

Dane bibliograficzne o artykule: http://mieczyslaw_polonski.users.sggw.pl/mppublikacje

Mieczysław POŁOŃSKI¹

OBLICZANIE TERMINU REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘĆ BUDOWLANYCH METODĄ CCPM NA PODSTAWIE MULTIPLIKATYWNEGO MODELU CZASU TRWANIA CZYNNOŚCI

1. Wstęp

Od kilku lat metoda CCPM znajduje coraz szersze zastosowanie w planowaniu przedsięwzięć [2,3,6]. Ze względu na specyfikę i złożoność harmonogramów sieciowych stosowanych w planowaniu obiektów budowlanych możliwość praktycznego stosowania metody CCPM wymaga jednak rozwiązania szeregu problemów takich jak np. konieczność uwzględniania nietypowych relacji między zadaniami, uwzględniania w obliczeniach kilku czynności początkowych i/lub końcowych czy terminów dyrektywnych. Konieczność rozważenia tych elementów przy opracowywaniu metodyki wykonywania obliczeń terminu i prawdopodobieństwa zakończenia przedsięwzięcia w metodzie CCPM wynika głównie z ich bezpośredniego wpływu na przebieg ścieżki krytycznej a tym samym lokalizację buforów czasu i ich wielkość.

Problem sposobu wyznaczania wielkości buforów (niezależnie od ich rodzajów i lokalizacji) ma zasadnicze znaczenie dla ostatecznych wyników obliczeń terminu zakończenia danego przedsięwzięcia i jego prawdopodobieństwa dotrzymania. Twórca metody stosowania buforów w sieciach zależności E. Goldratt nie sprecyzował dokładnie metodyki wyznaczania ich wielkości [2]. W literaturze można spotkać różne, mniej lub bardziej uzasadnione teoretycznie propozycje [4,7]. W niniejszym artykule wskazano na metodę obliczania wielkości buforów opartą na założeniu, że czas trwania czynności pojedynczego zadania podlega rozkładowi logarytmiczno-normalnemu. Wyprowadzono wzory umożliwiające wykonanie takich obliczeń oraz zamieszczono przykład obliczeniowy wyznaczenia terminu realizacji robót konkretnego obiektu budowlanego.

2. Podstawy teoretyczne

Jednym z podstawowych parametrów wpływających na ostateczny wynik obliczeń jest typ rozkładu czasu wykonania pojedynczego zadania. Pomimo, że ma on tak zasadnicze znaczenie dla wyników dalszych obliczeń, jest on trudny do jednoznacznego określenia. W literaturze i praktyce inżynierskiej zakłada się najczęściej rozkład: beta, beta-PERT, normalny, trójkątny, rzadziej logarytmiczno-normalny, równomierny czy wykładniczy.

¹Dr hab. inż., prof. nadzw. SGGW, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska,

Przyjmowane typy rozkładów wynikają bądź z założeń szeroko znanej metody PERT (rozkłady beta, beta-PERT), bądź próby wykonania obliczeń na prostych i dobrze znanych rozkładach (rozkład trójkątny czy normalny). Zdaniem autora, warto przy wykonywaniu tych obliczeń rozważyć rozkład logarymiczno-normalny (zwany też lognormalnym). Genezą tego typu rozkładu jest przyjęcie założenia, że kształt rozkładu i jego charakterystyczne parametry podlegają mechanizmowi multiplikatywnemu, a więc wynikają z iloczynu licznych czynników losowych wpływające na rozpatrywaną zmienną losową. W wyniku tego założenia uzyskuje się rozkład niesymetryczny, prawoskośny, w którym zmienna losowa ma rozkład lognormalny, podczas gdy jej logarytm podlega rozkładowi normalnemu. Podana charakterystyka rozkładu dobrze pasuje do rozkładu czasu pojedynczego zadania, na którą wpływa liczna grupa czynników losowych a wspomniana prawoskośność rozkładu dobrze pasuje do przewidywanego rozkładu czasu trwania pojedynczej czynności, gdyż praktyka wskazuje, że znacznie częściej mamy do czynienia z jej opóźnieniem niż przyśpieszeniem.

Wykonanie obliczeń wielkości buforów wymaga znajomości dwóch parametrów każdego zadania: wartości średniej t_m oraz odchylenia standardowego δ_i . Wartość średnią czasu czynności w rozkładzie lognormalnym określa wzór [1] :

$$t_m = t_{0,5} \cdot \exp\left(\frac{\delta_{\ln t}^2}{2}\right) \quad (1)$$

gdzie t_m – wartość średnia czasu zadania, $t_{0,5}$ - kwantyl 0,5 czasu czynności, $\delta_{\ln t}^2$ - kwadrat odchylenia standardowego logarytmu czasu czynności.

