

Harmonogramowanie robót budowlanych na podstawie danych kosztorysowych

Prof. dr hab. inż. Roman Marcinkowski, mgr inż. Maciej Banach,
Wydział Budownictwa Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej

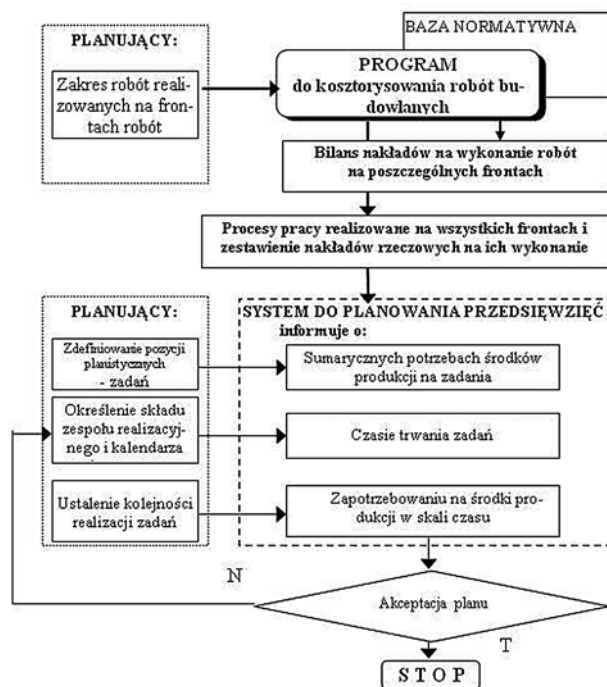
1. Wprowadzenie

Współcześnie do opracowywania planów i kierowania przedsięwzięciami wykorzystywane są komputerowe programy do planowania i kontroli realizacji przedsięwzięć. Na szczególną uwagę zasługują te programy, które są przystosowane do współpracy z programami do kosztorysowania robót budowlanych. Wykorzystują one dane o nakładach rzeczowych celem ustalenia przydziału zasobów czynnych do wykonania zadań i czasu ich realizacji, stwarzając tym samym możliwości przygotowania pewnych standardów technologicznych realizacji procesów inżynieryjno-budowlanych i normalizacji robót. Istotą planowania w takich aplikacjach jest opracowywanie harmonogramów wykonania zadań – i związanych z nimi – harmonogramów potrzeb środków realizacji. Potrzeba opracowania takich harmonogramów dotyczy wykonawców, którzy aby efektywnie zarządzać produkcją budowlaną, dążą do ustalenia potrzeb i swoich możliwości wykonawczych. Programy komputerowe ułatwiają zarządzanie przedsięwzięciami poprzez możliwości generowania różnych scenariuszy realizacji prac i potrzeb zasobowych.

Nie jest możliwe na obecnym etapie całkowite zautomatyzowanie opracowania harmonogramu, szczególnie harmonogramu przedsięwzięcia, produkcji budowlanej, w których występuje wiele technologicznie powiązanych procesów pracy i wiele różnego rodzaju zasobów [1]. Opracowano szereg algorytmów, modeli i metod [1, 2, 3, 4, 5]. Jest też w użyciu kilkanaście programów komputerowych efektywnie wspomagających harmonogramowanie działań [6]. Każdy z nich ma swoje wady i zalety. Efektywne wykorzystanie programów tego typu jest możliwe przy znajomości techniki modelowania przedsięwzięć i analizy komputerowej opracowywanych modeli [7]. Na obecnym etapie rozwoju tych aplikacji można harmonogramy opracowywać według metodyki przedstawionej schematem na rysunku 1.

Metodyka ta oparta jest na 3 krokach:

- wykonanie przedmiaru robót, a na jego podstawie – kosztorysu robót budowlanych wraz z ustaleniem nakładów rzeczowych;
- opracowanie harmonogramu zadań rzeczowych – struktury podziału pracy (SPP), definiowanie kalendarza



Rys. 1. Schemat przebiegu opracowania harmonogramu z wykorzystaniem aplikacji komputerowych (opracowanie własne)

realizacji zadań, wprowadzanie ograniczeń terminowych;

- analiza potrzeb zasobowych, bilansowanie zasobów i ocena wykorzystania zasobów z weryfikacją planu.
- Rozwiązywanie tych trzech zagadnień, z uwzględnieniem wzajemnych związków i spójności danych ilościowych jest zasadniczym celem komputeryzacji procesu opracowania harmonogramu budowlanego.

