

Próba wyznaczenia wielkości buforów czasu przy deterministycznej ocenie czasu zadań

Mieczysław Połoński¹

¹ *Katedra Geoinżynierii, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, e-mail: mieczyslaw_polonski@sggw.pl*

Streszczenie: Uwzględnianie buforów czasu w strukturze harmonogramów sieciowych jest coraz częściej proponowaną metodą zabezpieczania harmonogramów budowlanych przed wpływem wielu czynników ryzyka występujących podczas realizacji tych obiektów. Dotychczas spotykane w literaturze rozwiązania najczęściej odwołują się do zakładanego rozkładu czasu zadania i parametrów wyznaczających ich ocenę (wartość średnia, odchylenie standardowe). W artykule zaproponowano metodą obliczania długości buforów czasu, gdy planista dysponuje wyłącznie oceną deterministyczną czasu zadań. W obliczeniach wykorzystano obserwację, że odchylenie standardowe czasu zadania w rozkładzie PERT jest funkcją liniową zależną tylko od tego czasu. Zaproponowano sposób wyznaczania odchylenia standardowego zadań zależny od zakładanego współczynnika rozrzutu. Zdefiniowano założenia proponowanej metody, podano ich dyskusję oraz opisano sposób prowadzenia obliczeń. Zaproponowany sposób wyznaczania buforów czasu został zilustrowany i zweryfikowany na przykładzie dużego harmonogramu przebudowy zbiornika wodnego.

Słowa kluczowe: kontyngencja czasu, bufor czasu, deterministyczny czas zadania, analiza ryzyka, metoda Goldratta, harmonogram budowlany.

1. Wprowadzenie

Uwzględnianie buforów czasu w strukturze harmonogramów sieciowych jest coraz częściej proponowaną metodą zabezpieczania harmonogramów budowlanych przed wpływem wielu czynników ryzyka występujących podczas realizacji tych obiektów [1-4]. 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, 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. Problemem lokalizacji i rodzajów buforów czasu w złożonych i rozbudowanych harmonogramach budowlanych został opisany w kilku artykułach [7-10].

Odrębnym zagadnieniem jest wyznaczanie ich wielkości [11-12], czyli ilości czasu nazywanej często kontyngencją czasu [13-14]. Jest ona wprowadzona do harmonogramu i stanowi rezerwę przeznaczoną na podejmowanie działań mających na celu kompensowanie występujących w trakcie realizacji zakłóceń, nie ujętych w planie lub ujętych w zbyt ograniczonym zakresie. Zakładając, że przewidywana rezerwa czasu jest gromadzona w specjalnie wprowadzonych zadaniach zwanych buforami (w przeciwieństwie do rozwiązań, które proponują uwzględnianie czasu rezerwowego w każdym zadaniu występującym w harmonogramie [15]), spotyka się głównie trzy propozycje wyznaczania ich wielkości. Pierwszą przedstawił twórca TOC, E. Goldratt [7] i wskazywała ona na bardzo proste określenie wielkości czasu buforów, jako założonego procentu czasu zadań chronionych danym buforem (po ich

wcześniejszym zdecydowanym skróceniu). Jak widać w tej propozycji wielkość bufora zależna jest tylko od czasu chronionego ciągu.

