

# Szacowanie ryzyka kosztowego procesu budowlanego z wykorzystaniem zmiennej losowej o parametrach rozmytych w oparciu o metodę Monte-Carlo

Mgr inż. Michał Bętkowski, dr inż. Andrzej Pownuk  
Wydział Budownictwa  
Politechnika Śląska w Gliwicach  
[Michal.Betkowski@polsl.pl](mailto:Michal.Betkowski@polsl.pl), [Andrzej.Pownuk@polsl.pl](mailto:Andrzej.Pownuk@polsl.pl)

**Streszczenie.** Oszacowanie ryzyka kosztowego jest jednym z głównych problemów związanych z przygotowaniem oferty. Obecnie stosowane metody mają charakter deterministyczny [10,15], natomiast rzeczywisty koszt jest zależny od wielu zmiennych czynników [2,4]. Podstawową barierą w stosowaniu bardziej zaawansowanych metod jest brak wiarygodnych danych statystycznych [8,11]. W artykule autorzy rozszerzyli deterministyczną metodę określania kosztów wykorzystując wiedzę ekspercką do określenia niepewności parametrów funkcji gęstości prawdopodobieństwa. Następnie wykorzystując zmodyfikowaną metodę symulacji Monte Carlo [17] z rozmytymi parametrami dokonano przykładowego oszacowania ryzyka.

## 1 Wstęp

Ryzyko jest nierozłącznie związane z każdym przedsięwzięciem budowlanym. Definiowane jako możliwość poniesienia straty towarzyszy każdej budowie. Jeśli to, co zakładano różni się od tego, co zostało osiągnięte i różnica ta jest negatywna, stratę pokrywa ten, kto się do tego zobowiązał [9]. W przypadku procesów budowlanych rozliczanych w sposób ryczałtowy stroną tą jest wykonawca robót. Podejmuje się on realizację zadania za z góry określoną cenę. Z jednej strony rynek wymusza obniżanie ceny wykonanych robót z drugiej, w dużej mierze stochastyczny charakter czynników warunkujących procesy, wymaga przewidzenia niekorzystnych zmian wpływających na koszt realizacji procesu budowlanego.

W odróżnieniu od innych gałęzi przemysłu, w budownictwie niemal każdy obiekt ma unikalny charakter prototypowy – nowy projekt, nowy inwestor – często wiąże się to z koniecznością opanowania nowych technologii, rozpoczęcia działalności w nowym miejscu i zatrudnienia nowej kadry. Z uwagi na specyfikę produkcji budowlanej [4] określenie kosztów bezpośrednich jest jednym z głównych źródeł ryzyka [2].

## 2 Kalkulacja kosztów

Podstawowe zasady kalkulacji ceny kosztorysowej są zawarte w Środowiskowych Metodach Kosztorysowania Robót Budowlanych [15]. Cena kosztorysowa  $C_k$  stanowi sumę kosztów bezpośrednich  $K_b$ , procesów składowych oraz doliczonych kosztów pośrednich  $K_p$  i zysku  $Z$  oraz podatku  $P_v$ .

$$C_k = K_b + K_p + Z + P_v \quad (1)$$

gdzie :

$$K_b = \sum_{i=1}^n K_{b_i} \quad (2)$$

Koszty bezpośrednie stanowią sumę iloczynów ustalonych jednostek przedmiarowych, jednostkowych nakładów rzeczowych (robocizny, materiałów, sprzętu) i ich cen. Jednostkowe nakłady rzeczowe ustalane są w oparciu o istniejącą bazę normatywna katalogów (np. KNR), normy zakładowe, analizy indywidualne. Ciąg procesów i ilość jednostek robót mają charakter deterministyczny. W dalszej części zajmiemy się problematyką związaną z szacowaniem kosztów bezpośrednich. Pomimo licznych krytyk funkcjonujących normatywów brak innych, kompletnych podstaw do sporządzania kalkulacji. Normatywy mają charakter uogólniony (ze względu na warunki realizacji i są pewną miarą statystyczną nieodzwoiercedlającą lokalnych uwarunkowań czy warunków panujących w danym przedsiębiorstwie. Dodatkowo w trakcie realizacji zadania może zaistnieć potrzeba zmiany technologii (alternatywność rozwiązań) lub może wystąpić konieczność realizacji robót dodatkowych. Pociąga to za sobą znaczne ryzyko, że skalkulowane koszty będą w niskim stopniu pokrywać się z faktycznie poniesionymi.

