiadomości i doświadczeniach eksperta. Nieprecyzyjność otoczenia decyzyjnego nie wynika często z braku wiedzy o wartości pewnej wielkości, ale głównie z subiektywnej oceny osób oceniających.

Teoria zbiorów rozmytych została sformułowana przez prof. Lotfi Zadeha [10] jako uogólnienie klasycznego rozumowania zbiorów. Zbiór rozmyty określa się jako zbiór elementów, który może w pewnym stopniu przynależać do zbioru rozmytego. Własność,

która przypisuje elementowi należenie do zbioru może być ostra (zero lub jeden) lub nieostra (pomiędzy zerem a jedynką). W pierwszym przypadku mamy do czynienia z klasycznym zbiorem, w drugim zaś ze zbiorem rozmytym.

Stosując podejście lingwistyczne zbiory rozmyte, zwane czasami terminami (wartościami) lingwistycznymi zmiennych, zdefiniowane są jako szablon (por. [11]):

$$\langle x_{nazwa}, L(x), X, M_x \rangle \quad (1)$$

gdzie:

$x_{nazwa}$  – nazwa zmiennej lingwistycznej (np. koszt projektu, czas zadania),

$L(x)$  – zbiór wartości (terminów) lingwistycznych, jakie przyjmuje  $x$ , czyli słowa lub zdania w języku naturalnym (np. wysoki, średni, niski),

$X$  – dziedzina rozważań (np. kwoty z zakresu 0-200 tys. PLN, liczby z zakresu 0-100%),

$M_x$  – funkcja semantyczna, przyporządkowująca każdej wartości lingwistycznej ze zbioru  $L(x)$  zbiór rozmyty zdefiniowany nad  $X$ .

Wówczas, zbiór rozmyty oznaczony symbolem  $A$  w pewnej (niepustej) przestrzeni rozważań  $X$  może być określany jako [12]:

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in X\} \quad (2)$$

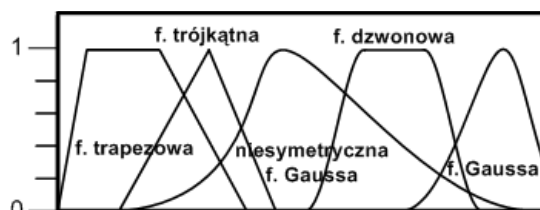
gdzie  $\mu_A(x)$  oznacza funkcję przynależności definiowaną na  $X$  taką, że  $\forall x \in X : \mu_A(x) \rightarrow [0,1]$ . Funkcja przynależności stanowi opisywaną wcześniej funkcję semantyczną, która odzwierciedla na obiektach z przestrzeni rozważań uporządkowanie wprowadzone przez skojarzenie ze zbiorem pewnej własności (por. [13]). W praktyce

funkcje przynależności wynikają z kontekstu sytuacyjnego i są definiowane subiektywnie przez eksperta. Do najczęściej stosowanych funkcji przynależności należą funkcje odcinkowo-liniowe (funkcje trójkątne, trapezowe czy prostokątne), których definicja wymaga znania małej ilości informacji (rys. 2). Jako reprezentację matematyczną intuicyjnych funkcji przynależności stosuje się również bardziej złożone funkcje tj. symetryczne i niesymetryczne funkcje Gaussa czy funkcje dzwonowe (rys. 2) [14].

Teoria zbiorów rozmytych ma zastosowanie w wielu zagadnieniach zarówno inżynierskich, jak i menadżerskich [15-17]. W artykule zostanie przedstawiony nietechniczny przykład zastosowania systemów rozmytych do oceny końcowej projektów.

#### 4. Rozmyty system podejmowania decyzji oparty o wnioskowanie przybliżone

Opracowany rozmyty system podejmowania decyzji oparty na wnioskowaniu przybliżonym składa się z czterech podstawowych komponentów: bloku rozmywania, regułowej bazy wiedzy wraz z bazą danych wartości lingwistycznych, bloku wnioskowania



Rys. 2. Przykłady funkcji przynależności

rozmytego oraz bloku wyostrzania. Strukturę systemu wraz z zależnościami pomiędzy elementami składowymi przedstawia rys. 3.

