

*Marian Bieniecki**

WIELKOŚCI BUFORA W METODZIE ŁAŃCUCHA KRYTYCZNEGO W PRZYPADKACH DWUMIANOWYCH ROZKŁADÓW PRAWDOPODOBIEŃSTWA CZASU REALIZACJI ZADAŃ

1. WPROWADZENIE

Artykuł [Tian i Demeulemeester, 2010] dotyczący zastosowania metody łańcucha krytycznego w nieco innej dziedzinie niż zarządzanie projektami, mianowicie, do opanowania synchronizacji ruchu pociągów, podsunął mi pomysł uwzględnienia procesów, które działają podobnie, jak kursująca o określonych godzinach kolej. Jeżeli spóźnimy się na pociąg minutę, to już do niego nie wsiądziemy – następny pojawi się dopiero po określonym czasie. Pewne zjawiska jak na przykład przyprływy i odpływy, wschody i zachody słońca, wszelkie usługi komunikacyjne działające według rozkładów jazdy itp. narzucają nam dyskretyzację czasu realizacji przedsięwzięć z nimi związanych.

Innym, ale też istotnym problemem powodującym podobne efekty, jest zmiana wykonawcy zadania, oddzielona przerwą czasową, przeznaczoną na przykład na procedurę przetargową. Skoro tak, to także należałoby się zastanowić, jak zmieni się rozkład prawdopodobieństwa czasu realizacji takiego zadania. Przewożąc materiały tramwajem, który kursuje co 20 minut, przy kursie trwającym minut 15, uzyskuję możliwe czasy realizacji takiego zadania – 15, 35, 55 minut itd. Czasy wykonania zadania w 16 do 34 minut czy w 36 do 54 minut są wyeliminowane.

2. SZACOWANIE WIELKOŚCI BUFORÓW W KLASYCZNEJ METODZIE CCM

Metoda łańcucha krytycznego (Critical Chain Method) w zarządzaniu czasem realizacji projektu jest jednym z najbardziej efektywnych narzędzi dla tego obszaru. Pomysły związane z teorią ograniczeń (Theory of Constraints), autorstwa E. Goldratta, w zastosowaniu do zarządzania projektami pozwoliły wyeliminować szereg niekorzystnych zjawisk występujących w metodzie ścieżki kry-

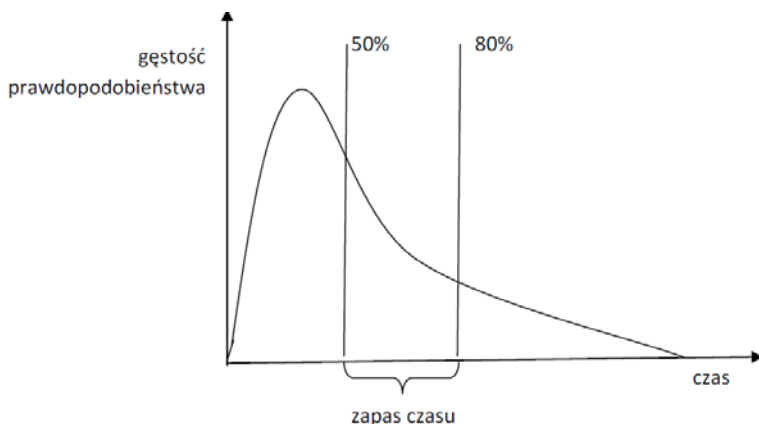
* Dr inż., Katedra Informatyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Łódzkiego.

tycznej (Critical Path Method of Project Management – CPMPM) czy metodzie PERT [Goldratt, 2009].

Jednym z kluczowych rozwiązań podejścia Goldratta jest ujawnienie ukrytych zapasów czasu realizacji zadań. Z części tych zapasów tworzone są bufony bezpieczeństwa na końcach głównej ścieżki projektu, a także ścieżek pobocznych. Oczywiście, wielkości buforów muszą być mniejsze od sumy zapasów czasowych zadań na ścieżce – wtedy takie podejście ma sens. Zadaniem każdego bufora jest umożliwienie managerowi projektu zorganizowanie i ewentualne podjęcie akcji ratunkowej, której zadaniem jest doprowadzenie do realizacji projektu w określonym czasie.