### 3 Probabilistyczna definicja ryzyka

W rzeczywistości wiele różnych czynników wpływa na poziom kosztów bezpośrednich. Podstawowe to: czynniki pogodowe, zmiany cen czynników produkcji, niedokładność oszacowania zużycia materiałów, brak doświadczenia, różna od zakładanej wydajność, zmiany w projekcie i technologii realizacji [2,4]. Ryzyko jest więc możliwością, że koszty bezpośrednie poniesione na realizację  $K_b$  będą wyższe do zakładanego poziomu  $K_{b,z}$ . Ryzyko jest równe prawdopodobieństwu zdarzenia polegającego na tym, że zmienna losowa

$$K_b : \Omega \ni \omega \rightarrow K_b(\omega) \in R \quad (3)$$

reprezentująca koszty bezpośrednie  $K_b$

$$R = \int_{\{\omega \in \Omega : K_b(\omega) > K_{b,z}\}} dP(\omega) = P\{\omega \in \Omega : K_b(\omega) > K_{b,z}\} = 1 - P\{\omega \in \Omega : K_b(\omega) \leq K_{b,z}\} \quad (4)$$

gdzie  $P$  jest miarą probabilistyczną określoną na  $\sigma$ -ciele podzbiorów zbioru zdarzeń elementarnych  $\Omega$ .

Jeśli znamy funkcje gęstości rozkładu prawdopodobieństwa  $f(K_b)$  zmiennej losowej  $K_b$ .

$$R(K_{b,z}) = 1 - \int_{-\infty}^{K_{b,z}} f_{K_b}(x) dx = 1 - \Phi_{K_b}(K_{b,z}) \quad (5)$$

gdzie

$$\Phi_{K_b}(x) = \int_{-\infty}^x f_{K_b}(t) dt \quad (6)$$

jest skumulowaną dystrybuantą zmiennej losowej  $K_b$ .

### 4 Kalkulacja ryzyka

Obecnie, na ogół ryzyko jest kalkulowane jako liniowy dodatek do całkowitej wartości robót [5], rzadziej z rozbiem na procesy składowe [10]. Efektem wyceny jest wartość punktowa z procentowym lub kwotowym dodatkiem na pokrycie ryzyka. Końcowa cena jest natomiast często wynikiem negocjacji pomiędzy inwestorem, a wykonawcą. Istotną informacją dla wykonawcy robót była by informacja:

- do jakiego zakładanego poziomu ceny jest w stanie zejść, aby poziom ryzyka był akceptowalny
- jaki poziom ryzyka będzie towarzyszył przyjętemu poziomowi kosztów bezpośrednich

Istotną informacją wspomagającą negocjacje cenowe byłaby charakterystyka ryzyka towarzyszącego przyjęciu kosztów na określonym poziomie z uwzględnieniem losowego charakteru czynników wpływających na ich wysokość – czyli znajomość historii zachowań układu. Metoda pozwalająca wygenerować historię zachowań układu jest metoda symulacji [7]. Z jednej strony mamy precyzyjne dane dotyczące skalkulowanych kosztów procesów – z drugiej potrzebujemy określić: prawdopodobieństwo realizacji poszczególnych wariantów oraz w jaki sposób skalkulowane koszty będą się przekładać na faktycznie poniesione w trakcie realizacji. Na rynku istnieje szereg programów pozwalających przypisać probabilistyczne charakterystyki poszczególnym procesom (np. PertMaster, Risk). Barię w stosowaniu bardziej zaawansowanych metod szacowania ryzyka jest brak danych wejściowych do modeli [4,8,11].

