

Budżetowanie przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem buforów czasu i kosztu

Mieczysław Poloński

*Katedra Geoinżynierii, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, e-mail: mieczyslaw_polonski@sggw.pl*

Streszczenie: Zaproponowana w artykule metoda planowania kosztów realizacji przedsięwzięcia z uwzględnieniem kontyngencji wskazuje na możliwość zastosowania do tego celu buforów czasu. Wzbogacenie wykonywanych obliczeń na etapie planowania robót o wartość kontyngencji kosztów jest ważna z praktycznego punktu widzenia i wychodzi na przeciw oczekiwaniom inwestorów, nauczonych wieloma przykładami przekraczania planowanych kosztów inwestycji bez uwzględniania kosztów rezerwowych. Wykonanie obliczeń jest stosunkowo proste i wymaga głównie znajomości zaplanowanych kosztów poszczególnych zadań, nawet w formie deterministycznej. W artykule zaprezentowano założenia proponowanej metody oraz przedstawiono przykład obliczeniowy dotyczący realnego obiektu budowlanego. W zależności od danych, jakimi dysponuje planista, przedstawiono wyniki obliczeń wielkości kontyngencji kosztów całego przedsięwzięcia siedmioma wariantami obliczeniowymi. W zależności od zastosowanej metody wzrost kosztów całego przedsięwzięcia waha się w granicach 21 do 36% kosztów całego projektu. Najwyższe koszty kontyngencji uzyskano stosując wyniki analizy ryzyka (35-36%), pozostałe metody dały zbieżne wyniki w granicach 21 do 26% kosztów całego obiektu. Na zakończenie przedstawiono przebieg krzywej sumowej obrazującej narastanie kosztów w czasie planowanych robót.

Słowa kluczowe: budżetowanie, kontyngencja kosztu, bufor czasu, bufor kosztu, analiza ryzyka, metoda Goldratta

1. Wprowadzenie

Od dłuższego czasu poszukuje się metod planowania harmonogramów budowlanych, które będą odporne na wiele czynników ryzyka występujących podczas realizacji tych obiektów [1-3]. Jednym z proponowanych rozwiązań jest lokalizowanie w strukturze harmonogramu elementów zwanych buforami, w których gromadzone są określone rezerwy, które mogą być uruchomione w przypadku wystąpienia przewidywanych lub nieprzewidywanych zakłóceń podczas prowadzenia robót. Zdecydowana większość prac poświęcona temu zagadnieniu bazuje na tradycyjnych harmonogramach sieciowych, jedno lub dwupunktowych [4], i opisuje metody wyznaczania buforów czasu a więc zabezpieczenia dotrzymania planowanego terminu zakończenia robót. W literaturze metoda ta znana jest głównie pod nazwą Critical Chain Scheduling and Buffer Management (CC/BM) [5-6] i jest rozwinięciem rozwiązań zaproponowanych przez E. Goldratta i znanych jako tzw. Theory of Constraints (TOC) [7].

Zagadnienie wprowadzenia buforów do harmonogramów sieciowych sprowadza się do dwóch podstawowych zagadnień: wyznaczenia ich ilości i lokalizacji oraz ustalenia czasu ich trwania. Twórca tej idei, E. Goldratt zaproponował dwa rodzaje buforów:

