

dr inż. Agnieszka Dziadosz^{1*)}
 ORCID: 0000-0002-2258-4057
 dr inż. Mariusz Rejment²⁾
 ORCID: 0000-0001-8230-3627

Kontyngencja czasu realizacji i kosztu przedsięwzięć budowlanych jako sposób zabezpieczenia na skutek wystąpienia opóźnień

Time and cost contingency of construction projects as a method of securing due to delays

DOI: 10.15199/33.2022.12.16

Streszczenie. Zarządzanie przedsięwzięciami budowlanymi m.in. ich planowaniem, budżetowaniem oraz przydzielaniem zasobów, rozwinęło się dynamicznie na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. W budżetowaniu kluczowe znaczenie ma tzw. krzywa S, której kształt odzwierciedla postępowanie robót budowlanych określonych w harmonogramie rzeczowym. Krzywa S stanowi bazę przy tworzeniu m.in. krzywych skumulowanych obrazujących narastanie zużycia danego zasobu wg najwcześniejszych i najpóźniejszych terminów zwanych esogramami. Powierzchnia zawarta pomiędzy krzywymi esogramu zawiera zbiór krzywych reprezentujących możliwy przebieg realizacji robót budowlanych. Wprowadzenie losowości w inżynierii przedsięwzięć budowlanych przyczyniło się do rozwoju różnych koncepcji i metod analizy zmienności czasu oraz kosztu jako efektu wpływu czynników losowych. Takie podejście doprowadziło do rozwinięcia koncepcji kontyngencji kosztu rozumianej jako kwota (rezerwa, budżet awaryjny) przeznaczona na pokrycie dodatkowych wydatków związanych z wystąpieniem czynników losowych oraz kontyngencji czasu traktowanej analogicznie jako rezerwa czasowa. W artykule zaprezentowano istotę kontyngencji i jej przydatność w praktyce budowlanej.

Słowa kluczowe: krzywa S; opóźnienia; ocena ryzyka; kontyngencja czasu; kontyngencja kosztu.

Abstract. The management of construction projects, mainly in the field of planning, budgeting and resource allocation, developed dynamically at the turn of the 1970s and 1980s. In budgeting, the so-called "S-curve", the shape of which reflects the progress of construction works based on the work schedule. S-curves are the basis for creating, among others cumulative curves illustrating the increase in consumption of a given resource according to the earliest and the latest dates, called "esograms". The area between the curves of the esogram contains the entire set of curves, each of which represents the possible course of construction works. The introduction of randomness in the engineering of construction projects contributed to the development of various concepts and methods of analyzing the variability of time and cost as an effect of the influence of random factors. This approach led to the development of the cost contingency concept understood as an amount (reserve, emergency budget) intended to cover additional expenses related to the occurrence of random factors and time contingency, treated analogously as a time reserve. The article presents the essence of contingency and its usefulness in construction practice.

Keywords: S-curve; construction delays; risk assessment; time contingency; cost contingency.

Realizacja inwestycji budowlanej wiąże się ze spełnieniem wielu wymagań wynikających z charakteru i skali przedsięwzięcia oraz stopnia skomplikowania procesów budowlanych. Mimo profesjonalnego przygotowania do inwestycji budowlanej i zaawansowanych narzędzi analitycznych wspomagających zarządzanie nie zawsze możliwe jest wyeliminowanie zakłóceń generujących opóźnienia czasowe występujące na różnych etapach procesu budowlanego. Są one zjawiskiem dość często występującym i analizowanym w litera-

turze przedmiotu [1 – 3]. Wynikają z losowego charakteru zdarzeń, które mają istotny wpływ na przebieg procesu budowlanego. Wielokrotnie są trudne do przewidzenia na etapie planowania inwestycji budowlanej [4] i często powodują przekroczenie kosztów planowanych zadań. Warto dodać, że nie wszystkie zakłócenia przyczyniają się do opóźnień czasowych. Istotne jest właściwe planowanie zadań i sposobu ich wykonania, minimalizując tzw. ryzyko terminowe [5 – 7]. W związku z tym interesujący nurt prezentują metody czasowe wykorzystujące tzw. krzywe S, czyli krzywe skumulowane odzwierciedlające postępowanie robót lub narastanie zużycia danego zasobu [8]. Krzywe S są stosowane przy tworzeniu eso-

