

Michał BĘTKOWSKI*
Politechnika Śląska

WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI RYZYKA KOSZTOWEGO PROCESU BUDOWLANEGO

Streszczenie. Jednym z kluczowych problemów związanych z przygotowaniem procesu budowlanego jest określenie kosztu bezpośredniego realizacji zadania. W artykule autor przedstawił próbę rozwiązania tego problemu za pomocą modelu symulacyjnego.

ESTIMATING RISK OF COST REALIZATION OF CONSTRUCTION PROCESS

Summary. One from the main problems with preparation of construction process is qualification of a cost realization assignment. In this paper the author describe method of solution this problem by using simulation model.

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 [8]. W przypadku procesów budowlanych rozliczanych w sposób ryczałtowy stroną tą jest wykonawca robót. Podejmuje się on realizacji 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. Z uwagi na specyfikę produkcji budowlanej [1, 6] określenie kosztów bezpośrednich jest jednym z kluczowych problemów. W artykule przedstawiono próbę rozwiązania tego problemu za pomocą stworzonego modelu symulacyjnego procesu budowlanego.

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Janusz Szwabowski

2. Kalkulacja ryzyka

Obecnie planowane koszty bezpośrednie są określane w oparciu o zdeterminowane jednostkowe nakłady rzeczowe. Ciąg procesów i ilość jednostek przedmiarowych mają charakter deterministyczny. Ryzyko jest kalkulowane jako liniowy dodatek do całkowitej wartości robót [3], rzadziej z rozbiem na procesy składowe [10]. Ryzyko jest również w pewnym stopniu ujęte w powiększonych normach jednostkowych. Efektem wyceny jest wartość punktowa z kwotowym lub procentowym dodatkiem na pokrycie ryzyka.

Końcowa cena jest natomiast wynikiem negocjacji pomiędzy inwestorem a wykonawcą. Istotną informacją wspomagającą negocjacje cenowe byłyby charakterystyka ryzyka towarzyszącego przyjęciu kosztów na określonym poziomie z uwzględnieniem stochastycznego charakteru czynników wpływających na ich wysokość.

3. Przykładowy proces budowlany

Wykonawca ma się podjąć realizacji zadania za zryczałtowaną cenę. Z uwagi na charakter robót przyjęta ilość jednostek ma charakter przybliżony. W trakcie realizacji może zaistnieć potrzeba zmiany technologii wykonania (wariantowość) lub wykonania procesów dodatkowych. W zależności od warunków realizacji koszty jednostkowe mogą ulegać wahaniom. Zadanie składa się z typowych procesów składowych (P_1, \dots, P_{10}). Po zrealizowaniu procesu P_1 , w zależności od panujących warunków zewnętrznych, może wystąpić konieczność wykonania dodatkowego procesu P_2 z prawdopodobieństwem 0,2. Proces P_4 jest alternatywą dla procesów P_5 , P_6 , P_7 (prawdopodobieństwo wystąpienia 0,3). Jest on wykonywany przez podwykonawcę za zryczałtowaną cenę jednostkową. W zależności od uzyskanych efektów istnieje prawdopodobieństwo większej krotności powtórzeń procesów P_6 i P_9 (krotność powtórzeń oraz prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia można oszacować na podstawie zdobytych doświadczeń z uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań).

4. Budowa modelu systemu

Systemy produkcyjne w budownictwie są złożonymi obiektami. Zgodnie z zasadami analizy systemowej mogą być dla celów ich badania rozłożone na poszczególne proste elementy składowe. Zasada dekompozycji pozwala na podział i rozdzielny opis każdego elementu, a następnie w wyniku procesu syntezy łączy się poszczególne elementy w system [7]. Podział systemu na elementy w naszym przypadku wynika z technologii realizacji naszego zadania.

Model systemu składa się z elementów składowych, przez które przejście jest obciążone określonym kosztem, oraz łączących je relacji. Zarówno droga przejścia przez model, jak i koszty poszczególnych procesów mają charakter stochastyczny. Schemat modelu realizacji procesu jest odwzorowany na rys.1 za pomocą sieci Petriego [12,13].

Procesy (zdarzenia) są odwzorowane kwadratami, kółkami warunki. Ukazane są deterministyczne i stochastyczne połączenia. Strzałki określają kierunki przemieszczania się po sieci. Połączenia deterministyczne o prawdopodobieństwie $p=1$ (na modelu zaznaczono tylko prawdopodobieństwa zaistnienia różne od 1) muszą być zrealizowane, natomiast spośród połączeń stochastycznych tylko jedno (prawdopodobieństwo oznaczone nad połączeniami). Procesy P6 i P9 wymagają powtórzeń – jest to odwzorowane za pomocą sprzężeń zwrotnych z podaną liczbą uwolnień – N i prawdopodobieństwem przyjęcia określonej wartości.