## 5 Przykładowa analiza ryzyka

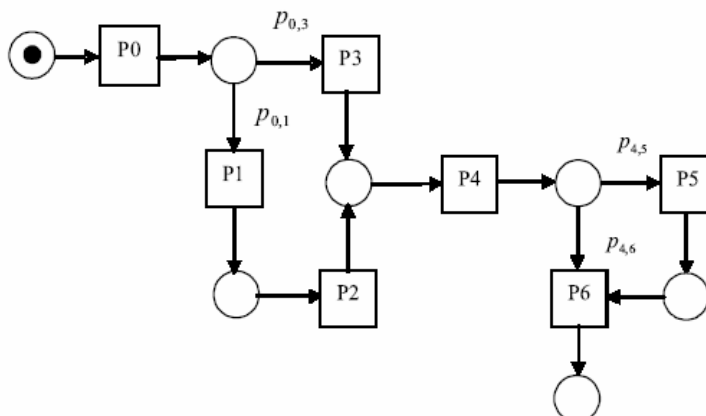
Rozważmy następujący przypadek - wykonawca przygotowuje ofertę na realizację zadania za zryczałtowaną cenę. Z uwagi na charakter robót w trakcie realizacji może zaistnieć potrzeba powierzenia części prac podwykonawcy lub wykonania procesów dodatkowych. W zależności od warunków realizacji koszty mogą ulegać wahaniom.

Pierwszym krokiem jest zawsze identyfikacja procesów składowych – można ją rozszerzyć o identyfikację możliwych rozwiązań alternatywnych i dodatkowych. Kalkulacje kosztów można wykonać na podstawie dostępnej bazy normatywnej i cenowej. Kolejnym krokiem jest agregacja procesów składowych z uwzględnieniem technologii realizacji oraz alokacji ryzyka (tabela 1).

Tabela 1

Lp.	Nazwa procesu	Koszt:	Uwagi:
1	<b>P0</b>	217.500	Alternatywny do P2,P3
2	<b>P1</b>	132.000	
3	<b>P2</b>	187.000	
4	<b>P3</b>	420.000	
5	<b>P4</b>	261.700	Dodatkowy
6	<b>P5</b>	43.200	
7	<b>P6</b>	125.300	

Struktura planowanego zadania jest przedstawiona za pomocą sieci Petriego[14] (rys. 1)



Rys. 1

Jednym z podstawowych rozkładów służących do opisu probabilistycznej charakterystyki procesów jest rozkład beta Pert [1]. Rozkład ten można określić przy pomocy kosztu najbardziej prawdopodobnego  $K_m$ , kosztu optymistycznego  $K_o$ , oraz kosztu pesymistycznego  $K_p$ .

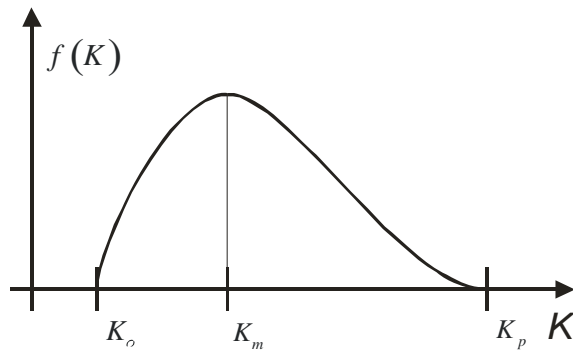
$$\alpha = \frac{4 \cdot (K_m - K_p)}{K_o - K_p}, \quad \beta = 4 - \alpha \quad (7)$$

gdzie  $\alpha, \beta$  są parametrami rozkładu beta.

$$f_{\alpha, \beta}(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} (1-x)^{\beta-1} x^{\alpha-1}, \quad x \in [0, 1] \quad (8)$$

W obliczeniach wykorzystujemy funkcję gęstości rozkładu prawdopodobieństwa o następującej postaci:

$$f(K) = \frac{1}{K_o - K_p} f_{\alpha, \beta} \left( \frac{K - K_p}{K_o - K_p} \right), \quad (9)$$



Rys. 2

Podstawowym problemem jest wyznaczenie parametrów  $K_o, K_m, K_p$ .