Druga koncepcja dotyczy sytuacji, gdy czasy zadań potraktujemy jako zmienne losowe o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa, a miernikiem uwzględnianym przy wyznaczaniu wielkości bufora czasu jest odchylenie standardowe (wariancja) czasu chronionych zadań, przyjmowane jako wyznacznik prognozowanego rozrzutu czasu od wartości średnich. Propozycja ta opiera się na probabilistycznej własności sumy zmiennych losowych, która wskazuje, że jeżeli oszacowania czasów zadań przyjmujemy na pewnym poziomie prawdopodobieństwa (zazwyczaj 90%), to oszacowanie prawdopodobieństwa sumy czasów tych zadań będzie wyższe niż przyjęty poziom prawdopodobieństwa pojedynczego zadania. Uzyskana w ten sposób nadwyżka może być wówczas wykorzystana na stworzenie bufora czasu chroniącego rozpatrywany ciąg zadań. Podstawowym warunkiem prowadzenie obliczeń wg tej koncepcji jest znajomość rozkładu czasu pojedynczego zadania. W literaturze zakłada się najczęściej jeden z rozkładów: beta, beta-PERT, normalny, trójkątny, rzadziej logarytmiczno-normalny, równomierny czy wykładniczy. Przyjmowane typy rozkładów wynikają bądź z założeń szeroko znanej metody PERT [4], bądź próby wykonania obliczeń na prostych i dobrze znanych rozkładach. Mimo, że ma on tak zasadnicze znaczenie dla wyników dalszych obliczeń, jest trudny do jednoznacznego zdefiniowania. Powoduje to, że w praktyce inżynierskiej bardzo często mamy do czynienia z harmonogramami, w których czasy zadań określone są jako zmienne deterministyczne, czyli przy pomocy jednej wartości.

Trzecia propozycja obliczania wielkości buforów czasu wskazuje na możliwość powiązania wielkości tych buforów z analizą ryzyka, wykonaną na podstawie różnych założeń, najczęściej uwzględniających ryzyko zmiany czasu pojedynczych zadań jak i całego projektu [16-17]. Wykonanie obliczeń wielkości buforów wg założeń tej propozycji jest najbardziej pracochłonne ze względu na metodykę analizy ryzyka i jak na razie najrzadziej stosowane. Jednak w miarę rozwijania badań nad analizą ryzyka poszczególnych procesów budowlanych obliczenia te mogą znacznie podnieść wiarygodność planowania robót budowlanych, w tym szacowania wielkości niezbędnych buforów czasu.

W artykule podjęto próbę określenia czasu buforów, gdy planista dysponuje tylko deterministyczną oceną czasu wszystkich zadań w harmonogramie (bez przeprowadzonej analizy ryzyka), a nie zadawała się bardzo uproszczoną procentową metodą ich szacowania.

2. Metoda i jej dyskusja

Zaproponowany sposób wyznaczania buforów czasu przy deterministycznych ocenach czasu zadań opiera się na następujących założeniach:

- podstawą analizy i końcowym jej efektem jest harmonogram sieciowy przedsięwzięcia budowlanego (jedno lub dwupunktowy),
- rodzaj i lokalizacja buforów czasu zostaną przyjęte zgodnie z opisywanymi wcześniej w literaturze założeniami [8-10],
- deterministyczne oceny czasu zadań zostaną przyjęte jako oszacowania z prawdopodobieństwem dotrzymania równym 90% (kwantyl rzędu 0,9, $t_{0,9}$),
- czasy zadań zostaną potraktowane jako zmienne losowe o rozkładzie normalnym,
- podstawą probabilistycznych własności czasu zadań, traktowanych jako zmienne losowe o rozkładzie normalnym, będzie zgodność z odchyleniem standardowym zadania szacowanego metodą PERT,
- symetryczny rozrzut czasu optymistycznego (t_a) i pesymistycznego (t_b) od najbardziej prawdopodobnego (t_m) będzie określany na podstawie zakładanego współczyn-

nika rozrzutu (w_r), oznaczającego o ile należy odpowiednio zmniejszyć lub zwiększyć czas najbardziej prawdopodobny (t_e),

