

Dane bibliograficzne o artykule:

http://mieczyslaw_polonski.users.sggw.pl/mppublikacje

Mieczysław POŁOŃSKI¹

PROBLEM Z IDENTYFIKACJĄ ŁAŃCUCHA KRYTYCZNEGO I LOKALIZACJĄ BUFORÓW ZASILAJĄCYCH W HARMONOGRAMIE SIECIOWYM Z OGRANICZONĄ DOSTĘPNOŚCIĄ ZASOBU

1. Wstęp

Od początku lat sześćdziesiątych jednym z podstawowych narzędzi używanych do planowania realizacji przedsięwzięć budowlanych są harmonogramy sieciowe. Zastąpiły one tradycyjne harmonogramy liniowe Gantta, gdyż posiadają szereg zalet w stosunku do rozwiązań tradycyjnych, między innymi pozwalają jednoznacznie określać zależności między zadaniami, wprowadzać element niepewności w szacowaniu czasu czynności, obliczać prawdopodobieństwo dotrzymania założonych terminów, dokonywać łatwej aktualizacji harmonogramu czy prowadzić bieżącą kontrolę realizacji przedsięwzięcia na podstawie sporządzonego harmonogramu. Jednak jedną z najważniejszych cech tych harmonogramów jest możliwość łatwego wyznaczenia ciągu czynności, który bezpośrednio wyznacza termin zakończenia planowanego przedsięwzięcia, czyli ścieżki krytycznej. Znajomość ścieżki krytycznej (oraz zapasów czasu dla pozostałych zadań) pozwala menagerowi projektu skupić się na terminowym wykonaniu leżących na niej czynności i dotrzymaniu zaplanowanego terminu.

Od kilku lat coraz szersze zastosowanie w planowaniu przedsięwzięć budowlanych znajduje metoda Critical Chain Scheduling and Buffer Management (CC/BM) [2,3,8,9]. Bazuje ona na tradycyjnych harmonogramach sieciowych, jednak wprowadza kilka dodatkowych elementów, zaproponowanych przez E. Goldratta i znanych jako tzw. Theory of Constraints (TOC) [1]. Najważniejszymi z nich jest radykalne skrócenie czasu planowanych czynności oraz wprowadzenie tzw. buforów czasu (buforów zasilających i buforu projektu), stanowiących rezerwę czasu zabezpieczającą dotrzymanie wyznaczonego terminu. Twórca tej idei, E. Goldratt wprowadził również pojęcie tzw. łańcucha krytycznego. Łańcuch krytyczny rozumiany jest, jako ciąg zależnych od siebie zadań, których wykonanie determinuje czas realizacji całego przedsięwzięcia. Łatwo zauważyć, że pojęcie łańcucha krytycznego jest zbliżone do pojęcia ścieżki krytycznej. Jednak przy jednym, bardzo ważnym założeniu: że realizacja wszystkich zadań nie wymaga dostępności żadnych zasobów lub dostępność tych zasobów jest nieograniczona. Jeżeli analizę tworzonego harmonogramu sieciowego rozszerzy się o analizę zasobów, próba zastosowania metody CC/BM nabiera zupełnie nowego wymiaru, a jednym z podstawowych problemów, jaki napotkamy jest umiejętność identyfikacji łańcucha krytycznego, sposób jego interpretacji

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

oraz lokalizacja buforów zasilających. W niniejszym artykule podjęto ten problem oraz pokazano sposób jego rozwiązania na przykładzie konkretnego obiektu budowlanego.