zasilające, zlokalizowane na końcu ciągów niekrytycznych w miejscu ich połączenia ze ścieżką krytyczną (a dokładniej ciągiem nazywanym łańcuchem krytycznym, który jednak w przypadku analizy tylko w funkcji czasu pokrywa się ze ścieżką krytyczną) i jeden bufor projektu zlokalizowanego na końcu ścieżki krytycznej. Dodatkowo zostało przyjęte założenie, że skrócenie zadań w harmonogramie i wprowadzenie buforów nie powinno zmienić przebiegu ścieżki krytycznej. Jak wykazali to w swoich pracach Pruszyński i Połowski [8-10] w przypadku rozbudowanych i złożonych harmonogramów budowlanych należy uwzględnić również dodatkowe typy buforów: przede wszystkim bufory wspomagające na ścieżce krytycznej (BWP), jak również bufory reagujące zlokalizowane na rozwidleniach ciągów krytycznych (BRK) lub niekrytycznych (BRN). Jeżeli chodzi o metodę wyznaczania czasu tych buforów w literaturze można spotkać kilka propozycji, od prostych, opartych na obliczaniu określonego procentu czasu chronionego ciągu, do bardziej zawansowanych uwzględniających rozkłady czasu zadań i ich odchylenia standardowe [11-12], czy też analizę ryzyka wydłużenia czasu poszczególnych zadań w harmonogramie [13]. Jednak wspomniane propozycje dotyczą tylko jednego parametru kontyngencji a mianowicie czasu. E. Goldratt wspomina w swojej książce również bufory zasobów, jednak ze względu na szeroki wachlarz zasobów odnawialnych i nieodnawialnych używanych w procesie budowlanym, praktyczne wyznaczenie takich buforów jest bardzo trudne. Jednak istnieje zasób, który w pewien sposób łączy możliwość użycia ponadplanowych zasobów dowolnego typu i ma zasadnicze znaczenie dla przebiegu prac na obiekcie. Tym zasobem są środki finansowe przeznaczone na realizację danego obiektu budowlanego. Jak powszechnie wiadomo, właśnie te dwa parametry a więc czas i koszt (przy założeniu utrzymania wymagań co do ilości i jakości realizowanych robót) są podstawowymi parametrami, decydującymi o efektywności zrealizowanych prac.

Z drugiej strony, zarówno praktyka jak i wiele badań wskazuje, że znaczny odsetek realizowanych robót przekracza planowane koszty [14-16]. Tym bardziej wskazuje to na konieczność uwzględniania kontyngencji w funkcji kosztów [17-22]. W artykule wskazano metodę wyznaczania tej kontyngencji oraz jej wpływu na wielkość i rozkład kosztów w czasie planowanych robót. Zaproponowane teoretyczne założenia rozwiązań zilustrowano na przykładzie harmonogramu konkretnego obiektu budowlanego.

2. Metoda i jej dyskusja

Zaproponowany sposób uwzględniania ryzyka kosztowego i wyznaczania kwot kontyngencji opiera się na następujących założeniach:

- podstawą analizy i końcowym jej efektem jest harmonogram sieciowy przedsięwzięcia budowlanego (jedno lub dwupunktowy),
- poszczególne kwoty kontyngencji zostaną wyznaczone dla buforów zlokalizowanych w strukturze sieci zależności,
- rodzaj, lokalizacja i czas trwania buforów, dla których zostaną wyznaczone poszczególne kwoty kontyngencji, zostaną przyjęte zgodnie z założeniami wyznaczania buforów czasu,
- kwota kontyngencji obliczana dla poszczególnych buforów będzie funkcją kosztów kontyngencji wszystkich zadań chronionych danym buforem (w przeciwieństwie do wielkości buforów czasu, które ustalane są tylko na podstawie chronionego ciągu krytycznego) i może być wyznaczona jako ich suma, lub jako różnica kwantyli o różnych poziomach prawdopodobieństwa dystrybuanty łącznego kosztu kontyngencji zadań chronionych danym buforem,

- kwota kontyngencji pojedynczego zadania może być wyznaczona w zależności od oceny i danych, jakimi dysponuje planista: procentowo od jej kosztów (bez wag lub z uwzględnieniem wag wynikających np. z zapasu całkowitego, przyjętego skrócenia czasu zadania przy wyznaczaniu buforów czasu, wyznaczonego wskaźnika ryzyka przekroczenia kosztów) lub z uwzględnieniem typu rozkładu i wariacji kosztu zadania,
- kwota kontyngencji całego planowanego przedsięwzięcia jest sumą kwot kontyngencji wszystkich buforów,
- lokalizacja buforów, czas ich trwania oraz kwota ich kontyngencji wpływa na przebieg krzywej sumowej kosztów planowanego przedsięwzięcia.