2. Problemy wykorzystania kosztorysu do opracowania harmonogramu

Kosztorys jest dokumentem określającym kalkulację ceny wg ustalonych metod, w oparciu o przedmiar lub obmiar robót. Kosztorysant przed rozpoczęciem kalkulacji kosztorysowej powinien ustalić wszelkie dane techniczne, technologiczne i organizacyjne mające wpływ na wysokość ceny kosztorysowej oraz ustalone przez zamawiającego wymagania dotyczące metod i podstaw

Tabela 1. Analiza nakładów rzeczowych na wykonanie robót w dziale kosztorysu: Budowa drogi tymczasowej (opracowanie własne)

Lp.	Podstawa	Opis	j.m.	Nakłady
1	KNR 2-01 0108-03	Mechaniczne karczowanie zagajników rzadkich obmiar = 0,5ha	ha	
1*		-- R -- robocizna $165 \times 0.955 = 157.575 \text{ r-g/ha} \times 10.00 \text{ zł/r-g}$	r-g	78.7875
2*		-- S -- spycharka gąsiennicowa 74 kW (100 KM) $54.5 \text{ m-g/ha} \times 64.06 \text{ zł/m-g}$	m-g	27.2500
		Razem z narzutami:	5472.38	
		Cena jednostkowa:	10944.76	
2	KNR 2-01 0233-05	Mechaniczne plantowanie terenu spycharkami w gruncie kat. III obmiar = 5000m ²	m ²	
1*		-- R -- robocizna $0.139 \text{ r-g/m}^2 \times 10.00 \text{ zł/r-g}$	r-g	695.0000
2*		-- S -- spycharka gąsiennicowa 74 kW (100 KM) $0.0024 \text{ m-g/m}^2 \times 64.06 \text{ zł/m-g}$	m-g	12.0000
		Razem z narzutami:	16670.00	
		Cena jednostkowa:	3.33	
3	KNR-W 2-25 0407-04	Nawierzchnie z płyt wielootworowych obmiar = 1000m ²	m ²	
1*		-- R -- robocizna $0.258 \text{ r-g/m}^2 \times 10.00 \text{ zł/r-g}$	r-g	258.0000
2*		-- M -- piasek do zapraw $0.045 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 24.99 \text{ zł/m}^3$	m ³	45.0000
3*		płyty drogowe ażurowe $1.291997 \text{ szt/m}^2 \times 60.00 \text{ zł/szt}$	szt	1291.9970
4*		-- S -- żuraw do 6t $0.047 \text{ m-g/m}^2 \times 59.42 \text{ zł/m-g}$	m-g	47.0000
		Razem z narzutami:	90250.00	
		Cena jednostkowa:	90.25	

Tabela 2. Sumaryczne nakłady rzeczowe i koszty na wykonanie procesu: Budowa drogi tymczasowej (opracowanie własne)

Lp.	Podstawa	Opis	j.m.	Nakłady
1	KNR 2-01 0233-05 + KNR-W 2-25 0407-04 + KNR 2-01 0108-03	Mechaniczne plantowanie terenu spycharkami w gruncie kat. III Nawierzchnie z płyt wielootworowych Mechaniczne karczowanie zagajników rzadkich obmiar = 500m	m	
1*		-- R -- robocizna $2.063576 \text{ r-g/m} \times 10.00 \text{ zł/r-g}$	r-g	1031.7880
2*		-- M -- piasek do zapraw $0.09 \text{ m}^3/\text{m} \times 24.99 \text{ zł/m}^3$	m ³	45.0000
3*		płyty drogowe ażurowe $2.583994 \text{ szt/m} \times 60.00 \text{ zł/szt}$	szt	1291.9970
4*		-- S -- żuraw do 6t $0.094 \text{ m-g/m} \times 59.42 \text{ zł/m-g}$	m-g	47.0000
5*		spycharka gąsiennicowa 74 kW (100 KM) $0.0785 \text{ m-g/m} \times 64.06 \text{ zł/m-g}$	m-g	39.2500
		Razem z narzutami:	112394.50	
		Cena jednostkowa:	224.79	

opracowania kosztorysu, w szczególności w zakresie formuły kalkulacyjnej oraz podstaw i ustalania cen jednostkowych lub jednostkowych nakładów rzeczowych i podstaw cenowych.

Wyróżnia się dwie metody kalkulacji kosztorysowej: szczegółową metodą kalkulacji kosztorysowej i uproszczoną metodą kalkulacji kosztorysowej. Kosztorys może być sporządzony z wykorzystaniem tych dwóch metod kalkulacji.

Kalkulacja szczegółowa polega na obliczeniu ceny kosztorysowej obiektu lub robót budowlanych jako sumy iloczynów: ilości ustalonych jednostek przedmiarowych, jednostkowych nakładów rzeczowych i ich cen oraz doliczonych odpowiednio kosztów pośrednich i zysku. Jednostki przedmiarowe oraz zasady obliczania ich ilości w kalkulacji szczegółowej są szczegółowo przedstawione w zasadach przedmiarowania podanych w katalogach

zawierających jednostkowe nakłady rzeczowe oraz szczegółowe opisy robót – w bazie danych KNR. Katalogi nakładów rzeczowych mają formę komputerowej bazy danych. Ich analizę i wykorzystanie w planowaniu prowadzi się za pomocą programów kosztorysowych. Użytkownicy programów komputerowych mogą definiować własne katalogi odniesione do zbiorów robót lub elementów obiektów budowlanych. Tworzyć je można techniką scalania pozycji kosztorysowych (rysunek 2 i 3) lub za pomocą specjalnego oprogramowania do tworzenia katalogów. Planowanie robót budowlanych z wykorzystaniem katalogów rozpoczynamy od specyfikacji i przedmiarowania robót. Efektem przedmiarowania i analizy (komputerowej) norm nakładów rzeczowych jest ustalenie nakładów na wykonanie robót przedsięwzięcia – przykład w tablicy 1.

