

ANALIZA CZASOWO-KOSZTOWA PLANOWANEGO PRZEDSIĘWZIĘCIA BUDOWLANEGO PRZY ZASTOSOWANIU ZBIORÓW ROZMYTYCH

Andrzej MINASOWICZ*, Bartosz KOSTRZEWA

Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, ul. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa

Streszczenie: Prezentowana analiza służy ocenie ryzyka przedsięwzięcia budowlanego w fazie zarządzania wartością i ryzykiem planowanej inwestycji. Na bazie szacowania kosztów oraz planowanego harmonogramu czasowego przedsięwzięcia przy wykorzystaniu wiedzy eksperckiej ustala się możliwe odchyłki czasu i kosztu poszczególnego zadania. W celu przetworzenia informacji wejściowych wprowadzono modelowanie rozmyte. Przy zastosowaniu metod obliczeniowych teorii zbiorów rozmytych takich jak wyznaczanie funkcji wynikowej metodą średniej arytmetycznej oraz wyostrzaniu zbioru rozmytego metodą środka ciężkości, przedstawiona procedura pozwala na określenie optymistycznych i pesymistycznych scenariuszy przedsięwzięcia pod względem czasu i kosztu. W wyniku takich działań określono ryzyka związane z czasem i kosztem przedsięwzięcia, co pozwala na porównanie różnych inwestycji bądź technologii wykonania, a następnie wybór wariantu optymalnego.

Słowa kluczowe: ryzyko, analiza, budownictwo, zarządzanie, zbiory rozmyte.

1. Wprowadzenie

Kluczowym etapem każdego przedsięwzięcia budowlanego jest jego realizacja. Wiąże się on z wyborem wykonawcy, technologii realizacji prac, czasu realizacji. Wszystkie te aspekty wpływają w określonym stopniu na dwa najważniejsze parametry inwestycji jakimi są: koszt oraz termin zakończenia realizacji.

W prezentowanym artykule przedstawiono sposób na zidentyfikowanie ryzyka związanego z określoną inwestycją, wykorzystując przy tym wiedzę niezależnych ekspertów. Posłużono się również narzędziem matematycznym z zakresu teorii zbiorów rozmytych. Takie podejście do etapu realizacji inwestycji, daje inwestorowi lub też generalnemu wykonawcy wiedzę odnośnie możliwych zmian dotyczących kosztu i czasu realizacji.

2. Analiza

Na potrzeby przykładu posłużono się hipotetycznym kosztorysem. Rozpatrywany obiekt to budynek mieszkalny wielorodzinny, którego założony koszt budowy wynosi 28 346 000 PLN. Na całą realizację inwestycji składa się siedemnaście grup robót takie jak np. roboty przygotowawcze, roboty ziemne itd. Z każdą

taką grupą robót wiąże się określone wyznaczone przez kosztorysanta koszty. Przedstawiono je w tabeli 1.

Przedstawione w tabeli 1 grupy robót tworzą zadania w harmonogramie planowanego przedsięwzięcia. Na rysunku 1 przedstawiono wykres belkowy dla rozpatrywanego przedsięwzięcia budowlanego. Poniższy harmonogram przedstawia planowany czas realizacji poszczególnych zadań, jednocześnie wskazując powiązania między nimi. Oprócz siedemnastu zadań, które są przedstawione są również w tabeli 1, w harmonogramie znajdują się punkty kontrolne oraz czynności nie generujące bezpośrednio kosztów. Dla potrzeb prezentowanej analizy skupiono się na odchyleniach związanych z grupami robót wyszczególnionymi w tabeli 1.

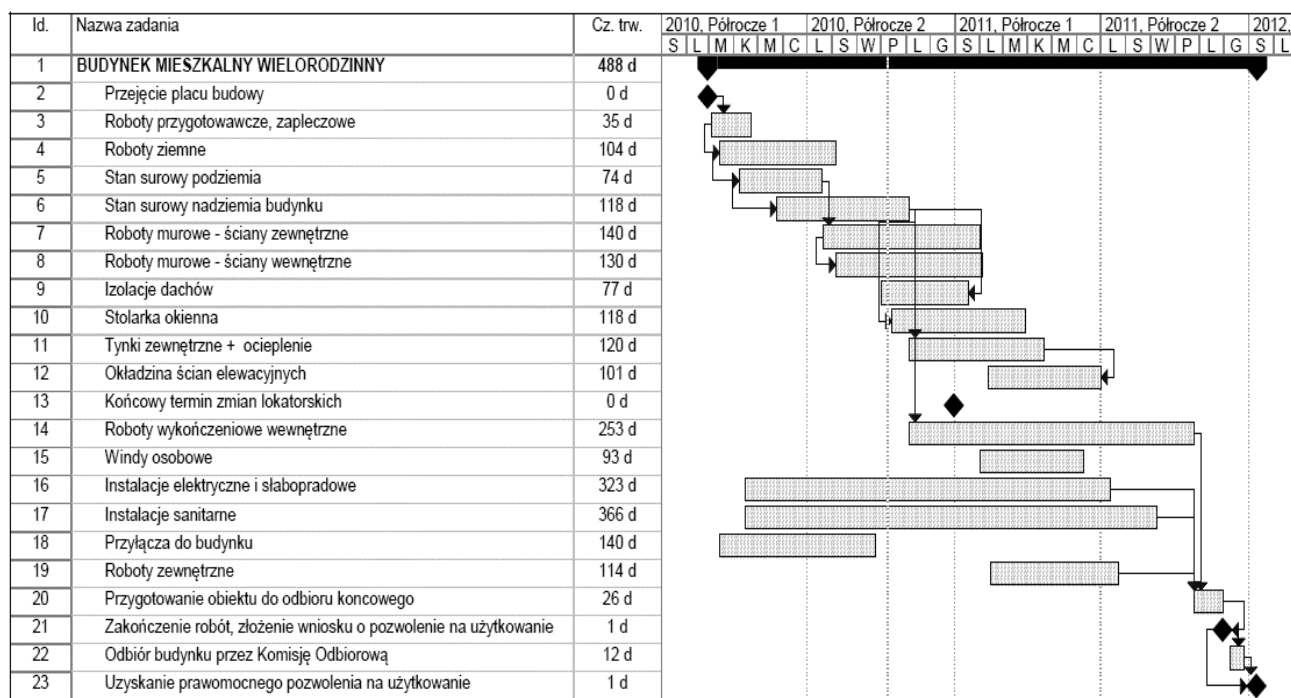
Podczas realizacji inwestycji występują często odchylenia kosztu lub czasu realizacji. Na etapie planowania informacje na ten temat przekazane zostaną od ekspertów w formie odpowiedzi na poniższe pytania:

1. Jaka jest wartość najbardziej prawdopodobna kosztu/czasu zadania „x” oraz jego prawdopodobieństwo (poziom przynależności)?
2. Jaka jest wartość minimalna akceptowalna kosztu/czasu zadania „x” oraz jego prawdopodobieństwo (poziom przynależności)?
3. Jaka jest wartość maksymalna akceptowalna kosztu/czasu zadania „x” oraz jego prawdopodobieństwo (poziom przynależności)?

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: a.minasowicz@il.pw.edu.pl

Tab. 1. Zestawienie kosztów dla poszczególnych grup robót inwestycji

Id.	Nazwa	Koszty
	BUDYNEK MIESZKALNY WIELORODZINNY	28 346 000
1	Roboty przygotowawcze	450 000
2	Roboty ziemne	1 640 000
3	Stan surowy podziemia	2 250 000
4	Stan surowy nadziemia budynku	5 300 000
5	Roboty murowe - ściany zewnętrzne	950 000
6	Roboty murowe - ściany wewnętrzne	825 000
7	Izolacje dachów	1 320 000
8	Stolarka okienna	3 120 000
9	Tynki zewn. + ocieplenie	1 950 000
10	Okładzina ścian - cegła klinkierowa	823 000
11	Roboty wykończeniowe wewnętrzne	4 220 000
12	Windy osobowe	758 000
13	Instalacje elektryczne i słaboprądowe	1 800 000
14	Instalacje sanitarne	1 350 000
15	Przyłącza do budynków	260 000
16	Roboty zewnętrzne	1 150 000
17	Przygotowanie obiektu do odbioru końcowego	180 000



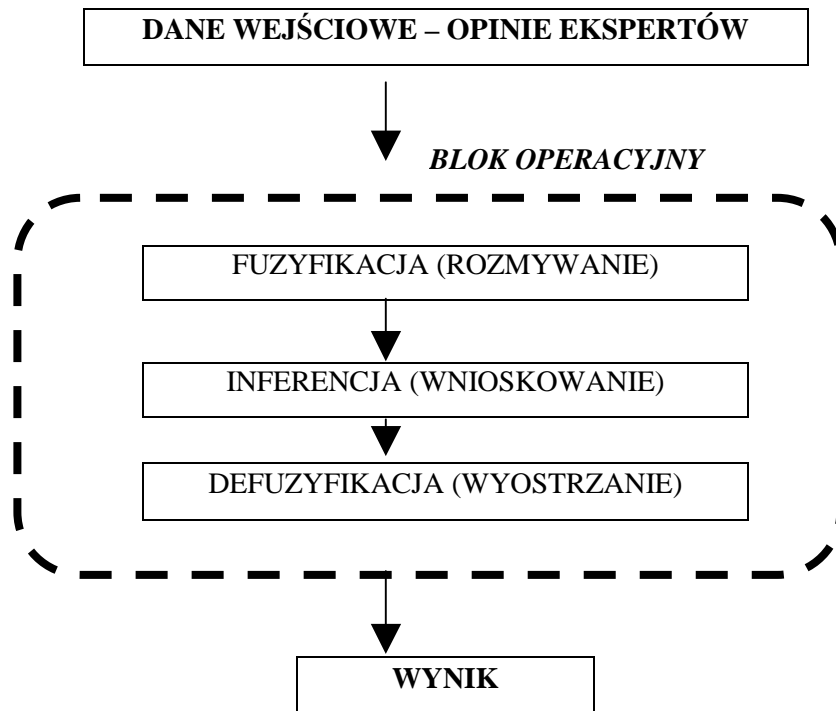
Rys. 1. Harmonogram belkowy planowanego przedsięwzięcia