- wszystkie deterministyczne czasy zadań zostaną skrócone do wartości tego samego kwantyla o przyjętym poziomie prawdopodobieństwa (rzędu) wynikającym z inżynierskiej oceny możliwości poziomu redukcji czasu zadań,
- przyjęte skrócone czasy zadań zostaną zweryfikowane pod kątem technologicznych możliwości ich realizacji, a w uzasadnionych przypadkach zostanie wprowadzona odpowiednia korekta (wydłużenie czasu realizacji),
- wielkości buforów czasu zostaną obliczone jako różnica pomiędzy terminem ukończenia danego ciągu na założonym poziomie prawdopodobieństwa (T_p) a skróconą sumą czasów zadań chronionych danym buforem (ciągiem krytycznym),
- w przypadku, gdy obliczony termin osiągnięcia przedsięwzięcia przy założonym poziomie prawdopodobieństwa (T_p) okazał by się zbyt krótki w stosunku do potrzeb planisty, może on być wydłużony o niezbędną wielkość, nazywaną rezerwą menedżerską (RM); w takim wypadku wzrośnie również wielkość obliczanego bufora o wielkość tej rezerwy.

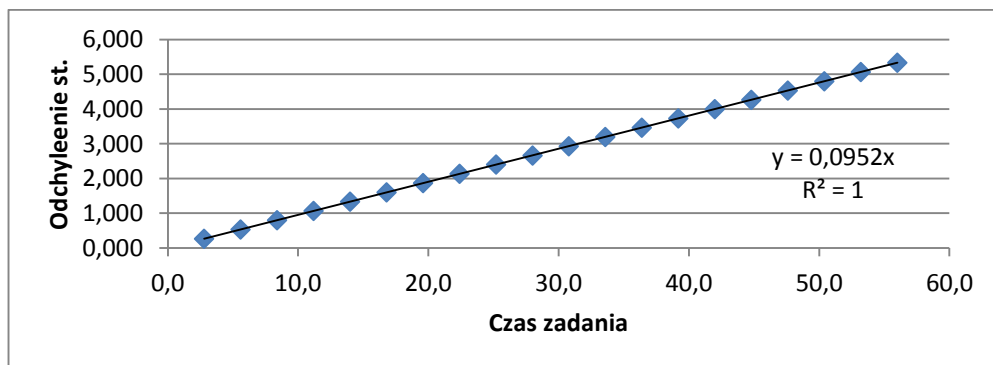
Jak wiadomo w metodzie PERT, przy przyjęciu trzech ocen czasu każdego zadania, odchylenie standardowe obliczane jest wg uproszczonej formuły:

$$\delta_e = \frac{(t_b - t_a)}{6} \quad (1)$$

Podstawą przyjętych założeń była obserwacja, że wyznaczane w ten sposób odchylenie standardowe jest funkcją liniową zależną tylko od czasu. Jeżeli założymy, że rozrzut czasu optymistycznego (t_a) i pesymistycznego (t_b) od najbardziej prawdopodobnego (t_e) dla wszystkich zadań jest taki sam i przyjmiemy ile on wynosi (np. 40% w górę i w dół tzn. współczynnik rozrzutu w_r wynosi 0,4), to przykładowe wartości tych czasów i ich odchylenia standardowe δ_e są takie jak w tabeli 1, a wykres pokazujący zależność odchylenia standardowego od czasu t_b na rysunku 1.

Tabela 1. Trzy oceny czasu w metodzie PERT i ich odchylenie standardowe δ_e dla współczynnika rozrzutu $w_r = 0,4$

t_a	1,20	2,40	3,60	4,80	6,00	7,20	8,40	9,60	10,80	12,00	13,20	14,40	15,60
t_m	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00	22,00	24,00	26,00
t_b	2,80	5,60	8,40	11,20	14,00	16,80	19,60	22,40	25,20	28,00	30,80	33,60	36,40
δ_e	0,27	0,53	0,80	1,07	1,33	1,60	1,87	2,13	2,40	2,67	2,93	3,20	3,47



Rys.1. Zależność odchylenia standardowego δ_e od czasu zadania w rozkładzie PERT dla współczynnika rozrzutu $w_r = 0,4$

