

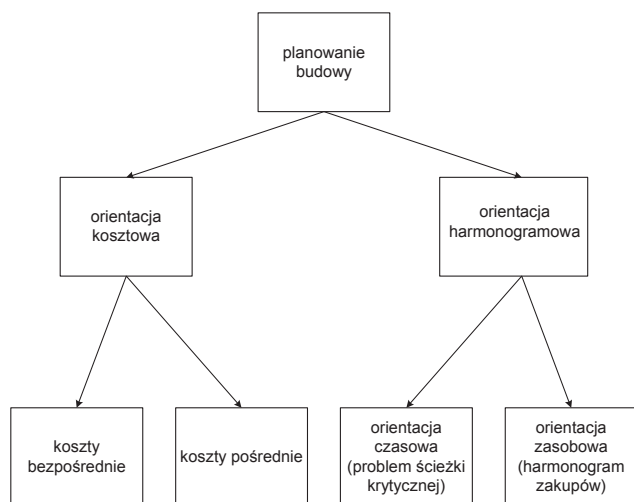
Koszty budowy w perspektywie zmienności czynników kosztotwórczych

Mgr inż. Jarosław Górecki, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. J. Śniadeckich w Bydgoszczy

1. Wprowadzenie

Orientacja kosztowa w planowaniu budowy jest przydatna, w podejmowaniu decyzji, dla wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego, m.in. inwestorów (sponsorów), projektantów, wykonawców robót budowlanych, kierowników projektów, klientów.

W planowaniu przebiegu prac budowlanych uwzględnia się orientacje przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Alternatywne orientacje w planowaniu budowy. Źródło: Hendrickson Ch. (2003), *Project Management for Construction. Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders*, Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213 (tłumaczenie własne)

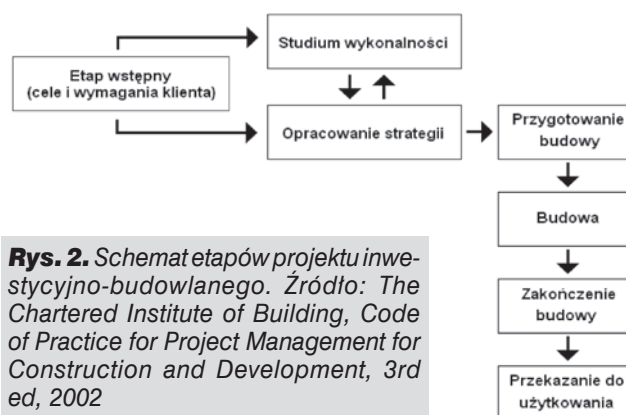
Inwestora, już w fazie przedinwestycyjnej, interesuje oszacowanie kosztów przedsięwzięcia, tj. ustalenie przewidywanych kosztów, które trzeba ponieść, aby zrealizować planowaną inwestycję. Koszty te dotyczą zasobów niezbędnych w ramach realizacji przedsięwzięcia. Projekty inwestycyjno-budowlane mogą mieć na przykład różnorodne konstrukcje przegród w budynkach, co implikuje zmienność kosztów budowy, ale też i eksploatacji obiektu. Często wyższe koszty poniesione w fazie realizacyjnej, znajdują rekompensatę w postaci oszczędności w fazie użytkowania budynku.

Koszty wznoszenia obiektów budowlanych, obok kosztów bezpośrednich (robocizna, materiały, praca sprzętu), obejmują koszty pośrednie, tj. koszty zarządu i koszty ogólne budowy, które opisuje m.in. E. Smoktunowicz (2001).