Podobnie jak analiza zasobów, analiza kosztów w harmonogramach sieciowych wymaga wcześniejszego wykonania analizy czasu. W jej trakcie budowana jest sieć zależności definiująca zależności między zadaniami, ustalany kalendarz przedsięwzięcia, określane czasy zadań i ewentualne terminy dyrektywne itp. Wynikiem tej analizy są m.in. planowane terminy realizacji poszczególnych zadań i całego przedsięwzięcia, zapasy czasu, przebieg ścieżki krytycznej itp. Należy zauważyć, że wyniki tej analizy mogą być następnie zmodyfikowane przez wykonanie analizy zasobów zakładającej ich ograniczone dostępności. Kolejny krok w budowaniu harmonogramu to wprowadzenie buforów czasu. Wyznaczenie ich najczęściej łączy się z wprowadzeniem skróceń czasów poszczególnych zadań, zmianą ich planowanych terminów wykonania i/lub terminu zakończenia całego przedsięwzięcia. Jednak niezależnie czy była przeprowadzona analiza zasobów oraz czy wprowadzono bufor czasu czy nie, na tym etapie planista dysponuje siecią zależności i terminami wykonania poszczególnych zadań i całego projektu. Przyjmując proponowane rozwiązania zakładano, że wyznaczenie kontyngencji kosztów poprzedzone będzie wyznaczeniem buforów czasu. Co prawda można tego rodzaju obliczenia w funkcji kosztów wykonać tylko na podstawie wyników analizy czasu, bez uwzględniania kontyngencji czasu, jednak będzie to i tak wymagało wyznaczenia lokalizacji buforów zgodnie z założeniami ustalania buforów czasu. Dodatkowo, ponieważ czas trwania takich buforów będzie wówczas równy zeru na wykresie krzywej sumowej kosztów planowanego przedsięwzięcia pojawią się skokowe zmiany kosztów (odcinki pionowe krzywej).

Kolejne zagadnienie dotyczy techniki definiowania kosztów wszystkich zadań w harmonogramie. Można to zrobić na kilka różnych sposobów, w zależności od tego czy zostały zdefiniowane zasoby i ich zapotrzebowanie na zadaniach, czy też definiując jako łączny koszt w postaci jednej wartości. Sposób wyznaczania kosztów zadań będzie również uzależniony od programu, jaki zostanie użyty do wykonania dalszych obliczeń [23]. Niezależnie od użytej techniki definiowania kosztu poszczególnych zadań, do wyznaczania kwoty ich kontyngencji zostanie użyty łączny koszt danego zadania. Założono również, że rozkład kosztów wszystkich buforów jest równomierny, chociaż planista może przyjąć założenie, że kwoty te są naliczane na samym początku lub końcu bufora czasu (podobnie jak dla wszystkich zadań w harmonogramie).

Jak już wskazano w założeniach, sposób wyznaczania kwoty kontyngencji dla każdego bufora może wynikać z sumy kwot kontyngencji chronionych danym buforem zadań lub z rozkładu dystrybuanty ich łącznego kosztu. W drugim przypadku muszą być znane oprócz samych kosztów zadań określonych z założonym prawdopodobieństwem również ich wariacje. Rozważając rozkład kosztu kontyngencji bufora odwołujemy się do twierdzenia centralnego, na mocy którego przyjmujemy, że rozkład sumy niezależnych zmiennych losowych (o dowolnym rozkładzie) zbliża się do rozkładu normalnego w miarę, jak liczba tych zmiennych losowych rośnie. Należy również podkreślić, że nawet gdy liczba

rozpatrywanych zmiennych jest tylko umiarkowanie duża, to jeśli żadna ze zmiennych nie dominuje nad pozostałymi i o ile te zmienne nie są w wysokim stopniu zależne, rozkład ich sumy będzie bliski rozkładowi normalnemu $N(m_K, \delta_K)$ o parametrach [24]:

$$m_K = \sum_{i=1}^n t_{Ki}, \quad \delta_K = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_{Ki}^2} \quad (1)$$

gdzie: n – liczba zadań chronionych buforem,

t_{Ki} – wartość średnia kosztu zadania i ,

δ_{Ki}^2 – kwadrat odchylenia standardowego kosztu zadania i ,

Wiadomo również, że przy małej liczbie zmiennych n rozkład sumy tych zmiennych bliższy będzie rozkładowi t-Studenta niż rozkładowi normalnemu.