W tabeli 2 pokazano współczynniki kierunkowe równania liniowego (wk_r) pozwalające na wyznaczenie odchylenia standardowego (δ_e) dla różnych współczynników rozrzutu (w_r) wg wzoru:

$$\delta_e = t_b * wk_r \quad (2)$$

Należy zauważyć, że wyznaczając te zależności odchylenie standardowe korelowano z czasem pesymistycznym (t_b) każdego zadania, a nie z czasem najbardziej prawdopodobnym (t_m). Przyjęto tak, ponieważ właśnie czas pesymistyczny (t_b) w rozkładzie PERT jest najbardziej zbliżony do kwantyla ($t_{0,9}$) w rozkładzie normalnym.

Tabela 2. Przykładowe współczynniki kierunkowe równania liniowego wk_r , pozwalające na wyznaczenie odchylenia standardowego δ_e dla różnych współczynników rozrzutu w_r .

Wsp. rozrzutu w_r	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
Wsp. kier. wk_r do obliczenia δ_e	0,0556	0,0667	0,0769	0,0864	0,0952	0,1034	0,1111	0,125	0,1373	0,1481	0,1579

Znając kwantyl czasu zadania $t_{0,9}$ oraz jego odchylenie standardowe δ_e można wyliczyć kwantyl rzędu 0,5 ($t_{0,5}$)

$$t_{0,5} = t_{0,9} - \delta_e * U_{0,9} \quad (3)$$

gdzie $U_{0,9}$ jest odwrotnością standardowego skumulowanego rozkładu normalnego $N(0,1)$ dla kwantyla rzędu 0,9

oraz każdy inny kwantyl rzędu p

$$t_p = t_{0,5} + \delta_e * U_p \quad (4)$$

gdzie U_p jest odwrotnością standardowego skumulowanego rozkładu normalnego $N(0,1)$ dla kwantyla rzędu p.

Na podstawie twierdzenia granicznego i znajomości tych prostych formuł można obliczyć wielkości dowolnego bufora czasu po wyznaczeniu chronionego ciągu, na końcu którego jest on zlokalizowany, gdyż rozkład ich sumy będzie bliski rozkładowi normalnemu $N(m_T, \delta_T)$ o parametrach [18]:

$$m_T = \sum_{i=1}^n t_i ; \quad \delta_T = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta(t)_i^2} \quad (5)$$

gdzie: n – liczba zadań chronionych buforem,

t_i – wartość średnia czasu zadania i ,

$\delta(t)_i^2$ - kwadrat odchylenia standardowego czasu zadania i ,

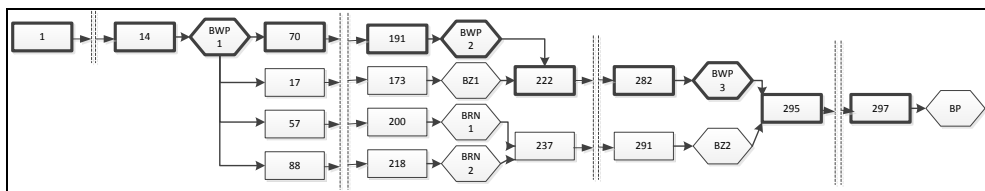
Należy również podkreślić, że nawet gdy liczba rozpatrywanych zmiennych jest tylko umiarkowanie duża, to jeśli żadna ze zmiennych nie dominuje nad pozostałymi i o ile te zmienne nie są w wysokim stopniu zależne, rozkład ich sumy będzie bliski rozkładowi normalnemu. Wiadomo również, że przy małej liczbie zmiennych n rozkład sumy tych zmiennych bliższy będzie rozkładowi t-Studenta niż rozkładowi normalnemu [18].

