

5. Optymalizowanie decyzji w planowaniu produkcji budowlanej na podstawie pracochłonności prac

5.1. Wprowadzenie

Każdy proces budowlany o charakterze produkcyjnym wymaga zużycia pracy zasobów czynnych oraz zużycia materiałów i wyrobów budowlanych – *nakładów rzeczowych*. O sprawności wykonania zadań budowlanych decydują w zdecydowanej większości sytuacji planistycznych niezbędne *nakłady pracy* zasobów czynnych na wykonanie zadań i liczba przydzielonych zasobów, które te nakłady mają ponieść. Znając nakłady pracy zasobów na wykonanie określonego zakresu robót, możemy ustalić możliwości czasowe wykonania tych robót dysponowanym potencjałem środków pracy.

Nakłady pracy na wykonanie procesów budowlanych są uniwersalną charakterystyką do planowania robót. Przez ich pryzmat określa się koszty pracy, zużycie czasu pracy zasobów, możliwości współpracy zasobów (współużytkowania zasobów w realizacji kilku zadań), niezbędny czas na wykonanie zadań, i inne istotne parametry analizy planistycznej. Możemy też prowadzić symulację realizacji przedsięwzięcia, bez lub z- analizą ryzyka dotrzymania określonych terminów i kosztów.

Dlaczego nie prowadzimy tych wszystkich analiz przez pryzmat wydajności środków pracy? Powód jest w zasadzie jeden – zbyt zróżnicowana struktura procesów roboczych w budownictwie. Wydajność określa ilość produkcji w jednostce czasu, produkcji różnorodnej wykonywanej przez ten sam środek pracy w danym dniu, czy na danym froncie robót. Aby więc ustalić możliwości czasowe i koszty wykonania określonych robót, trzeba by było ustalać szczegółowo co i kiedy środek pracy wykonuje i zestawiać to w proces łączny. Łatwiej jest ustalić zużycia czasu pracy zasobów na wykonanie poszczególnych robót i zsumować je dla zakresów robót, które stanowią elementy struktury podziału pracy w planowaniu.

Problemy planowania produkcji budowlanej mogą być różne. W planowaniu projektujemy systemy kompleksowej mechanizacji (Jaworski, 2002 i 2004), ustalamy najkorzystniejsze rozwiązania organizacyjne współpracujących ze sobą środków pracy (Marcinkowski i Koper 2011), harmonizujemy wykonanie zadań z bilansowaniem potrzeb i dostępności zasobów (Marcinkowski 2002), oceniamy koszty wykonania prac (Kowalczyk i Zabielski, 2005), analizujemy ryzyka (Marcinkowski i Koper, 2008), itd. Podstawowym zagadnieniem planistycznym jest jednak wyznaczenie zespołu do wykonania określonego zakresu prac w ustalonym lub poszukiwanym optymalnym czasie. Wybrane zagadnienia decyzyjne z tego zbioru będą w niniejszym rozdziale przedmiotem modelowania i propozycji technik planistycznych ich rozwiązywania.

5.2. Optymalizacja organizacji zespołu do wykonania zadania

Rozpatrzmy problem organizacji zespołu do wykonania pojedynczego zadania. Planista przydziela zasoby do wykonania zadania na podstawie znajomości nakładów pracy na wykonanie tego zadania, lub analizując wydajności zaangażowanych zasobów. Zajmijmy się pierwszym przypadkiem. Do wykonania zadania z potrzeba

⁶. Roman Marcinkowski, dr hab. inż., Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej

zaangażować zasoby czynne tworzące zbiór $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, dla których jednostkowe nakłady pracy identyfikuje wektor $N = [n_1, n_2, \dots, n_n]$. Przydzielając do wykonania zadania z zasoby w liczbie $l(r_i)$ dla $i = 1, 2, \dots, n$, planista podejmuje decyzję ustalającą czas wykonania zadania według zależności:

$$t(z) = \max_i \frac{n_i \cdot p(z)}{l(r_i)} \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (5.1)$$

gdzie $p(z)$ – określa zakres zadania z .