Rynek budowlany jest dla jego interesariuszy stosunkowo trudnym rynkiem i pozostaje w ścisłej zależności z ogólną sytuacją gospodarczą w kraju i na świecie, co uwidoczniło się szczególnie w dobie ogólnosiwiatowego kryzysu gospodarczego. W tym czasie wzrosło zainteresowanie zarządzania ryzykiem w każdym obszarze działalności gospodarczej. Budownictwo, jako branża o dużej kapitałochłonności i zmienności koniunkturalnej w funkcji czasu, wymaga ciągłego doskonalenia narzędzi zarządzania ryzykiem. Zjawisko ryzyka stało się centralnym punktem podejmowania decyzji gospodarczych, a w zarządzaniu budowlanymi projektami inwestycyjnymi ryzyko kosztów, obok ryzyka zakresu projektu, ryzyka czasu i ryzyka jakości, ma kapitalne znaczenie.

R. E. Fenton, R. A. Cox & P. Carlock (1999) wskazują, że włączenie analizy ryzyka do szacowania kosztu projektu jest szansą na przybliżenie tych przewidywań do rzeczywistości.

Można zauważyć, że dezaktualizacja wartości kosztorysowych przedsięwzięć budowlanych jest rezultatem losowych czynników o charakterze ilościowym i jakościowym, co wymaga probabilistycznego ich traktowania. Analiza ryzyka kosztów przedsięwzięć budowlanych powinna uwzględniać wykrycie kontyngencji (reguł zależ-



Rys. 2. Schemat etapów projektu inwestycyjno-budowlanego. Źródło: *The Chartered Institute of Building, Code of Practice for Project Management for Construction and Development*, 3rd ed, 2002

Tabela 1. Perspektywa kosztów w kolejnych fazach projektu inwestycyjno-budowlanego

Koszty w projekcie inwestycyjno-budowlanym					
Etapy realizacji projektu	Fazy procesu zarządzania projektem	Perspektywa kosztów projektu			
		Informacje o kosztach		Ryzyko kosztów projektu	
		Rodzaj informacji o kosztach	Adresat informacji o kosztach	Rodzaj ryzyka kosztowego	Adresat narażenia
Etap wstępny – celów klienta, wymagań (Client's Objectives, Brief)	Faza koncepcyjna projektu	Wskaźnik kosztów jednostkowych inwestycji	Inwestor/ Sponsor	Ryzyko programowania inwestycji	Inwestor/ Sponsor
Studium wykonalności (Feasibility Study)	Faza przygotowawcza I – przedumowna – planowanie przebiegu projektu	Kosztorys inwestorski	Inwestor/ Sponsor	Ryzyko kosztorysu inwestorskiego	Inwestor/ Sponsor
		Kosztorys ofertowy	Inwestor/ Sponsor	Ryzyko przetargowe	Inwestor/ Sponsor
			Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych	Ryzyko ofertowe	Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych
Opracowanie strategii (Strategy)	Faza przygotowawcza II – poumowna – organizowanie działań w projekcie	Wartość umowna robót budowlano-montażowych	Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych	Ryzyko podziału na zadania	Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych
Przygotowanie budowy (Pre-Construction)	Faza realizacyjna – wdrożeniowa	Wartość umowna robót budowlano-montażowych	Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych	Ryzyko zadaniowo-kosztowej struktury wykonawców	Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych
			Podwykonawcy robót budowlano-montażowych		Podwykonawcy robót budowlano-montażowych
Budowa (Construction)	Faza realizacyjna – wdrożeniowa	Wartość umowna robót budowlano-montażowych	Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych	Ryzyko zmian cen robocizny	Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych
			Podwykonawcy robót budowlano-montażowych	Ryzyko zmian cen materiałów	
		Kontroling kosztów projektu	Podwykonawcy robót budowlano-montażowych	Ryzyko zmian cen sprzętu	Podwykonawcy robót budowlano-montażowych
				Ryzyko zmian kosztów ogólnych i kosztów zarządu	
Zakończenie budowy (Commissioning, Completion)	Faza zamykająca – kontrola i przegląd projektu	Wartość umowna robót budowlano-montażowych	Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych	Ryzyko odpowiedzialności za efekt projektu	Generalny wykonawca robót budowlano-montażowych
Przekazanie do użytkowania (Handover)		Faktycznie poniesione koszty budowy			

Źródło: opracowanie własne

ności) tych kosztów i zmienności kosztów poszczególnych czynników produkcji budowlanej.