Dla potrzeb badania założono, że wiedzę na temat odchyień uzyskano od trzech niezależnych ekspertów, stosując przy tym zagadnienia związane z modelowaniem rozmytym. Jednocześnie założono, że prawdopodobieństwo wystąpienia odchylenia będzie wyrażone tzw. poziomem przynależności. W modelowaniu (wnioskowaniu) rozmytym można wyróżnić trzy główne etapy bloku operacyjnego: fuzyfikacja – rozmywanie, inferencja – tworzenie wynikowej funkcji przynależności (poziomu przynależności), defuzyfikacja – wyostrażanie zbioru rozmytego. Schemat modelu przedstawiono

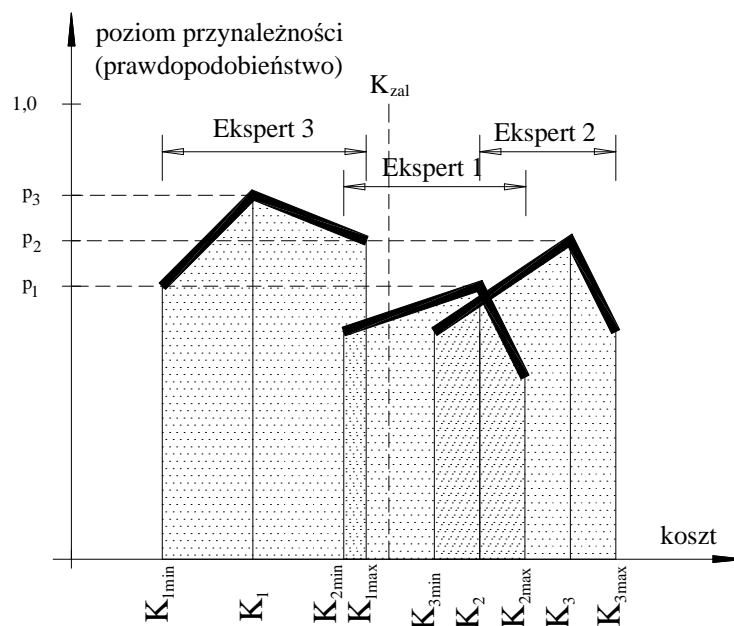
na rysunku 2.

Dane wejściowe modelu stanowią odpowiedzi na trzy pytania od trzech ekspertów.

Pierwszy etap bloku operacyjnego to fuzyfikacja. Polega ona na przedstawieniu informacji (danych) wejściowych w formie zbiorów rozmytych. Dla potrzeb referatu założono wejściową funkcję przynależności zbioru rozmytego w postaci odcinkowej funkcji liniowej. Przestrzeń zbiorów odpowiadających jednemu zadaniu inwestycji przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 2. Schemat modelu rozmytego



Rys. 3. Odwzorowanie informacji wejściowych (opinii ekspertów) w postaci zbiorów rozmytych

Każdy z trzech ekspertów przedstawił najbardziej prawdopodobny koszt (K_1, K_2, K_3) oraz ich prawdopodobieństwo (p_1, p_2, p_3). Oprócz tego eksperci dali odpowiedź na temat wartości ekstremalnych tj. ($K_{1min}, K_{2min}, K_{3min}, K_{1max}, K_{2max}, K_{3max}$) oraz odpowiadające im prawdopodobieństwa ($p_{1min}, p_{2min}, p_{3min}, p_{1max}, p_{2max}, p_{3max}$). Prawdopodobieństwo wystąpienia określonego kosztu zostało wyrażone poziomem przynależności. Na wykresie pokazano również K_{zal} , czyli koszt założony. Analogicznie proces fuzyfikacji przeprowadzono dla czasu realizacji każdej grupy robót. Taka reprezentacja wiedzy ekspertów przedstawia trzy zbiory rozmyte, w których centralnym punktem jest wartość najbardziej prawdopodobna a skrajnymi wartościami są odpowiednio akceptowalna wartość minimalna oraz maksymalna.

Rysunek 3 przedstawia rozmytą reprezentację informacji wejściowych tylko dla jednego zadania (grupy robót) np. roboty przygotowawcze. W tabeli 2 przedstawiono dane wejściowe dotyczące odchyłeń kosztów dla wszystkich zadań przedsięwzięcia.

W teorii zbiorów rozmytych rysunek 3 przedstawia trzy zbiory rozmyte. Jest to informacja wejściowa. W celu późniejszego wykorzystania wiedzy trzech ekspertów informacje przez nich przedstawione skonsolidowano do jednego zbioru reprezentującego odchylenie kosztu (czasu) określonego zadania. Inaczej mówiąc określono tzw. wynikową funkcję przynależności. Proces przekształcający kilka funkcji wejściowych w funkcję wynikową w modelowaniu rozmytym nazywa się inferencją (Kacprzyk, 1997). Istnieje wiele operatorów służących do wyznaczenia wynikowej funkcji

przynależności. W prezentowanym artykule wykorzystano operator średniej arytmetycznej. Wartość wynikowej funkcji przynależności jest równa średniej arytmetycznej poziomów przynależności każdego zbioru wejściowego, co zapisać można zgodnie ze wzorem 1:

$$f_{wynik}(k) = \frac{\sum_{i=1}^n f_i(k)}{n}, \quad (1)$$

gdzie: $f_{wynik}(k)$ jest wynikową funkcją przynależności (funkcja określająca prawdopodobieństwo zdarzenia), k jest argumentem funkcji – kosztu lub czasu, n jest liczbą ekspertów (ilość zbiorów rozmytych), $n = 3$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Przy zastosowanych założeniach powyższy wzór można zapisać w następującej formie:

$$f_{wynik}(k) = \frac{f_{EKS1}(k) + f_{EKS2}(k) + f_{EKS3}(k)}{3} \quad (2)$$

gdzie: $f_{EKS1}(k)$ jest funkcją przynależności wyznaczoną na podstawie danych od eksperta nr 1, $f_{EKS2}(k)$ jest funkcja przynależności wyznaczoną na podstawie danych od eksperta nr 2, $f_{EKS3}(k)$ jest funkcja przynależności wyznaczoną na podstawie danych od eksperta nr 3.

Posługując się arkuszem kalkulacyjnym MS-Excel dla każdego zadania inwestycji wyznaczono funkcję wynikową, przedstawiającą informacje na temat możliwego ryzyka.

Tab. 2. Zestawienie danych wejściowych dot. kosztów dla wszystkich zadań przedsięwzięcia

Lp	K_{zal}	K_{emin1}	P_{emin1}	K_{e1}	P_{e1}	K_{emax1}	P_{emax1}
1	450 000	315 000	0,65	562 500	0,90	585 000	0,85
2	1 640 000	1 230 000	0,65	1 476 000	0,70	1 558 000	0,60
3	2 250 000	1 462 500	0,60	1 800 000	0,90	1 912 500	0,90
4	5 300 000	3 445 000	0,60	5 565 000	0,95	6 095 000	0,70
5	950 000	1 045 000	0,90	1 092 500	0,95	1 140 000	0,90
6	825 000	618 750	0,65	825 000	0,70	948 750	0,65
7	1 320 000	792 000	0,80	1 056 000	0,90	1 188 000	0,60
8	3 120 000	2 964 000	0,75	3 432 000	0,75	3 744 000	0,65
9	1 950 000	1 755 000	0,75	2 145 000	0,80	2 242 500	0,60
10	823 000	658 400	0,65	1 028 750	0,75	1 069 900	0,65
11	4 220 000	3 798 000	0,60	4 642 000	0,75	5 064 000	0,75
12	758 000	492 700	0,75	795 900	0,85	871 700	0,70
13	1 800 000	1 440 000	0,80	1 620 000	0,85	2 070 000	0,60
14	1 350 000	1 080 000	0,70	1 147 500	0,70	1 417 500	0,65
15	260 000	182 000	0,65	208 000	0,80	260 000	0,80
16	1 150 000	977 500	0,65	1 380 000	0,80	1 495 000	0,70
17	180 000	117 000	0,65	144 000	0,85	171 000	0,75

c.d. Tab. 2. Zestawienie danych wejściowych dot. kosztów dla wszystkich zadań przedsięwzięcia

Lp	K _{zal}	K _{emin2}	P _{emin2}	K _{e2}	P _{e2}	K _{emax2}	P _{emax2}
1	450 000	270 000	0,70	495 000	0,80	517 500	0,75
2	1 640 000	1 394 000	0,60	2 050 000	0,80	2 132 000	0,70
3	2 250 000	1 462 500	0,70	1 687 500	0,85	2 025 000	0,60
4	5 300 000	3 975 000	0,70	4 505 000	0,90	5 565 000	0,90
5	950 000	1 092 500	0,65	1 187 500	0,85	1 235 000	0,75
6	825 000	536 250	0,90	948 750	0,95	990 000	0,80
7	1 320 000	1 254 000	0,75	1 584 000	0,95	1 650 000	0,75
8	3 120 000	2 184 000	0,85	3 120 000	0,90	3 588 000	0,80
9	1 950 000	1 267 500	0,95	2 145 000	0,95	2 340 000	0,95
10	823 000	534 950	0,60	699 550	0,85	781 850	0,60
11	4 220 000	3 587 000	0,70	4 220 000	0,90	4 642 000	0,70
12	758 000	871 700	0,60	947 500	0,80	985 400	0,60
13	1 800 000	1 440 000	0,65	1 530 000	0,85	1 710 000	0,65
14	1 350 000	1 080 000	0,70	1 147 500	0,70	1 417 500	0,65
15	260 000	182 000	0,65	208 000	0,80	260 000	0,80
16	1 150 000	977 500	0,65	1 380 000	0,80	1 495 000	0,70
17	180 000	117 000	0,65	144 000	0,85	171 000	0,75