Blok rozmywania (zwany również blokiem fuzyfikacji), jest pierwszym etapem mechanizmu decyzyjnego. W tym miejscu zostają zamienione dane wejściowe z dziedziny ilościowej, stanowiące wartości parametrów oceny, na wielkości jakościowe reprezentowane przez zbiory rozmyte. Rozmywania dokonuje się na podstawie, zdefiniowanych w bazie danych, funkcji przynależności.

Wartości obliczone na wyjściu informują o stopniu przynależności wejść do poszczególnych zbiorów rozmytych.

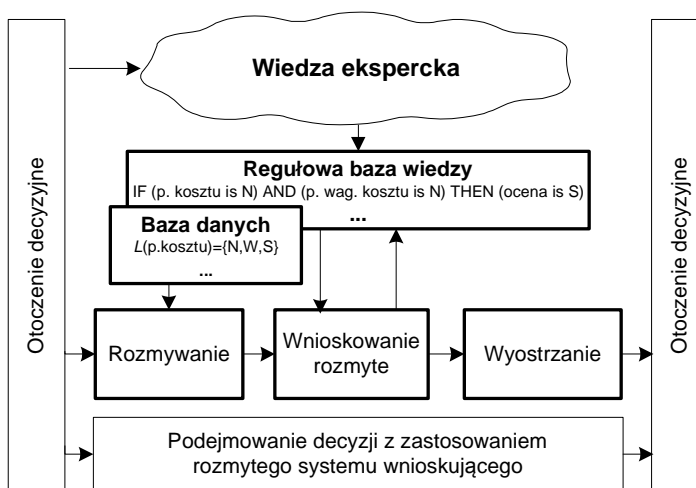
Baza wiedzy składa się z dwóch głównych elementów: bazy danych lingwistycznych, oraz bazy reguł, które zawierają wiedzę dziedzinową istotną dla danego zagadnienia.

W przypadku zagadnień menadżerskich

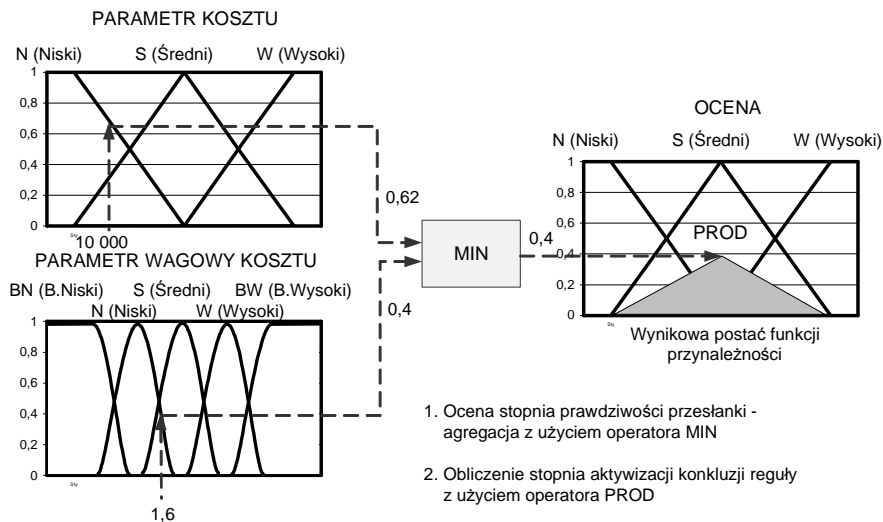
najczęściej spotykamy się z trudnościami zebrania doświadczalnych informacji numerycznych, na podstawie których można by było utworzyć bazę wiedzy. Wobec tego niezbędne staje się modelowanie z wykorzystaniem wiedzy eksperckiej oraz praw rządzących danym zjawiskiem. Pierwszym elementem jest określenie przez eksperta zmiennych lingwistycznych oraz wartości odpowiadających tym zmiennym. Wartości te stanowią podstawę bazy danych lingwistycznych. Zależności przyczynowo-skutkowe wejść i wyjść, które prowadzą do wnioskowania o odpowiedzi systemu są zapisane w postaci reguł. W przypadku systemów Mamdaniego-Assilana (por. [18]) pojedyncza reguła w bazie reguł może mieć następującą postać:

$$\begin{aligned} &\mathbf{IF} \text{ (ParametrKosztu is Niski) } \mathbf{AND} \text{ (ParametrWagKosztu is Niski)} && (3) \\ &\mathbf{THEN} \text{ Ocena is Srednia} \end{aligned}$$