gramów. Zapotrzebowanie na zasoby wprowadza się do sieci podobnie jak czas trwania każdej czynności (określając ilość i dzienne zużycie). Sumowanie zasobów odbywa się w sposób kumulacyjny od początku do końca przedsięwzięcia. Ze względu na występowanie zapasu czasu w przypadku wielu czynności sumowanie zużycia zasobów w modelu sieciowym przeprowadza się najpierw wg najwcześniejszych, a następnie najpóźniejszych terminów rozpoczęcia zadań, w wyniku czego otrzymuje się dwie krzywe. Obszar zawarty pomiędzy tymi krzywymi zawiera zbiór krzywych, reprezentujących ewentualny przebieg przedsięwzięcia. Im mniejszy zapas czasu mają czynności, tym mniejszy jest obszar między krzywymi. Po-

¹⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

²⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*)} Adres do korespondencji: agnieszka.dziadosz@put.poznan.pl

nadto przedsięwzięcie realizowane wg najwcześniejszych terminów charakteryzuje się najwcześniejszym zapotrzebowaniem na zasoby (szybsze ich zamrożenie), natomiast wg najpóźniejszych cechuje mniejsza pewność ukończenia przedsięwzięcia w terminie.

Jedną z popularnych metod w inżynierii przedsięwzięć budowlanych, wykorzystujących krzywą narastania środków (ang. baseline) jest **metoda wartości wypracowanej – EVM** (ang. *Earned Value Method*), która ma dużo zalet, m.in.:

- pozwala na bieżącą kontrolę kosztów ponoszonych przez wykonawcę;
- umożliwia pomiar odchylenia czasu i kosztu od planowanego poziomu;
- prognozuje całkowity czas trwania oraz koszt inwestycji budowlanej [9–13].

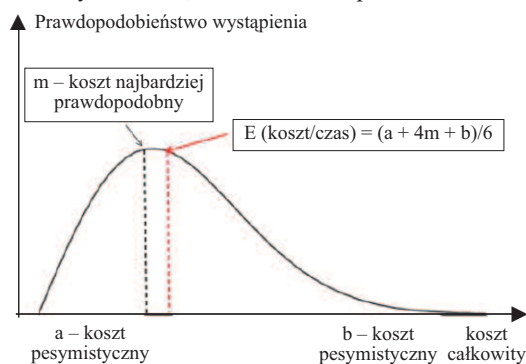
Bodźcami do wprowadzenia do analizy inwestycji budowlanych EVM oraz Earned Schedule było: umożliwienie wczesnego sygnalizowania niezgodności między planowanym a rzeczywistym wykonaniem robót budowlanych; wykrywanie problemów; określenie potencjalnego zagrożenia wynikającego z odchyłań, tak aby spośród wykrytych odchyłań wybrać te najbardziej istotne, będące efektem aktualnego trendu i przedsięwzięć odpowiednie działania minimalizujące te zagrożenia.

Losowy charakter zadań

Podstawową metodą wykorzystywaną do modelowania przedsięwzięcia budowlanego jest **metoda ścieżki krytycznej – CPM** (ang. *Critical Path Method*), w której koszty oraz czas trwania poszczególnych zadań przyjmowane są jako zmienne deterministyczne. Ze względu na dynamiczne zmiany w budownictwie, niejednorodność i niepowtarzalność produkcji budowlanej, zależność od warunków lokalizacyjnych i atmosferycznych oraz innych czynników determinujących przebieg robót budowlanych postuluje się przyjmowanie kosztu oraz czasu trwania zadań jako zmiennych losowych o ustalonym rozkładzie prawdopodobieństwa [4].