2. Podstawy teoretyczne

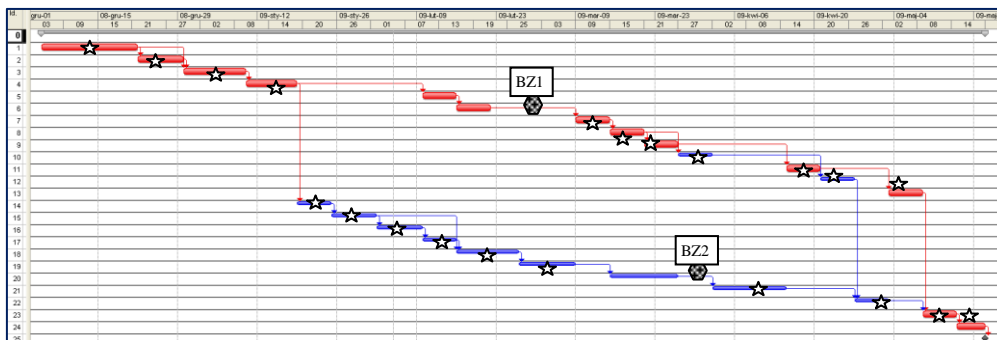
Sposób definiowania ścieżki krytycznej (a tym samym ciągu krytycznego) bez wprowadzania do analizy dostępności i zapotrzebowania na zasoby nie budzi większych wątpliwości. Terminy wykonania poszczególnych zadań wynikają z sekwencji zadań określonej strukturą sieci zależności, typów relacji i ewentualnych opóźnień między zadaniami, czasów trwania czynności, zastosowanego kalendarza. Znając planowane terminy wykonania zadań wystarczy wyznaczyć ich całkowite zapasy czasu i zaznaczyć te, dla których zapas ten jest równy zero, a uzyskamy nieprzerwany ciąg czynności od zadania początkowego do końcowego, który determinuje termin zakończenia przedsięwzięcia. Suma czasów trwania tych czynności wyznacza łączny czas realizacji przedsięwzięcia (najczęściej określany w dniach roboczych). W zależności od budowy sieci zależności i czasów trwania zadań poprawnie określona ścieżka krytyczna może się jednak rozwidlać, bieć dwoma równoległymi ciągami itp. Dodatkowo na przebieg ścieżki krytycznej może rzutować definiowanie terminów dyrektywnych, przyjęcie kilku czynności początkowych i/lub końcowych czy wymuszanie najpóźniejszego wykonania czynności. Również interpretacja wartości całkowitego zapasu czasu jest jasna: opóźnienie zadania o zerowym zapasie tego czasu powoduje opóźnienie następników tej czynności leżących na ścieżce krytycznej i wydłużenie realizacji całego przedsięwzięcia. W tej sytuacji również problem przebiegu ciągu krytycznego i lokalizacji buforów czasu nie nastręcza większych kłopotów, który utrudnić może głównie rozwidlenie ścieżki krytycznej. Ponieważ przyjęte przez Goldratta założenia wykluczają rozwidlenia ciągu krytycznego, w takim wypadku zaleca się wybranie jednego z nich (dowolnego) i wstawienie bufora zasilającego na pozostałych [1,2,3].

Zupełnie inaczej ma się problem położenia ścieżki krytycznej i łańcucha krytycznego, jeśli harmonogram jest rozpatrywany z uwzględnieniem ograniczonych zasobów. Planując terminy realizacji poszczególnych zadań oprócz wcześniej występujących ograniczeń dochodzi ograniczenie ilości dostępnego zasobu, na który każda czynność zgłasza zapotrzebowanie. Zaplanowany termin wykonania czynności musi z jednej strony zapewnić przydział tych zasobów do zadania, z drugiej nie spowodować przekroczenia łącznego zapotrzebowania na dany zasób na wszystkich równocześnie wykonywanych czynnościach powyżej założonej dostępności tego zasobu w danym okresie czasu. Zasadnicze znaczenie ma wówczas dostępność analizowanych zasobów. W sytuacji dużej dostępności zapotrzebowanie na zasoby nie wprowadza do obliczeń terminów wykonania czynności ograniczeń i wówczas planowane terminy wykonania zadań i całego przedsięwzięcia nie przekraczają terminów najpóźniejszych wyznaczonych w analizie czasu. Niestety, z taką sytuacją w realnych warunkach budowy mamy do czynienia rzadko. Najczęściej zasoby są w ograniczonych ilościach i wówczas problem równoczesnego ich zbilansowania i dotrzymania założonego terminu (np. ustalonego w analizie czasu, jako możliwie najkrótszego przy przyjętych założonych) stanowi zagadnienie samo w sobie. Co prawda do dzisiaj nie jest znany algorytm optymalizujący to zadanie (biorąc pod uwagę realne wielkości sieci zależności i zapotrzebowania na kilka zasobów równocześnie), jednak każdy liczący się program do harmonogramowania posiada moduł do bilansowania zasobów. Każdy z tych programów stosuje własny algorytm oparty na zbiorach reguł heurystycznych, najczęściej niedokumentowanych przez producentów, przy czym samo kryterium optymalizacji może już budzić dyskusję [5]. Należy więc pamiętać, że rozwiązując to samo zagadnienie różnymi