Oczywiście dane te są bardzo szczegółowe i nie mają formy użytecznej dla zarządzania pracami. Programy komputerowe jednak pozwalają na łączenie wyników analizy nakładów rzeczowych odpowiednio do grup zadań istotnych z punktu widzenia systemu zarządzania. W naszym przykładzie możemy więc ustalić nakłady na proces *Budowa drogi tymczasowej*, co obrazuje tablica 2. Nakłady mogą zostać automatycznie wycenione, co daje również możliwość wycenienia planowanego procesu.

Charakterystyki globalne mają dużą użyteczność w podejmowaniu decyzji co do możliwości wykonania zadań (przedsięwzięć) w zakładanym czasie. Przykładowy proces – zadanie *Budowa drogi tymczasowej* wymaga bowiem (tab. 2) pracy ręcznej 1031 r-g; pracy maszyn: żurawia 47 m-g, spycharki 39 m-g; co przy zaangażowaniu 20 robotników, 1 spycharki i 1 dźwigu umożliwia wykonanie drogi w ciągu około 50 godzin. Na podstawie potrzeb materiałowych kalkuluje się zaś potrzeby i możliwości transportu materiałów budowlanych.

Kalkulacja uproszczona polega na obliczeniu ceny kosztorysowej obiektów lub robót budowlanych jako sumy iloczynów odpowiednio ustalonych jednostek przedmiarowych i cen jednostkowych. Ceny jednostkowe stosowane w tej kalkulacji ustala się na podstawie: kalkulacji własnej wykonawcy robót, publikowanych informacji o cenach jednostkowych lub dwustronnych negocjacji. O wyborze rodzaju cen jednostkowych stosowanych w kalkulacji oraz sposobu ich ustalenia decyduje się w postanowieniach założeń lub danych wyjściowych do kosztorysowania. Jednostki przedmiarowe w kalkulacji uproszczonej zależą od poziomu agregacji robót, na którym obliczana jest cena kosztorysowa obiektu lub robót budowlanych. Dla robót podstawowych jednostki przedmiarowe oraz zasady obliczania ich ilości są szczegółowo przedstawione w zasadach przedmiarowania podanych w katalogach zawierających jednostkowe nakłady rzeczowe oraz szczegółowe opisy robót. Dla jednostek przedmiarowych na wyższych poziomach agregacji robót obecnie brakuje jednolicie określonych jednostek miary oraz zasad obliczania ich ilości.

Zakładając, że nie ma potrzeby prowadzenia wykładu na temat technik kosztorysowania robót budowlanych, wyszczególnimy jedynie problemy, które przekładają się na komplikacje związane z wykorzystaniem danych kosztorysowych do opracowania harmonogramu budowy.

Pierwszy z tych problemów wynika z stosowania w kosztorysach kalkulacji uproszczonej. W niektórych pozycjach kosztorysowych nie będziemy mieli informacji o nakładach rzeczowych na wykonanie procesów budowlanych.

Kosztorys jest opracowaniem o określonej strukturze, którą definiuje się za pomocą funkcji podziału na działy kosztorysu, a w nich na pozycje kalkulacyjne (tab. 1). Nie jest to struktura zorientowana na strukturę podziału pracy w harmonogramie budowy.

W pozycjach kalkulacyjnych występują środki pracy

o bliżej niesprecyzowanym typie maszyny, urządzenia – o odmiennej wydajności eksploatacyjnej rzeczywiście używanej maszyny, urządzenia do wykonania prac. Obmiary robót w wielu pozycjach kosztorysowych są odniesione do całego zakresu danego rodzaju robót w całym obiekcie, a z punktu widzenia organizacji budowy dany rodzaj robót będzie musiał być wykonywany etapowo, z przerwami na wykonanie innych procesów budowlanych.

W kalkulacjach kosztorysowych ustala się nakłady pracy dla zasobów, które będą ponoszone z różną intensywnością w czasie realizacji robót. Stwarza to problem określenia czasu realizacji zadania, bowiem nie jest spełniona zasada współbieżnej pracy wszystkich zasobów zaangażowanych w realizację danego zadania.

3. Proces harmonogramowania na podstawie danych kosztorysowych

3.1. Tworzenie harmonogramu zadań rzeczowych

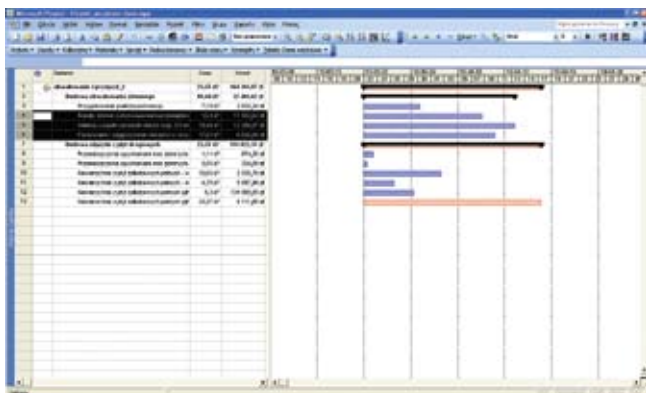
Programy do planowania i kontroli realizacji przedsięwzięć [8], zwłaszcza te, które przystosowane są do wczytywania do nich danych kosztorysowych, pozwalają na łączenie i poprawianie pozycji kosztorysowych, tworząc z nich zadania podlegające planowaniu (rys. 2). Zadania w harmonogramie są więc zbiorami procesów pracy, wybranymi z listy pozycji kosztorysowych, utworzonej za pomocą programu kosztorysującego.