Znając terminy i koszty wykonania poszczególnych zadań oraz terminy i kwoty kontyngencji wszystkich buforów łatwo jest ustalić koszty przypadające na kolejne jednostki czasu realizacji planowanego przedsięwzięcia (dni, tygodnie) i zbudować sumaryczną krzywą, obrazującą rozkład planowanych kosztów w czasie realizacji planowanego obiektu [25]. Tak skonstruowana krzywa może być następnie przyjęta jako wartość budżetowa BCWS (Budgeted Cost of Work Scheduled - planowany koszt planowanej pracy) w metodzie wartości wypracowanej (EVM) i stanowić podstawę bieżącej kontroli ponoszonych kosztów w trakcie wykonywania robót [26].

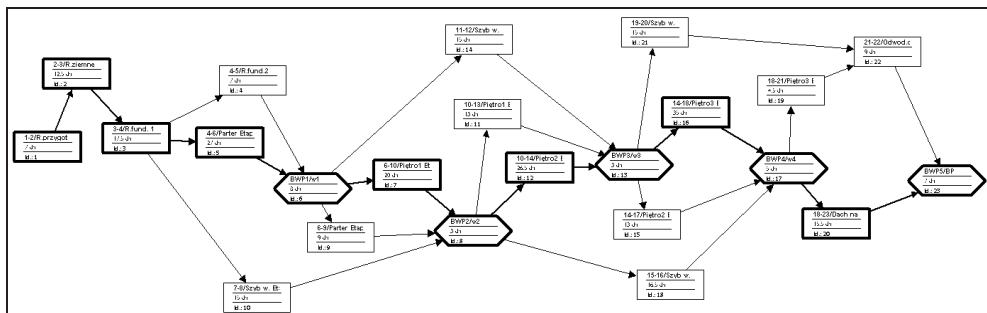
3. Przykład obliczeniowy

Przykładowy harmonogram realizacji przedsięwzięcia budowlanego został zaczerpnięty z pracy Skorupki [3]. Dotyczy on budowy centrum handlowo – usługowo – biurowego w Kielcach. Budynek został zaprojektowany jako 2-segmentowy, 4-kontyngencyjny, niepodpiwniczony z dwoma klatkami i dwoma windami zewnętrznymi. Konstrukcja budynku jest żelbetowa ze ścianami wewnętrznymi z cegły ceramicznej. Powierzchnia zabudowy to 1386 m², kubatura 17589 m³, koszt umowy wykonania 1630 tys. zł. + VAT. Na bazie harmonogramu rzeczowo – finansowego i posiadanych danych o obiekcie autor przytaczanego opracowania zbudował harmonogram sieciowy wg metody PERT, czyli techniką dwupunktową. Harmonogram liczył 18 zadań rzeczywistych dodatkowo połączonych 13 zadaniami zerowymi. Wyznaczony na tej podstawie całkowity czas trwania robót wyniósł 187 dni roboczych, a nierozwidlona ścieżka krytyczna przebiegała przez 8 zadań. Każde zadanie w sieci miało zdefiniowany planowany koszt.

Tak skonstruowany harmonogram został poddany analizie ryzyka autorską metodą MOCRA [3]. Analiza ta została przeprowadzona zarówno w funkcji kosztów jak i czasu wykonania. Wyznaczone wskaźniki ryzyka czasu i kosztu poszczególnych operacji skorelowano z poszczególnymi zadaniami harmonogramu i w efekcie tych obliczeń wyznaczono procentowe wskaźniki zagrożenia zwiększenia czasu i kosztu każdego zadania. Metoda MOCRA umożliwiła generowanie szeregu wariantów oceny ryzyka, np. w zależności od zakwalifikowanych do dalszej analizy rozpatrywanych czynników ryzyka.