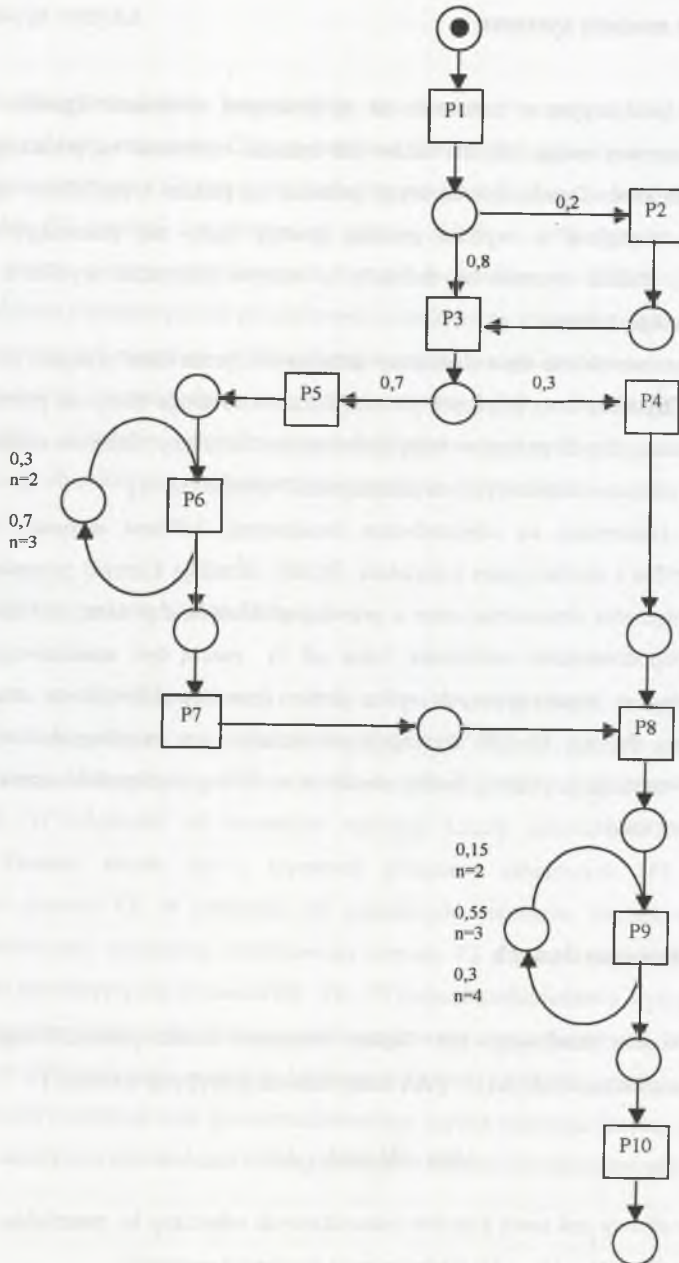
5. Przygotowanie danych

Koszt procesu składowego k_{pr} będzie iloczynem kosztu jednostkowego k_j i ilości jednostek przedmiarowych A (1) (ΔA odchylenie od przyjętych wartości)

$$k_{pr_i} = k_j \times (A_i + \Delta A_i). \quad (1)$$

Koszt jednostkowy jest sumą kosztów jednostkowych robocizny k_r , materiałów k_m i pracy sprzętu k_s (2). ($\Delta k_r, \Delta k_m, \Delta k_s$ odchylenie od przyjętych wartości)

$$k_j = [(k_r + \Delta k_r) + (k_m + \Delta k_m) + (k_s + \Delta k_s)]. \quad (2)$$



Rys. 1. Model procesu
Fig. 1. Model of process

Istotną kwestią jest określenie rozkładów zmiennych losowych opisujących parametry procesów. Przyjęto, że koszt robocizny k_r i pracy sprzętu k_s jest zależny od pracochłonności. W metodach planowania sieciowego np. Pert na ogół przyjmuje się, że czas trwania jest zmienną losową o rozkładzie Beta [11,5]. Rozkład zmiennej losowej kosztu będzie miał postać:

$$f_{(k_i)} = \frac{(k_i - k_{i \min})^\alpha (k_{i \max} - k_{i \text{np}})^\beta}{(k_{i \max} - k_{i \min})^{\alpha+\beta} (\alpha+1)(\beta+1)} \quad (3)$$