Blok wnioskowania (zwany również blokiem inferencyjnym), korzysta z bazy wiedzy oraz zaimplementowanych metod w celu rozwiązania założonego problemu. Przykład mechanizmu wnioskowania na podstawie reguły (3) dla systemu doradczego z dwoma wejściami i jednym wyjściem jest przedstawiony na rys. 4. W przypadku większej liczby reguł w bazie wiedzy, wynikowe funkcje przynależności dla wszystkich reguł są agregowane, w celu uzyskania końcowej funkcji przynależności.



Rys. 3. Struktura rozmytego systemu wnioskującego



Rys. 4. Przykład wnioskowania dla rozmytego systemu doradczego na podstawie pojedynczej reguły (3)

Blok wyostrażania (zwany także blokiem defuzzyfikacji), na podstawie wynikowej funkcji przynależności wyjścia oblicza ostrą (nierozmytą) wartość końcową modelu  $y^*$ , która stanowi odpowiedź systemu doradczego. Istnieje wiele metod wyostrażania [12, 14, 15], do najczęściej stosowanych zalicza się metodę środka ciężkości (ang. Center Of Gravity, COG), w której wynik dla dyskretnej przestrzeni zmiennych otrzymujemy stosując następującą zależność:

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^m y_i \cdot \mu_{wyn_i}}{\sum_{i=1}^m \mu_{wyn_i}} \quad (4)$$

gdzie:

$y_i$  – stanowi  $i$ -tą wartość zmiennej wyjściowej,

$\mu_{wyn_i}$  – wartość wynikowej funkcji przynależności dla  $i$ -tej wartości zmiennej wyjściowej,

$m$  – oznacza liczbę dyskretnych wartości zmiennej wyjściowej.

## 5. Zastosowanie rozmytego systemu wnioskującego do oceny końcowej projektu

W czasie budowy systemu rozmytego, służącego do oceny końcowej projektu zostały określone następujące wejściowe zmienne lingwistyczne:

- mierniki sukcesu (efektywności) projektu stanowiące parametry oceny, tj. parametr czasu, który przyjmuje wartości [0-200%], parametr kosztu [0-200%], parametr jakości [0-100%] oraz parametr zadowolenia klienta [0-100%]. Znaczenie tych zmiennych w procesie oceny projektów zostało opisane w rozdziale 2.

- parametry wagowe: parametr czasu, kosztu, jakości oraz zadowolenia klienta. Parametry te stanowią ocenę ważności mierników sukcesu projektu określane przez eksperta oceniającego w skali [0-3], gdzie 0 – ocena najniższa, 3 – ocena najwyższa.

Punktowa ocena końcowa projektu w skali [0-1] stanowi wyjściową zmienną lingwistyczną systemu oceniającego.

Dla mierników sukcesu projektu zostały zdefiniowane następujące wartości lingwistyczne określające poziom wartości mierników: Bardzo Niski (BN), Niski (N), Średni (S), Wysoki (W), Bardzo Wysoki (BW). Zbiory rozmyte przyporządkowane tym wartościom zostały zdefiniowane z wykorzystaniem intuicyjnych funkcji przynależności: symetrycznych i niesymetrycznych Gaussa. W przypadku parametrów wagowych zdefiniowano trzy wartości lingwistyczne: Niski (N), Średni (S), Wysoki (W), w tym celu wykorzystano funkcje trójkątne i trapezowe. Dla oceny końcowej projektu zastosowano również funkcje trójkątne i trapezowe w celu określenia wartości lingwistycznych: Bardzo Niski (BN), Niski (N), Średni (S), Wysoki (W), Bardzo Wysoki (BW).