Podstawą wyznaczenia lokalizacji i typu konkretnych buforów czasu w analizowanym przedsięwzięciu był harmonogram sieciowy. Ponieważ pierwotny harmonogram był skonstruowany w technice dwupunktowej (ADM – Arrow Diagramming Method) a dalsze obliczenia będą wykonywane z zastosowaniem programu MS Project sieć zależności została przekodowana na sieć jednopunktową (PDM – Precedence Diagramming Method). Lokalizacja i czas buforów został ustalony na podstawie metodyki uwzględniającej wyniki analizy ryzyka podanej przez Połośkiego [13]. Na rys. 1 przedstawiono sieć zależności,

przebieg ścieżki krytycznej (pogrubione ramki) oraz lokalizację pięciu buforów oznaczonych jako sześciokątne ostroboki.



Rys. 1. Sieć zależności z podaniem lokalizacji pięciu buforów

Znając planowany koszt zadań, strukturę sieci zależności oraz lokalizację buforów możliwe było obliczenie kwot kontyngencji dla poszczególnych buforów. Obliczenia wykonano siedmioma metodami. Wyniki obliczeń podano w tabeli 1 a poniżej podano krótki opis przyjętych założeń wykonywania obliczeń kolejnymi metodami.

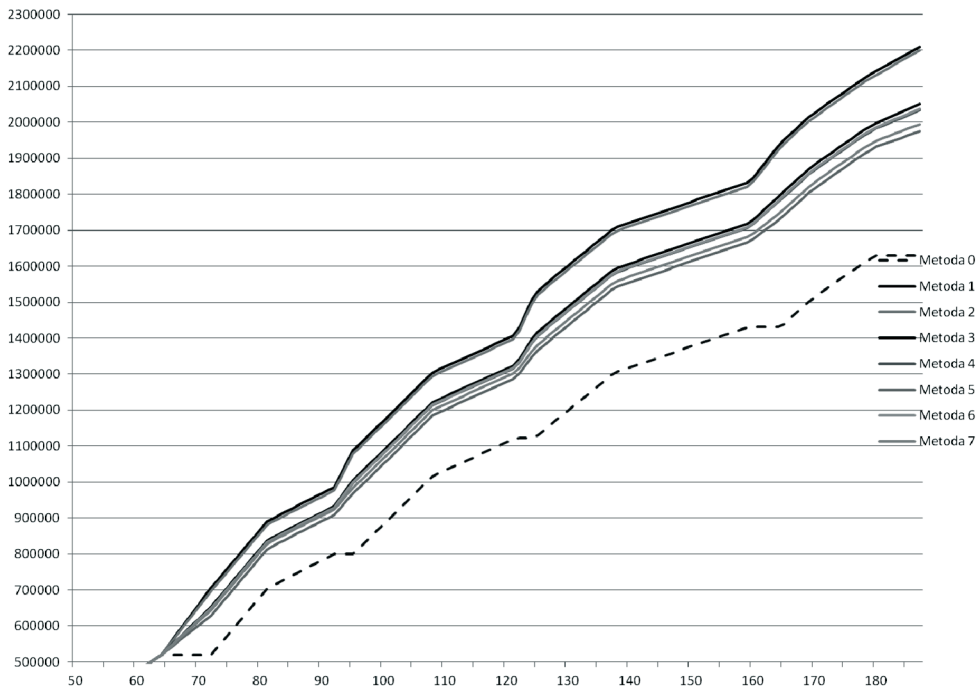
Tabela 1. Kwoty kontyngencji w zł dla poszczególnych buforów i całego przedsięwzięcia