W przypadku braku danych statystycznych oraz znajomości wszystkich czynników mogących wystąpić w trakcie realizacji możemy sięgnąć po doświadczenie osób realizujących w przyszłości daną inwestycję – ich oceny adekwatności skalkulowanych parametrów w aspekcie mogących na nie wpływać zidentyfikowanych czynników [13]. Jednakże przyjmowanie precyzyjnych miar jest wprowadzaniem sztucznej precyzji tam gdzie nie wynika ona z charakteru źródła danych i otwartą pozostaje kwestia dokładności takiego oszacowania. Można jednak wyznaczyć górną i dolną granice wartości każdego z parametrów.

$$K_o^- \leq K_o \leq K_o^+, K_m^- \leq K_m \leq K_m^+, K_p^- \leq K_p \leq K_p^+. \quad (10)$$

Jeśli mamy wiele oszacowań (10), to można je utożsamić z realizacjami pewnej zmiennej losowej o parametrach przedziałowych.

$$\hat{K}_o : \Omega \ni \omega \rightarrow \hat{K}_o(\omega) \in I(\mathbb{R}), \quad \hat{K}_m : \Omega \ni \omega \rightarrow \hat{K}_m(\omega) \in I(\mathbb{R}), \quad \hat{K}_p : \Omega \ni \omega \rightarrow \hat{K}_p(\omega) \in I(\mathbb{R}) \quad (11)$$

Przy wykorzystaniu podanych zmiennych losowych można zdefiniować liczby rozmyte jako rodzinę przedziałów ufności [12,6]. Jeśli mamy daną rodzinę przedziałów  $\hat{K}_{oF\alpha}$  spełniającą następującą relację:

$$P\{\omega : \hat{K}_o(\omega) \cap (R \setminus \hat{K}_{oF\alpha}) \neq \emptyset\} = \alpha \quad (12)$$

to przy jej pomocy można zdefiniować funkcję przynależności liczby rozmytej [16]

$$\mu(x | K_{oF}) = \sup\{\alpha : x \in \hat{K}_{oF\alpha}\} \quad (13)$$

Przedział  $\hat{K}_{oF\alpha} = \overline{\{x : \mu(x | K_{oF}) \geq \alpha\}}$  nazywamy  $\alpha$ -przekrojem liczby rozmytej  $K_{oF}$ . Liczby rozmyte otrzymane przy pomocy wzorów (12, 13) są czasem bardzo skomplikowane. W celu uproszczenia obliczeń można oszacować je przy pomocy funkcji przynależności o mniej skomplikowanych kształtach musi być przy tym spełniona zależność

$$\mu(x | K_{oF}) \leq \mu(x | K_{oFu}) \quad (14)$$

gdzie  $K_{oFu}$  jest uproszczoną funkcją przynależności  $K_{oF}$ . Wyniki otrzymane przy pomocy prostszej funkcji przynależności  $\mu(x | K_{oFu})$  mogą służyć jako oszacowanie wyników otrzymanych przy pomocy funkcji  $\mu(x | K_{oF})$ . Ponadto, jeśli mamy pewną funkcję  $y = f(x)$ , która jest jednostajnie ciągła, to zwykle, jeśli

$$\mu(x | K_{oF}) \approx \mu(x | K_{oFu}) \quad (15)$$

to

$$\mu(y | f(K_{oF})) \approx \mu(y | f(K_{oFu})). \quad (16)$$

gdzie bliskość funkcji przynależności należy rozumieć jako metrykę  $\rho : F(\mathbb{R}) \times F(\mathbb{R}) \ni (K_F, K_{Fu}) \rightarrow \rho(K_F, K_{Fu}) \in \mathbb{R}_+ \cup \{0\}$  w unormowanej przestrzeni funkcyjnej  $F(\mathbb{R})$  z normą  $\|\cdot\|_{F(\mathbb{R})} : F(\mathbb{R}) \ni K_F \rightarrow \|K_F\|_{F(\mathbb{R})} \in \mathbb{R}_+ \cup \{0\}$ .

$$\rho(K_{oF}, K_{oFu}) = \|K_{oF} - K_{oFu}\|_{F(R)} \leq \varepsilon \in R \quad (17)$$