Metoda Goldratta zakłada, że czas realizacji dowolnego zadania jest zmienną losową, której rozkład gęstości prawdopodobieństwa jest w przybliżeniu określony (Rys. 1). Dla typowych zadań jest to skośny rozkład Γ lub rozkład Erlanga. Jako wartość deklarowaną zwykle przyjmujemy czas odpowiadający medianie (określający 50% szansę zakończenia zadania). Zapas jest różnicą pomiędzy deklarowaną wartością – odpowiadającą 80% szansie realizacji zadania. Przy tym założeniu konstruujemy bufor czasowy powstały jako ułamek sumy buforów zadaniowych.

Pewne dodatkowe informacje dotyczące możliwości realizacji zadania mogą posłużyć jako wskazówki wpływające na wielkość poszczególnych składników. Np. wielokrotne wykonywanie zadania podobnego w przeszłości umożliwia nam ograniczenia zapasu czasu – zadania nowe lub nieznane muszą być wyposażone w większy bufor. To samo dotyczy zespołów realizujących zadania – doświadczonym wykonawcom możemy zaufać z mniejszym zapasem czasu niż nowicjuszom.



Rys. 1. Rozkład gęstości prawdopodobieństwa czasu wykonania zadania

Źródło: Opracowanie własne.

Znane są także co najmniej dwie metody uniwersalne: pierwsza zakłada, że wielkość bufora jest połową sumy zapasów czasu wszystkich zadań na ścieżce (zaproponowana przez Goldratta), a druga – pierwiastkiem sumy ich kwadratów [Ashtiani i in., 2007]. O ile metoda pierwsza ma charakter empiryczny, oparty o praktykę, w drugim przypadku zrobione jest analiza odchyłeń średniokwadratowych i wyliczona wielkość bufora jest proporcjonalna do odchylenia standardowego. Łatwo zauważyć, że przy takiej konstrukcji, większy wpływ na wielkość bufora bezpieczeństwa mają zadania najdłuższe. Metoda ostatnia też nie jest pozbawiona pewnych słabości – założony jest (być może nie zawsze trafnie) znany i określony rozkład prawdopodobieństwa czasów realizacji zadań. Zagadnieniu temu też jest poświęcona część artykułu [Kuchta, 2004] – autorka ustosunkowuje się do wspomnianych wyżej metod określania wielkości bufora, jak również rozpatruje zależności między wielkością, a funkcją (bufor projektu, bufor zasilający itp.).

3. UWZGLĘDNIANIE INNYCH CZYNNIKÓW W KONSTRUKCJI BUFORA BEZPIECZEŃSTWA

Od opublikowania samej metody i spektakularnych realizacji projektów z wykorzystaniem CCM, pojawiło się wiele prac, których autorzy szczególnym zainteresowaniem obdarzyli wpływ rozmaitych okoliczności na oszacowywanie wielkości bufora bezpieczeństwa. Prace te zawierały zarówno teoretyczne uwzględnienie zachowań wykonawców, badania statystyczne i symulacje komputerowe.

Jako przykład uwzględnienia pierwszego uwarunkowania można podać pracę [Zhang i Chen, 2008], w której pokazany jest model określania wielkości bufora czasowego, w oparciu o teorię perspektywy. Brane są wówczas pod uwagę subiektywne odczucia menadżera projektu, szczególnie w obszarze zwiększonej niepewności realizacyjnej zadania. Część autorów prac postanowiła zawrzeć w konstrukcji bufora bezpieczeństwa fragmenty obsługi zarządzania ryzykiem w projekcie [Mansoorzadeh i Yusof, 2012] oraz [Razaque i in., 2012]. Prace te wraz z opracowaną metodologią postępowania zawierają także rezultaty badań symulacyjnych i oszacowań wykorzystujących m.in. rozmytą analizę rodzajów i skutków możliwych błędów (Fuzzy FMEA). Tak jak u poprzedników, istotna jest tu możliwość adaptacyjnego konstruowania bufora bezpieczeństwa.

Metoda łańcucha krytycznego zakłada, że ukrywane w innych metodach zapasy czasu realizacji zadań są przez wykonawców ujawniane. Jak zauważyli autorzy następnej procedury adaptacyjnej [Rasmy i in., 2007], zarówno wiedza menadżera projektu, jak i wykonawców może okazać się w tym zakresie jedynie przybliżona, a stopień znajomości możliwości realizacyjnych zadań (confidence level – CL) w zdecydowany sposób może zmienić nie tylko wielkości buforów,

