

dr hab. inż. Mieczysław Połoński, prof. SGGW¹⁾

Wpływ założeń dotyczących szacowania czasu robót budowlanych na wielkość bufora czasu

Influence of assumptions related to the construction work time assessment on time buffers

DOI: 10.15199/33.2017.08.38

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. Niezależnie od metody obliczania wielkości buforów czasu, zasadnicze znaczenie dla uzyskiwanych wyników ma sposób definiowania czasu trwania poszczególnych zadań w harmonogramie. W literaturze ten bardzo ważny aspekt często jest pomijany, a poszczególni autorzy zakładają a priori różne sposoby oszacowania czasu zadań, najczęściej bez uzasadnienia. W artykule przedstawiono wyniki badań, które pokazują duży wpływ sposobu szacowania czasu zadań na obliczoną wielkość chroniącego je bufora czasu. Łącznie przebadano 42 warianty wyznaczenia bufora czasu i łącznego czasu wykonania obiektu, w tym 3 – metodą C&PM, 11 – metodą RSEM oraz 28 – metodą MP-KP. Przeanalizowano zarówno deterministyczny sposób szacowania czasu zadań, jak i zakładając, że czas zadań jest zmienną losową o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa. Zwrócono również uwagę na konieczność korelowania wielkości bufora czasu i przyjmowanego w harmonogramie skrócenia czasu zadań, wyznaczającego ryzyko ich wykonania, z terminem zakończenia całego łańcucha krytycznego.

Słowa kluczowe: kontyngencja czasu, bufor czasu, czas zadania, metody obliczania buforów, harmonogram budowlany.

Abstract. There are numerous reports with proposals of assessing task duration. Regardless the different proposals, the obtained results are significantly influenced by the method of defining the duration of particular tasks in the construction schedule. This very important aspect is often omitted in published reports, while particular authors a priori assume certain methods of assessing task duration, often without justification. The paper presents the results of investigations, which have indicated that the method of assessing task duration has profound influence on the calculated time buffer protecting these tasks. A total of 42 variants determining the time buffer and the total time of construction accomplishment have been analyzed, including 3 – using the C&PM method, 11 – using the RSEM method and 28 – using the MP-KP method. The analysis referred both to the deterministic method of task duration assessment as well as assuming that task duration is a random variable with a known probability distribution. Correlating the time buffer and the shortening of task duration accepted in the construction schedule, which determined the risk of their accomplishment with a finish date all critical chain, seems to be very important.

Keywords: time contingency, time buffers, task time, buffer sizing methods, construction schedule.

Z chwilą zaproponowania przez E. Goldratta umieszczania w strukturze harmonogramów sieciowych buforów czasu [1], wielu autorów podjęło próbę opracowania metody wyznaczania ich wielkości [2, 3, 9, 11, 12]. Niezależnie od zastosowanej metody, zasadnicze znaczenie ma sposób szacowania czasu każdego zadania w analizowanym harmonogramie oraz przyjęcia określonej miary reprezentującej czas zadania. W literaturze ten bardzo ważny aspekt często jest pomijany, a poszczególni autorzy zakładają a priori różne sposoby oszacowania czasu zadań, najczęściej bez uzasadnienia. Sposób szacowania czasu zadań ma duży wpływ na obliczoną wielkość chroniącego je bufora czasu. W artykule zwrócono uwagę na konieczność rozpatrywania wielkości

wyznaczanego bufora czasu nie jako odrębnego parametru harmonogramu, ale jako wielkości powiązanej z planowanym terminem zakończenia całego przedsięwzięcia oraz skorelowanej z zakładanym skróceniem wyjściowych czasów zadań.