Na podstawie danych z programu kosztorysującego system do planowania przedsięwzięć informuje nas o poziomach zużycia nakładów poszczególnych środków produkcji na realizację zadań. Ustala też koszty realizacji zadań [8]. Określając skład zespołu realizującego zadanie i kalendarze pracy zasobów czynnych, program wylicza czas realizacji robót ujętych w pozycjach planistycznych (rys. 3).

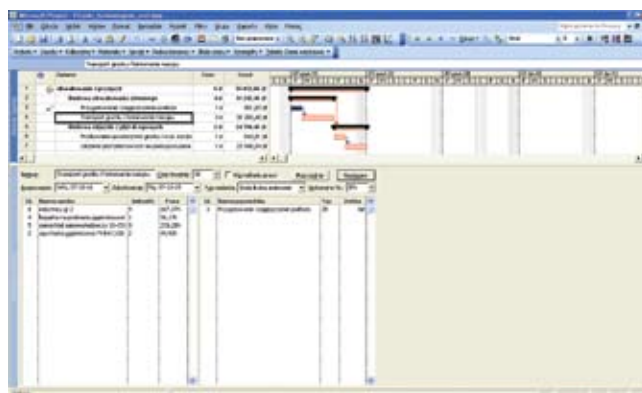
Mając ustalone czasy i koszty realizacji zadań, tworzymy harmonogram, uwzględniając przy tym wymagania terminowe realizacji zadań, etapów i całego przedsięwzięcia oraz definiując technologiczne zależności pomiędzy zadaniami, które modelujemy za pomocą opisanych wcześniej zasad modelowania sieciowego przedsięwzięć. Jako wynik harmonogramowania uzyskujemy rozkłady w czasie: nakładów rzeczowych, kosztów i potrzeb środków pracy – w odniesieniu do wybranego zakresu robót (podzbiór zadań) czy całego przedsięwzięcia.

3.2. Analiza potrzeb zasobowych

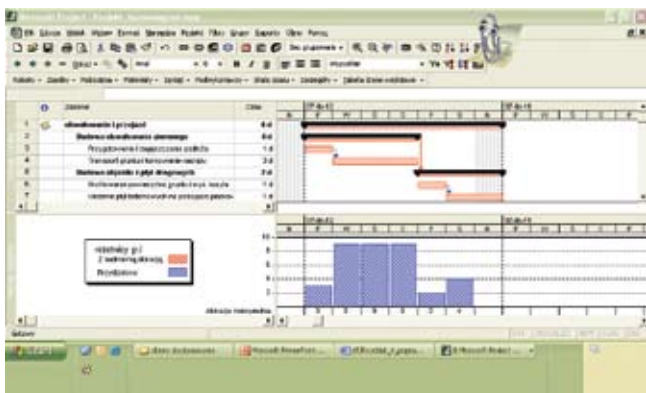
Istotnym elementem utworzonego harmonogramu jest możliwość zarządzania zasobami. Dla opracowanego harmonogramu możemy wyświetlać informacje dotyczące nakładów każdego zasobu z osobna (rys. 4). Informacje te pozwalają uchwycić „wąskie gardła” w realizacji planowanego przedsięwzięcia, ustalać przyczyny przestojów maszyn i specjalistów oraz określić możliwości poprawy planu.



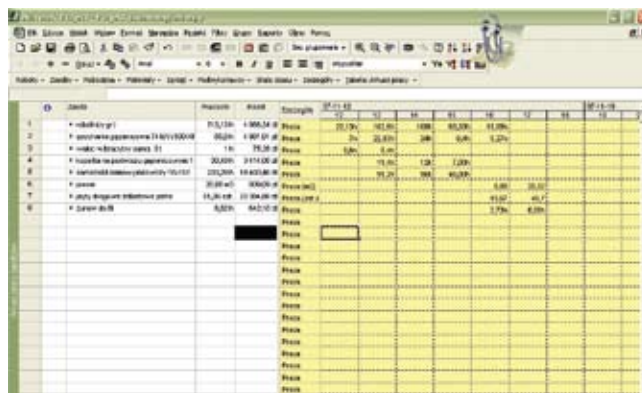
Rys. 2. Scalanie procesów pracy w zadania harmonogramowe w programie MS Project & Projekt+ (opracowanie własne)



Rys. 3. Harmonogram przedsięwzięcia opracowany w programie MS Project & Projekt+ (opracowanie własne)



Rys. 4. Analiza nakładów i zatrudnienia dla harmonogramu w programie MS Project (opracowanie własne)