Istotnym problemem ryzyka kosztowego w budownictwie jest trafność przewidywań kosztów przedsięwzięć budowlanych. Opierają się one na oszacowaniu wartości poszczególnych czynników kosztotwórczych, a ich losowy charakter implikuje zjawisko ryzyka w przewidywaniu kosztów budowy.

2. Ryzyko kosztowe w budowlanych projektach inwestycyjnych

Ryzyko najogólniej można zdefiniować jako rozmijanie się przebiegu zdarzeń z przewidywaniami. Zatem wrażliwość na ryzyko określonego obszaru działalności może być postrzegana jako jego podatność na oddziaływa-

nie czynników zakłócających. Przewidywania kosztów budowlanych przedsięwzięć inwestycyjnych stanowią istotny obszar ryzyka tego typu projektów. Konieczne jest rozpatrywanie ryzyka kosztowego z perspektywy poszczególnych uczestników projektu. Przedstawienie specyfikacji przyczyn zmienności kosztów projektów inwestycyjno-budowlanych w wymiarze otoczenia takich projektów oraz źródeł natury wewnętrznej jest przydatne w przewidywaniu faktycznych kosztów budowy. Wyartykułować też trzeba źródła ryzyka kosztowego odnoszące się do inwestora i wykonawcy robót budowlanych.

Etapy realizacji projektu inwestycyjno-budowlanego można przytoczyć za The Chartered Institute of Building (2002) (rys. 2), gdzie przyjęto, że projekt inwestycyjno-budowlany składa się z:

- etapu wstępnego – celów klienta, wymagań (Client's Objectives, Brief),
 - studium wykonalności (Feasibility Study),
 - opracowania strategii (Strategy),
 - przygotowania budowy (Pre-Construction),
 - budowy (Construction),
 - zakończenia budowy (Commissioning, Completion),
 - przekazania do użytkowania (Handover).
- Perspektywę kosztów w poszczególnych elementach projektu inwestycyjno-budowlanego ukazuje tabela 1.

3. Zmienność cen czynników produkcji budowlanej jako źródło ryzyka kosztów przedsięwzięć budowlanych

Zmiany cen czynników produkcji budowlanej w funkcji czasu można przeanalizować na przykładzie kosztów robocizny.

Tabela 2 ilustruje stawki robocizny w poszczególnych kwartałach lat 2006–2012 (historyczne i prognozowane).

Rysunek 3 ukazuje zmienność cen niektórych materiałów budowlanych w latach 2011–2012.