Metody szacowania czasu zadań i obliczania buforów

Zasadniczo mamy dwa sposoby szacowania czasu zadań w harmonogramach budowlanych: deterministyczny oraz jako zmienna losowa o założonym rozkładzie prawdopodobieństwa. Każda z tych metod daje inne możliwości obliczeniowe oraz stawia inne ograniczenia podczas obliczania wielkości buforów czasu. Ich przydatność różnie jest oceniana, np. Newbold [4] podaje, że w praktycznych zastosowaniach inżynierskich nie ma potrzeby sięgania po zaawansowane techniki obliczeniowe, a wielkość

buforów czasu powinna oddawać intuicyjne oszacowanie ryzyka chronionego łańcucha zadań, zaś Herroelen i Leus [2], Połoński [7] czy Leach [3] wskazują na możliwości zastosowania bardziej złożonych metod obliczeniowych, wykorzystujących statystyczne oszacowanie czasu zadań jako wartości probabilistycznej. W artykule przyjęto, że planista dysponuje trzema ocenami czasu każdego zadania szacowanymi zgodnie z założeniami klasycznej metody PERT: optymistyczną (t_a), pesymistyczną (t_b) i najbardziej prawdopodobną (t_m). Wyznaczając wielkość bufora czasu, skupiono się na trzech metodach C&PM (Cut and Paste Method) zaproponowanej przez Goldratta [1], RSEM (The Root Square Error Method) opracowanej przez Newbolda [4] oraz MP-KP zaproponowanej przez Pruszyńskiego i Połońskiego [7, 8]. Metoda C&PM operuje danymi deterministycznymi, RSEM i MP-KP – danymi probabilistycznymi.

¹⁾ Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska; mieczyslaw_polonski@sggw.pl

W przypadku metody C&PM próbowa- no określić, jaką ocenę czasu należy przy- jąć jako czas wyjściowy zadania, gdy dys- ponuje się trzema ocenami czasu: opty- mistyczną (t_a), pesymistyczną (t_b) i najbar- dziej prawdopodobną (t_m) i jak to wpłynie na wielkość bufora. Rozważano trzy przy- padki: gdy jako wyjściowy czas zadania, podlegający następnie 50% skróceniu, przyjęto czas pesymistyczny (t_b), najbar- dziej prawdopodobny (t_m) i czas oczekiwa- ny (t_c), wyznaczony jako średnia ważo- na z wagami odpowiednio 1, 4, 1.

W metodzie RSEM niepewność oszaco- wania czasu zadania U_i przyjmuje się jako [4]:

$$U_i = S_i - d_i \quad (1)$$

gdzie:

S_i – bezpieczne oszacowanie czasu zadania i ;
 d_i – średnia (50%) wartość tego czasu.

Zakładając rozkład normalny czasu za- dania, twórcy metody proponują wyzna- czać odchylenie standardowe zadania i (δ_i) jako połowę $U_i(U_i/2)$. Bufor czasu (BC) w przypadku łańcucha zadań o liczebności n równy jest dwóm odchyleniom standar- dowym tego ciągu zadań (δ_n), a więc wy- znaczany ze wzoru:

$$BC_n = 2 \cdot \delta_n = 2 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{U_i}{2}\right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i)^2} \quad (2)$$

Przy założeniu rozkładu normalnego czasu zadania odchylenie standardowe δ_i moż- na wyznaczyć również na podstawie wzoru:

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

gdzie:

$U_{0,9}$ – odwrotność skumulowanego, standardo- wego rozkładu normalnego $N(0,1)$.

O ile założenie czasu $t_{0,9}$ nie stanowi trudności, gdyż zazwyczaj przyjmuje się jego wartość jako czas pesymistyczny t_b , to ustalenie czasu $t_{0,5}$ nie jest już tak jedno- znaczne. W obliczeniach rozważono trzy warianty ustalania kwantyla czasu $t_{0,5}$: ja- ko czasu optymistycznego t_a , oczekiwanego t_c oraz wyznaczanego z formuły:

$$t_{0,5} = t_b / (2 \cdot 0,9) \quad (4)$$

Oprócz rozkładu normalnego czasu trwania zadania analizowano rozkład PERT i lognormalny. W przypadku rozkła- du PERT odchylenie standardowe czasu zadania i obliczano ze wzoru:

$$\delta_i = (t_b - t_a)/6 \quad (5)$$

a rozkład lognormalny ze wzoru [6]:

$$\delta_i^2 = t_{0,5}^2 \cdot \exp(2 \cdot \delta_{int}^2) - t_{0,5}^2 \cdot \exp(\delta_{int}^2) \quad (6)$$

gdzie:

δ_{int}^2 – kwadrat odchylenia standardowego logarytmu czasu czynności.