Nr metody	Nazwa bufora / Liczba chronionych zadań					Suma buforów	Koszt przedsięwzięcia / wzrost w %
	BWP1 / 5	BWP2 / 3	BWP3 / 3	BWP4 / 3	BWP5 / 4		
0	0	0	0	0	0	0	1630000 / 0%
1	186186	101541	114494	109972	68102	580294	2210294 / 36%
2	176876	101295	113600	109304	69528	570604	2200604 / 35%
3	133009	72115	83222	79935	52323	420604	2050604 / 26%
4	127962	69487	79700	76552	49400	403101	2033101 / 25%
5	109124	59165	68277	65581	42927	345073	1975073 / 21%
6	128865	69868	80629	77445	50692	407500	2037500 / 25%
7	124152	59134	68926	66693	45850	364755	1994755 / 22%

- Metoda nr 0. Brak kontyngencji kosztów.
- Metoda nr 1. Kwota kontyngencji każdego zadania została obliczona jako iloczyn kosztu najbardziej prawdopodobnego i wskaźnika ryzyka danego zadania. Kwoty dla buforów obliczono jako sumę kwot dla chronionych zadań.
- Metoda nr 2. Kwota kontyngencji każdego zadania została obliczona jako iloczyn kosztu minimalnego i wskaźnika ryzyka danego zadania. Kwoty dla buforów obliczono jako sumę kwot dla chronionych zadań.
- Metoda nr 3. Obliczono z twierdzenia centralnego (zakładając rozkład normalny) kwotę kontyngencji dla całego przedsięwzięcia jako różnicę kwoty planowanej (1630000) a kwoty o prawdopodobieństwie wystąpienia równej 0,95 (1209395). Kwoty dla buforów obliczono proporcjonalnie do sumy kosztów chronionych zadań.
- Metoda nr 4. Obliczono z twierdzenia centralnego (zakładając rozkład t-Studenta) kwotę kontyngencji dla całego przedsięwzięcia jako różnicę kwoty planowanej (1630000) a kwoty o prawdopodobieństwie wystąpienia równej 0,95 (1226898). Kwoty dla buforów obliczono proporcjonalnie do sumy kosztów chronionych zadań.
- Metoda nr 5. Obliczono z twierdzenia centralnego (zakładając rozkład normalny) kwotę kontyngencji dla całego przedsięwzięcia jako różnicę kwoty planowanej

(1630000) a kwoty o prawdopodobieństwie wystąpienia równej 0,98 (1284926). Kwoty dla buforów obliczono proporcjonalnie do sumy kosztów chronionych zadań.

- Metoda nr 6. Kwota kontyngencji każdego zadania została obliczona jako 25% kosztu najbardziej prawdopodobnego. Kwoty dla buforów obliczono jako sumę kwot dla chronionych zadań.
- Metoda nr 7. Kwota kontyngencji każdego zadania została obliczona jako 25% (dla krytycznych) i 15% (dla niekrytycznych) kosztu najbardziej prawdopodobnego. Kwoty dla buforów obliczono jako sumę kwot dla chronionych zadań.



Rys. 2. Sumaryczne krzywe planowanych kosztów w czasie trwania realizacji obiektu przy różnych metodach obliczania kwot kontyngencji buforów projektu.

4. Posumowanie

Analizując uzyskane wyniki (tabela 1) łatwo zauważyć, że w zależności od zastosowanej metody wzrost kosztów całego przedsięwzięcia waha się w granicach 345073 zł do 580294 zł tzn. 21% do 36% kosztów całego projektu. Na rys. 2 przedstawiono przebieg krzywej sumowej obrazującej narastanie kosztów w czasie planowanych robót tzn. krzywej BCWS. W terminie od 1 do 62 dnia realizacji wszystkie krzywe się pokrywają, gdyż dopiero wówczas osiągnany jest termin pierwszego bufora (BCWS1). Dolna krzywa (oznaczona linią przerywaną) oznacza przebieg kosztów bez uwzględnienia kosztów kontyngencji. Dwie najwyższe krzywe (prawie pokrywające się na rys. 2) dotyczą metody 1 i 2 a więc opartych na wykonanej analizie ryzyka kosztowego indywidualnie dla każdego zadania. Mała różnica w ich przebiegu wynika z przyjętych w zastosowanym przykładzie niewielkich różnic między wartościami maksymalnymi a minimalnymi kosztów poszczegól-