W celu wyznaczenia parametru $\delta_{\ln t}^2$ zostanie zastosowany wzór na odchylenie standardowe w rozkładzie normalnym δ_i obliczane na podstawie znajomości dwóch kwantyli. W tym wypadku założono, że drugim znanym kwantylem jest kwantyl 0,9, jednak podobny wzór można wyprowadzić dla dowolnego innego kwantyla.

$$\delta_i = \frac{t_{0,9} - t_{0,5}}{U_{0,9}} \quad (2)$$

gdzie $t_{0,9}$ - kwantyl 0,9 czasu czynności, $t_{0,5}$ - kwantyl 0,5 czasu czynności, $U_{0,9}$ - wartość dystrybuanty standardowego rozkładu normalnego $N(0,1)$ dla prawdopodobieństwa 0,9.

Na podstawie wzoru (2) i założeń rozkładu lognormalnego można zauważyć, że

$$\delta_{\ln t} = \frac{\ln(t_{0,9}) - \ln(t_{0,5})}{U_{0,9}} \quad (3)$$

a poszukiwana wartość średnia t_m

$$t_m = t_{0,5} \cdot \exp\left(\frac{\ln^2\left(\frac{t_{0,9}}{t_{0,5}}\right)}{2 \cdot U_{0,9}^2}\right) \quad (4)$$

gdzie t_m – wartość średnia czasu zadania o rozkładzie lognormalnym, a pozostałe użyte symbole opisano we wzorach (1) i (2).

Wyznaczenie wielkości buforów czasu wymaga również znajomości odchylenia standardowego zmiennej losowej podlegającej rozkładowi lognormalnemu. Można je wyznaczyć z następującego wzoru [1]:

$$\delta_t^2 = t_{0,5}^2 \cdot \exp(2 \cdot \delta_{\ln t}^2) - t_{0,5}^2 \cdot \exp(\delta_{\ln t}^2) \quad (5)$$

co po przekształceniach prowadzi do wzoru

$$\delta_t^2 = t_{0,5}^2 \cdot (\exp(\delta_{\ln t}^2)) \cdot (\exp(\delta_{\ln t}^2) - 1) \quad (6)$$

gdzie δ_t^2 - kwadrat odchylenia standardowego czasu trwania czynności o rozkładzie lognormalnym a pozostałe użyte symbole opisano we wzorach (1) i (2).

Rozważając rozkład terminu zakończenia dowolnego ciągu czynności następujących kolejno po sobie (np. ścieżki krytycznej lub jej fragmentu) odwołujemy się do twierdzenia centralnego (granicznego), 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 [1]. Wiadomo również, że przy małej liczbie zmiennych rozkład sumy tych zmiennych bliższy będzie rozkładowi t-Studenta niż rozkładowi normalnemu. Ponieważ przy wyznaczaniu wartości buforów często mamy do czynienia z sytuacją, gdy ciąg czynności, na podstawie którego wyznaczamy wartość bufora nie jest zbyt liczny, warto zbadać jaki wpływ na końcowy wynik obliczeń ma przyjęcie jednego z tych dwóch typów rozkładów.

Wiedząc, że termin zakończenia ciągu czynności podlega rozkładowi normalnemu $N(m_T, \delta_T)$ o parametrach

$$m_T = \sum_{i=1}^k t_{mi}, \quad \delta_T = \sqrt{\sum_{i=1}^k \delta_{ti}^2} \quad (7)$$

gdzie k - liczba czynności w rozpatrywanym ciągu.

można wyznaczyć termin zakończenia tego ciągu na określonym poziomie prawdopodobieństwa. I tak np. zakładając poziom prawdopodobieństwa równy 0,9 termin zakończenia ciągu czynności z tym prawdopodobieństwem wynosi:

$$T_{0,9} = \sum_{i=1}^k t_{mi} + U_{0,9} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^k \delta_{ti}^2} \quad (8)$$

gdzie $T_{0,9}$ - termin zakończenia ciągu k czynności z prawdopodobieństwem 0,9, t_{mi} - średni czasy trwania i -tej czynności, δ_{ii}^2 - kwadrat odchylenia standardowego czasu i -tej czynności, $U_{0,9}$ - wartość dystrybuanty standardowego rozkładu normalnego $N(0,1)$ dla prawdopodobieństwa 0,9, k - liczba rozpatrywanych czynności w ciągu.