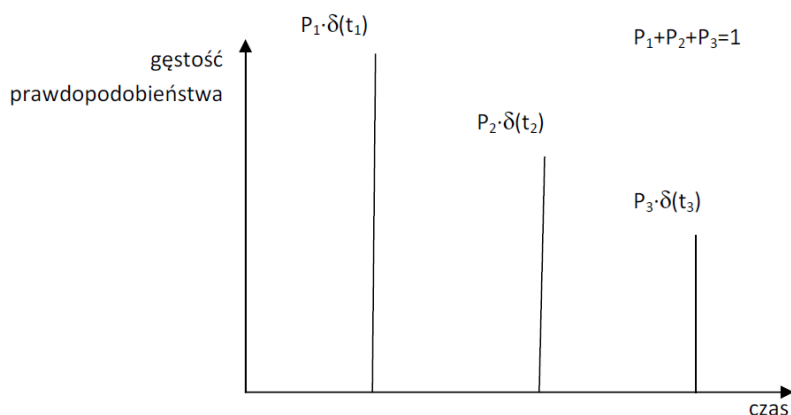
ale i sam układ harmonogramu projektu. Warianty do wyboru w zależności od wartości CL, autorzy proponują uzyskać przy pomocy symulacji Monte Carlo. Przykład, dołączony do artykułu, jest skonstruowany w taki sposób, że rzeczywiście wartość CL decyduje o zupełnie innej, optymalnej realizacji projektu.

Kolejny przyczynek do najrozmaitszych prób oszacowywania wielkości bufora wnosi praca [Geekie i Steyn, 2008], podkreślająca znaczenie pewnego startowego czasu trwania, pozwalającego uwzględnić problemy synchronizacji współbieżności ścieżek harmonogramu, błędy, przypadki specjalnej zmienności zadań i naprawianie złych realizacji. Autorzy starają się udowodnić, że niezależnie od metody obliczania pozostałej części bufora czasowego, znaczenie tego elementu jest istotne.

Wpływ na wielkości buforów w zależności od ich umieszczenia w skomplikowanym harmonogramie prezentuje praca [Połowski i Pruszyński, 2008]. Przedstawione są zasady zarówno wynikające z wielkości zadań na ścieżce realizacyjnej, jak i wzajemnych relacji pomiędzy ścieżkami.

4. DYSKRETNY ROZKŁAD PRAWDOPODOBIEŃSTWA CZASU REALIZACJI ZADAŃ

Powróćmy do przykładu z tramwajem. Rozkład jazdy i czas podróży narzucają pewne operacje, które mogą być wykonane lub nie w określonej chwili.



Rys. 2. Rozkład gęstości prawdopodobieństwa dla czasu realizacji zadania o wartościach dyskretnych

Źródło: Opracowanie własne.

Można wsiąść co 20 minut, a jazda trwa minut 15, więc zadanie można wykonać przez 15, 35, 55 minut itd. Wartości pośrednie nie wchodzą w rachubę (prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest równe 0), a tylko dla wybranych chwil prawdopodobieństwa przyjmują wartości niezerowe. Gęstości prawdopodobieństwa określa wtedy pseudofunkcja Diraca $P_t\delta(t)$. Wykres przykładowej funkcji rozkładu gęstości prawdopodobieństwa przedstawia Rys. 2. Szczególnym przypadkiem takiego rozkładu jest rozkład dwumianowy, w którym zakładamy, że zadanie może być zrealizowane wyłącznie po upływie jednego z dwu określonych przedziałów czasowych. Wstępnie możemy przyjąć, że szacujemy prawdopodobieństwa obydwu przypadków równo po 50%. Odpowiadałoby to 50% szansie szacowania czasów realizacji zadań dla rozkładów ciągłych.

Jeżeli do harmonogramu projektu, złożonego z takich zadań, zdecydujemy się zastosować CCM, to jedną z podstawowych czynności będzie wówczas także zorganizowanie, w sensowny sposób, buforów czasowych stosownych ścieżek.