Koszt rozpatrujemy w przedziale $\langle k_{\min}, k_{\max} \rangle$, tj. zakłada się, że prawdopodobieństwo poniesienia kosztów większych i mniejszych niż określone granice wynosi zero. Dobór parametrów funkcji Beta jest taki, aby rozkład funkcji gęstości $f(k)$ kosztu był rozkładem asymetrycznym prawostronnie - dominanta k_m

$$k_m = \frac{\beta \times k_{\min} + \alpha \times k_{\max}}{\alpha + \beta} \quad (4)$$

jest mniejsza od wartości oczekiwanej $E(k)$:

$$E(k_i) = \frac{k_{\min} + 4k_m + k_{\max}}{6} \quad (5)$$

oraz zakłada się, że parametry kształtu i skośności:

$$\alpha_i + \beta_i = 4 \quad (6)$$

gdzie:

$$\alpha_i = \frac{4(k_{mi} - k_{\min i})}{(k_{\max i} - k_{\min i})} \quad (7)$$

Przyjęto, że rozkład zmiennej losowej wielkości robót oraz kosztu materiałów ma charakter rozkładu normalnego charakterystycznego dla opisu błędów pomiarów i obserwacji [2]. Przykładowe oszacowanie wielkości robót, kosztów robocizny, materiałów oraz pracy sprzętu i rozrzutów wartości przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1

Lp.	Proces	Ilość jednostek		Prawd. wyst.	Koszt jednostkowy							
		Wartość	Odchyl.		Robocizna			Materiały		Sprzęt		
					k _{r_m}	k _{r_{min}}	k _{r_{max}}	Wartość	Odchyl.	k _{S_m}	k _{S_{min}}	k _{S_{max}}
1	Proc 1	50	1.5	1	30	23	40	70	2	10	8	14
2	Proc 2	50	1.5	0,2	8	6	11	5	0.3			
3	Proc 3	9	0.6	1	18	15	22	80	2.2	9	7	12
4	Proc 4	20	0.85	0,3	290							
5	Proc 5	20	0.85	0,7	25	21	34	100	1,9	12	11	16
6	Proc 6	20	0.85		15	12	19	25	2			
	2x			0,30								
	3x			0,70								
7	Proc 7	20	0.85		20	16	27	45	3	6	5	8
8	Proc 8	14	0.35	1	15	13	20	20	1.2			
9	Proc 9	14	0.35		7	6	9	10	0.25			
	2 X			0,15								
	3 X			0,55								
	4 X			0,30								
10	Proc 10	13	0.4	1	20	17	28			6	5	9

6. Oprogramowanie modelu symulatora

Kolejnym etapem jest oprogramowanie modelu w celu dokonania badań symulacyjnych na komputerze. W celu uproszczenia procesu pisania programów opracowano wiele specjalistycznych języków programowania – SIMAN, SIMSCRIPT, SIMULA, GPSS, SLX. Do oprogramowania symulatora zastosowano język GPSS (General Purpose Systems Simulator). Wykorzystuje on metodę śledzenia obiektów opracowaną przez IBM [9]. Oparty on jest na schematach blokowych, w których każdy blok przedstawia kolejne działanie. Opisu działania systemu dokonuje się przy użyciu podstawowych typów bloków [4]. Model symulatora oprogramowano wykorzystując implementację języka GPSS opracowaną przez MINUTEMAN SOFTWARE - GPSS/PC World Student Version 4.32 [14].

Poniżej przedstawiony jest tabulogram symulatora:

```

10 *      Koszt procesu
20 *      Michal Bętkowski
30 *
50      GENERATE 1
60      POCZ MARK 1
70      AAA FVARIABLE NORMAL(RN1+1,50,1.5)
80      PROC1 FVARIABLE (V$AAA)#(BETA(RN1+1,23,40,1.65,2.35)
+NORMAL(RN1+1,70,2)+BETA(RN1+1,8,14,1.33,2.67))
90      PROC2 FVARIABLE (V$AAA)#(BETA(RN1+1,6,11,1.6,2.4)
+NORMAL(RN1+1,5,0.3))