programami możemy uzyskać różne wyniki (terminy wykonania poszczególnych zadań, datę zakończenia przedsięwzięcia, zapasy czasu) [2,4].

Bilansując zasoby przy znacznym ograniczeniu dostępności często stajemy przed dylematem [4]: czy zaplanować przedsięwzięcia w najkrótszym czasie, ale z możliwością przekroczenia zaplanowanych dostępności (tzw. analiza przy ograniczonym czasie), czy też wiedząc, że planowane dostępności nie mogą być zwiększone opóźnić realizację całego przedsięwzięcia (tzw. analiza przy ograniczonych zasobach). Analizę zasobów najczęściej rozpoczynamy od próby wykonania analizy przy ograniczonym czasie, gdyż ten rodzaj analizy zasobów musi utrzymać terminy planowanych czynności bez przekraczania terminów najpóźniejszych z analizy czasu. Ograniczona dostępność zasobów najczęściej prowadzi do opóźniania czynności niekrytycznych a czasami powoduje, że wszystkie czynności stają się krytyczne. Jeśli dojdzie do przekroczenia dostępności zasobu, metoda CC/BM zakłada ich wcześniejsze zbilansowanie a dopiero później wyznaczenie przebiegu łańcucha krytycznego [3,8]. Przyjęcie tego założenia jest w pełni zrozumiałe, gdyż w przeciwnym wypadku tworzymy plan, którego z założenia nie można zrealizować. Natomiast samo wykonanie takiej analizy jest pomocne w uzyskaniu informacji, które zasoby są przeciążone, o ile i w jakim terminie. Próbując zlikwidować przeciążenie zasobu użytkownik ma kilka możliwości: może podnieść dostępność, zastąpić użycie przeciążonego zasobu innym, mniej obciążonym, wydłużyć okres prowadzenia robót, wydłużyć czas pracy przeciążonego zasobu (np. z 8 do 10 godzin dziennie), zmienić relacje między zadaniami w sieci zależności, wydłużyć czas wykonania czynności niekrytycznych (tym samym zmniejszając ich dzienne zapotrzebowanie na przeciążony zasób). Podjęte działania muszą być oczywiście uzasadnione możliwościami technologiczno – organizacyjnymi wynikającymi z warunków realizacji konkretnego obiektu budowlanego. Ostatecznym wynikiem podjętych działań planistycznych musi być wykonanie analizy, która nie przeciąża założonych dostępności i wyznacza konkretne terminy wykonania wszystkich czynności a tym samym termin (datę) i okres (liczbę dni roboczych) realizacji robót.

Kolejnym krokiem po zbilansowaniu zasobów jest identyfikacja łańcucha krytycznego. Od czasu pojawienia się założeń metody CC/BM powstało szereg programów, które wspomagają to działanie (np. ProChain - www.prochain.com, PS8 Sciforma - www.sciforma.com, czy CCPM+ - www.advanced-projects.com; www.jsproject.pl). Jednak same wyznaczenie zadań, które mogą wchodzić w skład łańcucha krytycznego nie nastręcza większych trudności i można to zrobić poprzez analizę wykresu Gantta przyjętego wariantu harmonogramu.