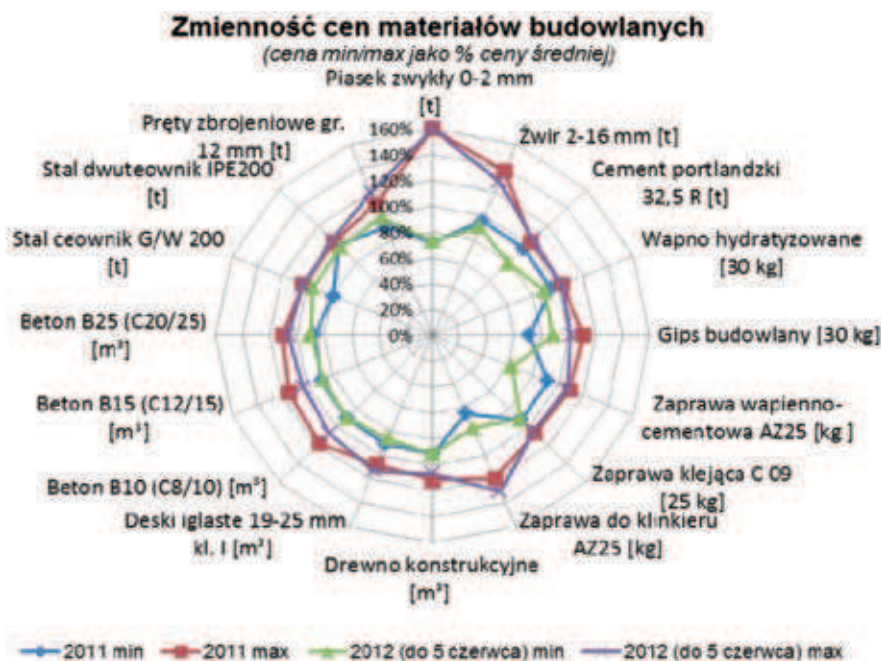
Analizując składniki kosztu budowy można zauważyć, że na ich wartości wpływają czynniki powodujące zróżnicowanie ich zmienności w sposób oryginalny dla poszczególnych składników. Na przykład koszty robocizny zmieniają się pod wpływem zmian na rynku pracy, a koszty materiałów budowlanych mogą zależeć od sytuacji na rynku paliw i są też wynikiem gospodarki materiałowej, a w szczególności zależą od przyjętego modelu logistycznego, które w przedsiębiorstwie i w przedsięwzięciach budowlanych opisuje A. Sobotka (2010). Składowe koszty budowy stanowiące zarówno koszty bezpośrednie, tj. koszty pracy (pracowników budow-

Tabela 2. Zmiany stawek robocizny kosztorysowej netto w latach 2006–2012 – dane historyczne oraz prognoza

Okres	Zmiany cen w %		Prognozowane zmiany stawek w % do poprzedniego kwartału wg ekspertów
	do poprzedniego kwartału	narastająco IV kwartał 2006 r. = 100%	
IV kw. 2006 r.	x	100,0	x
IV kw. 2007 r.	x	142,7	x
IV kw. 2008 r.	x	176,6	x
I kw. 2009 r.	-0,2	176,3	x
II kw. 2009 r.	-1,6	173,5	x
III kw. 2009 r.	-0,7	172,2	x
IV kw. 2009 r.	-1,0	170,5	x
I kw. 2010 r.	-0,2	170,2	x
II kw. 2010 r.	-0,3	169,7	x
III kw. 2010 r.	0,8	171,0	x
IV kw. 2010 r.	0,8	172,4	x
I kw. 2011 r.	0,3	172,9	x
II kw. 2011 r.	0,2	173,3	x
III kw. 2011 r.	x	x	(-0,4) ÷ 1,6
IV kw. 2011 r.	x	x	(-0,6) ÷ 1,4
I kw. 2012 r.	x	x	(-0,6) ÷ 1,4

Źródło: SEKOCENBUD, Zagregowane wskaźniki waloryzacyjne, Ośrodek Wdrożeń Ekonomiczno-Organizacyjnych Budownictwa „PROMOCJA” Sp. z o.o., ZESZYT 36/2011 (1289), II kwartał 2011 r., s. 19

lanych i sprzętu) oraz materiałów budowlanych, jak też koszty pośrednie i zysk, stanowią zmienne losowe. Zmienność składników kosztów budowy ma indywidualny charakter i może być opisana za pomocą różnych rozkładów. Rozkłady te mogą przyjmować też różną postać w zależności od szeregu czynników realizacyjnych, stanu otoczenia gospodarczego, prze-



Rys. 3. Zmienność cen materiałów budowlanych na polskim rynku w latach 2011–2012. Źródło: Opracowano na podstawie danych w serwisie „CO za ile” <http://www.cozaile.pl/ceny> – ceny materiałów budowlanych i produktów

widywanych terminów i czasu trwania prac budowlanych, jak również perspektywy rozważań – inwestora czy wykonawcy.