```

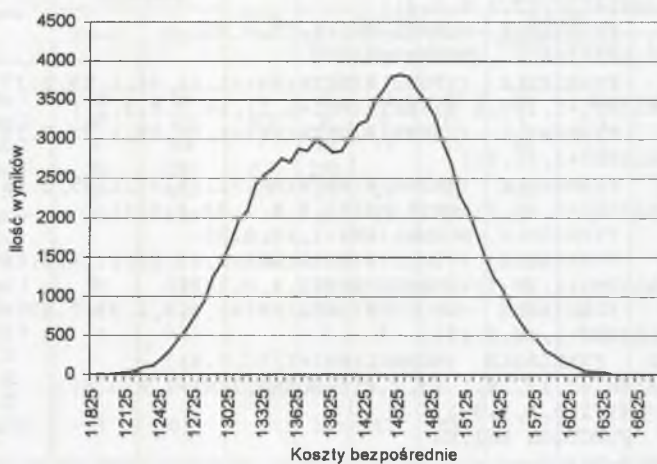
```

100 PROC3  FVARIABLE  (NORMAL (RN1+1, 9, 0.6)
      # (BETA (RN1+1, 15, 22, 1.72, 2.28) + NORMAL (RN1+1, 80, 2.2)
      + BETA (RN1+1, 7, 12, 1.6, 2.4))
110 BBB    FVARIABLE  NORMAL (RN1+1, 20, 0.85)
120 PROC4  FVARIABLE  (V$BBB) # 260
130 PROC5  FVARIABLE  (V$BBB) # (BETA (RN1+1, 21, 34, 1.23, 2.77)
      + NORMAL (RN1+1, 100, 1.9) + BETA (RN1+1, 11, 16, 0.8, 3.2))
140 PROC6  FVARIABLE  (V$BBB) # (BETA (RN1+1, 12, 19, 1.71, 2.29)
      + NORMAL (RN1+1, 25, 2))
150 PROC7  FVARIABLE  (V$BBB) # (BETA (RN1+1, 16, 27, 1.45, 2.55)
      + NORMAL (RN1+1, 45, 3) + BETA (RN1+1, 5, 8, 1.33, 2.67))
160 CCC    FVARIABLE  NORMAL (RN1+1, 14, 0.35)
170 PROC8  FVARIABLE  (V$CCC) # (BETA (RN1+1, 13, 20, 1.14, 2.86)
      + NORMAL (RN1+1, 20, 1) + NORMAL (RN1+1, 4, 0.35))
190 PROC9  FVARIABLE  (V$CCC) # (BETA (RN1+1, 6, 9, 1.33, 2.67)
      + NORMAL (RN1+1, 10, 0.25))
200 PROC10 FVARIABLE  (NORMAL (RN1+1, 13, 0.4)
      # (BETA (RN1+1, 17, 28, 1.09, 2.91) + NORMAL (RN1+1, 6, 0.5)
      + BETA (RN1+1, 5, 9, 1, 3))
205 Roz0   FUNCTION  RN1, D3
      0, 2/0.3, 2/1, 3
210 Roz    FUNCTION  RN1, D4
      0, 2/0.15, 2/0.7, 3/1, 4
220        ADVANCE   V$PROC1
230        TRANSFER  0.8, PROCES1A, PROCES2
240 PROCES1A ADVANCE  V$PROC2
250 PROCES2  ADVANCE  V$PROC3
260        TRANSFER  .3, VER1, VER2
270 VER1     ADVANCE  V$PROC5
275        ASSIGN    AB, FN$Roz0
280 Nast1    ADVANCE  V$PROC6
285        LOOP AB, Nast1
290        ADVANCE   V$PROC7
300        TRANSFER  , PROCES6
310 VER2     ADVANCE  V$PROC4
320 PROCES6  ADVANCE  V$PROC8
330        ASSIGN    A, FN$Roz
340 Nast     ADVANCE  V$PROC9
350        LOOP A, Nast
360        ADVANCE   V$PROC10
370        TABULATE  KOSZT
380        TERMINATE 1
390 KOSZT    TABLE  MP1, 11000, 75, 80

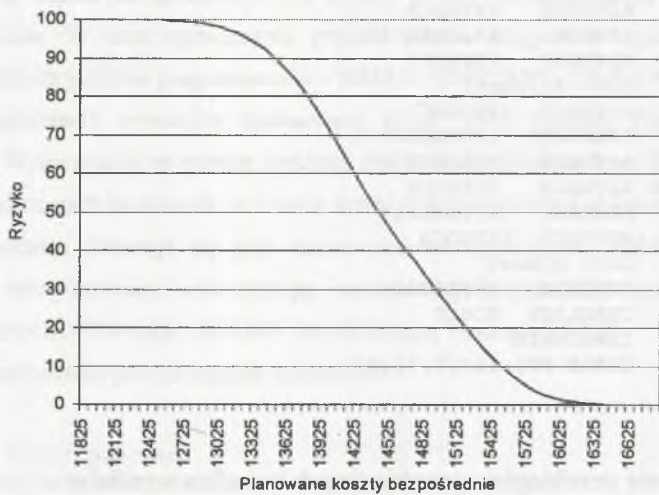
```