Lp	K _{zal}	K _{emin3}	P _{emin3}	K _{e3}	P _{e3}	K _{emax3}	P _{emax3}
1	450 000	292 500	0,75	315 000	0,85	450 000	0,75
2	1 640 000	1 312 000	0,75	1 804 000	0,75	1 886 000	0,70
3	2 250 000	1 800 000	0,70	2 137 500	0,80	2 250 000	0,75
4	5 300 000	3 710 000	0,70	3 975 000	0,85	5 035 000	0,60
5	950 000	855 000	0,65	997 500	0,90	1 045 000	0,70
6	825 000	866 250	0,75	948 750	0,75	1 031 250	0,60
7	1 320 000	924 000	0,60	990 000	0,80	1 188 000	0,65
8	3 120 000	2 028 000	0,75	2 184 000	0,75	2 340 000	0,75
9	1 950 000	2 047 500	0,60	2 145 000	0,90	2 340 000	0,80
10	823 000	699 550	0,80	864 150	0,90	946 450	0,85
11	4 220 000	2 743 000	0,60	3 587 000	0,80	4 009 000	0,75
12	758 000	568 500	0,65	606 400	0,90	758 000	0,85
13	1 800 000	1 440 000	0,75	1 530 000	0,75	1 890 000	0,70
14	1 350 000	945 000	0,70	1 755 000	0,90	1 822 500	0,60
15	260 000	169 000	0,75	221 000	0,75	286 000	0,70
16	1 150 000	1 035 000	0,75	1 380 000	0,80	1 437 500	0,60
17	180 000	153 000	0,60	171 000	0,80	189 000	0,70

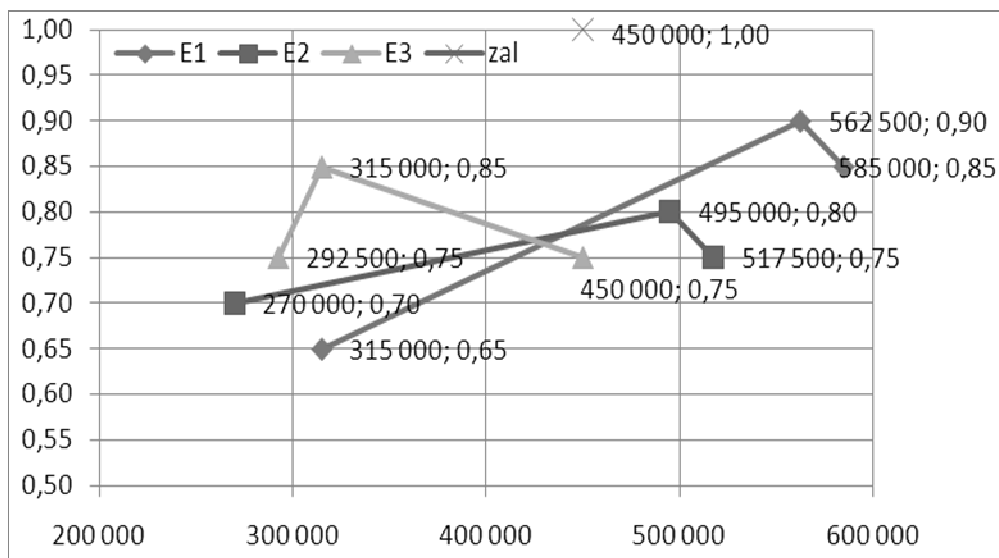
Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono operację inferencji na przykładzie pierwszej grupy robót projektu czyli „Roboty przygotowawcze”.

Proces defuzyfikacji prowadzi do otrzymania wartości ostrej odzwierciedlającej określony zbiór rozmyty. (Buckley i Siler, 2004) Mając funkcję wynikową opinii ekspertów wyznaczono dwa punkty, dzieląc w ten sposób zbiór wynikowy na część optymistyczną i pesymistyczną. Punkty te wyznaczono na podstawie metody środka ciężkości. Wartość ostrą obliczono zgodnie ze wzorem (3):

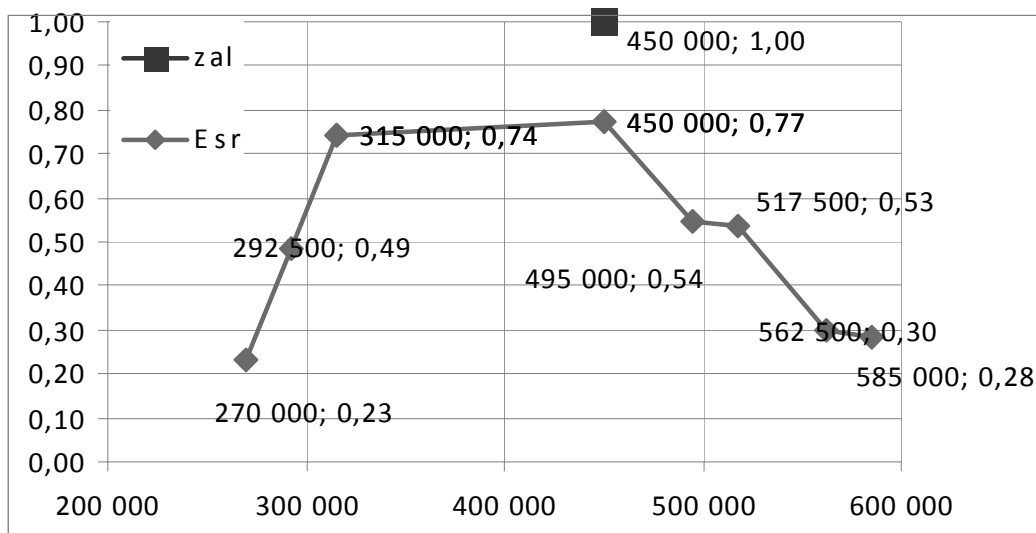
$$k_{wyn} = \frac{\int k \cdot u_{wyn}(k) dk}{\int u_{wyn}(k) dk}, \quad (3)$$

gdzie: k_{wyn} jest wartością ostrą kosztów (wartość wyjściowa), $u_{wyn}(k)$ jest wynikową funkcją przynależności, k jest kosztem – argumentem funkcji przynależności.