Jeżeli zadanie z będzie jedynym zadaniem wykonywanym przez zasoby zbioru R , i zasoby te będą na miejscu wykonywania zadania z przez cały czas jego trwania, to przydział taki wiąże się ze stratą z tytułu niepełnego wykorzystania czasu pracy zasobów czynnych, wyznaczaną według zależności:

$$S(z) = \sum_{i=1}^n (t(z) \cdot l(r_i) - n_i \cdot p(z)) \cdot c_i, \quad (5.2)$$

gdzie c_i jest jednostkową stratą z tytułu niepełnego wykorzystania czasu pracy i -tego zasobu.

Jednostkowe straty c_i możemy wyznaczyć według zasad przedstawionych w [3, 8, 9], co sprowadza się do jej obliczenia dla każdego rozpatrywanego zasobu według wzoru:

$$c_i = c_i^p \cdot \frac{w_{kp}}{100} \cdot \left(1 + \frac{w_z}{100} \right), \quad (5.3)$$

gdzie: c_i^p – cena jednostkowa pracy i -tego zasobu, w_{kp}, w_z - wskaźniki procentowe kosztów pośrednich i zysku.

Zależności powyższe są użyteczne dla planisty w każdym przypadku, gdy musi on zdecydować o liczbie środków pracy współpracujących ze sobą w wykonania zadania z . Nietrudno jednak sobie wyobrazić, że planista może mieć możliwość wyboru środków pracy. Na przykład do wykonania wykopu może zastosować koparkę o wydajności 40 m³/godz. lub większą o wydajności 60 m³/godz. Jeżeli więc przyjmiemy, że zasoby czynne do wykonania procesu budowlanego nie są ustalone i trzeba je wybrać ze zbioru zamienników (maszyny o tym samym przeznaczeniu, jednak o różnej wydajności), to problem ustalenia zespołu wykonawczego do realizacji procesu z staje się zadaniem programowania matematycznego.

Sytuację tą zamodelujmy następująco. Planista, jak poprzednio, zna zakres robót do wykonania określony zmienną $p(z)$. W wykonaniu tych robót współpracują ze sobą środki pracy, tworzące zbiór rodzajowy $M = \{m_1, m_2, \dots, m_r\}$. Planista dysponuje różnymi typami środków pracy w poszczególnych ich rodzajach m_1, m_2, \dots, m_r . Niech tworzą one podzbiory M_i ($i=1, 2, \dots, r$) dostępnych środków produkcji. W każdym podzbiornie dostępnych środków produkcji M_i są wyróżnione typy (np. konkretne maszyny) $\{m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{i|m_i|}\}$, które mogą się zastąpić, i których liczba jest

ograniczona zmienną $l(m_{ij})$ dla ($j = 1, 2, \dots, |m_i|$). Typy środków pracy mają określoną wydajność odniesioną do jednostki miary, w której wyrażony jest zakres robót zadania z . W rozwiązaniu problemu należy ustalić liczby zaangażowanych typów środków pracy do wykonania procesu z , zapewniając wykonanie tego zadania w dyspozycyjnym czasie $\langle t_{\min}, t_{\max} \rangle$ i minimalizując straty z tytułu niepełnego wykorzystania wydajności wyznaczonych do zadania z środków pracy. Sformułujmy zadanie optymalizacji decyzyjnej.

Niech zmiennymi decyzyjnymi będą liczby wyróżnionych typów środków pracy skierowanych do realizacji zadania z . Oznaczmy je zmiennymi $x_{ij} \in \mathbb{R}^c$, gdzie indeks i będzie identyfikował rodzaj środka pracy, zaś indeks j – jego typ, charakteryzujący się określoną wydajnością w_{ij} (możliwą do osiągnięcia w warunkach realizacji zadania z). Zmienne te powinny spełniać warunek całkowitoliczbowości i ograniczenie:

$$x_{ij} \leq l(m_{ij}) \quad \text{dla} \quad (j = 1, 2, \dots, |m_i|; \quad i = 1, 2, \dots, r). \quad (5.4)$$

Zmienne decyzyjne muszą mieć takie wartości, aby spełnione były warunki wykonania całości robót, a mianowicie:

$$p(z) \leq \sum_{j=1}^{|m_i|} \frac{x_{ij}}{n_{ij}} \cdot t(z) \quad \text{dla} \quad (i = 1, 2, \dots, r), \quad (5.5)$$

gdzie n_{ij} określa nakład pracy i -tego rodzaju j -tego typu środka pracy na wykonanie jednostki zadania z .