7. Wykonanie przebiegów symulacyjnych i analiza wyników

Przeprowadzono na modelu eksperyment symulacyjny składający się z 100000 przebiegów. Poniżej jest zaprezentowany histogram otrzymanych wyników przeprowadzone-



Rys. 2. Histogram wyników
Fig. 2. Result experiment



Rys. 3. Zależność ryzyka od przyjętego poziomu kosztów
Fig. 3. Dependence of risk from accepted level of cost.

go eksperymentu symulacyjnego (rys.2). Koszty związane z realizacją zadania wahały się w przedziale od 11825 do 16775. Przeciętny koszt realizacji zadania wynosił 14284. Jak widać na rys. 3, w początkowym przedziale istnieje wysoka zależność przyjętego poziomu maksymalnych kosztów od występującego ryzyka. Nawet niewielkie zwiększenie tego poziomu pozwala na istotne zmniejszenie ryzyka. Osiągnięcie poziomu kosztów do kwoty 13400 ma poniżej 10% szans na powodzenie, a poziomu 14900 już 70%. Poziom 15500 niesie za sobą ryzyko mniejsze niż 10%. Od kwoty 16050 ryzyko spada poniżej 1%. Zwiększanie bezpieczeństwa od pewnego poziomu poza istotnym wzrostem przewidywanych środków nie niesie istotnej poprawy bezpieczeństwa, a poważnie obniża konkurencyjność oferty.

8. Podsumowanie

Poznanie charakterystyki ryzyka kosztowego planowanego przedsięwzięcia jest pomocne przy negocjacjach cenowych poprzedzających decyzję o przystąpieniu do realizacji procesu budowlanego. Zbyt niska cena jest obciążona wysokim ryzykiem i nawet niewielkie jej zwiększenie podnosi znacząco bezpieczeństwo finansowe. Od pewnego poziomu nawet znaczny wzrost kosztów nie niesie za sobą istotnej redukcji ryzyka. Przed podjęciem końcowej decyzji o przystąpieniu do realizacji zadania w danych warunkach finansowych warto przeprowadzić analizę, czy przewidywanemu poziomowi kosztów bezpośrednich towarzyszy akceptowalny poziom ryzyka. Jednocześnie warto pamiętać, że jest to prawdopodobieństwo nieprzekroczenia, czyli odwrotnością jego jest szansa na odniesienie korzyści spowodowanych niższym kosztem, niż zakładany poziom maksymalny.

LITERATURA

1. Bizon-Górecka J.: Metodyka zarządzania ryzykiem w produkcji budowlanej, Rozprawy nr 89, Bydgoszcz 1998.
2. Borowski D.: Probabilistyka w zastosowaniach technicznych, WNT, Warszawa 1986.
3. Bortniczak W., Tomaszewski B.: Podstawy normowania technicznego i kosztorysowania w budownictwie w warunkach gospodarki rynkowej, Politechnika Łódzka, Łódź 1994.
4. Gordon G.: Symulacja systemów, WNT, Warszawa 1974.

5. Głowacz Ł., Kołton A.: Problemy ustalania wielkości szacownych w budownictwie – XXXVI Konferencja Naukowa, Krynica-Łódź 1991.
6. Jaworski K.M.: Metodyka projektowania realizacji budowy, PWN, Warszawa 1999.
7. Kondradowicz L.: Modelowanie symulacyjne systemów, WNT, Warszawa 1978.
8. Kosecki A., Madyda A.: Kierowanie ryzykiem w przedsiębiorstwie budowlanym – Technologia w budownictwie, Wrocław-Polanica Zdrój 1996.
9. Peters B.A., Smith J.S.: GPSS TURNS 40: SELECTED PERSPECTIVES – Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, San Diego California.
10. Kulągowski I.: Metody kosztorysowania w Niemczech – Licz i Buduj 8/97.
11. Miszczyńska D.: Symulacja w harmonogramowaniu zadań produkcyjnych, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2002.
12. Resig W.: Sieci Petriego, WNT, Warszawa 1988.
13. Starke P.H.: Sieci Petriego, PWN, Warszawa 1987.
14. GPSS World Reference Manual : Minuteman Software Holly Springs, NC, USA 2000.

Recenzent: Dr hab. inż. Andrzej Kosecki, prof. Politechniki Krakowskiej

Abstract

One from the main problems with preparation of construction process is qualification of a cost realization assignment. From one site market force lowering prices of works however from other site in many cases random character of conditioning factors of given processes will disadvantageously influencing on changes putting into on cost of realization. In this paper the author describe method of solution this problem by using simulation model.