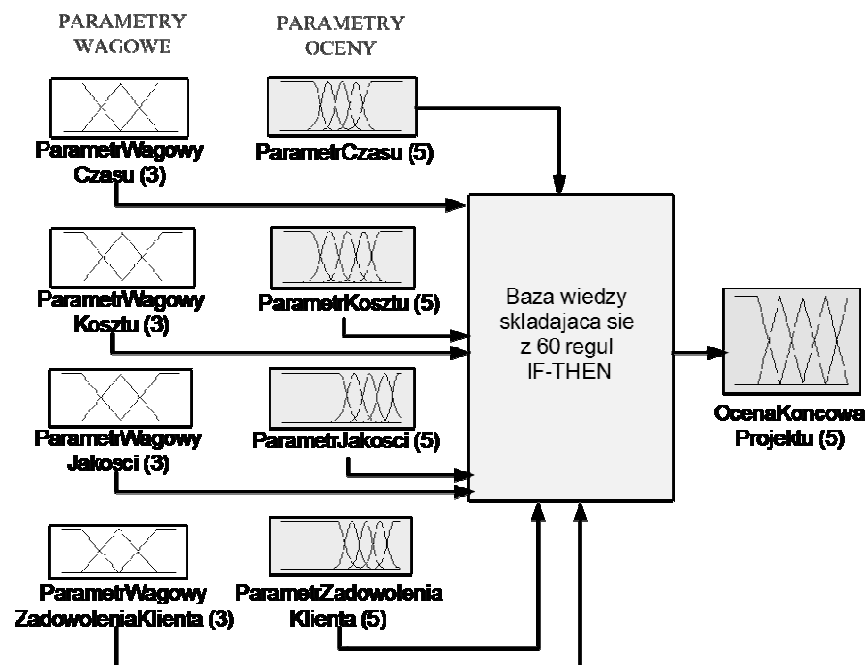
Zależności przyczynowo-skutkowe oceny projektu zostały oparte na parach parametr-waga parametru (tab. 1). Taki wybór bazy wiedzy jest podyktowany łatwością intuicyjnego wyznaczania wyników wnioskowania rozmytego.

Tab. 1. Baza wiedzy systemu oceniającego projekty

<b>Ocena końcowa projektu</b>						
<b>Parametr czasu (CP)</b>		<b>BN</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>W</b>	<b>BW</b>
<b>Parametr wagowy czasu (WCP)</b>	<b>N</b>	W	S	S	N	N
	<b>S</b>	BW	W	S	N	BN
	<b>W</b>	BW	BW	S	BN	BN
<b>Parametr kosztu (KP)</b>		<b>BN</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>W</b>	<b>BW</b>
<b>Parametr wagowy kosztu (WKP)</b>	<b>N</b>	W	S	S	N	N
	<b>S</b>	BW	W	S	N	BN
	<b>W</b>	BW	BW	S	BN	BN
<b>Parametr jakości (JP)</b>		<b>BN</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>W</b>	<b>BW</b>
<b>Parametr wagowy jakości (WJP)</b>	<b>N</b>	BN	BN	N	N	S
	<b>S</b>	N	S	S	W	BW
	<b>W</b>	S	S	W	BW	BW
<b>Parametr zadowolenia klienta (ZK)</b>		<b>BN</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>W</b>	<b>BW</b>
<b>Parametr wagowy zadowolenia klienta (WZK)</b>	<b>N</b>	BN	BN	N	N	S
	<b>S</b>	N	S	S	W	BW
	<b>W</b>	S	S	W	BW	BW

Przy powyższych zależnościach, baza wiedzy systemu składa się z sześćdziesięciu warunkowych reguł złożonych, gdzie w poprzedniku znajdują się dwa człony reguły połączone ze sobą spójnikiem logicznym AND (przykład reguły ilustruje wzór (3)).

Rysunek 5 przedstawia budowę rozmytego systemu wnioskującego do oceny końcowej projektu ze zdefiniowanymi zbiorami rozmytymi wejść i wyjścia systemu.