Przy małej liczbie czynności w ciągu (k) wartość zmiennej standaryzowanej $U_{0,9}$ powinna raczej być odczytana z rozkładu t-Studenta (dla $k-1$ liczby stopni swobody), gdyż rozkład ten lepiej opisuje rozkład badanego parametru, w tym wypadku łącznego czasu trwania ciągu rozpatrywanych czynności.

Metoda CCPM zakłada skracanie czynności. Chcąc obliczyć czasy trwania poszczególnych zadań z określonym prawdopodobieństwem wystąpienia (określone kwantyle) należy wyprowadzić właściwy wzór. W przypadku rozkładu normalnego kwantyl czasu czynności o prawdopodobieństwie p można obliczyć ze wzoru

$$t_p = t_{0,5} + \delta_t \cdot U_p \quad (9)$$

gdzie t_p - kwantyl p czasu trwania zadania, δ_t - odchylenie standardowe czasu trwania czynności, U_p - wartość dystrybuanty standardowego rozkładu normalnego $N(0,1)$ dla prawdopodobieństwa p .

Pamiętając, że w rozkładzie lognormalnym rozkładowi normalnemu podlegają logarytmy zmiennej losowej, zakładając, że do obliczenia odchylenia standardowego δ_t zastosowano kwantyle czasu czynności 0,5 i 0,9, wykorzystując wzór (2), oraz korzystając z definicji logarytmu można obliczyć:

$$t_p = \exp(U_p \cdot \delta_t + t_{0,5}) = \exp \left[U_p \cdot \frac{1}{U_{0,9}} \cdot \ln \left(\frac{t_{0,9}}{t_{0,5}} \right) + \ln(t_{0,5}) \right] \quad (10)$$

Zakładając $A = \frac{U_p}{U_{0,9}}$ oraz przekształcając powyższy wzór otrzymujemy

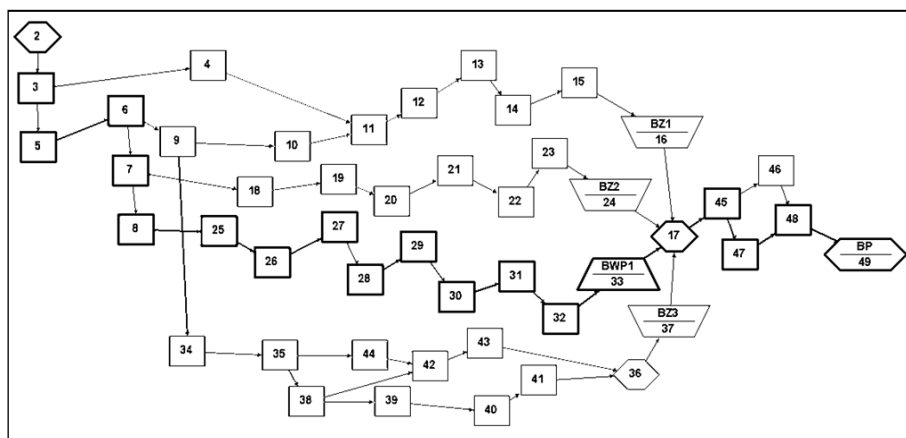
$$t_p = \exp(A \cdot \langle \ln(t_{0,9}) - \ln(t_{0,5}) \rangle + \ln(t_{0,5})) \quad (11)$$

gdzie t_p - kwantyl p czasu trwania zadania o rozkładzie lognormalnym, U_p - wartość dystrybuanty standardowego rozkładu normalnego $N(0,1)$ dla prawdopodobieństwa p .

3. Przykład obliczeniowy

Poniżej zamieszczone zostały wyniki obliczeń wykonane na podstawie przykładowego harmonogramu sieciowego obiektu budowlanego. Inwestycją dla jakiej został sporządzony harmonogram w prezentowanym przykładzie jest rozbudowa i modernizacja gminnej oczyszczalnia ścieków w Baranowie [8]. Harmonogram pierwotny liczył 66 zadań. Z uwagi jednak na możliwość prezentacji danych objętych obliczeniami dokonano jego agregacji i skrócenia tylko do pewnego fragmentu sieci, który jednak został tak dobrany, by reprezentował najbardziej złożony technologicznie i organizacyjnie fragment robót.