Czas wykonania zadania z można określić z zależności:

$$t(z) = \max_i \frac{p(z)}{\sum_{j=1}^{|m_i|} \frac{x_{ij}}{n_{ij}}} \quad (i = 1, 2, \dots, r). \quad (5.6)$$

Czas ten powinien spełniać warunek:

$$t_{\min} \leq t(z) \leq t_{\max}. \quad (5.7)$$

Jeżeli przyjmiemy, że środki pracy w liczbie x_{ij} będą uczestniczyły w realizacji zadania z przez cały czas $t(z)$, to niektóre z nich (z powodu niedopasowania wydajności) będą częściowo niewykorzystane. To niepełne wykorzystanie środków pracy będziemy chcieli minimalizować przez pryzmat kosztów strat. Obliczyć je możemy według zależności:

$$S(z) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^{|m_i|} \frac{\left(\sum_{j=1}^{|m_i|} \frac{x_{ij}}{n_{ij}} \cdot t(z) \right) - p(z)}{\sum_{j=1}^{|m_i|} \frac{x_{ij}}{n_{ij}}} \cdot x_{ij} \cdot c_{ij}, \quad (5.8)$$

c_{ij} – jednostkowe koszty strat z tytułu niepełnego wykorzystania środka pracy m_{ij} (za jednostkę czasu pracy) określane według zależności (5.3).

Zadanie optymalizacyjne polega na wyznaczeniu zmiennych decyzyjnych $x_{ij} \in R^c$, minimalizujących wartość funkcji (5.8), przy spełnieniu warunków określonych zależnościami (5.4), (5.5) i (5.7). Model taki można rozwiązać przy wykorzystaniu symulacji komputerowej, realizowanej na przykład metodą ewolucyjną w arkuszu kalkulacyjnym. Zastosowanie arkusza kalkulacyjnego do rozwiązywania problemu pozwala planiście eksperymentować, ograniczając liczbę dostępnych środków pracy do wykonania zadania z, lub zmieniając dyspozycyjny przedział czasu na wykonanie zadania. Przykład takiego arkusza przedstawiono w tablicach 5.1 i 5.2.

Tablica 5.1. Dane do zadania optymalizacji organizacji zespołu w programie EXCEL.

Zadanie "z" – zakres $p(z)$	4000	Czas wykonania (od - do)		10	20
Struktura zasobów czynnych do wykonania zadania "z"					
Rodzaje środków produkcji	m_1 - koparki	m_2 - spycharki	m_3 - walce	m_4 - śr. transp.	
Wyróżnione typy środków produkcji	m_{11}	m_{21}	m_{31}	m_{41}	
	m_{12}	m_{22}	m_{32}	m_{42}	
	m_{13}	m_{23}	m_{33}	m_{43}	
	m_{14}	m_{24}		m_{44}	
	m_{15}				
Dostępność zasobów do wykonania zadania "z"					
Rodzaje środków produkcji	m_1 - koparki	m_2 - spycharki	m_3 - walce	m_4 - śr. transp.	
Liczba dostępnych środków produkcji $l(m_{ij})$	0	2	1	5	
	2	2	2	3	
	2	0	1	0	
	0	3		2	
	1				
Nakłady pracy środków produkcji na realizację jednostki zadania "z"					
Rodzaje środków produkcji	m_1 - koparki	m_2 - spycharki	m_3 - walce	m_4 - śr. transp.	
Nakłady pracy środków produkcji na realizację jednostki zadania "z" n_{ij}	0,0167	0,0100	0,0100	0,0500	
	0,0125	0,0083	0,0083	0,0333	
	0,0143	0,0125	0,0125	0,1000	
	0,0167	0,0143		0,0250	
	0,0250				
Jednostkowe koszty strat za niewykorzystanie środka produkcji					
Rodzaje środków produkcji	m_1 - koparki	m_2 - spycharki	m_3 - walce	m_4 - śr. transp.	
Jednostkowe koszty strat za niewykorzystanie środka produkcji	50	40	20	40	
	60	50	30	60	
	60	30	15	30	
	50	25		80	
	30				

Tablica 5.2. Wyniki optymalizacji organizacji zespołu uzyskane w programie EXCEL dla danych z tabeli 5.1.