nych zadań w harmonogramie. Metody 3 do 7 wykazują dużą zbieżność wyników, w granicach 21% do 26% kosztów całego obiektu. Wśród tych metod znajdują się również metody procentowego wyznaczania kosztów kontyngencji poszczególnych zadań, co jest ważne ze względu na uproszczony sposób wykonywania obliczeń, bez konieczności znajomości ich wariancji. Uzyskane wyniki są zgodne z danymi podawanymi przez innych autorów [20,21].

Zaproponowana w artykule metoda planowania kosztów realizacji przedsięwzięcia z uwzględnieniem kontyngencji wskazuje na możliwość zastosowania do tego celu buforów czasu. Wzbogacenie wykonywanych obliczeń na etapie planowania robót o wartość kontyngencji kosztów jest ważna z praktycznego punktu widzenia i wychodzi na przeciw oczekiwaniom inwestorów, nauczonych wieloma przykładami przekraczania planowanych kosztów inwestycji bez uwzględniania kosztów rezerwowych. Wykonanie obliczeń jest stosunkowo proste i wymaga głównie znajomości zaplanowanych kosztów poszczególnych zadań, nawet w formie deterministycznej. Zaproponowany sposób jest znacznie dokładniejszy od najczęściej stosowanego w praktyce inżynierskiej prostego określania kontyngencji za pomocą jednego wskaźnika procentowego odniesionego do kosztów całkowitych. Co również istotne, inwestor dostaje informację o narastaniu w czasie planowanych kosztów z uwzględnieniem kontyngencji i nie musi blokować rezerwowych środków finansowych od początku rozpoczęcia robót a ewentualne uruchomienie przewidzianej rezerwy nie wymaga oddzielnych procedur, ponieważ stanowi część planowanego budżetu.

Literatura

- 1 Kapliński O. Some aspects of risk management in construction industry, w: Strategie zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie – formułowanie i implementacja strategii reakcji na ryzyko, red, J. Bizon-Górecka, Bydgoszcz 2000, s. 59-69.
- 2 Skorupka D. The method of identification and quantification of construction projects risk. Archives of Civil Engineering (2005), Warszawa, LI, 4, 647-662.
- 3 Skorupka D. Metoda identyfikacji i oceny ryzyka realizacji przedsięwzięć budowlanych. Wojskowa Akademia techniczna, Warszawa, 2007.
- 4 Woolf M.B. Faster Construction Projects With CPM Scheduling. Mcgraw-hill Professional Publishing, 2007.
- 5 Herroelen W., Leus R., Demeulemeester E. Critical chain project scheduling: Do not oversimplify. Project Management Journal (2002) Vol. 33, No. 4, 48-60.
- 6 Steyn H. An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling. International Journal of Project Management (2000) Vol. 19, 363-369.
- 7 Goldratt E. Łańcuch krytyczny. Wyd. WERBEL, Warszawa, 2000.
- 8 Połowski M., Pruszyński K. Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych (cz. I) - podstawy teoretyczne. Przegląd Budowlany (2008) No. 2, 45-49.
- 9 Połowski M., Pruszyński K. Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych (cz. II) – praktyczne zastosowanie. Przegląd Budowlany (2008) No. 3, 55-62.
- 10 Pruszyński K. Metoda harmonogramowania realizacji przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem buforów czasu. Rozprawa doktorska, Warszawa, 2012.
- 11 Połowski M. Obliczanie terminu realizacji przedsięwzięć budowlanych metodą CCPM na podstawie multiplikatywnego modelu czasu trwania czynności. Materiały z LIV Konferencji Naukowej KILiW PAN i KN PZiTb „Krynica 2008”, Tom V, s. 531-538.
- 12 Połowski M., Pruszyński K. Wyznaczanie wielkości buforów czasu i terminu zakończenia przedsięwzięcia w harmonogramach budowlanych. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 90, Seria Studia i materiały Nr 20, (2008) s. 289-297.