W prezentowanym przypadku wykres wynikowej funkcji przynależności ma postać linii łamanej. Środek ciężkości linii łamanej, na przykład ABCD, otrzymano zastępując każdy odcinek linii punktem materialnym, umieszczonym w środku odcinka, o masie równej długości odcinka. Współrzędne środka ciężkości łamanej ABCD wyznaczono na podstawie wzorów (4) i (5).



Rys. 4. Funkcje wejściowe – opinie trzech ekspertów nt. ryzyka dla zadania „Roboty przygotowawcze”



Rys. 5. Funkcja wynikowa ryzyka dla zadania „Roboty przygotowawcze”

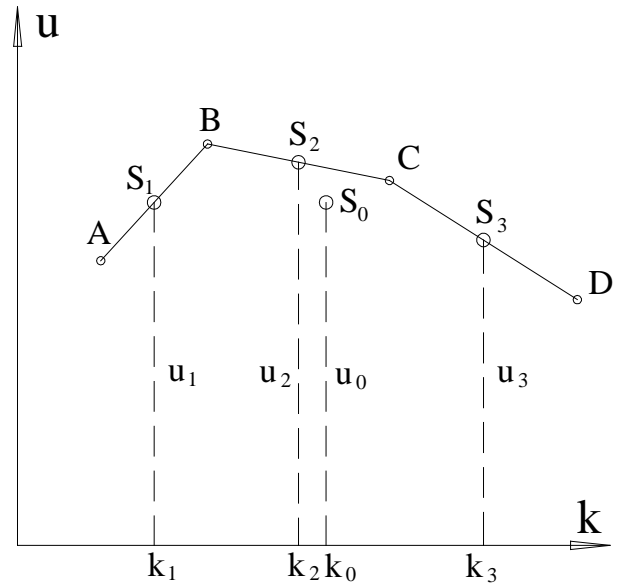
Zgodnie z rysunkiem 6 symbole d_1, d_2, d_3 oznaczają długości odcinków AB, BC, CD, a $S_1(k_1, u_1), S_2(k_2, u_2), S_3(k_3, u_3)$ to środki tych odcinków. Współrzędne środka ciężkości łamanej ABCD wyznaczono na podstawie wzorów (4) i (5).

$$k_0 = \frac{d_1 k_1 + d_2 k_2 + d_3 k_3}{d_1 + d_2 + d_3} \quad (4)$$

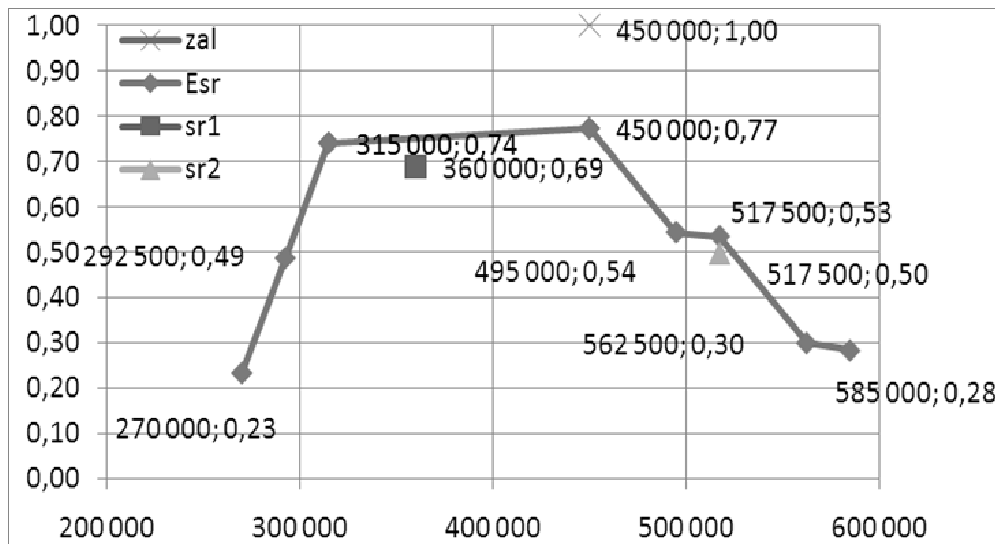
$$u_0 = \frac{d_1 u_1 + d_2 u_2 + d_3 u_3}{d_1 + d_2 + d_3} \quad (5)$$

Na podstawie wzorów (4) i (5) oraz przy wykorzystaniu arkusza kalkulacyjnego Excel dla każdej grupy robót wyznaczono środki ciężkości – optymistyczny i pesymistyczny. Dla pierwszej grupy kosztów czyli „Roboty przygotowawcze” przedstawiono je na rysunku 7.

Te same operacje, to jest kolejno rozmywanie, inferencja, wyostrzanie przeprowadzono dla wszystkich zadań inwestycji. Uzyskane wyniki dla kosztów zestawiono w tabeli 3, a dla czasów w tabeli 4.