Rys. 1. Identyfikacja łańcucha krytycznego na podstawie wykresu Gantta w programie MS Project

Na rysunku 1 pokazano przykładowy układ zadań (o numerach ID podanych z lewej strony wykresu) uzyskany po bilansowaniu zasobów, które spowodowało opóźnienie terminu uzyskanego po analizie czasu. Grubszymi paskami oznaczono czynności krytyczne, cieńszymi posiadające zapas całkowity większy od zera. Pierwsza rzecz, która zwraca uwagę na omawianym rysunku, to fakt, że ścieżka krytyczna nie jest ciągła, np. występują przerwy między czynnościami 4 i 5 czy 6 i 7. Powstałe przerwy wynikają z braku dostatecznej dostępności zasobów do równoczesnego realizowania większej liczby zadań, niż zostało to zaplanowane w analizie czasu. Brak ciągłości ścieżki krytycznej oznacza, że suma czasów czynności leżących na ścieżce krytycznej, będzie krótsza niż okres realizacji całego przedsięwzięcia a to wskazuje, że istnieje inny, dłuższy ciąg zadań, który wyznaczył datę zakończenia harmonogramu. Tym ciągiem jest właśnie łańcuch krytyczny i jak łatwo zauważyć, w tym przypadku jest to ciąg zadań oznaczonych gwiazdką o numerach (w kolejności ich realizacji): 1, 2, 3, 4, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 7, 8, 9, 10, 21, 11, 12, 22, 13, 23, 24. Należy podkreślić, że w łańcuchu krytycznym znalazły się zarówno czynności krytyczne jak i niekrytyczne. Można również zauważyć, że zamiast czynności 8 i 9 może wystąpić czynność 20. Skoro istnieją różne warianty przebiegu łańcucha krytycznego (a zgodnie z założeniami metody CC/BM łańcuch krytyczny nie może się rozwidlać), to należy zadać pytanie, czym należy się kierować wybierając jego konkretny przebieg. Autorzy metody CC/BM nie odpowiadają na to pytanie, a kryteriów może być kilka np.: wielkość zapasu całkowitego zadania, zachowanie ciągłości łańcucha krytycznego na wykresie sieci zależności (zaplanowanej sekwencji zadań), liczba niezbędnych buforów zasilających, przyjęte przed bilansowaniem priorytety zadań. Ponieważ brak jest jednoznacznych kryteriów wyboru, poszczególne programy mogą identyfikować łańcuch krytyczny wg różnych, bliżej niezdefiniowanych założeń [2], natomiast identyfikując je samemu użytkownik może przyjąć własne rozwiązanie. Ważne jest, aby łączny czas zadań tworzących łańcuch krytyczny był równy okresowi realizacji planowanego przedsięwzięcia.

Z chwilą wyznaczenia łańcucha krytycznego, w miejscach, gdzie dochodzi do niego inny ciąg, można określić lokalizację buforów zasilających [6,7,9]. Na rysunku 1 zlokalizowano dwa takie bufor: BZ1 i BZ2.

3. Przykład obliczeniowy

Poniżej zamieszczone zostały wyniki obliczeń wykonane na podstawie przykładowego harmonogramu sieciowego obiektu budowlanego. Inwestycją, dla której został sporządzony harmonogram w prezentowanym przykładzie jest wykonanie robót ziemnych na stacji metra A19 Marymont. Harmonogram pierwotny liczył 169 zadań. Z uwagi jednak na możliwość prezentacji danych objętych obliczeniami dokonano jego agregacji i skrócenia tylko do pewnego fragmentu sieci pozwalającego zilustrować omawiane zagadnienie. Ograniczono się w ten sposób do 25 czynności. Wszystkie obliczenia wykonano w programie MS Project 2007.