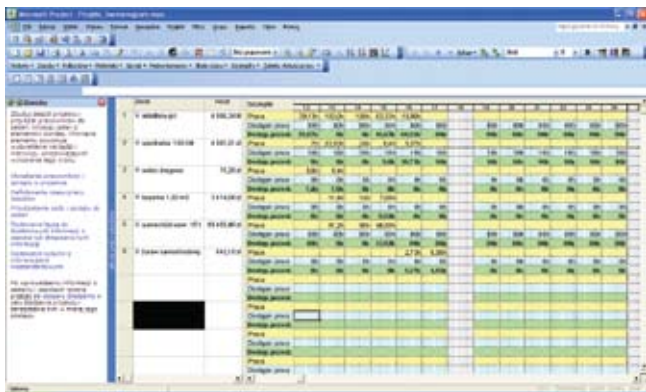


W systemach komputerowych jest możliwość poprawiania przyjętych rozwiązań na dowolnym etapie. Pozwala to na stopniowe doskonalenie planu, analizowanie planów w różnych wariantach przy różnych warunkach realizacyjnych planowanego przedsięwzięcia [7].

3.3. Efektywność wykonania zadań

Efektywność wykonania zadań budowlanych jest oceniana przez pryzmat **nakładów, czasu i efektów**. Każde zadanie powinno mieć określone te trzy charakterystyki. Nie jest to zadanie łatwe, bowiem przy realizacji zadań wykorzystywane są różne środki (maszyny, konstrukcje,

Tabela 3. Przykład raportu, w programie Microsoft Project, wykorzystania nakładów pracy zasobów (opracowanie własne)



materiały), o różnym znaczeniu i dostępności, a efekt działania jest często niejednoznaczny.

Analizy nakładów pracy zasobów czynnych w programach komputerowych do planowania i kontroli realizacji przedsięwzięć pozwalają na uchwycenie niegospodarności w wykorzystaniu środków pracy. Jest bowiem możliwe, a i celowe, generowanie raportów dla opracowanych harmonogramów realizacji zadań drogowych i określonej dostępności środków pracy – niewykorzystanych nakładów pracy (tab. 3). Informują one o pozostałych w dyspozycji środkach pracy i pozwalają ocenić możliwości podejmowania kolejnych zadań.

4. Harmonogramowanie robót w warunkach komplikacji związanych z wykorzystaniem danych kosztorysowych

4.1. Harmonogramowanie robót na podstawie pozycji uproszczonych

Istnieją grupy robót budowlanych, których kalkulowanie metodą uproszczoną jest konieczne. W kosztorysie mamy więc informację ogólną o procesie roboczym i kosztach jego wykonania. Jest to koszt całkowity, obejmujący koszty bezpośrednie, pośrednie i zysk kalkulacyjny wykonawcy. Utworzenie zadania z tak scharakteryzowanego procesu roboczego w harmonogramie nie daje poglądu na potrzeby zasobowe do wykonania zadania.

Brak nakładów rzeczowych uniemożliwia dobór zasobów do realizacji zadań z nimi powiązanych. Dlatego zadania te trzeba uwzględniać w harmonogramie w niejako pośredni sposób zależny od rodzaju tych robót.

Jednym ze sposobów uwzględnienia tych robót w harmonogramie może być szacowanie potrzeb zasobów. W tej grupie robót często umieszcza się drobne prace związane np. montażem nietypowych elementów wykończeniowych, elementów instalacji w budynku oraz wyposażenia. Roboty te nie mają znaczących wymagań w zakresie zasobów sprzętu oraz materiałów. Proces technologii montażu nie jest w tym przypadku skomplikowany, dlatego czas potrzebny na wykonanie tych zadań również jest niewielki. Błąd wynikający z szacowania zasobów pracy nie będzie istotnie wpływał na jakość harmonogramu budowlanego ze względu na często małą pracochłonność oraz drugorzędność tych robót. W przypadku gdy jednak wartość tych robót jest większa (np. dostawa i montaż wyposażenia hali sportowej) w tym również istotną rolę odgrywa cena robocizny (np. dostawa i montaż nawierzchni bezpiecznej placu zabaw) szacowanie może być obarczone dużym błędem. W przypadku kosztownych nietypowych robót najczęściej dysponujemy ofertami uzyskanymi na etapie wykonywania kosztorysu. Tam należy szukać kosztów robocizny oraz sprzętu i na tej podstawie szacować normy nakładów rzeczowych oraz dobierać czynne zasoby. Często jednak w ofertach obok kosztów montażu możemy znaleźć również czas realizacji, który można wykorzystać wprost przy organizowaniu robót budowlanych. Takie podejście do tematu nawiązuje do drugiej grupy omawianych robót i tam zostanie przedstawione bardziej szczegółowo.

Drugą grupę omawianych robót budowlanych stanowią cykliczne, często proste roboty budowlane, rozliczane najczęściej w jednej jednostce obmiarowej np. tynkowanie, malowanie, wylewanie posadzek itd. Generalny wykonawca, sporządzając kosztorys ofertowy wyróżnia w nim te roboty, które zamierza wykonać własnymi siłami oraz te, które przeznacza do wykonania podwykonawcom. W przypadku tych drugich najistotniejszym ich elementem jest cena jednostkowa. Dlatego w praktyce coraz częściej kalkulacja tych robót jest ustalana metodą uproszczoną.