5. ROZKŁADY PRAWDOPODOBIEŃSTWA CZASÓW REALIZACJI CIĄGU ZADAŃ W UKŁADZIE TRADYCYJNYM – ROZKŁAD CIĄGŁY

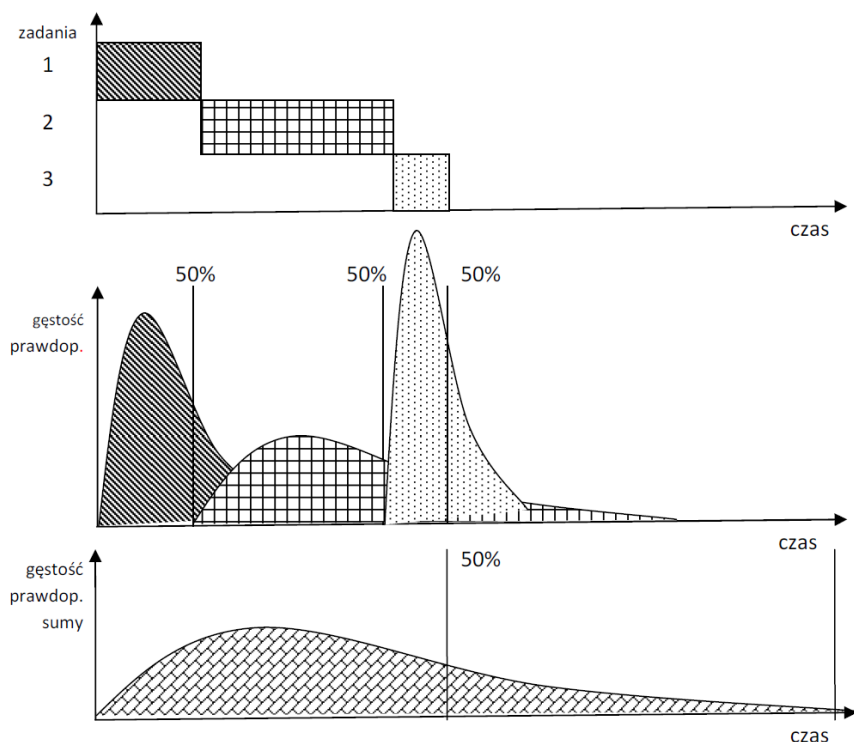
Założmy, że zadania na ścieżce w harmonogramie projektu tworzą ciąg połączonych ze sobą elementów powiązanych relacjami typu finish-to-start, oznaczającymi sekwencyjność ich realizacji.

Drugie założenie dotyczy rozkładu gęstości prawdopodobieństwa – zakładamy, że dla każdego zadania jest on reprezentowany przez rodzinę funkcji (Rys. 3), które mogą być proporcjonalnie do czasu trwania zadania, rozciągnięte w różnym w stopniu – właśnie w skali czasu. Wydaje się, że to założenie nie jest czynnikiem w istotny sposób ograniczającym ogólność rozważań, a pozwala uniknąć dość zagmatwanych czynności rachunkowych.

Tak przyjęte ograniczenia pozwalają nam skonstruować rozkład gęstości prawdopodobieństwa dla zadania sumarycznego obejmującego ciąg zadań. Dla rozkładów Γ lub Erlanga mają zastosowanie prawa addytywności średnich i kwadratów wariancji, więc wyliczenie w podobny sposób niektórych innych wartości prawdopodobieństwa nie będzie obciążone zbyt dużym błędem.

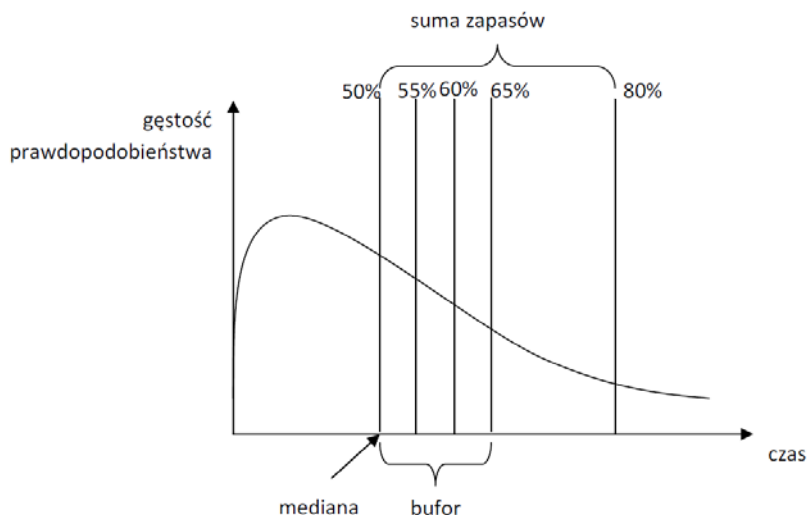
Na osi czasu odpowiednie wartości średniej, mediany czy dowolnych innych punktów pojawią się jako zwykła suma $t = \sum_{i=1}^n t_i$, natomiast sam rozkład

może być średnią ważoną, gdzie jako wagę możemy przyjąć odcinek czasu odpowiadający medianie w rozkładzie indywidualnego zadania. Określenie rozkładu sumarycznego pozwala na wyznaczenie podobnych parametrów czasowych, jak dla zadania indywidualnego – proponowany czas realizacji równy medianie, ujawniony zapas czasu równy różnicy czasów odpowiadających prawdopodobieństwom 80% i 50%, że zadanie zostanie zrealizowane.