W przypadku obliczania wielkości bufo- ra metodą RSEM rozważono, jakie będą różnice w wielkościach buforów, gdy przy- jęty zostanie różny typ rozkładu czasu za- dań i związane z tym sposoby wyznaczania odchylenia standardowego zadań oraz war- tości średniej.

W metodzie MP-KP wielkość bufora czasu BC wyznaczana jest jako różnica po- między terminem zakończenia całego łań- cucha n zadań T_p obliczonego na podstawie twierdzenia granicznego przy założonym prawdopodobieństwie osiągnięcia terminu końcowego P a sumą skróconych czasów zadań łańcucha krytycznego [7, 8].

$$BC_n = T_p - \sum_{i=1}^n t_{iskr} \quad (7)$$

W metodzie tej, tak jak w RSEM, zasad- nicze znaczenie ma sposób wyznaczenia odchylenia standardowego δ_i każdego za- dania w przypadku poszczególnych roz- kładów czasu zadań. Rozważano te same trzy warianty rozkładu czasu zadań i spo- soby wyznaczania kwantyla czasu $t_{0,5}$, któ- re zostały opisane w metodzie RSEM. For- muła obliczeniowa przyjęta w metodzie MP-KP daje bardzo duże możliwości ob- liczeniowe menedżerowi projektu. Może on dowolnie zakładać typ rozkładu czasu zadania, prawdopodobieństwo P dotrzy- mania poszukiwanego terminu zakończe- nia całego łańcucha krytycznego T_p oraz dowolnie skrócony czas wyjściowy każde- go zadania. Ten ostatni parametr, w zależ- ności od założonego typu rozkładu, przyj- mowany jest jako pewna charakterystycz- na wartość (np. czas optymistyczny w roz- kładzie PERT) lub obliczany jako kwantyl przy założonym poziomie prawdopo- bieństwa p dotrzymania czasu pojedyncze- go zadania t_p (należy rozróżnić P jako prawdopodobieństwo dotrzymania całego łańcucha krytycznego, i p jako prawdopo- bieństwo dotrzymania pojedynczego za- dania). W metodzie MP-KP również prze- analizowano wiele wariantów prawdopo-

dobieństw zakończenia całego łańcucha P i skrócenia każdego zadania przy różnych rozkładach czasu zadań.

Dane do obliczeń

Przykładowy harmonogram realizacji przedsięwzięcia budowlanego został zaczerp- nięty z [10]. Dotyczy on budowy centrum han- dlowo-usługowo-biurowego w Kielcach. Har- monogram liczył 18 zadań rzeczywistych dodatkowo połączonych 13 zadaniami zero- wymi. Wyznaczony na tej podstawie całko- wity czas trwania robót wyniósł 187 dni ro- bocznych, a nierozwidlona ścieżka krytycz- na przebiegała przez 8 zadań. Pod uwagę wzięto tylko jeden bufor, a mianowicie bu- for projektu BP zlokalizowany na końcu ścieżki krytycznej. Dzięki temu możliwe by- ło skupienie się na metodyce obliczania wiel- kości bufora, bez rozważania problemu loka- lizacji wszystkich niezbędnych buforów, ich liczebności i długości chronionych łańcuchów zadań, rozwidlania się ścieżki krytycznej itp. W związku z tym, że sposób obliczania pozos- tałych buforów czasu jest taki sam jak bufo- ra projektu BP, wyciągnięte wnioski mają ogólny charakter i dotyczą wszystkich rodza- jów buforów czasu zlokalizowanych w har- monogramach sieciowych. W tabelach 1 ÷ 3 zestawiono część wariantów obliczeniowych, które zostały przeanalizowane w trakcie prze- prowadzonych badań.