Jednym ze sposobów postępowania w tym przypadku mogłaby być ponowna kalkulacja tych robót, tym razem metodą szczegółową. Takie postępowanie choć prawidłowo określi pracochłonność wybranych robót jest w tym przypadku pracochłonne, a przede wszystkim bezcelowe. Główny wykonawca nie organizuje bezpośrednio robót, które zleca podwykonawcom, nie ustala zasobów zarówno czynnych, jak i biernych do realizacji danego zadania, tym samym nie ma na to wpływu. Informacje, które są w tym przypadku najistotniejsze, to termin rozpoczęcia oraz zakończenia robót budowlanych zleconych do wykonania zewnętrznej firmie. Wykonawcy zajmujący się jedynie wyselekcjonowanymi robotami budowlanymi, uwzględniając ilość bieżących zleceń, w łatwy

sposób mogą określić omawiane terminy. Zadaniem organizatora robót budowlanych jest w tym przypadku ustalenie takich terminów rozpoczęcia oraz zakończenia robót, które będą korzystne z punktu widzenia harmonogramu robót oraz możliwe do dochowania przez wykonawcę danych robót. Trzeba tutaj wspomnieć, że liczba frontów robót przy wykonywaniu powtarzalnych robót budowlanych jest często na tyle liczna, że na jednym obiekcie może w jednym czasie być zatrudnionych kilka firm realizujących te same roboty budowlane, co skraca czas ich wykonania.

Jak widać, brak nakładów rzeczowych do wykonania robót kalkulowanych metodą uproszczoną nie stanowi przeszkód w ich prawidłowym uwzględnianiu w harmonogramach robót, choć wymaga wykonania dodatkowej pracy przez organizatora robót budowlanych. Co więcej, angażowanie większej liczby zasobów (poprzez pracę kilku brygad/wykonawców) może wpływać pozytywnie na harmonogram robót budowlanych, zwłaszcza w momentach zagrożenia terminu końcowego, kiedy należy zwiększyć tempo wykonywania robót budowlanych.

4.2. Wymiana zasobów

W kosztorysach sporządzanych metodą kalkulacji szczegółowej występują zasoby czynne, nie do końca określone pod względem typu. Często też wykonawca budowlany będzie chciał zmienić rodzaj i typ maszyny do wykonania procesu budowlanego. W sytuacjach takich planista ma za zadanie ukonkretnić zasoby, które będą wykorzystywane do wykonania procesów budowlanych i zadań ujętych w harmonogramie. Konieczne jest jednak w tych sytuacjach, oprócz zmiany nazwy środka pracy, zweryfikowanie normy nakładów pracy tego zasobu, dostosowując tę informację do wydajności nowo wprowadzonego środka pracy. Kalkulację taką w odniesieniu do przykładowego procesu p i k -tego środka pracy prowadzimy następująco:

Ustalamy wydajność eksploatacyjną k -tego środka pracy w realizacji procesu p określonego w KNR-ze, według wzoru:

$$W_k^p = \frac{L^p}{n_k^p}$$

gdzie: L^p – zakres (obmiar) procesu p , dla którego ustalono nakład pracy k -tego środka pracy; n_k^p – nakład pracy wg KNR-u k -tego środka pracy na wykonanie procesu p .

Określamy wydajność eksploatacyjną zamiennego środka pracy, np. k' , w realizacji procesu p . Wydajność tą określamy według ogólnie znanych wzorów na wydajność eksploatacyjną roboczą $W_{k'}$, np.:

$$W_{k'}^p = W_t \cdot S_n \cdot S_{w1} \cdot S_{w2} \quad \left[S_{w2} = \frac{T_c \cdot T_p}{T_c} \right]$$

gdzie:

W_t – wydajność techniczna maszyny; S_n – współczynnik wykorzystania geometrycznych parametrów maszyny (tzw. współczynnik napętnienia); S_{w1} – współczynnik wykorzystania wydajności technicznej maszyny zależny od charakterystyki warunków realizacji procesu roboczego; S_{w2} – współczynnik wykorzystania czasu pracy maszyny; T_c – całkowity czas przebywania maszyny w pracy, T_p – czas trwania przerw w pracy maszyny spowodowany przyczynami organizacyjnymi i stanem technicznym maszyny.

Weryfikujemy normę nakładu pracy k -tego środka pracy na realizację procesu p według wzoru:

$$n_{k'}^p = \frac{W_k^p}{W_{k'}^p} \cdot n_k^p$$

Zamiana zasobów, zwłaszcza maszyn do wykonania robót, może być podyktowana wieloma przyczynami. Często na przykład procesy robocze wykonywane są przez maszynę o wymiennym organie roboczym lub maszynę wieloczynnościową (np. spycharko-koparkę). W kosztorysie nie występują takie odniesienia. Określane są nakłady rozłączne dla poszczególnych funkcji maszyny. W harmonogramie charakterystyki dotyczące tych maszyn mogą być scalane i odnoszone do jednostki maszyny wieloczynnościowej.