Rys. 3. Rozkłady gęstości prawdopodobieństwa czasów realizacji zadań sekwencyjnie usytuowanych w harmonogramie
Źródło: Opracowanie własne.

Dodatkowo, możemy wyznaczyć prawdopodobieństwa realizacji całego zadania sumarycznego dla odpowiednio dołożonego bufora bezpieczeństwa, a także jego fragmentów odpowiadających w metodzie łańcucha krytycznego częściom $1/3$ i $2/3$. Należy pamiętać, że przedłużenie realizacji ciągu zadań o czas krótszy niż $1/3$ bufora nie wymaga interwencji, do $2/3$ – konieczne są opracowania korekcyjne i ponad $2/3$ – konieczne jest wprowadzenie ich w życie. Pomijając całą strefę oddziaływań psychologicznych, rozważmy sytuację, w której będziemy próbować oszacować szanse realizacji ciągu zadań dla odpowiednich chwil czasowych. Stworzą one zestaw porównawczy (Rys. 4), który może posłużyć za tło do dalszych rozważań. Będą one związane z szansami wykonania ciągu zadań, charakteryzujących się dyskretnym rozkładem gęstości prawdopodobieństwa czasów realizacji.



Rys. 4. Rozkład gęstości prawdopodobieństwa ciągu zadań z zaznaczonymi chwilami czasowymi odpowiadającymi buforowi bezpieczeństwa w metodzie CCM

Źródło: Opracowanie własne.

Przybliżone liniowo wartości procentowe zebrane w tabeli (tab. 1) pokazują, że dla bufora standardowo skonstruowanego zakres swobody czasowej (patrz wprowadzenie) nie jest wcale duży – 10 punktów procentowych, a co najwyżej kilkanaście procent opóźnienia już wymaga co najmniej zainteresowania się problemami realizacyjnymi.

Tabela. 1. Rozkład prawdopodobieństwa ciągu zadań z zaznaczonymi chwilami czasowymi odpowiadającymi buforowi bezpieczeństwa metody CCM

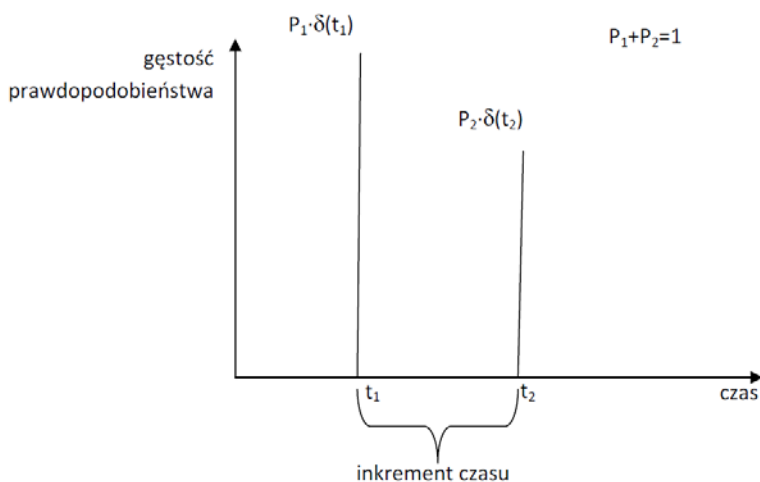
Zakres czasowy	Wartości dystrybucyjny ciągu zadań	Akcja
Suma planowanych czasów na poziomie mediany	50%	–
1/3 bufora	55%	–
2/3 bufora	60%	plan korekty
Bufor	65%	korekta
Suma planowanych czasów w metodzie ścieżki krytycznej	80%	

Źródło: Opracowanie własne.