Wyniki i podsumowanie

W tabelach 1 i 2 oraz na rysunku 1 i przed- stawiono wynik przeprowadzonych obliczeń bez uwzględnienia bufora czasu i wielkości buforów czasu wyznaczonych metodami C&PM oraz RSEM. Długość wykonania rozważanego łańcucha krytycznego bez bu- fora w zależności od przyjętej oceny czasu zadań jako optymistyczna (t_a), najbardziej prawdopodobna (t_m) i pesymistyczna (t_b) wy- nosi odpowiednio 152, 187 i 220 dni. Wpro- wadzając bufory i przyjmując 50% skrócenia

Tabela 1. Warianty obliczeń bez buforów czasu i buforów metodą C&PM

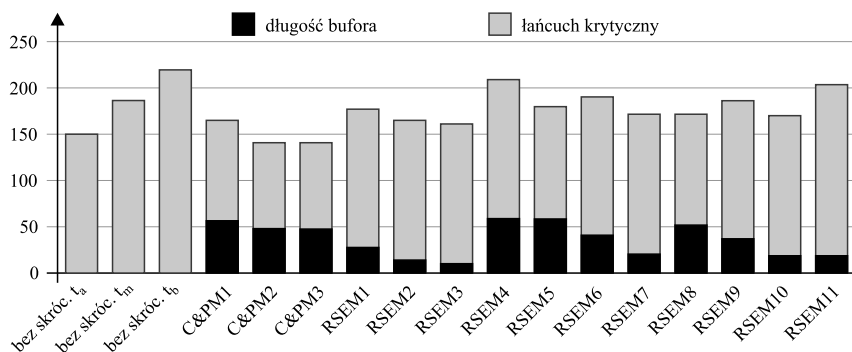
Table 1. Example of calculation without time buffer and C&PM buffer sizing method

Metoda i wariant obliczeń	Czas zadania przed skróceniem o 50%	Długość bufora BP	Długość łańcucha krytycznego [dni]	Termin zakończenia T [dni]	BP [%]
Bez skrócenia czasu	czas optymistyczny t_a	0	152	152	0
	czas najbardziej prawdopodobny t_m	0	187	187	0
	czas pesymistyczny t_b	0	220	220	0
C&PM1	czas pesymistyczny t_b	55	110	165	33,3
C&PM2	czas najbardziej prawdopodobny t_m	46,75	93,5	140,25	33,3
C&PM3	czas oczekiwany t_c	46,58	93,5	140,08	33,3

Tabela 2. Warianty obliczeń buforów czasu metodą RSEM

Table 2. Example of calculation time buffer with RSEM buffer sizing method

Metoda i wariant obliczeniowy	Typ rozkładu czasu zadania	S_i	d_i	δ_i	Łańcuch krytyczny	Długość bufora BP	Długość łańcucha krytycznego [dni]	Termin zakończenia T [dni]	BP [%]
RSEM1	PERT	t_b	t_a	$(S_i - d_i)/2$	t_a	25,10	152	177,10	14,2
RSEM2	PERT	t_b	t_c	$(S_i - d_i)/2$	t_a	12,31	152	164,31	7,5
RSEM3	PERT	t_b	-	$(t_b - t_a)/6$	t_a	8,37	152	160,37	5,2
RSEM4	Norm.	t_b	$(t_b/2)/0,9$	$(t_b - d_i)Z_{0,9}$	t_a	57,46	152	209,46	27,4
RSEM5	Norm.	t_b	$(t_b/2)/0,9$	$(t_b - d_i)Z_{0,9}$	d_i	57,46	122,22	179,68	32,0
RSEM6	Norm.	t_b	t_a	$(t_b - d_i)Z_{0,9}$	t_a	39,17	152	191,17	20,5
RSEM7	Norm.	t_b	t_c	$(t_b - d_i)Z_{0,9}$	t_a	19,21	152	171,21	11,2
RSEM8	LogNorm.	t_b	$(t_b/2)/0,9$	wzór (4)	d_i	49,48	122,22	171,70	28,8
RSEM9	LogNorm.	t_b	t_a	wzór (4)	t_a	34,51	152	186,51	18,5
RSEM10	LogNorm.	t_b	t_c	wzór (4)	t_a	17,89	152	169,89	10,5
RSEM11	LogNorm.	t_b	t_c	wzór (4)	t_c	17,89	186,66	204,55	8,7