Rys. 5. Budowa rozmytego systemu wnioskującego do oceny końcowej projektu

### 5.1. Przykład oceny końcowej projektu

W celach poznania możliwości podejmowania decyzji z wykorzystaniem opisanego narzędzia zostanie zilustrowany przykład oceny powykonawczej projektu w danym przedsiębiorstwie. Projekt dotyczy wykonania danego wyrobu. W czasie podsumowania realizacji projektu okazało się, że termin dyrektywny został przekroczony o 7%, rzeczywiste koszty wyniosły 123% planowanego budżetu, jakość projektu mierzona parametrami technicznymi osiągnęła 82% poziomu oczekiwanego, a poziom zadowolenia klienta - inwestora, kształtował się na poziomie 95%.

W ocenie końcowej projektu uwzględnia się ważności poszczególnych kryteriów. Wymagane jest ustalenie ważności zmierzonych kryteriów. Proponowane jest zastosowanie uproszczonej metody „porównania parami” Saaty’ego. Porównując każdy z dwóch parametrów przyporządkowujemy jedną z dwóch wartości: 1 – jeżeli czynnik  $j$ -ty jest ważniejszy od  $i$ -go, 0 – jeżeli czynnik  $j$ -ty jest mniej ważny od  $i$ -go, 0,5 – jeżeli oba czynniki są równoważne. Oceny punktowe są

	CP	KP	JP	ZK	Waga
CP	X	0,5	0	1	1,5
KP	0,5	X	0,5	1	2
JP	1	0,5	X	0,5	2
ZK	0	0	0,5	X	0,5

Wagi: wagi CP  
wagi ZK

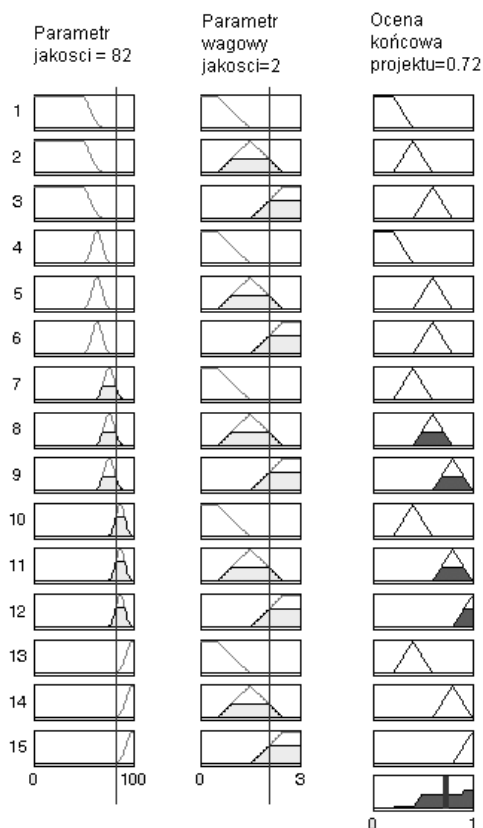
Rys. 6. Macierz porównań czynników sukcesu



uzyskiwane poprzez sumowanie ocen cząstkowych dla danego parametru. Przykład względnych ocen ważności czynników określonych przez eksperta został zamieszczony na rys. 6.

Dane wejściowe dotyczące rozpatrywanego projektu wynoszą odpowiednio: CP=107, WCP=1,5, KP=123, WKP=2, JP=82, WJP=2, ZK=95, WZK=0,5. Opisane w tab. 1 reguły wnioskowania zostały zaimplementowane w systemie i aktywowane. Dla przejrzystości mechanizm wnioskowania systemu przedstawiono na podstawie piętnastu reguł uwzględniających jedynie pary JP-WJP (rys. 7).