Ograniczono się w ten sposób do 41 czynności i trzech punktów kontrolnych (bez buforów) (rys. 1). W strukturze sieci wstawiono 5 buforów: 3 bufory zasilające (BZ1, BZ2, BZ3), jeden bufor wspomagający na ścieżce krytycznej (BWP1) oraz bufor projektu (BP) na końcu ścieżki krytycznej [5]. Liczba i rodzaje buforów zostały dobrane na podstawie struktury analizowanej sieci zależności. Na rysunku grubymi ramkami zostały zaznaczone zadania leżące na ścieżce krytycznej. Sieć zależności została opracowana w programie MS Project. W tabeli (1) zamieszczono zestawienie zadań z powyższej sieci wraz z podstawowymi danymi potrzebnymi do dalszej analizy. Termin zakończenia całego przedsięwzięcia przy czasach $t_{0,9}$ wyniósł 229 dni a $t_{0,5}$ 136 dni.



Rys. 1. Wybrany fragment sieci z zaznaczoną ścieżką krytyczną i lokalizacją buforów

Założono, że przyjęte wstępnie czasy trwania czynności ($t_{0,9}$) zostały określone przez wykonawcę z prawdopodobieństwem 0,9 i podlegają rozkładowi lognormalnemu. Następnie oszacowano czasy trwania zadań $t_{0,5}$, których prawdopodobieństwo określono na 0,5 (tab. 1). Dysponując dwoma kwantylami czasu trwania każdej czynności na podstawie wzoru (4) obliczono wartości średnie czasu wszystkich zadań a na podstawie wzoru (6) wyznaczono kwadraty odchylenia standardowego tego czasu. Z kolei znając kwantyle $t_{0,5}$ i $t_{0,9}$ czasu czynności na podstawie wzoru (11) policzono dowolne inne kwantyle. W dalszych rozważaniach brano pod uwagę kwantyle o prawdopodobieństwie: 0,55; 0,60; 0,65; 0,70 i 0,80.

Kolejnym etapem obliczeń było wyznaczenie terminów ukończenia całego przedsięwzięcia oraz wyznaczonych ciągów chronionych poszczególnymi buforami z założonym prawdopodobieństwem. W przykładzie przyjęto prawdopodobieństwo dotrzymania wyznaczonych terminów na poziomie 0,9. Za rozkład końcowy ciągu czynności przyjmowano rozkład normalny $N(m_T, \delta_T)$ o parametrach wyznaczonych na podstawie wzoru (7) lub t-Studenta o liczbie stopni swobody $k-1$, gdzie k jest liczbą czynności o czasie trwania większym od zera w analizowanym ciągu. W tabeli 2 zestawiono ciągi czynności chronione poszczególnymi buforami, a w tabeli 3 przykładowe wyniki obliczeń dla bufora BZ1.

Wszystkie obliczenia wykonano w arkuszu kalkulacyjnym Excel. Zbudowano szablon, w którym wystarczyło wstawić czasy $t_{0,5}$ i $t_{0,9}$ czynności na podstawie których, liczono wielkość danego bufora a wszystkie poszukiwane wartości obliczane były automatycznie. Czas bufora obliczono jako różnicę między terminem zakończenia całego ciągu z prawdopodobieństwem 0,9, a sumą czasów czynności przyjętych dla danego kwantyla.

Tabela 1. Zestawienie czynności wybranego fragmentu sieci zależności

ID	t _{0,9}	t _{0,5}	Poprzedniki	ID	t _{0,9}	t _{0,5}	Poprzedniki	ID	t _{0,9}	t _{0,5}	Poprzedniki
Całość	229	136		17	0	0	16;37;33;24	33	0	0	32
2	0	0		18	5	3	7	34	10	6	9
3	10	6	2	19	45	24	18	35	4	2	34
4	50	26	3	20	10	6	19	36	0	0	43;41
5	20	11	3	21	10	6	20	37	0	0	36
6	28	15	5	22	2	1	21	38	3	2	35
7	28	15	6	23	1	1	22	39	3	2	38
8	20	11	7	24	0	0	23	40	3	2	39
9	5	3	6	25	10	6	8	41	2	1	40
10	45	24	9	26	5	3	25	42	3	2	44;38
11	10	6	10;4	27	20	11	26	43	2	1	42
12	10	6	11	28	20	11	27	44	2	1	35
13	2	1	12	29	4	2	28	45	7	4	17
14	1	1	13	30	7	4	29	46	10	6	45
15	10	6	14	31	5	3	30	47	15	8	45
16	0	0	15	32	20	11	31	48	10	6	46;47
								49	0	0	48