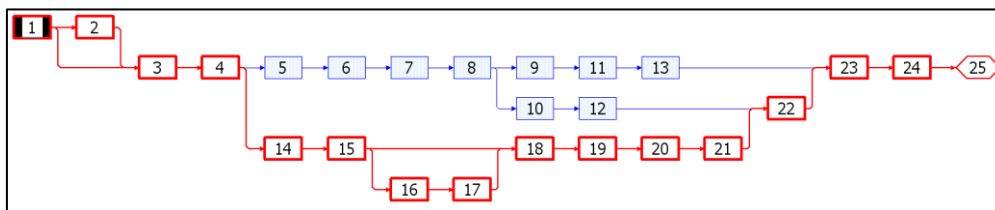
Na podstawie założonych czasów czynności $t_{0,9}$ (tabela 1) i przyjętej sieci zależności (rys. 2) obliczono okres realizacji przedsięwzięcia, jako 136 dni (w artykule wszystkie czasy zadań i przedsięwzięcia podawane są w dniach roboczych, aby uniknąć wpływu przyjętego kalendarza na obliczane daty) oraz wyznaczono przebieg ścieżki krytycznej (rys. 2) oznaczonej na rysunkach 2-6 grubszymi ramkami zadań. Kolejnym krokiem było przypisanie do zadań zapotrzebowania na jeden zasób (Robotnicy) oraz poszukanie dostępności, która zapewni realizację przedsięwzięcia w terminie ustalonym w analizie czasu, czyli w 136 dni. Obliczono, że minimalny poziom dostępności spełniający ten warunek to 10 robotników. Wykonana analiza wykazała również, że ścieżka krytyczna nie

zmieniła przebiegu a jeden z możliwych wariantów przebiegu łańcucha krytycznego pokrywa się ze ścieżką krytyczną.

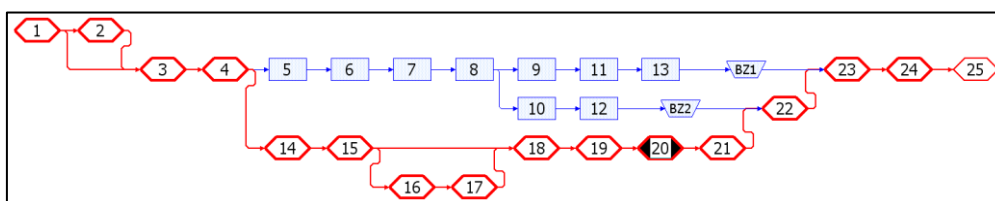
Tabela 1. Zestawienie danych czynności wybranego fragmentu sieci zależności

| ID | Przed skróceniem | | Po skróceniu | | ID | Przed skróceniem | | Po skróceniu | |
|----|------------------|--------------|--------------|---------------|----|------------------|--------------|--------------|---------------|
| | $t_{0,9}$ | Zasób | $t_{0,5}$ | Zasób | | $t_{0,9}$ | Zasób | $t_{0,5}$ | Zasób |
| 1 | 17 | Robotnicy[2] | 8 | Robotnicy[4] | 14 | 6 | Robotnicy[4] | 3 | Robotnicy[8] |
| 2 | 8 | Robotnicy[2] | 4 | Robotnicy[4] | 15 | 8 | Robotnicy[4] | 4 | Robotnicy[8] |
| 3 | 11 | Robotnicy[4] | 6 | Robotnicy[8] | 16 | 8 | Robotnicy[4] | 4 | Robotnicy[8] |
| 4 | 9 | Robotnicy[4] | 5 | Robotnicy[7] | 17 | 6 | Robotnicy[2] | 3 | Robotnicy[4] |
| 5 | 6 | Robotnicy[4] | 3 | Robotnicy[8] | 18 | 11 | Robotnicy[4] | 6 | Robotnicy[7] |
| 6 | 6 | Robotnicy[2] | 3 | Robotnicy[4] | 19 | 10 | Robotnicy[4] | 5 | Robotnicy[8] |
| 7 | 6 | Robotnicy[6] | 3 | Robotnicy[12] | 20 | 12 | Robotnicy[2] | 6 | Robotnicy[4] |
| 8 | 6 | Robotnicy[4] | 3 | Robotnicy[8] | 21 | 13 | Robotnicy[6] | 7 | Robotnicy[12] |
| 9 | 6 | Robotnicy[4] | 3 | Robotnicy[8] | 22 | 6 | Robotnicy[4] | 3 | Robotnicy[8] |
| 10 | 6 | Robotnicy[3] | 3 | Robotnicy[6] | 23 | 6 | Robotnicy[4] | 3 | Robotnicy[8] |
| 11 | 6 | Robotnicy[4] | 3 | Robotnicy[8] | 24 | 5 | Robotnicy[4] | 3 | Robotnicy[7] |
| 12 | 6 | Robotnicy[3] | 3 | Robotnicy[6] | 25 | 0 | | 0 | |
| 13 | 6 | Robotnicy[4] | 3 | Robotnicy[8] | | | | | |