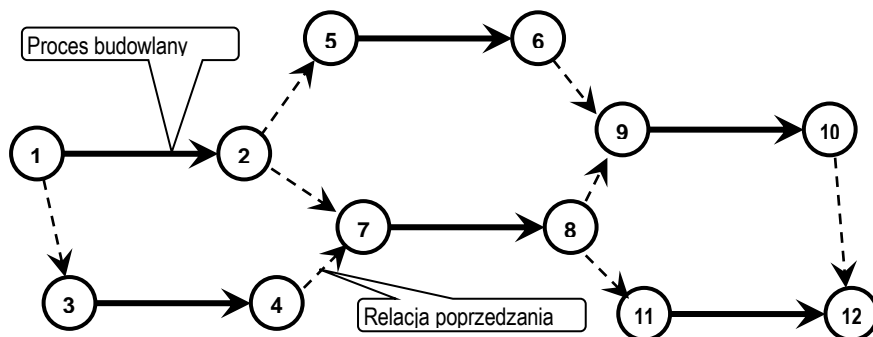
Zmienne decyzyjne				
Rodzaje środków produkcji	m_1 - koparki	m_2 - spycharki	m_3 - walce	m_4 - śr. transp.
Liczba środków pracy skierowanych do wykonania zadania "z" $x_{i,j}$	0	2	1	3
	2	0	1	2
	0	0	0	0
	0	0		2
	1			
Czas wykonania zadania t(z)				20,00
Koszty strat (wartość FC)				90,91

W arkuszu można zidentyfikować wszystkie dane i wyniki, uzyskane drogą symulacji komputerowej. Planista może zmieniać liczbę dostępnych środków pracy, i czas dyspozycyjny i poszukiwać racjonalnej organizacji zespołu roboczego. Organizację tą określają liczby środków pracy skierowanych do zadania z.

5.3. Ustalanie organizacji brygady do wykonania przedsięwzięcia

Często przedsiębiorca budowlany stoi przed problemem organizacji brygady do wykonania zbioru prac w określonym miejscu (froncie robót). Prace te o różnym charakterze i zakresie najczęściej wymagają zaangażowania różnych środków pracy i w różnej liczbie. Sytuację taką możemy zidentyfikować na przykład w robotach remontowych, wykończeniowych, czy branżowych, wykonywanych w obrębie jednego obiektu lub kompleksu budowlanego. Znając rodzaje i zakresy procesów budowlanych do wykonania w rozpatrywanej sytuacji (nazwijmy je przedsięwzięciem), przedsiębiorca chce ustalić brygadę (rodzaj środków pracy i ich liczbę), która będzie w stanie wykonać przedsięwzięcie w akceptowanym czasie, a środki te będą mogły być wykorzystane efektywnie. Cel jest więc taki sam jak w problemie organizacji zespołu do wykonania zadania, jednak „zadanie” reprezentowane tu jest przez sekwencję procesów o niejednorodnym zapotrzebowaniu na zasoby, ściślej – niejednorodne nakłady pracy.

Zamodelujmy sytuację decyzyjną. Niech przedsięwzięcie składa się ze zbioru procesów budowlanych $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, których kolejność wykonania identyfikuje graf skierowany $G(P, U)$ (Kapliński, 2007). W grafie tym P jest zbiorem par $\{(i_k, j_k)\}$ identyfikujących zdarzenia początku i końca procesów budowlanych $k = 1, 2, \dots, m$, zaś U jest zbiorem relacji, określonym na zbiorze zdarzeń początku i końca procesów budowlanych, identyfikowanych przez zbiór par $\{(i_l, j_l)\}$ ($l \in U$). Każdy proces p_k charakteryzowany jest nakładami pracy zasobów, niezbędnymi do wykonania procesu. Zasoby niezbędne do wykonania wszystkich wyróżnionych w przedsięwzięciu procesów pracy niech tworzą zbiór $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$. Relacje definiują kolejność robót, i ewentualną zwłokę czasu pomiędzy uzależnionymi zdarzeniami. Przykład grafu przedstawiającego 6 procesów z ustalonymi zależnościami kolejności ich wykonania przedstawia rys.5.1.