4.3. Zasoby pracujące poza realizacją zadań, do których zostały użyte

Problem pracy zasobów czynnych jest różnie rozumiany w technice kosztorysowania. Maszyny wykonujące procesy pracy mają określone nakłady pracy w m-g na wykonanie zadania (procesu pracy) o określonym zakresie. Są jednak w tym samym zbiorze zasobów konstrukcje pomocnicze, które są potrzebne do wykonania danego procesu pracy, ale ich nakłady pracy związane są z przygotowaniem konstrukcji pomocniczej (np. montaż rusztowań), z wykonaniem procesu zasadniczego oraz z pracą konstrukcji po wykonaniu procesu zasadniczego (np. pracą związaną z dojrzewaniem mieszanki betonowej w deskowaniu). W kosztorysie nakłady pracy takich konstrukcji charakteryzowane są w pozycjach kosztorysowych, obejmujących: montaż i demontaż konstrukcji pomocniczej oraz pracę konstrukcji przy wykonywaniu zasadniczych procesów budowlanych wraz z ew. pracą indywidualną (poza czasem wykonywania robót zasadniczych). Sytuacja ta wymaga wnikliwego rozdziału nakładów pracy konstrukcji pomocniczej na zadania ujęte w harmonogramie. Zasady w tym względzie są następujące:

Pracę konstrukcji pomocniczych przy wykorzystaniu poszczególnych zadań – procesów technologicznych należy uwzględnić indywidualnie dopisując wykorzystanie konstrukcji pomocniczych do zadań.

W harmonogramach szczegółowych należy ustalić strukturę podziału pracy (SPP) w taki sposób, aby przydział jednostek konstrukcji pomocniczej był jednoznacznie

określony, a nakład pracy tej konstrukcji był iloczynem czasu wykonywania zadania i liczby jednostek (kompletów) konstrukcji pomocniczej.

Nakłady ujęte w bazie KNR na montaż i demontaż konstrukcji pomocniczej należy rozdzielić w proporcjach 60% i 40% nakładów odpowiednio: na montaż i na demontaż konstrukcji pomocniczej.

Kosztorysowe kalkulacje pracy konstrukcji pomocniczych należy odrzucić, bowiem łączą one w jednej pozycji kosztorysowej pracę konstrukcji pomocniczej wykonywanej przy wykonaniu różnych zadań – procesów technologicznych.

W harmonogramach ogólnych można nie prowadzić kalkulacji użycia konstrukcji pomocniczych w poszczególnych zadaniach – procesach technologicznych. Potrzeby tych konstrukcji do realizacji prac zasadniczych ujmuje się wtedy w oddzielnym arkuszu kalkulacyjnym. Ograniczenia wynikające z dostępności konstrukcji pomocniczych, czasu potrzebnego na ich montaż, demontaż, przestawianie, uwzględnia się definiując czasy zwłoki między zadaniami w harmonogramie budowy.

Podsumowując zagadnienie przydziału zasobów konstrukcji pomocniczych do wykonania zadań z wykorzystaniem danych kosztorysowych, trzeba stwierdzić, że dane te są w części nieodpowiednie do opracowania harmonogramu budowy. Potrzebna jest indywidualna analiza ustalania potrzeb i wykorzystania tych konstrukcji w procesach budowlanych. Należy przy tym dbać o wprowadzenie do harmonogramu kosztów użycia konstrukcji pomocniczych, bowiem są one często znacznym obciążeniem budżetu realizacji zaplanowanych robót.

4.4. Zasoby pracujące nierównomiernie w czasie realizacji zadań

W systemach komputerowych do planowania i kontroli realizacji przedsięwzięć przyjmuje się najczęściej, że naliczanie zasobów do wykonania zadań może się odbywać według kluczy: *na początku*, *na końcu*, *proporcjonalnie*. Często jednak zasób wykorzystywany jest w realizacji zadania incydentalnie (do wykonania tylko niektórych sekwencji działań realizowanych w zadaniu). Wspomniane opcje definiowania przydziału zasobów nie pasują do określenia sposobu pracy zasobu w zadaniu. Co w takiej sytuacji zaleca się robić?

Najprostszym rozwiązaniem jest przyjęcie takiej struktury podziału pracy, aby można było przypisać zasoby według ww. klucza (*na początku*, *na końcu* lub *proporcjonalnie*). Prowadzi to jednak do rozdrobnienia zadań ujętych w harmonogramie, i jest niekorzystne z punktu widzenia czytelności SPP.

Innym sposobem rozwiązania tego problemu jest posługiwanie się w harmonogramie jedynie danymi o ilości pracy zasobów czynnych do wykonania zadań – bez definiowania liczby (jednostek przydziału) tych zasobów. Analizę taką prowadzi się np. w systemie Planista w stosunku do maszyn. Planujący może określić na podstawie danych kosztorysowych i harmonogramu, ile pracy

Rys. 5. Informacje o niezbilansowaniu zasobów w programie MS Project (zasoby niezbilansowane wyróżnione są kolorem czerwonym) (opracowanie własne)

jest do wykonania w danym przedziale czasu. Informacja taka jest wystarczająca do oceny możliwości wykonania zadań przy zaangażowaniu posiadanych zasobów (maszyn). Nie prowadzi się tu jednak bilansowania zasobów za pomocą programu komputerowego. Oceny możliwości poniesienia nakładów pracy maszyn dokonuje planujący przedsięwzięcie.