6. ROZKŁADY PRAWDOPODOBIEŃSTWA CZASÓW REALIZACJI CIĄGU ZADAŃ W UKŁADZIE DYSKRETNYM

Dyskretyzacja czasu planowania czy też realizacji zadań w zarządzaniu harmonogramem projektu jest zjawiskiem naturalnym. Mierzymy czas nie w sposób ciągły, lecz używamy do tego określonych jednostek. Są one na tyle małe, że można uznać wszelkie zmiany dokonywane w harmonogramie za ciągłe – nie istnieje ograniczenie dolne związane z podziałem czasu na części. Jeżeli takie ograniczenie się pojawi – może zakłócić wszystkie fazy operowania harmonogramem: planowanie, realizację i korektę.

Odnosząc się do modelu rozkładu gęstości prawdopodobieństwa (opisanego w p. 3) i do oceny prawdopodobieństw realizacji ciągu zadań (opisanych w p. 4), przeanalizujemy jakie zmiany sytuacyjne wprowadza taki typ zadań i jak możemy skonstruować bufor bezpieczeństwa w przybliżeniu chociażby realizujący przeznaczone mu funkcje.



Rys. 5. Dwumianowy rozkład gęstości prawdopodobieństwa czasu realizacji zadania
(wstępnie $P_1 = P_2$)

Źródło: Opracowanie własne.

Rozpatrzmy sytuację ciągu n zadań o dwumianowych rozkładach prawdopodobieństwa czasu realizacji. Każde zadanie charakteryzuje para czasów $t_{i,1}, t_{i,2}$, po których zadanie może zostać zrealizowane. Czas realizacji ciągu

n zadań zawiera się pomiędzy $\sum_{i=1}^n t_{i,1}$, a $\sum_{i=1}^n t_{i,2}$.

Wygodniej będzie rozpatrywać różnicę czasów pomiędzy pierwszym i drugim terminem $\Delta t_i = t_{i,2} - t_{i,1}$. W pewnym stopniu będzie to zawyżony analog zapasu czasu określony dla rozkładu ciągłego. Dla zadań o stałej różnicy czasów realizacji, kolejne alternatywy zakończenia całego ciągu zadań będą miały rozkład dwumianowy, dla zadań o różnych wartościach tego inkrementu, rozkład ten będzie zaburzony, a w przypadku zadań z wyjątkowo dużymi wartościami – może zostać przez nie zdominowany.

Przyjęcie do rozważań zadań jednakowych upraszcza rozważania, ale można przyjąć, że w dość prosty sposób da się zagadnienie uogólnić z zachowaniem podobnych efektów.

Tabela 2. Czasy zakończenia ciągu trzech zadań z dwumianowym rozkładem prawdopodobieństwa

Zakres czasowy	Termin 1 i 2 – 50%	Termin 1 – 70% 2 – 30%	Bufor
Wszystkie zadania w pierwszym terminie	12.5%	34.3%	–
1 lub 2 lub 3 realizowane w drugim terminie	50%	78.4%	Δt_i
1 i 2 lub 2 i 3 lub 3 i 1 realizowane w drugim terminie	87.5%	97.3%	$2\Delta t_i$

Źródło: Opracowanie własne.

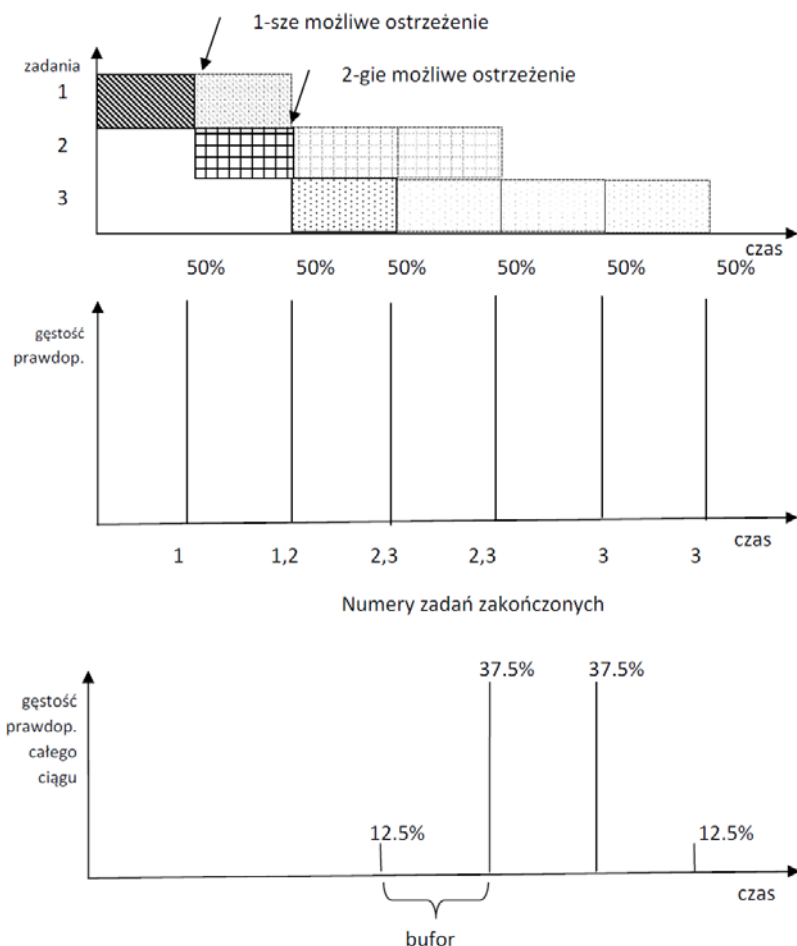
Tabela 3. Czasy zakończenia ciągu sześciu zadań z dwumianowym rozkładem prawdopodobieństwa