Rys. 5.1. Graf – model sieciowy przedsięwzięcia.

Tablica 5.3. Zestawienie nakładów pracy zasobów na wykonanie procesów budowlanych przedsięwzięcia - przykład.

Procesy budowlane (zadania)	Nakłady pracy zasobów				
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
1-2	10,00	5,00	500,00	12,00	80,00
3-4	0,00	4,00	400,00	14,00	0,00
5-6	20,00	6,00	300,00	0,00	0,00
7-8	30,00	7,00	0,00	13,00	60,00
9-10	0,00	0,00	200,00	20,00	20,00
11-12	20,00	6,00	100,00	20,00	40,00
Nakłady pracy zasobów na wykonanie przedsięwzięcia	80,00	28,00	1500,00	79,00	200,00

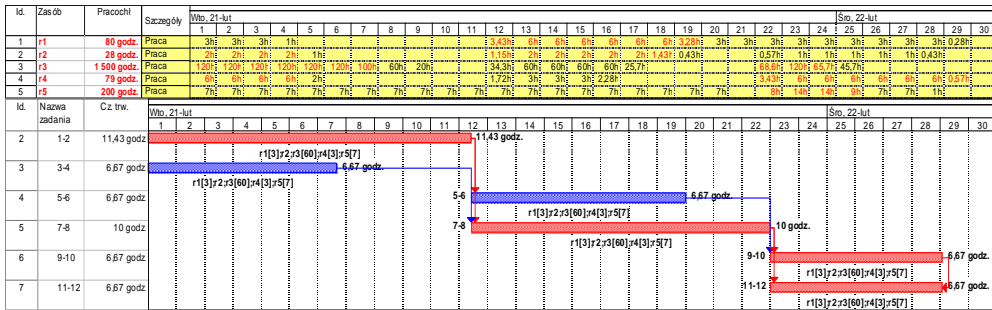
Znając nakłady pracy na wykonanie każdego procesu budowlanego nie jesteśmy w stanie ustalić potrzeb zasobowych w skali czasu dopóki nie określimy czasu przeznaczanego na realizację procesów. Czas ten jednak jest zależny od liczby zasobów pracy przydzielonych do wykonania procesów, a to z kolei zależy od organizacji brygady, która ma wykonać wszystkie procesy przedsięwzięcia. Przypomnijmy, celem naszym jest ustalenie składu brygady, która wykona przedsięwzięcie w akceptowanym czasie. Pamiętajmy też, że skrócenie czasu wykonania przedsięwzięcia może niekorzystnie wpłynąć na efektywność wykorzystania środków pracy – na czym nam zależy. Aby rozwiązać to zagadnienie proponuje się wykorzystanie do analiz programu do planowania przedsięwzięć (np. MS Project) i arkusza kalkulacyjnego. Tok postępowania powinien być następujący.

Tablica 5.4. Warianty organizacji brygady do wykonania przedsięwzięcia – do przykładu.

Nr wariantu organizacji brygady	Liczba środków pracy w brygadzie				
	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
w1	3	1	60	3	7
w2	2	1	40	2	5
w3	1	1	20	1	2
Jednostkowe koszty strat	15	50	1	20	8

Zestawienie nakładów pracy na wykonanie planowanych w ramach przedsięwzięcia procesów budowlanych (przykład – tab. 5.3) powinno być podstawą do określenia propozycji składu brygady w kilku wariantach (przykład – tab.5.4).

Wykorzystując te informacje, należy ustalić czas, w którym jest możliwe wykonanie przedsięwzięcia danym zespołem. W tym celu dla każdego wariantu organizacyjnego brygady należy sporządzić harmonogram wykonania procesów budowlanych przy zbilansowaniu potrzebnych nakładów pracy z możliwymi nakładami (wynikającymi z liczby dostępnych zasobów (Marcinkowski, 2002). Przydziały maksymalne zasobów do zadań najczęściej skutkują nadmierną alokacją zasobów (Marcinkowski, 2002) i (Marcinkowski i Koper, 2011) w czasie realizacji przedsięwzięcia (rys. 5.2).