Wynikiem działania opracowanego systemu wnioskującego jest wartość oceny końcowej projektu, która w tym przypadku wynosi 0,53. Ocena projektu jest stosunkowo niska, ponieważ koszt realizacji projektu przekroczył planowany budżet o 23%, a waga tego parametru jest relatywnie wysoka (2 punkty). Także jakość realizacji projektu była oceniona nie za wysoko (82%), a waga parametru jakości ma duże znaczenie (2 punkty). Ponadto planowany czas wykonania projektu został przekroczony o 7%, co także wpłynęło negatywnie na ocenę, gdyż waga parametru czasu jest niewiele mniej znacząca (1,5 punkty). Parametrem, który mógł podnieść punktację jest ocena zadowolenia klienta (95%), jednakże waga tego parametru jest wg eksperta najmniej znacząca (0,5 punktu).



Rys. 7. Mechanizm wnioskowania w oparciu o bazę reguł uwzględniającą pary PJ – WPJ

## 6. Wnioski

W pracy przedstawiono problem oceny powykonawczej projektów. Zdefiniowano zestaw kryteriów oceny. Opracowano narzędzie komputerowe umożliwiające dokonanie oceny globalnej zrealizowanego projektu. Do opisu poszczególnych funkcji przynależności zastosowano pojęcia lingwistyczne oraz odpowiadające im zbiory liczb rozmytych. Rozmyty system wnioskowania opiera się na 64 regułach, które aktywowane są w trakcie procesu wnioskowania. Rozmyty system podejmowania decyzji jest skutecznym narzędziem oceny efektywności projektów w oparciu o dane kryteria oraz system wnioskowania. Wyniki uzyskanej oceny służą decydom w przyszłym planowaniu kolejnych projektów.

## Literatura

7. Kerzner H.: *Advanced Project Management*. Helion, Gliwice, 2005.
8. Bozarth C., Handfield R.B.: *Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw*. Helion, Gliwice, 2007.
9. Pawlak M.: *Zarządzanie projektami*. PWN, Warszawa, 2006.
10. Pisz I.: *Planowanie realizacji projektów z niepewnymi czasami wykonania zadań*. [w:] Kisielnicki J. (red.), *Informatyka dla przyszłości*, UW, Warszawa, 2008, s. 183-192.
11. Pisz I.: *Szacowanie kosztów realizacji przedsięwzięć z zastosowaniem zbiorów rozmytych*. [w:] Bukowski L. (red.), *Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej*, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2009, s. 82-91.
12. Stabrywa A.: *Zarządzanie projektami ekonomicznymi i organizacyjnymi*. PWN, Warszawa, 2006.
13. Söderlund J.: *Building theories of project management: past research, questions and for the future*. *International Journal of Project Management*, 22, 2004, s. 183-191.
14. Dweiri F.T., Kablan M.M.: *Using fuzzy decision making for the evaluation of the project management internal efficiency*. *Decision Support Systems*, 42, 2006, s. 712-726.
15. Atkinson R.: *Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria*. *International Journal of Project Management*, 17, 1999, s. 337-342.
16. Zadeh L.A.: *Fuzzy sets*. *Inform. Contr.*, 1965 vol. 8, s. 338 – 353.
17. Zadeh L.A.: *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning*. *Information Sciences*, 1975, vol. I, s. 199 – 240.
18. Rutkowski L.: *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 2006.
19. Rykaczewski K.: *Systemy rozmyte i ich zastosowania*, <http://gold.uwb.edu.pl/~akuzel/pdfy/duszek.pdf>, 10 grudnia 2009.
20. Piegat A.: *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, EXIT, Warszawa, 2003.
21. Kacprzyk J.: *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
22. Yang H., Anumba C.J., Kamara J., Carrillo P.: *A fuzzy-based analytic approach to collaborative decision making for construction teams*, *Logistics Information Management* 14 (5/6), 2001, s. 344– 354.
23. Roubens M.: *Fuzzy sets and decision analysis*. *Fuzzy Sets and Systems*, 90, 1997, s. 199-206.
24. Mamadani E.H., Assilian S.: *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller*, *International Journal of Man–Machine Studies* 7, 1975, s. 1–13.

Mgr inż. Katarzyna BŁASZCZYK  
Dr inż. Iwona PISZ  
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów  
Politechnika Opolska  
45-370 Opole, ul. Ozimska 75  
tel./fax.: (0-77) 423 40 31  
e-mail: k.blaszczyk@po.opole.pl  
i.pisz@po.opole.pl