Zakres czasowy	Termin 1 i 2 – 50%	Termin 1 – 70% 2 – 30%	Bufor
Wszystkie zadania w pierwszym terminie	1.6%	11.8%	–
Jedno z 6 zadań realizowane w drugim terminie	10.9%	42.0%	Δt_i
Jedna z 15 par zadań realizowana w drugim terminie	34.4%	74.4%	$2\Delta t_i$
Jedna z 20 trójek zadań realizowana w drugim terminie	65,6%	93%	$3\Delta t_i$
Jedna z 15 czwórek zadań realizowana w drugim terminie	89.1%	98.9%	$4\Delta t_i$
Jedna z 6 piątek zadań realizowana w drugim terminie	98.4%	99.9%	$5\Delta t_i$

Źródło: Opracowanie własne.

Dość istotną sprawą jest tu ułamek $\Delta t_i/t_{i,1}$. Przyjmujemy, że ten pierwszy okres czasu $t_{i,1}$, w którym zadanie próbujemy wykonać jest obligatoryjny (co przy zastosowaniu rozkładu ciągłego jest nieco inne), a Δt_i jest wynikiem znalezienia się w zupełnie nowej sytuacji, która wymusza na wykonawcy skokowe

przedłużenie czasu realizacji zadania. Kiedy okaże się, że $\Delta t_i \gg t_{i,1}$, podejmowanie się realizacji projektu, w którym zadania mają rozkład czasu realizacji $P_1 = P_2 = 50\%$, skłaniałoby do zastanowienia, czy nie można organizacyjnie doprowadzić do układu $P_1 > 50\%$ $P_2 < 50\%$. Jest to pewna modyfikacja standardowego działania, które stosujemy w metodzie Goldratta.



Rys. 6. Dwumianowe rozkłady prawdopodobieństwa czasów realizacji trzech zadań sekwencyjnie usytuowanych w harmonogramie
Źródło: Opracowanie własne.

W naszym przypadku – jedna z możliwych – interwencja ratunkowa. Dla punktu przecięcia obwiedni dystrybucji (mamy do czynienia z rozkładem dyskretnym) mamy określony czas wydłużenia realizacji ciągu zadań, w naszym

przykładzie byłoby to $\text{Entier}((n+1)/2) \cdot \Delta t_i$. Zauważmy, że przykładowe prawdopodobieństwa dla tego punktu (87.5% dla trzech zadań i 65.6% dla sześciu), ograniczają od góry prawdopodobieństwo określone dla równie przykładowego rozkładu Γ w punkcie końcowym bufora bezpieczeństwa, które wynosi około 65%.

W wypadku zadań o dwumianowym rozkładzie prawdopodobieństwa czasu realizacji (Rys. 6), szansa wykonania wszystkich zadań w pierwszym terminie maleje wraz ze wzrostem ich liczby. Ustalając szansę realizacji wszystkich zadań na poziomie równym bądź większym od sytuacji z rozkładem ciągłym, musimy założyć, że połowa zadań będzie miała realizację w drugim terminie. To odpowiadałoby sytuacji bez dodatkowego uwzględniania zapasów czasu. Dołożony następny inkrement czasowy, to już wejście w zakres maksimum funkcji gęstości i na tym właściwie można poprzestać z rozbudowywaniem bufora – osiągamy prawdopodobieństwo całego ciągu zadań zbliżone do tego z rozkładów ciągłych. Dla rozkładów dyskretnych mamy wówczas pewien atut polegający na stosunkowo wczesnym systemie ostrzegania. Zadanie poprzedzające środkowe, które nie zakończy się w pierwszym terminie, wskazuje na zachowanie czujności lub podjęcie działań ratunkowych. Już wtedy (nieco wcześniej niż to jest w przypadku rozkładów ciągłych), należałoby podjąć działania korekcyjne. Z każdym kolejnym zadaniem zrealizowanym w pierwszym terminie, rośnie szansa na wykonanie w terminie całego ciągu.