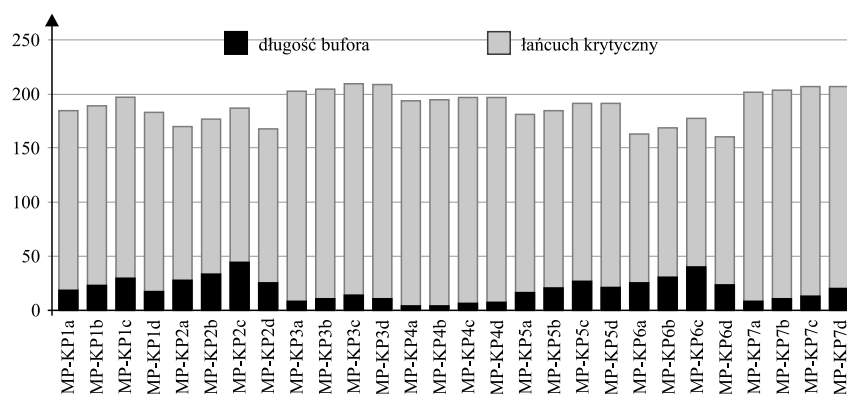
Rys. 1. Czasy łańcucha krytycznego bez skrócenia czasu i warianty wyznaczenia długości bufora oraz łańcucha krytycznego metodą C&PM i RSEM

Fig. 1. Critical chain time without time buffer and variants determine the length of the buffer and the critical chain for C&PM and RSEM methods

czasów pesymistycznych zadań (t_b), termin zakończenia wynosi 165, a więc nieco dłuższy niż przy czasach optymistycznych bez skrócenia. W przypadku skracanych czasów najbardziej prawdopodobnego (t_m) i oczekiwanego (t_e) wynik jest bardzo zbliżony i wynosi ok. 140 dni, a więc mniej niż w przypadku planowania na podstawie czasów optymistycznych bez buforów. W metodzie C&PM we wszystkich trzech przypadkach wielkość bufora czasu stanowi 33% długości całego łańcucha zadań, a więc stosunkowo dużo.

W przypadku metody RSEM, w zależności od przyjętych założeń, czas całego łańcucha zadań z buforami wynosi 160 ÷ 209 dni, a udział bufora czasu w długości całego ciągu zadań 5 ÷ 32%. Można zauważyć przypadki, gdy przy stosunkowo krótkiej długości łańcucha zadań bufor jest bardzo mały (np. warianty RSEM3, RSEM7, RSEM10) i odwrotnie, przy dużej długości całego ciągu zadań bufor jest duży (np. wa-

riant RSEM4). Z punktu widzenia menedżera projektu interesujący wynik uzyskano np. w wariancie RSEM9, a więc w przypadku rozkładu lognormalnego zadań, gdy ocenę bezpieczną przyjęto jako czas pesymistyczny, a skrócony czas jako optymi-



Rys. 2. Warianty wyznaczenia długości bufora i łańcucha krytycznego metodą MP-KP

Fig. 2. Variants determine the length of the buffer and the critical chain for MP-KP method

styczny i uzyskano termin zakończenia ok. 187 dni i 19% wielkość bufora. Podobne wyniki, przy tych samych założeniach co do czasu zadań, uzyskano, przyjmując rozkład normalny (wariant RSEM6).