Zauważenie zmienności poszczególnych czynników kosztotwórczych robót budowlanych wskazuje celowość zastosowania modelu symulacyjnego, wykorzystującego losowe powiązania wartości składników kosztów w kolejnych krokach iteracyjnych wyliczeń kosztów budowy. Uzyskana w ten sposób dystrybucja rozkładu kosztów pozwala na wyliczenie poziomu ryzyka oszacowania kosztów budowy.

4. Probabilistyczna predykcja kosztów budowy z analizą ryzyka

Probabilistyczna predykcja kosztów budowy z analizą ryzyka ma wspierać podejmowanie decyzji inwestycyjnych przez interesariuszy związanych z finansowaniem przedsięwzięć budowlanych, jak też wykonawców robót budowlanych.

W modelu wykorzystano symulację Monte Carlo, którą do analizy ryzyka przedsięwzięć budowlanych poleca też D. Skorupka (2007). Model umożliwia kalkulację kosztów poszczególnych przedsięwzięć na bazie przewidywanych ich przebiegów, opisanych w specyfikacjach istotnych warunków realizacji budowy oraz cech charakterystycznych dla grupy projektów, w której mieści się dane przedsięwzięcie, ustalonych na bazie wcześniejszych doświadczeń. Opracowany model składa się z trzech faz.

W pierwszej fazie przygotowywane są opisy statystyczne różnych przedsięwzięć budowlanych w perspektywie kosztów budowy, przydatne w toku symulacji kosztów budowy.

Dane statystyczne dotyczące wartości materiałów, robocizny i pracy sprzętu oraz wskaźników procentowych narzutów na koszty zakupu i zysku pozwalają na ustalenie typów rozkładów tych wielkości jako zmiennych losowych.

Druga faza obejmuje opracowanie kosztorysu analizowanego przedsięwzięcia budowlanego.

W trzeciej fazie uruchomiony zostaje tryb symulacji, umożliwiający wykonywanie symulacji kosztów budowy oraz narzędzie raportujące, pozwalające generować raporty z symulacji – koszty budowy wraz z prawdopodobieństwem ich osiągnięcia.

Zastosowana jest metoda Monte Carlo, obejmująca następujące kroki:

- krok 1: określenie rozkładu prawdopodobieństwa poszczególnych zmiennych wejściowych;
- krok 2: generowanie liczb losowych dla każdej zmiennej wejściowej, zgodnie z jej rozkładem prawdopodobieństwa;
- krok 3: podstawienie każdej z wygenerowanych wartości zmiennych wejściowych do formuły dla obliczenia poszukiwanych wartości kosztorysowych w toku kolejnych iteracji (według zadanej liczebności iteracji), tj.:

$$W_k = M + (R+S) \cdot (1 + W_{kp} + W_z + W_{kp} \cdot W_z) = M + R \cdot (1 + W_{kp} + W_z + W_{kp} \cdot W_z) + S \cdot (1 + W_{kp} + W_z + W_{kp} \cdot W_z)$$

gdzie:

R – wartość robocizny [PLN],

M – wartość materiałów wraz z kosztami zakupu [PLN],

S – wartość pracy sprzętu [PLN],

W_{kp} – wskaźnik narzutu kosztów pośrednich (postać dziesiętna),

W_z – wskaźnik narzutu zysku (postać dziesiętna);