Wśród metod planowania sieciowego, które zapoczątkował kierunek probabilistyczny, jest **metoda PERT** (ang. *Program Evaluation and Review Technique*). Bazuje ona na deterministycz-

nym modelu sieciowym, a czas trwania czynności lub koszt wykonania przyjmowany jest jako zmienna losowa o rozkładzie beta (rysunek 1). Istotnym etapem planowania sieciowego metodą PERT jest określenie wartości oczekiwanej kosztu/czasu oraz odchylenia standardowego. Znając podstawowe parametry rozkładu, można określić praw-



Rys. 1. Rozkład beta w przypadku kosztu wykonania zadania

Opracowanie własne
Fig. 1. The beta distribution for the task execution cost
Own study

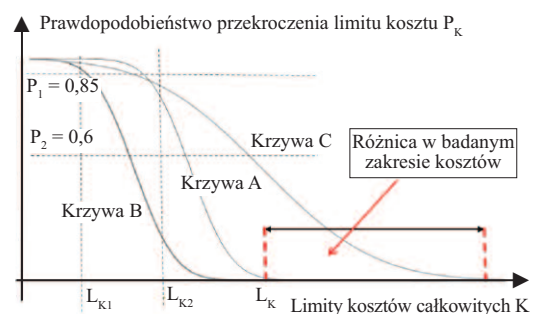
dopodobieństwo zakończenia inwestycji budowlanej w dowolnym zadanym czasie, analogicznie jak w przypadku symulacji. Dodatkowo uwzględnienie losowego charakteru zadań dostarczy większych możliwości analitycznych przez wykorzystanie różnych metod oceny ryzyka inwestycji budowlanej, a także kompleksowej analizy zagrożeń związanych z potencjalnymi opóźnieniami w harmonogramie rzeczowym [7].

Kontyngencja czasu i kosztu

Wprowadzenie losowości do planowania i organizacji inwestycji budowlanych stanowi podwaliny pod rozwinięcie koncepcji kontyngencji czasu i kosztu, przy czym **kontyngencja kosztu powinna być definiowana jako kwota (rezerwa, budżet awaryjny) przeznaczona na pokrycie dodatkowych wydatków związanych z wystąpieniem czynników losowych, a kontyngencja czasu powinna być definiowana analogicznie jak rezerwa czasowa**. Zagadnienie kontyngencji czasu i kosztu przedstawione zostało w pracach Nassara oraz Moselhiego [14, 15]. Nassar wyko-

rzystał podejście PERT do określenia oczekiwanego kosztu i jego wariacji, sugerując zastosowanie rozkładu beta odzwierciedlającego układ kosztów w budownictwie. Ponadto zalecał wykorzystanie danych z poprzednich realizacji do ustalenia minimalnego, maksymalnego i najbardziej prawdopodobnego kosztu w celu określenia kosztu oczekiwanego.

Kolejny etap obejmował wykorzystanie właściwości i podstawowych statystyk rozkładu normalnego do wyznaczenia prawdopodobieństwa przekroczenia zakładanego kosztu całkowitego inwestycji budowlanej. Podstawą wykorzystania standaryzowanego rozkładu normalnego $N(0,1)$ jest określenie zmiennej standaryzowanej wg ustalonego schematu. W przypadku każdej wartości kosztów wyznacza się odrębną krzywą kontyngencji (rysunek 2).



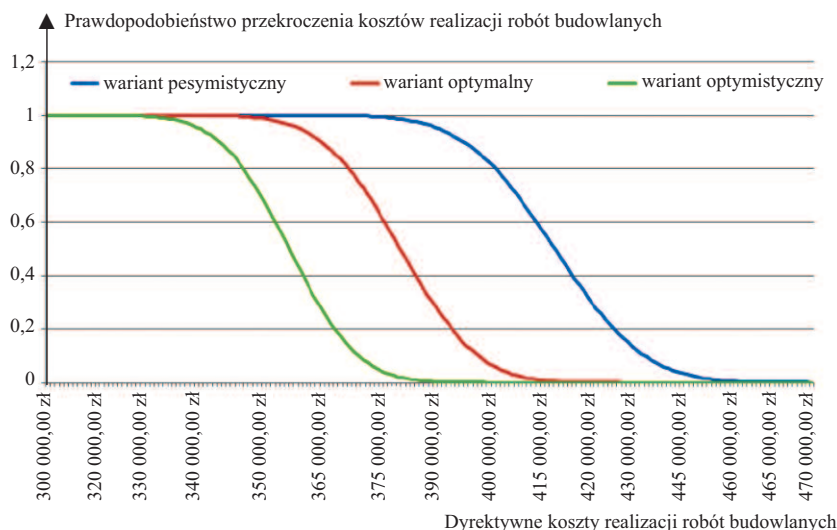
Krzywe A, B, C – limit kosztów w przypadku przedsięwzięcia odpowiednio A, B, C