7. ZAKOŃCZENIE

W opinii autora istnieje możliwość zastosowania metody łańcucha krytycznego, a w szczególności określenia wielkości bufora bezpieczeństwa w stosunku do projektów złożonych z zadań, których rozkład prawdopodobieństwa jest dyskretny. Bufor bezpieczeństwa jest wtedy określony od dużo niższego poziomu prawdopodobieństwa niż dla rozkładów ciągłych. Wprawdzie podjęta próba wnikięcia w charakter tego typu projektu ma zakres ograniczony (jedna ścieżka, rozkład dwumianowy), ale wydaje się, że pewne istotne tendencje będą zachowane w bardziej skomplikowanych przypadkach.

Główne przesłania jakie wynikają z przeprowadzonej analizy dotyczą:

1) Określania wielkości bufora czasowego dla maksimum możliwych przypadków wydłużenia czasu realizacji zadań.

2) Rozpoznawania sytuacji krytycznej nieco wcześniej, niż to wynika z klasycznej metody dotyczącej rozkładów ciągłych.

3) Działan ratunkowych zmieniających wartości prawdopodobieństwa rozkładu na niesymetryczne (zwiększenie wartości w pierwszym możliwym terminie).

Słowa kluczowe: zarządzanie projektami, łańcuch krytyczny, określanie wielkości bufora.

LITERATURA

- Ashtiani B., Jalali G.-R., Aryanezhad M.B., Makui A. (2007), *A New Approach for Buffer Sizing in Critical Chain Scheduling*, Proceedings of the 37th International Conference on Computers and Industrial Engineering, October 20–23, 2007, Alexandria, Egypt, edited by M. H. Elwany, A. B. Eltawil
- Geekie A., Steyn H. (2008), *Buffer Sizing for the Critical Chain Project Management Method*, „South African Journal of Industrial Engineering”, Vol. 19(1)
- Goldratt E.M. (2009), *Łańcuch krytyczny: projekty na czas*. Wydawnictwo Mint.
- Kuchta D. (2004), *The Critical Chain Method In Project Management – a Formal Description*, „Badania Operacyjne i Decyzje”, nr 1
- Mansoorzadeh S., Yusof S. M. (2012), *Risk Based Schedule Reliability in Construction Phases of EPC Projects in Power Industry*, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference
- Połoński M., Pruszyński K. (2008), *Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych*, „Przegląd Budowlany”, nr 2 i 3
- Rasmy M.H., Abdelsalam H.M., Hussein R.R. (2007), *A Simulation Approach for Determining Buffers' Sizes in Critical Chain Project Networks*, Proceedings of the 37th International Conference on Computers and Industrial Engineering, October 20–23, 2007, Alexandria, Egypt
- Razaque A., Bach Ch., Salama N., Alotaibi A. (2012), *Fostering Project Scheduling and Controlling Risk Management*, „International Journal of Business and Social Science”, Vol. 3, No. 14 [Special Issue – July 2012]
- Tian W., Demeulemeester E. (2010), *Railway Scheduling Reduces the Expected Project Makespan*, Katholieke Universiteit Leuven KBI 1004. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1551262> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1551262>
- Zhang M., Chen R. (2008), *An Investigation of Time Buffer into the Fundamentals of Critical Chain Project Management: A Behavioral Perspective*, POMS 19th Annual Conference La Jolla, California, U.S.A. May 9 to May 12

Marian Bieniecki

BUFFER SIZING IN CRITICAL CHAIN METHOD IN CASE OF BINOMIAL PROBABILITY DISTRIBUTION OF TASK DURATION

Summary

An attempt of critical chain method for project consisted of special tasks has been applied. The probability distribution of such a task duration is discrete, particularly binomial. The sizing of appropriate path buffer has been suggested. The possibility of early buffer exceeding warning has been noticed.

Keywords: project management, critical chain, buffer sizing.