- 13 Połoński M. Harmonogramowanie realizacji przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem buforów czasu wyznaczonych na podstawie analizy ryzyka. *Budownictwo i Architektura*, 12(1) (2013) s. 47-52.
- 14 Flyvbjerg B., Holm M.S., Buhl S. Underestimating Costs in Public Works, Error or Lie? *American Planning Association Journal*, Vol. 68, No. 3, Summer, (2002) 279-295.
- 15 Flyvbjerg B., Bruzelius N., Rothengatter W. *Megaprojects and Risk. An Anatomy of Ambition*. Cambridge University Press, 2003.
- 16 Reilly J., McBride M., Sangrey D., MacDonald D. & Brown J. The development of CEVP® - WSDOT's Cost-Risk Estimating Process. *Proceedings, Boston Society of Civil Engineers*. (2004) <http://www.wsdot.wa.gov/projects/projectmgmt/riskassessment>.
- 17 Kasprowicz T. Inżynieria przedsięwzięć budowlanych, w: *Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych*. (ed. Kapliński O) Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa 2007, s. 69-74.
- 18 Kasprowicz T. Kontyngencja przedsięwzięć budowlanych. *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, Vol. 53, nr 8 (2004), s. 91-108.
- 19 Baccarini D. Estimating project cost contingency - a model and exploration of research questions, in Khosrowshahi, Farzad (ed), *ARCOM 20th Annual Conference*, September (2004), pp. 105-113. Heriot-Watt University, Edinburgh: Association of Researchers in Construction Management.
- 20 Adams F.K. Construction Contract Risk Management: A Study of Practices in the United Kingdom. *Cost Engineering* Vol. 50/No. 1 January (2008), pp. 22-33.
- 21 Nassar K. Cost Contingency Analysis for Construction Projects Using Spreadsheets. *Cost Engineering* Vol. 44/No. 9 September (2002), pp. 26-31.
- 22 Górecki J. Koszty budowy w perspektywie zmienności czynników kosztotwórczych. *Przegląd Budowlany*, nr 2 (2013) s. 45-50.
- 23 Połoński M., Ziółkowska A. Edycja kosztów w programie MS Project. *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* Vol. 13 (2012), s. 277-284.
- 24 Benjamin J.R., Cornell C.A. *Rachunek prawdopodobieństwa statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów*. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1977.
- 25 Kosecki A. Modelowanie i analiza finansowania przedsięwzięć budowlanych, w: *Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych*. (ed. Kapliński O) Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa 2007, s. 119-132.
- 26 Webb A. *Wartość wypracowana w praktyce*, PROED, Warszawa, 2008.

Construction project budgeting including time buffers and costs

Mieczysław Połoński

*Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Warsaw
University of Life Sciences – SGGW, e-mail: mieczyslaw_polonski@sggw.pl*

Abstract: The proposed method presented in this article concerns cost estimating of projects, including contingency. It points to the possibility of application of time buffers for this purpose. From the practical point of view, the enhanced calculation at the planning stage of works, taking into account cost contingency, is important and meets the expectations of owners, who tend to exceed the planned costs of investment without considering reserve costs.

The implementation of the calculation is relatively simple, and basically requires one person to be acquainted with the planned costs of particular tasks, even in a deterministic way. This article presents the assumptions of the proposed method and a calculation example involving a real construction object. Depending on the data available to the planner, the results are presented concerning the calculations of the amount of cost contingency of the entire project by way of seven variants of calculation. With reference to the provided example, depending on the applied method, the increase of the cost of the entire undertaking ranges from 21-36 % of the costs of the entire project. The highest contingency costs were obtained by using the risk analysis method (35-36 %). Other methods gave consistent results within the range of 21-26% of the costs of the entire object.

In the conclusion, a continuous curve is shown depicting an increase of costs during the planned works.

Keywords: Cost Estimating, Cost Contingency, Time Buffers, Cost Buffers, Risk Analysis, Goldratt's Method