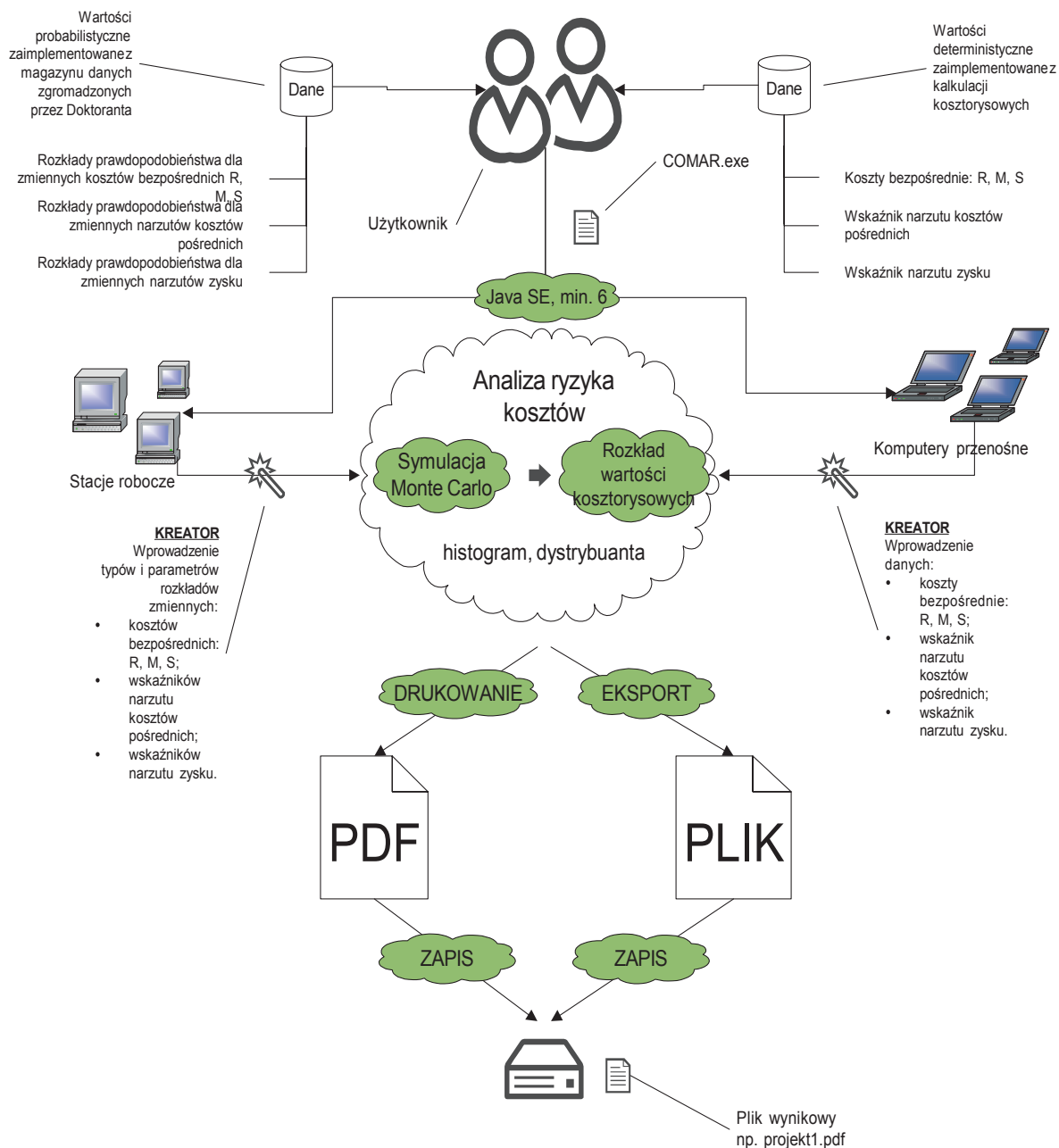
• krok 4: ustalenie rozkładu prawdopodobieństwa wyliczonych wartości, obliczenie jego parametrów.