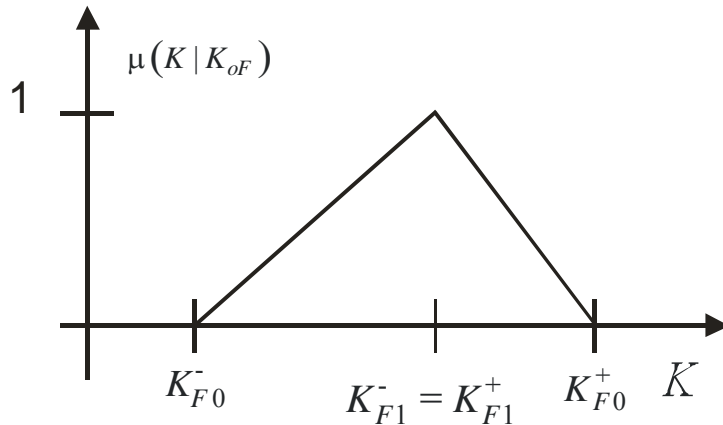
O  $\varepsilon > 0$  zakładamy, że jest dostatecznie małe. Zakładamy przy tym, że [16]:

$$\mu(y | f(K_{oF})) = \sup_{y=f(x)} \mu(x | K_{oF}). \quad (18)$$

Niech  $\hat{K}_1, \dots, \hat{K}_N$  oznacza  $N$  informacji na temat wartości kosztu  $K$ . Trójkątną liczbę rozmytą  $K_F$  można skonstruować np. w następujący sposób.

$$K_{F0}^- = \min\{K_1^-, \dots, K_N^-\}, \quad K_{F0}^+ = \max\{K_1^+, \dots, K_N^+\}. \quad (19)$$

$$K_{F1}^- = K_{F1}^+ = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{mid}(\hat{K}_i) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{K_i^- + K_i^+}{2}. \quad (20)$$



Rys. 3

Dane potrzebne do określenia przedziałowej (rozmytej) wartości prawdopodobieństwa można zbierać przy pomocy formularzy takich jak tabela 2,3. Można je wykorzystać do zdefiniowania liczb rozmytych reprezentujących oceny adekwatności skalkulowanych kosztów: ocena optymistyczna, najbardziej prawdopodobnej wartości i pesymistyczna (wyrażona procentowo w stosunku do kalkulacji).

Tabela 2

Tabela oceny rozkładu ryzyka:																
Nazwa procesu: P2										koszt : 187.000						
osoba: E1																
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	%
% kosztu przewidywanego	Min					X										
	Mp						X									
	Max								X							

W podobny sposób można ocenić możliwość realizacji scenariuszy alternatywnych i dodatkowych:

Tabela 3

Tabela oceny prawdopodobieństwa wystąpienia:									
Nazwa procesu: P 5					osoba: E1				
	15	25	35	45	55	65	75	85	
Prawdopodobieństwo wystąpienia procesu				X					

Liczby rozmyte otrzymane na podstawie danych wejściowych (wyceny oraz ocen adekwatności) przedstawione są w tabeli **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**

Tabela 4

Przekrój	Proces	min		dom		max	
		$\alpha-$	$\alpha+$	$\alpha-$	$\alpha+$	$\alpha-$	$\alpha+$
$\alpha_0$	<b>P0</b>	184,88	228,38	206,65	250,12	250,13	293,63
$\alpha_1/3$		190,91	219,91	212,66	241,66	254,95	283,95
$\alpha_2/3$		196,95	211,45	218,70	233,20	259,78	274,28
$\alpha_3/3$		202,99	202,99	224,74	224,74	264,61	264,61
$\alpha_0$	<b>P1</b>	112,20	125,40	125,40	151,80	151,80	178,20
$\alpha_1/3$		114,40	123,20	129,07	146,67	154,73	172,33
$\alpha_2/3$		116,60	121,00	132,73	141,53	157,66	166,46
$\alpha_3/3$		118,80	118,80	136,40	136,40	160,59	160,59
$\alpha_0$	<b>P2</b>	159,55	197,09	178,32	215,86	215,86	253,40
$\alpha_1/3$		164,76	189,78	182,48	207,51	221,07	246,09
$\alpha_2/3$		169,97	182,48	186,65	199,16	226,28	238,79
$\alpha_3/3$		175,18	175,18	190,82	190,82	231,49	231,49
□	<b>P3</b>	420,00	420,00	420,00	420,00	420,00	420,00
$\alpha_0$	<b>P4</b>	222,45	274,79	248,62	300,96	327,13	379,47
$\alpha_1/3$		232,62	267,51	258,79	293,68	334,39	369,26
$\alpha_2/3$		242,79	260,23	268,96	286,40	341,66	359,05
$\alpha_3/3$		252,96	252,96	279,13	279,13	348,92	348,85
$\alpha_0$	<b>P5</b>	36,72	41,04	41,04	45,36	45,36	49,68
$\alpha_1/3$		37,44	40,32	41,76	44,64	46,08	48,96
$\alpha_2/3$		38,16	39,60	42,48	43,92	46,80	48,24
$\alpha_3/3$		38,88	38,88	43,20	43,20	47,52	47,52
$\alpha_0$	<b>P6</b>	93,98	119,04	119,04	131,57	144,10	169,16
$\alpha_1/3$		98,84	115,55	121,12	129,48	146,88	163,58
$\alpha_2/3$		103,71	112,07	123,21	127,39	149,66	158,01
$\alpha_3/3$		108,58	108,58	125,30	125,30	152,44	152,44