W dalszej części obliczeń zgodnie z wytycznymi metody CC/BM skrócono czasy trwania czynności o około 50% (zaokrąglając do całych dni - $t_{0,5}$). Analiza czasu bez zapotrzebowania na zasób wykazała, że realizacja przedsięwzięcia wymaga 70 dni a ścieżka krytyczna przebiega bez zmian dolnym ciągiem, jak jest to pokazane na rysunku 2.



Rys. 2. Analizowany fragment sieci zależności i przebieg ścieżki krytycznej bez skróconych czasów czynności i analizy zasobów



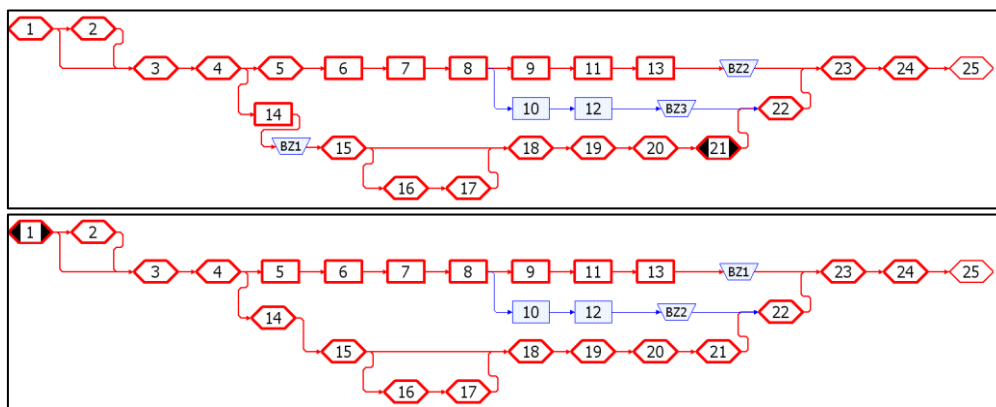
Rys. 3. Lokalizacja łańcucha krytycznego i buforów zasilających przy skróconych czasach czynności, zwiększonym zapotrzebowaniu i dostępności 20 robotników

Przypisano do zadań zwiększone zapotrzebowania na zasób wynikające ze skrócenia ich czasów trwania (zapotrzebowanie na zasób zwiększono tak, aby liczba robocizni pozostała

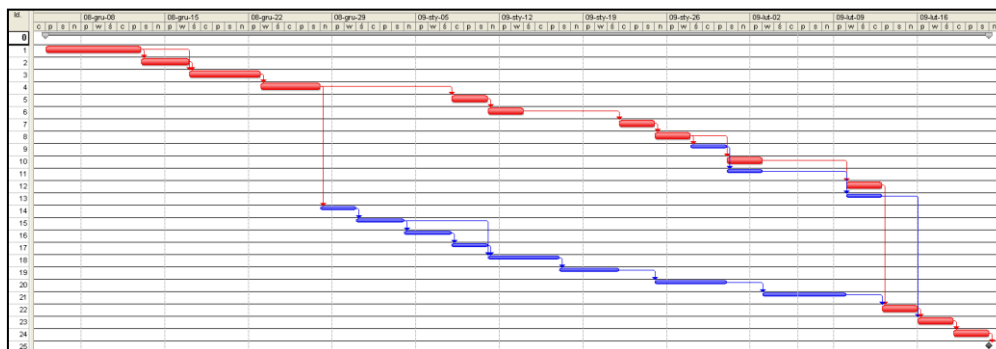
mniej więcej na tym samym poziomie w każdym zadaniu) i zgodnie z oczekiwaniami ustalono, że minimalny poziom dostępności zapewniający wykonanie przedsięwzięcia w 70 dni to 20 robotników. Również tak jak przed skróceniem, przebieg łańcucha krytycznego (zadania wchodzące w skład łańcucha krytycznego oznaczono na rysunkach 3-6 sześciokątami) pokrywał się ze ścieżką krytyczną. Oznacza to, że harmonogram wymaga wstawienia dwóch buforów zasilających, BZ1 i BZ2, tak jak pokazano to na rysunku 3.