Wyniki uzyskane metodą MP-KP przedstawiono na rysunku 2 i w tabeli 3. Jak już zaznaczono wcześniej, dzięki możliwości przyjmowania do obliczeń różnych poziomów prawdopodobieństwa dotrzymania planowanego zakończenia i skrócenia czasu zadań, metoda ta pozwala uzyskać bardzo szeroki wachlarz wyników. Niemniej na ostateczne wyniki wyraźnie wpływa typ przyjętego rozkładu czasu zadań (a tym samym sposób wyznaczania odchylenia standardowego tego czasu) oraz typ rozkładu prawdopodobieństwa dotrzymania końcowego terminu. Najmniejsze bufor czasu uzyskuje się, zakładając rozkład czasu zadań PERT (do 5% długości łańcucha zadań). Wydaje się, że jest to zdecydowanie zbyt mały zapas czasu, co praktycznie eliminuje ten typ rozkładu (a precyzyjniej mówiąc zalecany w tym typie sposób obliczania odchylenia standardowego czasu zadań) jako podstawę wyznaczania wielkości buforów. W przypadku rozkładu normalnego i lognormalnego czasu zadania, w zależności od przyjętych parametrów i sposobu wyznaczania kwantyla czasu $t_{0,5}$, wielkości buforów mogą wynosić 5 ÷ 25%. W obu przypadkach jako kwantyla czasu $t_{0,5}$ nie zaleca się stosować czasu oczekiwanego t_e , gdyż prowadzi to do stosunkowo krótkich buforów czasu (maks. do 10%). Większe wielkości buforów uzyskuje się, przyjmując czas optymistyczny t_a za czas $t_{0,5}$, a jeszcze większe, gdy czas $t_{0,5}$ wyznacza się zgodnie z wzorem 4.

Jako czas skróconych zadań proponuje się przyjmować kwantyl $t_{0,65}$, ewentualnie $t_{0,65}$. Są to nieco dłuższe czasy zadań, niż zaleca to Goldratt (a tym samym bezpieczniejsze dla menedżera projektu), które do-

brze korelują z długością całego łańcucha zadań wyznaczonego z prawdopodobieństwem P 0,95 czy 0,97. W przypadku łańcucha krytycznego o małej liczebności zadań (poniżej kilkunastu), termin końcowy powinno się wyznaczać na podstawie rozkładu t-Studenta, a nie normalnego. Wówczas uzyskujemy dłuższe i bardziej wiarygodne terminy zakończenia całego przedsięwzięcia, co pozwala wyznaczyć większe buforory czasu. Wybór tego typu rozkładu zalecany jest niezależnie od przyjętego typu rozkładu czasu zadania. Wariantami, które można wskazać jako zalecane dla menedżera projektu, są np. MP-KP1c (termin zakończenia to ok. 196 dni z 15,5% buforem), MP-KP5c (odpowiednio 191 dni i 14% BP) czy bardziej optymistyczny MP-KP6c (odpowiednio 178 dni i 23% BP).

Podsumowując, można stwierdzić, że niezależnie od danych, jakimi dysponuje planista przygotowujący harmonogram re-

alizacji przedsięwzięcia budowlanego, możliwe jest, a nawet zdecydowanie zalecane, uwzględnienie w strukturze harmonogramu odpowiednio zlokalizowanych buforów czasu. Jeżeli dysponujemy ocenami deterministycznymi czasu zadań, wielkość buforów można wyznaczyć metodą C&PM, przy czym skrócenie czasu zadań nie musi wynosić 50%, tak jak zaleca Goldratt [1], lecz w zależności od oceny warunków realizacji odpowiednio mniej. W tym przypadku można również zastosować próbę oszacowania trzech czasów każdego zadania [5], co pozwoli zastosować metodę RSEM lub MP-KP. W przypadku wyboru metody RSEM zaleca się, aby jako ocenę bezpieczną przyjmować czas pesymistyczny t_b , a skrócony czas jako optymistyczny t_a . Stosując metodę MP-KP, zaleca się obliczać termin zakończenia łańcucha chronionego buforem zadań na podstawie rozkładu t-Studenta (przy ciągach o większej