Rys. 6. Graficzne przedstawienie wyznaczenia środka ciężkości linii łamanej



Rys. 7. Graficzne przedstawienie wyznaczenia środka ciężkości dla pierwszej grupy kosztów czyli „Roboty przygotowawcze”

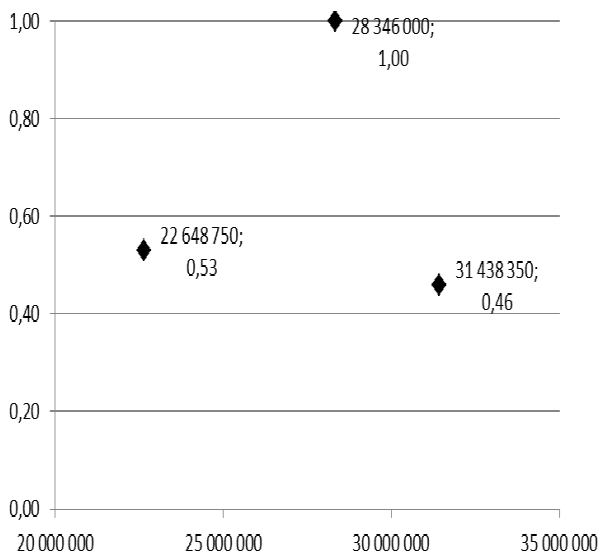
Tab. 3. Zestawienie kosztów i prawdopodobieństw pesymistycznych i optymistycznych

Lp	Nazwa	K _{zal}	K _{opt}	P _{opt}	K _{pes}	P _{pes}
	BUDYNEK MIESZKALNY	28 346 000	22 648 750	0,53	31 438 350	0,46
1	Roboty przygotowawcze	450 000	360 000	0,69	517 500	0,50
2	Roboty ziemne	1 640 000	1 394 000	0,57	1 886 000	0,41
3	Stan surowy podziemia	2 250 000	1 631 250	0,53	2 081 250	0,40
4	Stan surowy nadziemia budynku	5 300 000	3 975 000	0,60	5 565 000	0,54
5	Roboty murowe - ściany zewnętrzne	950 000	950 000	0,30	1 163 750	0,41
6	Roboty murowe - ściany wewnętrzne	825 000	701 250	0,52	1 419 000	0,29
7	Izolacje dachów	1 320 000	990 000	0,45	1 419 000	0,29
8	Stolarka okienna	3 120 000	2 496 000	0,52	3 432 000	0,47
9	Tynki zewn. + ocieplenie	1 950 000	1 706 250	0,54	2 242 500	0,75
10	Okładzina ścian - cegła klinkierowa	823 000	658 400	0,52	946 450	0,43
11	Roboty wykończeniowe wewnętrzne	4 220 000	3 376 000	0,45	4 642 000	0,44
12	Windy osobowe	758 000	625 350	0,50	890 650	0,33
13	Instalacje elektryczne i słaboprądowe	1 800 000	1 485 000	0,77	1 845 000	0,42
14	Instalacje sanitarne	1 350 000	1 012 500	0,55	1 586 250	0,48
15	Przyłącza do budynków	260 000	195 000	0,67	286 000	0,51
16	Roboty zewnętrzne	1 150 000	948 750	0,47	1 322 500	0,48
17	Przygotowanie obiektu do odbioru końcowego	180 000	144 000	0,37	193 500	0,46

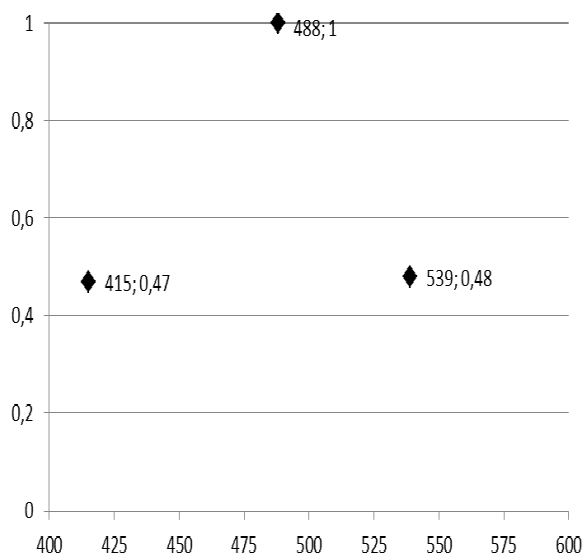
Tab. 4. Zestawienie kosztów i prawdopodobieństw pesymistycznych i optymistycznych