Gdy mamy określone rozmyte charakterystyki kosztu optymistycznego  $K_{oF}$ , najbardziej prawdopodobnego  $K_{mF}$ , oraz pesymistycznego  $K_{pF}$  każdego procesu, to możemy przystąpić do obliczenia kosztu całkowitego  $K_C$ . W niniejszej pracy wykorzystamy do tego celu specjalnie zmodyfikowaną metodę Monte Carlo [17].

## 6 Algorytm zmodyfikowanej metody Monte Carlo

W analizowanym przypadku mamy do czynienia z procesami o charakterze deterministycznym, probabilistycznym, opisanym za pomocą zmiennych rozmytych, oraz za pomocą zmiennych losowych o parametrach rozmytych. W przypadku procesów opisanych przy pomocy rozkładów prawdopodobieństwa z rozmytymi parametrami (np. rozkładami beta Pert) lub liczbami, w celu obliczenia rozmytego rozkładu prawdopodobieństwa odpowiadającego ocenie adekwatności kosztów procesu można wykorzystać metodę  $\alpha$ -przekrojów. Kolejne kroki algorytmu są:

- 1) Obliczamy  $\alpha$ -przekroje rozmytych parametrów  $K_{1F}, K_{2F}, \dots, K_{NF}$  wszystkich rozkładów prawdopodobieństwa opisujących proces budowlany  $\hat{K}_{1F\alpha}, \hat{K}_{2F\alpha}, \dots, \hat{K}_{NF\alpha}$ .
- 2) Każdy  $\alpha$ -przekrój zastępujemy zbiorem punktów  $K_{1F\alpha i} \in \hat{K}_{1F\alpha}, K_{2F\alpha i} \in \hat{K}_{2F\alpha}, \dots, K_{NF\alpha i} \in \hat{K}_{NF\alpha}$ .
- 3) Dla każdego zbioru punktów  $K_{1F\alpha i}, K_{2F\alpha i}, \dots, K_{NF\alpha i}$  przy pomocy symulacji Monte Carlo obliczamy ryzyko  $R(K_{1F\alpha i}, K_{2F\alpha i}, \dots, K_{NF\alpha i})(K_{CZ})$  towarzyszące założonemu poziomowi kosztów  $K_{CZ}$ .
- 4) Teraz można obliczyć  $\alpha$ -przekrój do jakiego należy rozmyta funkcja ryzyka

$$R_{\alpha}^{-}(K_{CZ}) = \min \{ R(K_{1F\alpha i}, K_{2F\alpha i}, \dots, K_{NF\alpha i})(K_{CZ}) : i = 1, \dots, M \} \quad (21)$$

$$R_{\alpha}^{+}(K_{CZ}) = \max \{ R(K_{1F\alpha i}, K_{2F\alpha i}, \dots, K_{NF\alpha i})(K_{CZ}) : i = 1, \dots, M \} \quad (22)$$

gdzie  $M$  jest liczbą wszystkich punktów podziału  $\alpha$ -przekroju.