liczbie zadań wynik i tak będzie zbieżny z rozkładem Normalnym), przy prawdopodobieństwie P 0,95 ÷ 0,97, przyjmując jako czas skróconych zadań kwantyl $t_{0,6}$, ewentualnie $t_{0,65}$. W przypadku metod C&PM oraz RSEM długość bufora czasu wyznaczana jest jako niezależna wartość, bez uwzględnienia jej wpływu na końcowy termin realizacji całego łańcucha zadań. W metodzie MP-KP zasadnicze znaczenie ma termin zakończenia całego łańcucha zadań T_p , a wielkość bufora czasu jest skorelowana z tym terminem i założonym skróceniem czasu poszczególnych zadań.

Literatura

[1] Goldratt Eliyah M. 2000. *Łańcuch krytyczny*. Warszawa. Wydawnictwo WERBEL.

[2] Herroelen Willy, Roel Leus. 2004. „Robust and reactive project scheduling: A review and classification of procedures”. *International Journal of Production Research* 42 (8): 1599 – 1620.

[3] Leach Lawrence P. 2000. *Critical Chain Project Management*. Boston. Artech House.

[4] Newbold Robert C. 1998. *Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints*. New York. St. Lucie Press.

[5] Połoński Mieczysław. 2015. „Próba wyznaczenia wielkości buforów czasu przy deterministycznej ocenie czasu zadań”. *Wybrane problemy budownictwa*. Bydgoszcz. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy: 143 – 150.

[6] Połoński Mieczysław. 2008. Obliczanie terminu realizacji przedsięwzięć budowlanych metodą CCPM na podstawie multiplikatywnego modelu czasu trwania czynności. *Problemy naukowo-badawcze budownictwa: praca zbiorowa. T. 5. Zagadnienia materiałowo-technologiczne infrastruktury i budownictwa*. Białystok. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej: 531 – 538.

[7] Połoński Mieczysław, Kamil Pruszyński. 2008. 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*. Wrocław: 289 – 297.

[8] Połoński Mieczysław, Kamil Pruszyński. 2008. „Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych (cz. II) – podstawy teoretyczne”. *Przegląd Budowlany* (3): 55 – 62.

[9] Rand Graham K. 2000. „Critical chain: the theory of constraints applied to project management”. *International Journal of Project Management* 18 (3): 173 – 177. DOI: 10.1016/S0263-7863 (99) 00019-8.

[10] Skorupka Dariusz. 2007. *Metoda identyfikacji i oceny ryzyka realizacji przedsięwzięć budowlanych*. Warszawa. Wojskowa Akademia Techniczna.

[11] Steyn Herman. 2000. „An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling”. *International Journal of Project Management* (19): 363 – 369. DOI: 10.1016/S0263-7863 (00) 00026-0.

[12] Woolf Murray B. 2007. *Faster Construction Projects With CPM Scheduling*. New York. McGraw-hill Professional Publishing.

Przyjęto do druku: 13.06.2017

Tabela 3. Warianty obliczeń buforów czasu metodą MP-KP
 Table 3. Example of calculation time buffer with MP-KP buffer sizing method