W dalszych obliczeniach sprawdzono, jak na przebieg ścieżki krytycznej, łańcucha krytycznego i lokalizację buforów zasilających wpływa zmniejszenie poziomu dostępności robotników. Obliczenia wykonano przy dostępności 16 i 14 robotników.

Przy dostępności 16 robotników utrzymano czas wykonania przedsięwzięcia 70 dni i dwa warianty przebiegu łańcucha krytycznego (rys. 4): pierwszy z nich wymaga lokalizacji trzech buforów zasilających, drugi dwóch. Warto również zauważyć, że ścieżka krytyczna jest w tym wypadku rozwidlona, a suma czasów zadań leżących na obu rozwidleniach jest różna i wynosi 50 i 70 dni.

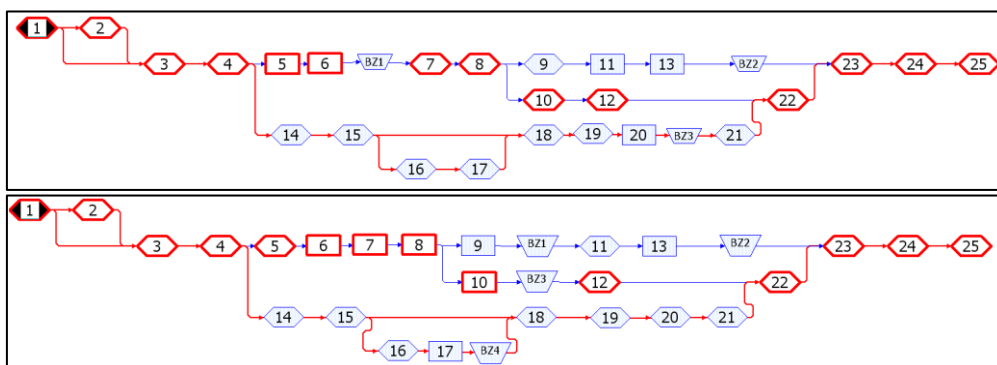


Rys. 4. Dwa warianty przebiegu łańcucha krytycznego i lokalizacji buforów zasilających przy skróconych czasach czynności, dostępności 16 robotników i okresie realizacji 70 dni



Rys. 5. Układ zadań na wykresie Gantta przy skróconych czasach czynności, dostępności 14 robotników i okresie realizacji 79 dni

Analizując układ zadań na wykresie Gantta przy dostępności 14 robotników (rys. 5) można zauważyć, że na czterech odcinkach przebiegu łańcucha krytycznego czynności będą równocześnie. Są to zadania o numerach: 17 lub 5; (8+9) lub 20; 10 lub 11; 12 lub 13. Oznacza to, że łańcuch krytyczny może mieć aż $2^4=16$ różnych wariantów. Na rysunku 6 pokazano dwa z możliwych wariantów przebiegu łańcucha krytycznego z trzema lub czterema buforami zasilającymi. Należy również zauważyć, że czas wykonania przedsięwzięcia wynosi 79 dni a suma czasów zadań leżących na nierozwidlonej ścieżce krytycznej wynosi 50 dni.