3. Przykład obliczeniowy

Sposób wykonywania obliczeń zaproponowaną metodą zostanie przedstawiony na przykładzie obliczenia wielkości bufora projektu w harmonogramie jednopunktowym przebudowy zbiornika małej retencji w Małomicach wraz z infrastrukturą towarzyszącą [19]. Za-

daniem inwestycji jest połączenie dwóch istniejących zbiorników w jeden. W tym celu zostanie rozebrana grobla, a w jej miejscu powstanie kładka technologiczna o konstrukcji stalowo-drewnianej. Istniejące czasie zbiornika zostaną pogłębione a obwałowanie zbiornika podwyższone. Dzięki planowanym pracom powstanie zbiornik o powierzchni ok. 11,7 ha, głębokości średniej 2,1 m, głębokości maksymalnej 2,5 m i pojemności 240 000 m³.

Podstawą wyznaczenia lokalizacji konkretnych buforów czasu w analizowanym przedsięwzięciu był harmonogram sieciowy planowanej inwestycji sporządzony w programie MS Project. Cały harmonogram liczył 298 zadań i został wzbogacony o osiem buforów czasu. Na rysunku 2 przedstawiono schemat sieci zależności, przebieg ścieżki krytycznej (pogrubione ramki) oraz lokalizację wszystkich planowanych buforów czasu oznaczonych jako sześciokątne ostroboki. Ze względu na objętość artykułu zaproponowany sposób obliczeń zostanie przestawiony tylko dla jednego bufora, zlokalizowanego na końcu ścieżki krytycznej, zwanego buforem projektu BP. Obliczenia były prowadzone przy założeniu, że tylko ten jeden bufor chroni całą ścieżkę krytyczną. W dalszej części analiz (nie omawianych w tym artykule) obliczony czas bufora BP zostanie podzielony na wszystkie bufory leżące na ścieżce krytycznej, a więc bufory wspomagające BWP1, BWP2, BWP3 oraz zmodyfikowany (zmniejszony) bufor projektu PB'.



Rys.2 Schemat lokalizacji buforów czasu w strukturze sieci zależności.

Bufor projektu BP chroni ciąg liczący łącznie 85 zadań. Każde zadanie miało zdefiniowaną jedną ocenę czasu, przy czym tylko cztery zadania miały czas powyżej siedmiu dni roboczych (60, 13, 11, 9), a reszta poniżej, przy czym przeważały czasy z zakresu jeden do czterech dni (wszystkie czasy zadań zaokrąglone były z dokładnością 0,5 dnia roboczego). Przyjęto, że jeżeli potraktować czas zadań jako zmienną losową o rozkładzie normalnym, ocena ta odpowiada kwantylowi rzędu 0,9 ($t_{0,9}$). Następnie należało przyjąć wartość współczynnika rozrzutu (w_r), charakteryzującego odchylenie od wartości średniej, wspólną dla wszystkich analizowanych zadań. Znając wartość założonego współczynnika rozrzutu i odpowiadające mu współczynniki kierunkowe równania liniowego (tabela 2) obliczono odchylenia standardowe (δ_e) dla każdego zadania. I tak np. zadania o czasie 7 dni dla współczynnika rozrzutu (w_r) równego 0,45 posiada odchylenie standardowe δ_e równe (2):

$$\delta_e = 7 * 0,1034 = 0,7238$$

a kwantyl rzędu 0,5 $t_{0,5}$ (3)

$$t_{0,5} = t_{0,9} - \delta_e * U_{0,9} = 7 - 0,7238 * 1,2816 = 6,0723$$

W przykładzie jako skrócone czasy zadań przyjęto kwantyl rzędu 0,55 ($t_{0,55}$). Kwantyl rzędu 0,55 $t_{0,55}$ dla podanego powyżej przykładu wynosi (4)

$$t_{0,55} = t_{0,5} + \delta_e * U_{0,55} = 6,0723 + 0,7238 * 0,1256 = 6,1633$$

Wszystkie obliczone wartości kwantyli (przyjmowane w harmonogramie jako czasy zadań) zaokrąglane były z tą samą dokładnością co dane wyjściowe (tzn do wartości 0,5 dnia). W podanym powyżej przykładzie prowadzi to np. do przyjęcia kwantyla rzędu 0,55 ($t_{0,55}$) równego 6,0 dni. W przypadku wykonywania obliczeń dla licznej grupy zadań o krótkich czasach trwania (jak w przykładzie), zaokrąglanie czasu (przyjmowanego jako skrócona ocena czasu zadania) może mieć istotny wpływ na wyniki obliczeń.