5) Funkcję przynależności rozmytego ryzyka obliczamy następująco:

$$\mu(x | R_F(K_{CZ})) = \sup\{\alpha : x \in \hat{R}_{F\alpha}(K_{CZ})\} = \sup\{\alpha : x \in [R_{F\alpha}^-(K_{CZ}), R_{F\alpha}^+(K_{CZ})]\} \quad (23)$$

## 7 Oprogramowanie modelu

Obecnie na rynku brak oprogramowania pozwalającego na modelownie tego typu problemów. Legło to u podstaw opracowania przez autorów języka BPFPRAL(Bętkowski PownuK Fuzzy Probabilisty Risk Analysis Language) [3]. Umożliwia on tworzenie modeli z wykorzystaniem danych o charakterze: deterministycznym, probabilistycznym, przedziałowym, rozmytym, probabilistycznym o parametrach przedziałowych i rozmytych. Przykładowy fragment tabulogramu odwziewiedla prezentowany system dla jednego z  $\alpha$ -przekrojów:

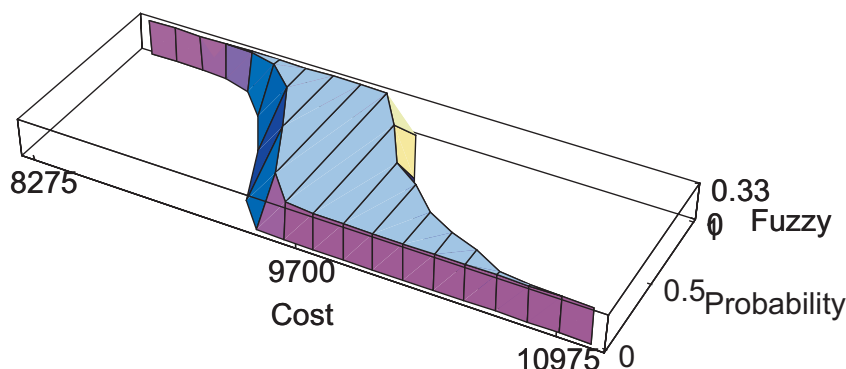
```

Node
NumberOfNode 0, NumberOfChildren 2, Children 1 3, Probability 0.415,
IntervalProbability 0.088, xMinMin 198.766, xiMnMax 206.016, xMidMin
215.688, xMidMax 219.313, xMaxMin 231.391, xMaxMax 238.641, ProbabilityGrids 3
End
Node
NumberOfNode 1, NumberOfChildren 1, Children 2, xMinMin 125.761, xMinMax
130.161, xMidMin 133.830, xMidMax 138.230, xMaxMin 147.030, xMaxMax 153.63
End
Node
NumberOfNode 2, NumberOfChildren 1, Children 4, xMinMin 171.533, xMinMax
177.789, xMidMin 186.136, xMidMax 189.264, xMaxMin 206.983, xMaxMax 213.24
End
Node
PointValue, NumberOfNode 3, NumberOfChildren 1, Children 4, xMinMin
420.000, xMinMax 420.000, xMidMin 420.000, xMidMax 420.000, xMaxMin
420.000, xMaxMax 420.000, NumberOfGrid 1
End
Node
NumberOfNode 4, NumberOfChildren 2, Children 5 6, Probability 0.224,
IntervalProbability 0.088, xMinMin 239.159, xMinMax 247.882, xMidMin
252.244, xMidMax 260.967, xMaxMin 282.863, MaxMax 295.948, NumberOfGrid 2,
ProbabilityGrids 3
End
Node
NumberOfNode 5, NumberOfChildren 1, Children 6, xMinMin 38.520, xMinMax
40.680, xMidMin 42.840, xMidMax 44.280, xMaxMin 47.400, xMaxMax 48.840
End
Node
NumberOfNode 6, xMinMin 121.123, xMinMax 125.300, xMidMin 126.344,
xMidMax 130.521, xMaxMin 140.267, xMaxMax 146.532, NumberOfGrid 2
End
Results
Xmin 820, Xmax 1120, NumberOfSimulations 10000, NumberOfClasses 20,
NumberOfGrid 2, DistributionType 2
End