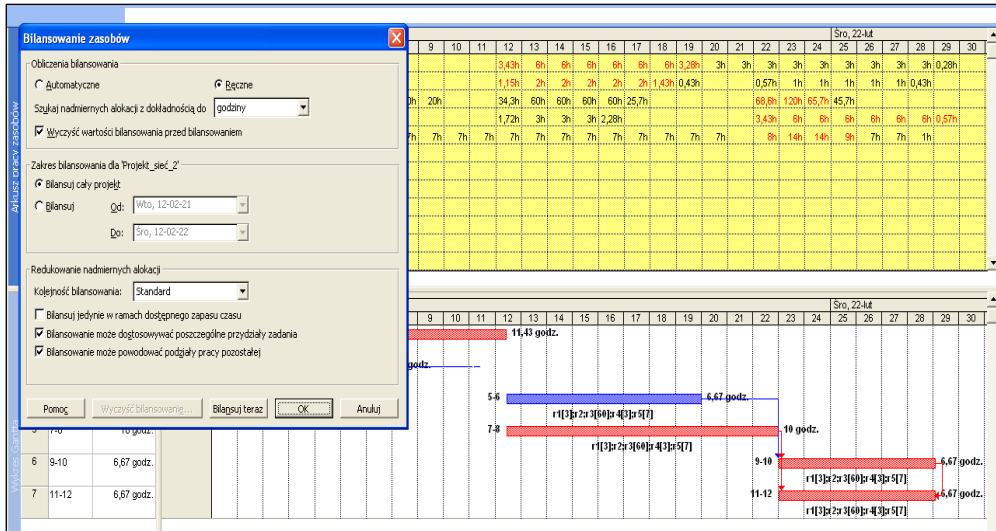


Rys.5.2. Harmonogram przedsięwzięcia z rysunku 5.2 z nadmierną alokacją zasobów

Analizę w programie MS Project prowadzimy w następujący sposób:

- w kalendarzu projektu ustawiamy dyskretną skalę czasu (bez dni i godzin wolnych od pracy);
- definiujemy zbiór zasobów typu praca i ich dostępność (liczbę);
- wprowadzamy zbiór zadań przedsięwzięcia, ilość pracy dla zdefiniowanych zasobów oraz dokonujemy maksymalnego⁷ przydziału liczby zasobów do wykonania poszczególnych zadań;
- wprowadzamy model sieciowy przedsięwzięcia - zależności (R-R, R-Z, Z-Z, Z-R) między zadaniami;
- bilansujemy zasoby (rys.5.3), dopuszczając możliwość dostosowywania przydziałów zasobów do zadań i podziały pracy pozostałej (ustawienia standardowe programu);
- identyfikujemy wyznaczony przez program czas wykonania przedsięwzięcia.

⁷ Przydział zasobów do wykonania zadania nie może przekraczać liczby dostępnych zasobów według rozpatrywanego wariantu organizacji brygady.



Rys.5.3. Bilansowanie zasobów w programie MS Project.

Tablica 5.5. Wyniki oceny efektywności wykorzystania brygad zorganizowanych według wariantów z tab.5.2 w realizacji rozpatrywanego przedsięwzięcia.

Nr wariantu organizacji brygady	Ustalony czas realizacji przedsięwzięcia	Koszty strat za niepełne wykorzystanie zasobów					Sumaryczne koszt strat
		r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	
w1	42	690,00	700,00	1020,00	940,00	752,00	4102,00
w2	61	630,00	1650,00	940,00	860,00	840,00	4920,00
w3	130	750,00	5100,00	1100,00	1020,00	480,00	8450,00