W tabeli 3 zestawiono wyniki obliczeń długości bufora czasu projektu BP dla różnych wartości współczynnika rozrzutu w_r (0,2 do 0,8), trzech poziomów prawdopodobieństwa P (0,92; 0,95; 0,98) dotrzymania terminu końcowego całego przedsięwzięcia (T_P) i skrócenia czasu zadań do kwantyla rzędu 0,55 ($t_{0,55}$). Przy tak dużej liczbie zadań w analizowanym ciągu (85) termin zakończenia wszystkich zadań T_P nie zależał od przyjętego typu jego rozkładu (normalny lub t-Studenta). W ostatnim prezentowanym wariancie dodatkowo uwzględniono rezerwę menedżerską $RM > 0$.

Tabela 3. Przykładowe wyniki obliczeń długości bufora czasu projektu BP dla różnych wartości współczynnika rozrzutu w_r i trzech poziomów prawdopodobieństwa dotrzymania terminu końcowego całego przedsięwzięcia TP.

w_r	$\Sigma t_{0,5}$	$\Sigma t_{0,55}$	$\Sigma \delta_e$	$P=0,92$ $RM=0$		$P=0,95$ $RM=0$		$P=0,98$ $RM=0$		$P=0,92$ $RM=10$	
				$T_{0,92}$	BP	$T_{0,95}$	BP	$T_{0,95}$	BP	$T_{0,92+RM}$	BP
0,2	245,65	249,5	14,17	251	1,5	252	2,5	253	3,5	261	11,5
0,4	232,23	241,0	41,53	241	0	243	2	245	4	251	10
0,6	222,13	230,5	71,61	234	3,5	236	5,5	240	9,5	244	13,5
0,8	214,30	227,0	100,52	228	1	231	4	235	8	238	11

4. Posumowanie

Analizując uzyskane wyniki (tabela 3) można zauważyć, że termin zakończenia całego przedsięwzięcia bez rezerwy menedżerskiej RM i bez bufora projektu BP, w zależności od przyjętego wariantu, waha się w granicach 228 do 253 dni roboczych. Pamiętając, że termin zakończenia wyznaczony według czasów deterministycznych wynosił 298 dni, oznacza to skrócenie od 70 do 45 dni, tzn. o 23,5% do 15,1% planowanego pierwotnie okresu realizacji robót. Uwzględniając bufor projektu BP, którego długość w zależności od wariantu wynosi od 0 do 9,5 dni, termin zakończenia ($T_P + BP$) waha się w granicach od 229 do 256,5 dni tzn. skrócenie od 69 do 41,5 dni (odpowiednio od 23,2% do 13,9%). Ponieważ obliczone długości bufora projektu BP są stosunkowo krótkie w stosunku do długości chronionego ciągu, można je zwiększyć wprowadzając rezerwę menedżerską (RM). W analizowanym przykładzie istnieją do tego odpowiednie warunki, wynikające zarówno z zapisów umowy na realizację obiektu przyjętych przez Wykonawcę (planowany termin zakończenia robót) jak i rezerwy czasu wynikającej z różnicy wstępnie planowanego terminu zakończenia robót (298 dni rob.) oraz obliczonego terminu zakończenia obiektu na założonym poziomie prawdopodobieństwa (T_P). Przyjmując rezerwę menedżerską (RM) o długości 10 dni, proponowany termin zakończenia robót (dla $P=0,92$) waha się w granicach od 238 do 261 dni w zależności od przyjętego współczynnika rozrzutu (w_r). Wówczas wielkości bufora czasu BP wahają się w granicach od 10 do 13,5 dni. Proponowane warianty pozwalają wybrać menedżerowi projektu rozwiązanie z jednej strony najlepiej dopasowane do warunków budowy, a z drugiej dzięki zaplanowaniu rezerwy czasu w postaci bufora projektu BP, zdecydowanie obniżające ryzyko niedotrzymania planowanego terminu.