```

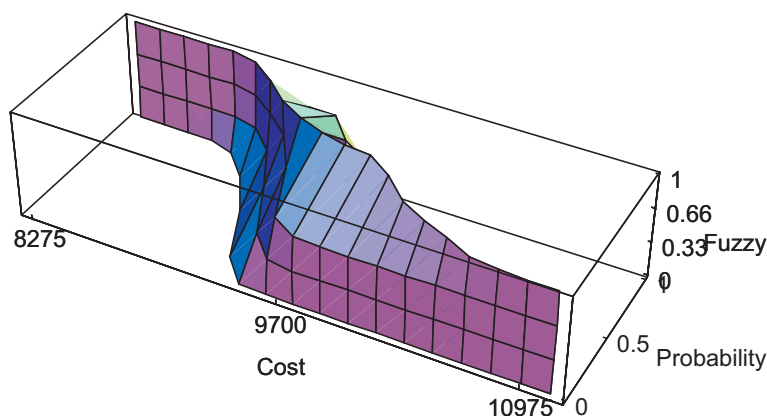
## 8 Badania symulacyjne

W modelu numerycznym stworzonym w BPFPRAL wykonano eksperyment składający się 10000 symulacji Monte Carlo na każdą z 262144 kombinacji rozmytych parametrów w każdym z  $\alpha$ -przekrojów. Graficzna prezentacja wyników dla poszczególnych warstw rys. 4



Rys. 4

Efekt końcowy obliczeń „bryła ryzyka” jest pokazana na rys.5.



Rys. 5

Zaprezentowana bryła obrazuje poziom ryzyka przy zakładanym poziomie kosztów maksymalnych w aspekcie poziomu zaufania do danych.

## 9 Podsumowanie

Wprowadzanie nadmiernej dokładności tam, gdzie nie mamy dostatecznej ilości danych, nie przekłada się na wiarygodność wyników. Prezentowana metoda pozwala, z jednej strony maksymalnie wykorzystać dostępne informacje, a z drugiej daje obraz niepewności danych. Połączenie istniejącej bazy normatywno-cenowej, szacunkowej bazy statystycznej z doświadczeniem osób zaangażowanych w realizację pozwala oszacować ryzyko. Poziom wiarygodności takiego oszacowania jest w dużej mierze zależny od procesu identyfikacji elementów składowych, możliwych scenariuszy oraz doświadczenia.

## Literatura

- [1] Ablu Riksz, S.M. Halin, D., Wilson J., Fitting beta distribution based simple, *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(2), 1993
- [2] Akintola, A.: Analysis of factors influencing project cost estimating practice. *Construction Management and Economics*, 18(1) 2000.
- [3] Bętkowski M., Pownuk A., : BPFPRAL ver. 1.8.2 – User manual, Gliwice, Poland, 2004.
- [4] Bizon-Górecka J.; *Metodyka zarządzania ryzykiem w produkcji budowlanej - Rozprawy nr 89 Bydgoszcz 1998.*
- [5] Bortniczak W., Tomaszewski B.; *Podstawy Normowania Technicznego i Kosztorysowania w budownictwie w warunkach gospodarki rynkowej – PŁ Łódź 1994*
- [6] Dubois D., Foulloy L., Mauris G., Probability-Possibility Transformations, *Triangular Fuzzy Sets and Probabilistic Inequalities. Reliable Computing* 10, 2004.
- [7] Gordon G.: *Symulacja systemów. WNT, Warszawa 1974*
- [8] Kapliński O.; *Problematyka ryzyka w zarządzaniu w budownictwie na konferencji Malta'2001. III Ogólnopolska konferencja naukowa „Ryzyko-Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie” Bydgoszcz 2001*
- [9] Kosecki A., Madyda A.; *Kierowanie ryzykiem w przedsiębiorstwie budowlanym - Technologia w budownictwie - Wrocław-Polanica Zdrój 1996*
- [10] Kulągowski I., *Metody kosztorysowania w Niemczech - Licz i buduj 8/97*
- [11] Mok C.K, Rao Tummala V.M. and Leung H.M., Practices, barriers and benefits of risk management process in building services cost estimation, *Construction Management and Economics*, 15 1997.
- [12] Neumaier A., Clouds, fuzzy sets and probability intervals, *Reliable Computing* 10, 2004.
- [13] Pritchard C.L.; *Risk Management Concepts and Guidance , ESI International 2001*
- [14] Starke, P. H.: *Petrinetze. Deutscher Verlag der Wissenschaften, DDR, Berlin, 1980*
- [15] *Środowiskowe Metody Kosztorysowania – Stowarzyszenie Kosztorysantów Budowlanych Zrzeszenie Biur Kosztorysowania Budowlanego - Warszawa – Grudzień 2001*
- [16] Zadeh, L., Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 1965
- [17] Zielińskim R. *Metody Monte Carlo , WNT Warszawa 1970*