Lp	Nazwa	T _{zal}	T _{opt}	P _{opt}	T _{pes}	P _{pes}
	BUDYNEK MIESZKALNY	488	415	0,48	539	0,47
1	Roboty przygotowawcze	35	29	0,57	39	0,48
2	Roboty ziemne	104	96	0,65	130	0,54
3	Stan surowy podziemia	74	59	0,75	83	0,53
4	Stan surowy nadziemia budynku	118	86	0,47	124	0,23
5	Roboty murowe - ściany zewnętrzne	140	115	0,27	161	0,46
6	Roboty murowe - ściany wewnętrzne	130	104	0,48	75	0,51
7	Izolacje dachów	77	58	0,44	75	0,51
8	Stolarka okienna	118	91	0,52	127	0,48
9	Tynki zewn. + ocieplenie	120	81	0,67	117	0,56
10	Okładzina ścian - cegła klinkierowa	101	83	0,58	116	0,43
11	Roboty wykończeniowe wewnętrzne	253	215	0,63	291	0,62
12	Windy osobowe	93	70	0,54	102	0,34
13	Instalacje elektryczne i słaboprądowe	323	234	0,46	323	0,38
14	Instalacje sanitarne	366	302	0,29	421	0,48
15	Przyłącza do budynków	140	119	0,50	158	0,52
16	Roboty zewnętrzne	114	97	0,51	120	0,39
17	Przygotowanie obiektu do odbioru końcowego	26	23	0,50	33	0,48

W prezentowanej procedurze przyjęto jako miarę ryzyka stosunek wielkości odchylenia do prawdopodobieństwa jego wystąpienia (McCaffer, 2006). Przeprowadzając analizę każdego zadania przedsięwzięcia inwestycyjnego z osobna wyznaczono sumaryczne odchylenia związane z całym przedsięwzięciem, wykorzystując przy tym programy MS-Excel oraz MS-Project. Na rysunku 8 i 9 przedstawiono wynikowe wartości kosztu i czasu założonego wraz z wartościami pesymistycznymi oraz optymistycznymi. Stworzono w ten sposób 3 scenariusze realizacji zadania: optymistyczny, założony oraz pesymistyczny. Wynikowe prawdopodobieństwo wartości sumarycznych wyznaczono jako średnią ważoną.



Rys. 8. Graficzne przedstawienie ryzyka dla kosztu inwestycji



Rys. 9. Graficzne przedstawienie ryzyka dla czasu inwestycji

Na podstawie możliwych scenariuszy zmian kosztu oraz czasu realizacji wyznaczono związane z nimi ryzyko dla całego przedsięwzięcia na podstawie wzorów (6) i (7). W rozpatrywanym przypadku ryzyko określone jest jako

funkcja wielkości zmiany oraz prawdopodobieństwa jej zaistnienia.

$$R_k^{pes} = \frac{K_{pes} - K_{zal}}{1 - p_{pes}} = \frac{31438000 - 28346000}{1 - 0,46} = 0,202 \quad (6)$$

$$R_k^{opt} = \frac{K_{zal} - K_{opt}}{1 - p_{opt}} = \frac{28346000 - 22648750}{1 - 0,53} = 0,428 \quad (7)$$

3. Wnioski

Prezentowana metoda daje wykonawcy bądź też inwestorowi wiedzę na temat możliwych odchyień oraz ryzyka związanego z kosztem jak i czasem realizacji, jako funkcji odchylenia i prawdopodobieństwa jego zaistnienia. Metoda ta oparta jest na wiedzy eksperckiej związanej z poszczególnymi etapami prac, znacznie różniących się od siebie. Korzystając z działań matematycznych wchodzących w zakres teorii zbiorów rozmytych uzyskano wartość odchylenia oraz ryzyka związanego kosztem oraz czasem całego przedsięwzięcia.

Kwantyfikując ilościowo pojęcie ryzyka uzyskano możliwość wczesnego reagowania na nieprzewidziane scenariusze (Chapman i Ward, 2003). Przystępując do inwestycji wykonawca, lub też inwestor, dzięki przeprowadzonej w ten sposób analizie, jest świadom potencjalnych zagrożeń związanych z niedotrzymaniem terminu bądź też przekroczeniem zakładanego budżetu.

Zaproponowana analiza daje ponadto możliwość kontrolowania projektu w trakcie jego realizacji. Po przedstawieniu uzyskanych w analizie danych dotyczących kosztu oraz czasu na wykresie skumulowanego wykresu harmonogramu rzeczowo-finansowego możliwa jest kontrola realizacji przedsięwzięcia metodą Wartości Wypracowanej (Webb, 2008).

Literatura

- Buckley J., Siler W. (2004). Fuzzy Expert Systems and Fuzzy Reasoning. *John Wiley & Sons*.
- Chapman C., Ward S. (2003). Project risk management. *John Wiley & Sons*.
- Kacprzyk J. (1997). Multistage fuzzy control. *John Wiley & Sons, Chichester*.
- McCaffer R. (2006). Modern Construction Management. *Blackwell Science*.
- Webb A. (2008). Wartość wypracowana w praktyce. *PROED*.

THE TIME-COST ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION PROJECT BASED ON FUZZY SETS

Abstract: The proposed analysis aim is to review a detail risk for a given project at the stage of value engineering of the integrated value and risk management. On the basis of the cost estimation and the time schedule establishing, for individual groups of works, the cost or time deviations for each task are specified. Expert knowledge is used for this purpose. In order to transform the input information, it is necessary to introduce fuzzy modelling, which includes fuzzification, inference and defuzzification processes. The proposed procedure allows for automatic determination of optimistic and pessimistic project scenarios with regard to both time and cost, using simple math operators like the arithmetic average and the center of mass. In this way, we obtain the quantified risks associated with time and cost of the project, which allows for comparison of several technologies for implementation of the same project and selection of the most optimum variant.