Algorytm probabilistycznej predykcji kosztów budowy z analizą ryzyka, według którego opracowano symulator COMAR – Jarek Górecki, przedstawia rysunek 4. Stanowi on autorskie rozwiązanie metody analizy ryzyka kosztów przedsięwzięć budowlanych. Metoda ta służyć może wszystkim interesariuszom budowlanych projektów inwestycyjnych – m.in. inwestorom (sponsorom) projektów, wykonawcom robót budowlanych, kierownikom projektów, klientom itd. Przeprowadzenie symulacji wymaga zdefiniowania danych wejściowych, tj.:

- Kosztu deterministycznego robocizny (wartość wyrażona kwotą pieniężną),
- Kosztu deterministycznego materiałów (wartość wyrażona kwotą pieniężną),
- Kosztu deterministycznego pracy sprzętu (wartość wyrażona kwotą pieniężną),
- Wskaźnika narzutu kosztów pośrednich (wartość podana w procentach),
- Wskaźnika narzutu zysku (wartość podana w procentach),
- Typu rozkładu prawdopodobieństwa wraz z charakterystycznymi parametrami dla wszystkich w/w składników:
 - Stała (wartość),
 - Rozkład normalny (wartość oczekiwana, odchylenie standardowe),
 - Rozkład logarytmiczno-normalny (mediana, dominanta),
 - Rozkład jednostajny (wartość minimalna, wartość maksymalna),
 - Rozkład trójkątny (wartość minimalna, wartość najbardziej prawdopodobna, wartość maksymalna)
- Liczba iteracji.

Silną stroną proponowanego modelu probabilistycznej predykcji kosztów przedsięwzięcia jest możliwość indywidualnej oceny kształtowania się rozkładów poszczególnych czynników kosztotwórczych, tj. kosztów materiałów budowlanych, pracy ludzi i sprzętu oraz wskaźników narzutów kosztów pośrednich i zysku, traktowanych jako zmienne losowe.

Przyznać jednak trzeba, że symulator kosztów zaproponowany w programie COMAR – Jarek Górecki wymaga od jego użytkowników dobrego rozpoznania trendów w kształtowaniu się czynników produkcji bu-



Rys. 4. Algorytm probabilistycznej predykcji kosztów budowy z analizą ryzyka. Źródło: opracowanie własne

dowlanej w celu przyjęcia odpowiedniego typu rozkładów oraz ich parametrów. W toku symulacji, do opisanego losowej zmienności poszczególnych czynników kosztotwórczych, zachodzi konieczność zdeklarowania typów rozkładów i ich parametrów charakterystycznych. Z uwagi na znaczny stopień uwikłania poziomu kosztów czynników produkcji budowlanej w uwarunkowania technologiczno-organizacyjne realizowanego przedsięwzięcia budowlanego, od osób korzystających z symulatora wymaga się dobrej znajomości specyfiki procesów budowlanych i dużego doświadczenia w kierowaniu budową.

Determinanty ryzyka kosztów przedsięwzięć budowlanych tkwią zarówno w specyfice branży budowlanej,

wrażliwej na zmienność otoczenia gospodarczego, jak też mają naturę wewnętrzną, gdyż są czułe na przyjęte rozwiązania technologiczno-organizacyjne przebiegu procesów budowlanych.

Wykres kontyngencji kosztów w funkcji ryzyka ich oszacowania dla przykładowego przedsięwzięcia drogowego, sporządzony za pomocą symulatora COMAR – Jarek Górecki przedstawia rysunek 5.

5. Podsumowanie

Każde działanie wnosi do budowlanego projektu inwestycyjnego swoiste ryzyko, wynikające z nietrafności prognozowania przyszłych sytuacji. Skutki ryzyka



Rys. 5.
Wartość oczekiwana kosztów przedsięwzięcia w funkcji ryzyka oszacowania kosztów.
Źródło: opracowanie własne

mogą przejawiać się zarówno jako straty, jak też korzyści. Zauważyć też trzeba, że błędy prognozowania częściowo znoszą się w toku rozwoju projektu. Dlatego zarządzanie ryzykiem w projekcie musi mieć charakter dynamiczny i to zarówno w zakresie monitorowania źródeł ryzyka, badania interferencji czynników ryzyka, jak też poszukiwania sposobów reakcji na pojawiające się zagrożenia, mające na celu redukcję kosztów ryzyka. Ważne jest ukazanie źródeł ryzyka kosztów przedsięwzięć budowlanych.