Tabela 2. Zestawienie buforów i ciągów czynności chronionych tymi buforami

Lp	Bufor	Chroniony ciąg czynności ID	Liczba czynności ciągu	Liczba czyn. ciągu t > 0
1	BZ1	9;10;11;12;13;14;15	7	7
2	BZ2	18;19;20;21;22;23	6	6
3	BZ3	34;35;38;39;40;41;36	7	6
4	BWP1	2;3;5;6;7;8;25;26;27;28;29;30;31;32	14	13
5	BP	17;45;47;48	4	3

Tabela 3. Przykład obliczeń wielkości bufora BZ1 dla rozkładu czasu chronionego ciągu normalnego i t-Studenta oraz różnych kwantyli czasu czynności tego ciągu

ID czyn.	t _{0,5}	t _{0,9}	t _m	δ _t ²	t _{0,55}	t _{0,60}	t _{0,65}	t _{0,70}	t _{0,80}
9	3	5	3,248	1,817	3,2	3,3	3,5	3,7	4,2
10	24	45	27,068	199,293	25,5	27,2	29,0	31,0	36,3
11	6	10	6,496	7,267	6,3	6,6	7,0	7,4	8,4
12	6	10	6,496	7,267	6,3	6,6	7,0	7,4	8,4
13	1	2	1,158	0,455	1,1	1,1	1,2	1,3	1,6
14	1	1	1,000	0,000	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	6	10	6,496	7,267	6,3	6,6	7,0	7,4	8,4
Suma	47	83	51,962	223,365	49,7	52,6	55,7	59,2	68,2
Czas bufora przy czasach czyn.									
Typ rozkładu: normalny			t _{0,50}	t _m	t _{0,55}	t _{0,60}	t _{0,65}	t _{0,70}	t _{0,80}
Typ rozkładu: t-Studenta			24,1	19,2	21,4	18,6	15,4	11,9	2,9
			34,0	29,0	31,3	28,4	25,3	21,8	12,8
Termin zakończenia ciągu z prawdopodobieństwem 0,9 dla roz. Normalnego									71,1
Termin zakończenia ciągu z prawdopodobieństwem 0,9 dla roz. t-Studenta									81,0

Po przeprowadzeniu podobnych obliczeń dla wszystkich buforów wykonano obliczenia sieci zależności w programie MS Project. W każdym analizowanym wariantcie wstawiano po zaokrągleniu do całych dni czasu wszystkich czynności dla badanego kwantyla oraz czasu buforów odpowiadające danemu kwantylowi i założonemu typowi rozkładu końcowego czasu: normalnemu lub t-Studenta. Ostateczne wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Terminy zakończenia całego przedsięwzięcia, prawdopodobieństwa ich dotrzymania oraz procentowe skrócenie dla różnych czasów czynności i dwóch typów rozkładu czasu trwania badanego ciągu: normalnego i t-Studenta

Lp	Kwantyl czasu czynności	Czasy buforów					Rozkład terminu końcowe. ciągu	Ter. zak całego przed.	% skrócenie całego przed.	Prawdop. terminu końcowego wg rozkładu	
		BZ1	BZ2	BWP1	BZ3	BP'				norm.	t-St.
		1	t_m	0	0	0				0	0
2	t_m	19	19	24	4	7	Norm	168	27	0,912	0,803
3	t_m	29	30	34	7	17	T-St	188	18	0,991	0,968
4	$t_{0,5}$	0	0	0	0	0		127	45	0,237	0,000
5	$t_{0,5}$	24	23	37	6	9	Norm	173	24	0,946	0,870
6	$t_{0,5}$	34	34	46	8	19	T-St	192	16	0,995	0,978
7	$t_{0,55}$	0	0	0	0	0		134	41	0,358	0,000
8	$t_{0,55}$	21	21	30	5	8	Norm	172	25	0,940	0,859
9	$t_{0,55}$	31	32	40	7	18	T-St	192	16	0,995	0,978
10	$t_{0,60}$	0	0	0	0	0		140	39	0,475	0,000
11	$t_{0,60}$	19	18	23	4	7	Norm	170	26	0,927	0,833
12	$t_{0,60}$	28	29	33	6	17	T-St	190	17	0,993	0,974
13	$t_{0,65}$	0	0	0	0	0		150	34	0,671	0,336
14	$t_{0,65}$	15	16	15	3	6	Norm	171	25	0,933	0,846
15	$t_{0,65}$	25	26	25	6	15	T-St	190	17	0,993	0,974
16	$t_{0,70}$	0	0	0	0	0		157	31	0,787	0,562
17	$t_{0,70}$	12	12	7	2	5	Norm	169	26	0,919	0,818
18	$t_{0,70}$	22	23	16	5	14	T-St	187	18	0,990	0,964