Rys. 2. Krzywe kontyngencji

Opracowanie własne na podstawie [14]
Fig. 2. Contingency curves
Own study based on [14]

Wartość kontyngencji jest równoważna poziomowi ryzyka w przypadku danej wartości kosztu. Na wielkość ryzyka ma wpływ także kształt krzywej. Im bardziej stroma krzywa, tym większy wpływ na wynik przedsięwzięcia, spowodowany niewielkimi zmianami w kosztach. Krzywa o małym gradientie wzrostu oznacza, że dowolna zmiana w koscie całkowitym inwestycji budowlanej spowoduje mniejsze ryzyko przekroczenia jej budżetu [14].

Krzywe przedstawione na rysunku 3 wyznaczają obszar zmienności oczekiwanego kosztu oraz prawdopodobieństwo jego przekroczenia. Rzeczywiste wartości kosztu mieścić się będą w obszarze ograniczonym przez te krzywe,



Rys. 3. Krzywe kontyngencji kosztów realizacji robót budowlanych *Opracowanie własne*
Fig. 3. Cost contingency curves for construction works *Own study*

wyznaczone w przypadku warunków optymistycznych i pesymistycznych. W [16] analiza kontyngencji została przedstawiona jako badanie możliwych zmian kosztu realizacji inwestycji budowlanej na skutek jakościowych i ilościowych nieprzewidywalnych oddziaływań losowych. Dopuszczalne wartości kosztu oraz przedział zmian tych wartości wyznaczane są w zależności od skłonności inwestora i wykonawcy do akceptacji ryzyka wystąpienia negatywnych skutków opóźnienia i zwiększenia kosztów inwestycji budowlanej. Analiza prawdopodobnych kosztów inwestycji budowlanej, zgodnie z propozycją prezentowaną w [16, 17], może stanowić podstawę podejmowanych decyzji dotyczących budżetu, wielkości rezerwy oraz działań zmierzających do minimalizacji kosztów. Dodatkowo proponuje się pełną analizę statystyczną (w tym estymację parametryczną) kosztów inwestycji budowlanej, która jest możliwa do wykonania na podstawie dysponowania odpowiednią bazą danych. Literatura przedmiotu dotycząca kształtowania krzywych kontyngencji przytacza różne koncepcje formułowania rezerw bazujące w głównej mierze na symulacji. Naszym zdaniem warto przyjrzeć się zależności pomiędzy wielkością kontyngencji a rozmiarem i typem inwestycji budowlanej, czasem trwania robót budowlanych, dominującym rodzajem robót (żelbetowe, murene itp.), co pozwoli wyznaczyć wartość rezerw adekwatne do charakteru

i rozmiaru inwestycji budowlanej. Ponadto wielkość przewidzianej rezerwy będzie dynamicznie się zmniejszać w toku robót budowlanych i zmniejszania się ilości prac pozostałych do wykonania.

Podsumowanie

Analiza krzywych kontyngencji, jako badanie możliwych zmian całkowitego kosztu lub czasu inwestycji budowlanej na skutek niekorzystnego oddziaływania czynników ryzyka, stanowi interesującą alternatywę wyznaczenia rezerw. Zmiana ich wielkości powinna być dynamiczna, uzależniona od zaawansowania robót budowlanych oraz od aktualnego (korzystnego lub niekorzystnego) trendu w budownictwie. Metoda EVM pozwala na bieżącą kontrolę kosztów, pomiar odchylenia czasu i kosztu od planowanego poziomu oraz prognozę terminu i budżetu zakończenia inwestycji budowlanej, aczkolwiek interesującym rozwiązaniem byłaby możliwość jej uzupełnienia o kontyngencje czasu i kosztu realizacji.