Metoda i wariant obliczeniowy	Typ rozkładu czasu		Kwantyl zadania		Prawdopodobieństwo		Długość bufora (BP)	Długość łańcucha krytycznego [dni]	Termin zakończenia T_p [dni]	BP [%]
	zadania	terminu zakończenia	$t_{0,5}$	$t_{0,9}$	zadania po skróceniu	terminu zakończenia łańcucha krytycznego				
MP-KP1a	Norm.	Norm.	t_a	t_b	0,60	0,95	18,77	165,44	184,21	10,2
MP-KP1b	Norm.	Norm.	t_a	t_b	0,60	0,97	23,39	165,44	188,83	12,4
MP-KP1c	Norm.	t-Stud.	t_a	t_b	0,60	0,97	30,45	165,43	195,88	15,5
MP-KP1d	Norm.	t-Stud.	t_a	t_b	0,60	0,92	17,34	165,44	182,78	9,5
MP-KP2a	Norm.	Norm.	$(t_b/2)/0,9$	t_b	0,60	0,95	27,93	141,55	169,48	16,5
MP-KP2b	Norm.	Norm.	$(t_b/2)/0,9$	t_b	0,60	0,97	34,71	141,55	176,26	19,7
MP-KP2c	Norm.	t-Stud.	$(t_b/2)/0,9$	t_b	0,60	0,97	45,06	141,55	186,61	24,1
MP-KP2d	Norm.	t-Stud.	$(t_b/2)/0,9$	t_b	0,60	0,92	25,83	141,55	167,38	15,4
MP-KP3a	Norm.	Norm.	t_c	t_b	0,60	0,95	9,21	193,25	202,46	4,5
MP-KP3b	Norm.	Norm.	t_c	t_b	0,60	0,97	11,48	193,24	204,72	5,6
MP-KP3c	Norm.	t-Stud.	t_c	t_b	0,60	0,97	14,94	193,25	208,19	7,2
MP-KP3d	Norm.	t-Stud.	t_c	t_b	0,65	0,97	11,50	196,69	208,19	5,5
MP-KP4a	PERT	Norm.	$\delta_i = (t_b - t_a)/6$		0,60	0,95	4,01	189,53	193,54	2,1
MP-KP4b	PERT	Norm.	$\delta_i = (t_b - t_a)/6$		0,60	0,97	5,00	189,53	194,53	2,6
MP-KP4c	PERT	t-Stud.	$\delta_i = (t_b - t_a)/6$		0,60	0,97	6,50	189,53	196,03	3,3
MP-KP4d	PERT	t-Stud.	$\delta_i = (t_b - t_a)/6$		0,55	0,97	7,95	188,08	196,03	4,1
MP-KP5a	LogNor	Norm.	t_a	t_b	0,60	0,95	16,88	163,50	180,38	9,4
MP-KP5b	LogNor	Norm.	t_a	t_b	0,60	0,97	20,95	163,50	184,45	11,4
MP-KP5c	LogNor	t-Stud.	t_a	t_b	0,60	0,97	27,17	163,50	190,67	14,2
MP-KP5d	LogNor	t-Stud.	t_a	t_b	0,65	0,97	20,85	169,82	190,67	10,9
MP-KP6a	LogNor	Norm.	$(t_b/2)/0,9$	t_b	0,60	0,95	25,65	137,27	162,92	15,7
MP-KP6b	LogNor	Norm.	$(t_b/2)/0,9$	t_b	0,60	0,97	31,49	137,27	168,76	18,7
MP-KP6c	LogNor	t-Stud.	$(t_b/2)/0,9$	t_b	0,60	0,97	40,39	137,27	177,66	22,7
MP-KP6d	LogNor	t-Stud.	$(t_b/2)/0,9$	t_b	0,60	0,92	23,84	137,27	161,11	14,8
MP-KP7a	LogNor	Norm.	t_c	t_b	0,60	0,95	8,56	192,81	201,37	4,3
MP-KP7b	LogNor	Norm.	t_c	t_b	0,60	0,97	10,67	192,81	203,48	5,2
MP-KP7c	LogNor	t-Stud.	t_c	t_b	0,60	0,97	13,90	192,81	206,71	6,7
MP-KP7d	LogNor	t-Stud.	t_c	t_b	0,50	0,97	20,05	186,66	206,71	9,7