Ryzyko kosztowe w odniesieniu do przedsięwzięć budowlanych należy wyraźnie odróżnić od ryzyka cenowego, które stanowi kategorię ekonomiczną. Ryzyko kosztowe ma charakter technologiczny, co należy rozumieć jako zespół czynników natury technicznej, organizacyjnej i ekonomicznej. Odnosi się to do wszystkich składników struktury kosztów budowy.

Składowe koszty budowy, stanowiące zarówno koszty bezpośrednie, tj. koszty pracy (pracowników budowlanych i sprzętu) oraz materiałów budowlanych, jak też koszty pośrednie i zysk, stanowią zmienne losowe.

Istotnym problemem ryzyka kosztowego w budownictwie jest trafność przewidywań kosztów przedsięwzięć budowlanych. Opierają się one na oszacowaniu wartości poszczególnych czynników kosztotwórczych, a ich losowy charakter implikuje zjawisko ryzyka w przewidywaniu kosztów budowy.

Proponowany model ma charakter probabilistyczny. Uwzględnia on indywidualny charakter zmienności składników kosztów budowy, które mogą być opisane za pomocą różnych rozkładów. Rozkłady te mogą przyjmować różną postać w zależności od szeregu czynników realizacyjnych, stanu otoczenia gospodarczego, przewidywanych terminów i czasu trwania prac budowlanych, jak również perspektywy rozważań – inwestora czy wykonawcy. Można zauważyć szczególną przydatność proponowanego modelu analizy ryzyka kosztów w podejmowaniu decyzji przez inwestorów oraz wykonawców przedsięwzięć budowlanych. Zaletą tego modelu

jest możliwość liczbowej oceny ryzyka kosztów budowy obliczonych podejściem deterministycznym, a w szczególności ukazanie kontyngencji kosztów budowy w zależności od poziomu ryzyka ich oszacowania. Pozwala na symulowanie kosztów budowy dla różnych wariantów typów rozkładów poszczególnych czynników produkcji budowlanej.

Zauważenie zmienności poszczególnych czynników kosztotwórczych robót budowlanych wskazuje celowość zastosowania modelu symulacyjnego, wykorzystującego losowe powiązania wartości składników kosztów w kolejnych krokach iteracyjnych wyliczeń kosztów budowy. Uzyskana w ten sposób dystrybucja rozkładu kosztów pozwala na wyliczenie poziomu ryzyka oszacowania kosztów budowy, a tym samym wyznaczenie kontyngencji kosztów w funkcji ryzyka. Model może mieć zastosowanie do wyznaczania wartości rażąco niskiej ceny w procedurach zamówień publicznych, np. odpowiadającej ryzyku kosztów na poziomie 50%.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fenton R. E., Cox R. A. & Carlock P., (1999), Incorporating contingency risk into project cost and benefits baselines; a way to enhance realism, INCOSE Conference
- [2] Hendrickson Ch., (2003), Project Management for Construction. Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders, Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213
- [3] The Chartered Institute of Building (2002), Code of Practice for Project Management for Construction and Development, 3rd ed.
- [4] Sekocenbud, Zagregowane wskaźniki waloryzacyjne, Ośrodek Wdrożeń Ekonomiczno-Organizacyjnych Budownictwa „PROMOCJA” Sp. z o.o., ZESZYT 36/2011 (1289), II kwartał 2011 r.
- [1] Skorupka D., (2007), Metoda identyfikacji i oceny ryzyka realizacji przedsięwzięć budowlanych, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa
- [2] Smoktunowicz E., (2001), Kosztorysowanie obiektów i robót budowlanych. Oficyna Wydawnicza POLCEN, Warszawa
- [5] Sobotka A., (2010), Logistyka przedsiębiorstw i przedsięwzięć budowlanych, Wydawnictwa AGH, Kraków