Poszukiwanie metod obliczania długości buforów czasu przy deterministycznej ocenie czasu zadań w harmonogramie ma duże znaczenie praktyczne ze względu na dużą popularność takich rozwiązań w praktyce inżynierskiej. Zaproponowana w artykule metoda wskazuje na możliwość wykonania takich obliczeń. Autor ma świadomość, że wpływ na wynik obliczeń mają między innymi przyjęte założenia, których poprawność zależeć będzie od doświadczenia menedżera wykonującego tego rodzaju analizy. Należy jednak zauważyć, że wykonanie większej liczby symulacji może wspomóc wybranie poprawnego wariantu. Zaproponowana metoda pozwala ustalić wielkość bufora, czasy skróconych zadań oraz termin

zakończenia całego przedsięwzięcia znacznie dokładniej od najczęściej stosowanego w praktyce inżynierskiej prostego określania kontyngencji czasu za pomocą wskaźnika procentowego, odniesionego do czasu chronionego ciągu zadań. Wykonanie niezbędnych obliczeń wg proponowanej metody jest stosunkowo proste, a dodatkowo może być wspomagane odpowiednio przygotowanym arkuszem obliczeniowym.

5. 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, 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) 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) 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, 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), 289-297.
- 13 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, 69-74.
- 14 Kasprowicz T. Kontyngencja przedsięwzięć budowlanych. Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, Vol. 53, nr 8 (2004), 91-108.
- 15 Kuchta D. A New Concept of Project Robust Schedule – Use of Buffers. Procedia Computer Science, Volume 31, (2014), 957-965.
- 16 Połowski M. Harmonogramowanie realizacji przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem buforów czasu wyznaczonych na podstawie analizy ryzyka. Budownictwo i Architektura, 12(1) (2013) 47-52.
- 17 Ślusarczyk A. Metoda wyznaczania długości buforów czasowych w proaktywnym i reaktywnym zarządzaniu ryzykiem przekroczenia planowanego terminu realizacji projektu. Rozprawa doktorska, Wrocław, 2014.
- 18 Benjamin J.R., Cornell C.A. Rachunek prawdopodobieństwa statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1977.
- 19 Rośnińska A. Projekt technologiczno – organizacyjny wykonania zbiornika retencyjnego w Małomicach z elementami ryzyka czasu i kosztu. Praca magisterska. SGGW, 2014.

Tentative determination of time buffer size in a deterministic assessment of task duration

Mieczysław Poloński¹

¹ *Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Warsaw University of Life Sciences – SGGW, e-mail: mieczyslaw_polonski@sggw.pl*

Abstract: Considering time buffers in the structures of CPM schedules is at present commonly used in protection of construction schedules against the influence of numerous risk factors occurring during object accomplishment. So far, solutions presented in literature usually refer to the assumed distribution of task duration and parameters of its evaluation (average value, standard deviation). The paper presents a method of calculating time buffers when the planner has only a deterministic assessment of task duration at his disposal. The calculations were also based on the observation that the standard deviation of task duration in a PERT distribution is a linear function depending only on this duration. The paper presents a method of determining standard deviation of tasks, depending on the assumed dispersion coefficient. The assumptions of the proposed method are laid out and discussed and the calculation method is described. The proposed method of determining time buffers is illustrated and verified based on a large schedule of water reservoir modernization.

Keywords: time contingency, time buffers, deterministic task duration, risk analysis, Goldratt's method, construction schedule