Literatura

[1] Leśniak A, Piskorz G, Spisakova M, Maczkova D. Causes of delays in construction works resulting from the provisions of the contract in Poland and Slovakia. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*. 2018; 27 (1 [79]).
 [2] Meszek W, Rejment M, Dziadosz A. Disturbance Analysis and Their Impact on Delays in Construction Process. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; Vol. 603, No. 5, p. 052002. IOP Publishing.

[3] Kowalczyk A, Meszek W, Rejment M, Dziadosz A. (2018). Delays in construction works in Polish construction industry from the contractors' point of view. In *MATEC web of conferences*. 2018; Vol. 222, p. 01008. EDP Sciences.

[4] Hoła B, Mrozowicz J. Modelowanie procesów budowlanych o charakterze losowym. *Wydawnictwo Dolnośląskie Edukacyjne*. 2003. Wrocław, 279.

[5] Perera HP, Perera BAKS, Palihakkara AD. Financial and economic risk management in coastal land reclamation projects. *Construction Innovation*. 2022; <https://doi.org/10.1108/CI-12-2021-0238>.

[6] Grzyl B, Kristowski A. BIM jako narzędzie wspomagające zarządzanie ryzykiem przedsięwzięcia inwestycyjnego. *Materiały Budowlane*. 2016. DOI: 10.15199/33.2016.06.22.

[7] Sobieraj J, Metelski D. Project Risk in the Context of Construction Schedules – Combined Monte Carlo Simulation and Time at Risk (TaR) Approach: Insights from the Fort Bema Housing Estate Complex. *Applied Sciences*. 2022; <https://doi.org/10.3390/app12031044>.

[8] Kapliński O, Stefański A. Metody sieciowe w organizacji i planowaniu budowy. *Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej*. 1973.

[9] Baumann T, Dziadosz A, Rejment M, Kapliński O. Range of application and limitations of the earned value method in construction project estimation. *Czasopismo Techniczne*. 2014. *Budownictwo Zeszyt 2-B (6)*. 2014: 65 – 72.

[10] Przywara D, Rak A. Analiza czasowo-kosztowa w monitoringu harmonogramu metodą wartości uzyskanej. *Czasopismo Techniczne*. 2017. DOI: 10.4467/2353737XCT.17.069.6426.

[11] Konior J, Szóstak M. The S-curve as a tool for planning and controlling of construction process – case study. *Applied Sciences*. 2020; 10(6): 2071.

[12] Konior J, Szóstak M. (Time and Cost Variance of Construction Projects Monitored by Bank Investment Supervision. In *International Scientific Conference Environmental Challenges in Civil Engineering*. 2020: 207 – 215. Springer, Cham.

[13] Przywara D, Rak A. Monitoring of Time and Cost Variances of Schedule Using Simple Earned Value Method Indicators. *Appl. Sci*. 2021; <https://doi.org/10.3390/app11041357>

[14] Nassar K. Cost Contingence Analysis for Construction Project Using Spreadsheets. *Cost Engineering*. 2002; Vol. 44, No. 9: 26 – 31.

[15] Moselhi O. Risk assessment and contingency estimating. *AACE International Transactions*. 1997: 1 – 6.

[16] Kasprowicz T. Inżynieria przedsięwzięć budowlanych, *Wydawnictwo Instytut Technologii Eksploatacji*. Warszawa-Radom.

[17] Kasprowicz T. Inżynieria przedsięwzięć budowlanych, [w:] Kapliński O. (red.), *Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych*. Wydawnictwo KILiW PAN, IPPT, Studia z zakresu inżynierii. 2007; 57: 35 – 78. Warszawa.

Przyjęto do druku: 19.10.2022 r.