Podsumowanie i wnioski

Łącznie wykonano 18 wariantów obliczeń analizowanej sieci zależności. We wszystkich badanych wariantach ścieżka krytyczna nie zmieniła swego położenia. Kolejne warianty obliczono dla t_m i kwantyli czasu zadań: 0,50; 0,55, 0,60, 0,65 i 0,70 w tym samym schemacie: z buforami równymi 0 (dla porównania), oraz buforami wyznaczonymi dla rozkładu końcowego normalnego i t-Studenta. Analizując wyniki podane w tabeli (4) należy zauważyć, że czasy trwania zadań i buforów były zaokrąglane do całych dni, co w niewielkim stopniu wpłynęło na uzyskane dane. Przeprowadzone obliczenia pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- do wyznaczenia parametrów opisujących przebieg rozkładu lognormalnego czasu trwania zadania wystarczy znajomość dwóch kwantyli tego czasu,
- istotny wpływ na końcowy termin zakończenia ciągu (szczególnie przy małej liczbie czynności ciągu) ma zakładany typ rozkładu czasu całego ciągu (normalny lub t-Studenta),
- terminy zakończenia przedsięwzięcia wyznaczone dla tego samego poziomu prawdopodobieństwa na podstawie rozkładu t-Studenta są w każdym przypadku dłuższe niż dla rozkładu normalnego,
- zastosowanie proponowanego modelu wyznaczania czasów zadań i buforów pozwala na skrócenie czasu całego analizowanego przedsięwzięcia dla rozkładu normalnego o około 25%, a dla rozkładu t-Studenta o około 17%,
- przyjęty sposób wyznaczania wielkości buforów w zależności od założonego kwantyla czasu trwania czynności pozwala przyjąć mniej lub bardziej agresywny wariant

harmonogramu przez rozłożenie proporcji pomiędzy sumą czasów czynności a wielkością buforów,

- multiplikatywny charakter rozkładu lognormalnego i jego prawoskośna charakterystyka dobrze odwzorowuje rozkład czasu trwania pojedynczego zadania.

Literatura

- [1] Benjamin J. R., Cornell C. A., Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów, WNT, Warszawa, 1977.
- [2] Goldratt E., Łańcuch krytyczny, Wyd. WERBEL, Warszawa, 2000.
- [3] Hajducki Z., Rogalska., Shortening the realisation time of building projects with application of theory of constraints and critical chain scheduling, *Journal of Civil Engineering and Management*, 2004, Vol. X, Suppl. 2, s. 99-105.
- [4] Milian Z., Metoda określania rozkładu czasu realizacji przedsięwzięć budowlanych w acyklicznych sieciach stochastycznych, Politechnika Krakowska, 2006.
- [5] Połński M., Pruszyński K., Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych (cz. I) - podstawy teoretyczne. *Przegląd budowlany*, 2008, No. 2, s. 45-49.
- [6] Raz T., Barnes R., Dvir D., A critical look at Critical Chain Project Management, *Project Management Journal*, 2003, Vol. 34, No. 4, s. 24-32.
- [7] Stępień P., Ścieżka projektu - suma zadań, www.skutecznyprojekt.pl
- [8] Szulc M., Harmonogram sieciowy rozbudowy i modernizacji oczyszczalni ścieków w Baranowie, maszynopis, SGGW, 2008.

ESTIMATING COMPLETION DATE OF BUILDING PROJECTS SCHEDULES BASED ON CCPM METHOD AND MULTIPLICATIVE FUNCTION OF TIME DURATION OF TASK

This paper is devoted to buffer estimating in Critical Chain Project Management (CCPM) of building project. A great deal of attention was focused on the probability distribution of the task duration. It is assumed that probability density function of random variables which represent durations of the task is lognormal. In the paper are proposed formulas and fundamentals elements to analysis time durations of tasks which are connected with various types of buffers. In the second part of the article theoretical divagations were supported by calculated example based on a real building schedule.