W programie komputerowym MS Project zasoby typu „praca” powinny być określone pod względem dostępności. Informacje o ilości pracy dla tych zasobów w poszczególnych zadaniach jest importowana z danych kosztorysowych lub ustalana przez planującego. Jeżeli planujący nie ustali ilości pracy dla zasobu, program wyznaczy tą charakterystykę na podstawie czasu wykonania zadania i jednostek przydziału zasobu. Charakterystyki te prowadzą do uzyskania informacji o potrzebnej pracy i potrzebnej liczbie jednostek zasobów (rys. 8). Do realizacji zadań 1, 2, ..., 4 przydzielono zasoby, które nie będą w pełni wykorzystane w czasie ich realizacji. Świadczy o tym ilość pracy dla zasobów, która jest mniejsza niż liczba jednostek przydzielonych zasobów pomnożona przez czas realizacji zadania.

W sytuacji gdy zasób jest wykorzystywany incydentalnie w realizacji zadań, otrzymujemy błędną informację z programu komputerowego, że zasób nie jest zbilansowany w określonych jednostkach czasu obowiązującego kalendarza realizacji zadań (rys. 5). Dzieje się tak dlatego, że program nalicza potrzeby zasobu według wspomnianych opcji (kluczy) i dokonuje sumowania potrzeb zasobowych w poszczególnych jednostkach czasu. Jeżeli np. spojrzymy na rysunek 5, to widzimy, że zasoby nr 1 i 2 (w liczbie jednostek po 2) nie są zbilansowane w niektórych dniach tygodnia. Realizacja zadań 1, 2, ..., 4 może jednak być tak prowadzona, że zasoby te pozwolą wykonać zadania posiadaniem potencjałem zasobowym przy nierównomiernej alokacji pracy deficytowych zasobów. Niestety, program MS Project nie pozwala na definiowanie profilu zaangażowania zasobu do realizacji zadania.

5. Podsumowanie

W organizacji wykonawstwa budowlanego chodzi o to, aby wybrać takie technologie realizacji zadań, które maksymalizują zaangażowanie potencjału produkcyjnego wykonawcy [9], a jednocześnie minimalizują koszty.

W analizach stosujemy więc dwa kryteria: jedno – minimalizacji kosztu realizacji przedsięwzięcia, i drugie – minimalizacji kosztów strat z tytułu niepełnego wykorzystania środków pracy skierowanych do realizacji przedsięwzięcia [7, 9]. Cele te trzeba realizować z uwzględnieniem dotrzymania terminów dyrektywnych i z analizą dostępności zasobów w skali czasu. Analizy takie można realizować techniką komputerową. Warunek jest tylko jeden – należy dysponować programami komputerowymi, bazami danych norm nakładów rzeczowych i cen jednostkowych oraz umiejętnie wykorzystywać możliwości analityczne danych i wyników harmonogramowania przedsięwzięcia.

Zespolenie kosztorysowania i harmonogramowania przedsięwzięć nie powinno być tylko ułatwieniem sporządzenia harmonogramu. Mamy narzędzia, które pozwalają na poszukiwanie racjonalnych rozwiązań planistycznych – na razie metodą wariantowania – metodą nieuciążliwą, jeżeli zastosujemy w komputerze technikę modyfikacji pierwotnie wygenerowanych rozwiązań.

W przyszłości harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych powinno doczekać się metod symulacyjnych. Opanowanie możliwości przekazywania danych o nakładach rzeczowych i kosztach realizacji zadań budowlanych z programów kosztorysujących do programów harmonogramowania znakomicie ułatwia przygotowanie procesu symulacji. Należy jednak zadbać o jakość norm nakładów rzeczowych, które wraz z upływem czasu, rozwojem technologii budowlanych i mechanizacji budowlanych straciły w odniesieniu do wielu procesów budowlanych swoją aktualność. Normy te są podstawą analiz rzeczowych i kosztowych w systemach komputerowych i ich wiarygodność jest podstawowym warunkiem stosowania proponowanych metod optymalizacji decyzji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Talbot F.B., Resource constrained project scheduling with time – resource trade – offs: the nonpreemptive case. *Management Science*, Vol 28, No 10, October 1982
- [2] Johnson R., *The Economics of Building: A Practical Guide for the Design Professional*. John Wiley, New York 1999
- [3] Marcinkowski R., *Quality Assessment of Construction Schedules*, Communications, Scientific Letters of the University of Žilina, 1/2003 Słowacja
- [4] Swenson P.W., *Project Analysis Tools for Cost and Schedule Improvement*. AACE International Transactions 43rd, Denver, Colorado 1999
- [5] Węglarz J., *Project Scheduling: Recent Models. Algorithms and Applications*. International Series on Operations Research & Management Science Kluwer, Dordrecht, 1999
- [6] Kapliński O., *Techniki decyzyjne w organizacji i zarządzaniu w budownictwie. Stan wiedzy i problemy komputeryzacji. Metody Komputerowe w Inżynierii Lądowej*, nr 2, t. 4, 1994
- [7] Marcinkowski R., *Metody rozdziału zasobów realizatora w działalności inżynierijno-budowlanej*. Wyd. WAT, Warszawa 2002
- [8] Zieliński B., *Microsoft Project 2007 w praktyce*. Wyd. PROED, Warszawa 2010
- [9] Adamiecki K., *O nauce organizacji*. PWE, Warszawa 1985