Rys. 6. Dwa z 16 możliwych wariantów przebiegu łańcucha krytycznego i odpowiadająca im lokalizacja buforów zasilających przy skróconych czasach czynności, dostępności 14 robotników i okresie realizacji 79 dni

Podsumowanie i wnioski

Łącznie wykonano 6 wariantów obliczeń analizowanej sieci zależności dla pełnych i skróconych czasów czynności oraz przy różnych poziomach dostępności zasobu. Przeprowadzone obliczenia pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- wykonując analizę bez uwzględnienia dostępności zasobów ścieżka krytyczna i łańcuch krytyczny mają zawsze taki sam przebieg,
- ciągiem, który określa termin zakończenia przedsięwzięcia przy ograniczonej dostępności zasobów, nie jest ścieżka krytyczna, lecz łańcuch krytyczny,
- wprowadzając ograniczoną dostępność zasobów przebieg łańcucha krytycznego i ścieżki krytycznej najczęściej przestaje się pokrywać,
- przy ograniczonej dostępności zasobów na ścieżce krytycznej mogą pojawić się przerwy a suma jej czasów czynności na niej położonych może być mniejsza niż okres realizacji całego przedsięwzięcia,
- przy ograniczonej dostępności zasobów, jeżeli ścieżka krytyczna się rozwidła suma czasów czynności na rozwidlonych ramionach może być różna,
- na podstawie wykresu Gantta, bez wspomaganie się specjalistycznym oprogramowaniem można określić przebieg łańcucha krytycznego,
- przy ograniczonej dostępności zasobów przebieg łańcucha krytycznego może mieć szereg różnych wariantów,

- brak jest jednoznacznych kryteriów wyboru łańcucha krytycznego po przeprowadzeniu bilansowania ograniczonych zasobów,
- wybór konkretnego wariantu przebiegu łańcucha krytycznego rzutuje bezpośrednio na ilość i lokalizację buforów zasilających.

Literatura

- [1] Goldratt E., Łańcuch krytyczny, Wyd. WERBEL, Warszawa, 2000.
- [2] Herroelen W., Leus R., Demeulemeester E., Critical chain project scheduling: Do not oversimplify, *Project Management Journal*, 2002, Vol. 33, No. 4, 48-60.
- [3] Herroelen W., Leus R., On the merits and pitfalls of critical chain scheduling, *Journal of Operations Management*, 2001, Vol. 19, 559-577.
- [4] Połoński M., Planowanie realizacji inwestycji melioracyjnych w funkcji czasu i środków na podstawie harmonogramów sieciowych, 1995, Wydawnictwo SGGW.
- [5] Połoński M., Poszukiwanie kryteriów oceny wyników analizy środków w harmonogramach sieciowych, *Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska*, 1994, No. 6, s. 129-136.
- [6] Połoński 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.
- [7] Połoński M., Pruszyński K., Lokalizacja buforów czasu w metodzie łańcucha krytycznego w harmonogramach robót budowlanych (cz. II) – praktyczne zastosowanie. *Przegląd Budowlany*, 2008, No. 3, s. 55-62.
- [8] 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.
- [9] Steyn H., An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling, *International Journal of Project Management*, 2000, Vol. 19, 363-369.

PROBLEM WITH IDENTIFICATION OF THE CRITICAL CHAIN AND LOCATION OF THE FEEDING BUFFERS IN NETWORK SCHEDULE WITH LIMITED AVAILABILITY OF RESOURCE

In this paper method of identifying critical chain was showed when within conducted analysis availability of resources is taken into account. Calculations were carried out in accordance with fundamentals of CC/BM method. In the first part of the paper differences between critical chain and critical path had been considered. Further, diverse possibilities of carrying out an analysis of resources availability and its influence on overall duration of a project were discussed. The author showed method to identify critical chain on the basis of Gantt chart obtained after resource leveling. In the second part of this study method of identifying critical chain and location of feeding buffers with different levels of resource availability were showed on the example of the schedule of a building object. It was demonstrated that unambiguous criteria of critical chain selection are needed.