Dalsze analizy wykonywane są w arkuszu kalkulacyjnym. Mając ustalone możliwe czasy wykonania przedsięwzięcia przez brygady zorganizowane według poszczególnych wariantów, i wykorzystując dane o jednostkowych kosztach strat za brak pracy dla zasobu (środku pracy), oceniamy poszczególne warianty organizacji brygad wyliczając dla nich koszty strat za niepełne wykorzystanie zasobów w cyklu realizacji przedsięwzięcia. Obliczenia wykonujemy według wzoru (5.2), traktując przedsięwzięcie jak pojedyncze zadanie z ustalonym czasem trwania. Do realizacji przedsięwzięcia należy skierować brygadę, dla której $S(w_i)$ osiąga wartość minimalną. Wyniki analiz dla danych zestawionych w tabelach 5.3 i 5.4 oraz ustalonej na rys. 5.1 kolejności wykonania procesów budowlanych, przedstawiono w tabeli 5.5.

Przedstawione podejście do problemu ustalenia składu liczebnego brygady nie rozwiązuje całości zagadnienia. Można przecież wyobrazić sobie sytuację, że przedsiębiorca będzie miał możliwości wyboru typów środków pracy, jak to przedstawiono w poprzednim punkcie rozdziału. W tej sytuacji trzeba dokonać wyboru typów środków pracy i ustalić ich liczbę. Jak dotychczas taki problem nie znalazł rozwiązania w współczesnych metodach planowania i harmonogramowania przedsięwzięć. Pozostaje nam mozolne analizowanie wariantów organizacyjnych, co przy dobrze przygotowanych narzędziach komputerowych nie jest takie pracochłonne.

5.4. Harmonogramowanie produkcji budowlanej

Harmonogramowanie produkcji budowlanej przez pryzmat nakładów pracy zasobów jest już stosunkowo dobrze znaną techniką. Służą temu specjalnie opracowane aplikacje komputerowe, pozwalające łączyć kosztorys budowlany z harmonogramem robót (Marcinkowski, 2002 i 2010). Chodzi o automatyzację przekazu informacji o nakładach rzeczowych z kosztorysu do programu wspomagającego opracowanie harmonogramu. Kosztorysy opracowywane są przez pryzmat norm nakładów rzeczowych – bazy KNR. Mimo niedoskonałości tej bazy, trzeba stwierdzić, że tylko przez pryzmat nakładów rzeczowych jest możliwość zautomatyzowania analiz planistycznych przy zachowaniu wymiernego ich charakteru.

Posługując się popularnymi programami do planowania przedsięwzięć MS Project & Projekt+ lub PLANISTA, i podając wartości nakładów rzeczowych, ich kosztów jednostkowych oraz liczby środków pracy, używany program komputerowy wyznaczy czas realizacji zadań, a uwzględniając zależności między zadaniami i terminy dyrektywne, możemy ustalić harmonogram realizacji analizowanego zbioru zadań.

Istotnym elementem tak utworzonego harmonogramu jest możliwość zarządzania zasobami. Należy tu zapewnić pewną elastyczność w przydziale zasobów do zadań. Jeżeli przyjmiemy, że nakłady pracy są podstawą planowania, to należy definiować zadania ze stałą pracą, a dopuszczać aby program komputerowy określał niezbędne liczby jednostek zasobów do wykonania zadania w zakładanym czasie (rys.5.5).

Analizę planistyczną w programie MS Project prowadzimy wg następującej metodyki:

1. Definiujemy kalendarz projektu oraz termin rozpoczęcia planowanego przedsięwzięcia
2. Definiujemy zbiór zasobów, ich koszty jednostkowe oraz dostępność i kalendarze dla poszczególnych zasobów typu *praca* – przykład – rys. 5.4.

	Nazwa zasobu	Typ	Etykieta materiału	Grupa	Maks. jednostek	Stawka zasad.	Naliczanie	Kalendarz bazowy
1	Robotnicy	Praca		R	14	20,00 zł/godz.	Proporcjonalnie	Standardowy
2	Spycharka	Praca		S	2	70,00 zł/godz.	Proporcjonalnie	Standardowy
3	Koparka	Praca		S	2	80,00 zł/godz.	Proporcjonalnie	Standardowy
4	Walec wibracyjny samoj.	Praca		S	1	60,00 zł/godz.	Proporcjonalnie	Standardowy
5	Zagęszczarka wibracyjna	Praca		S	1	50,00 zł/godz.	Proporcjonalnie	Standardowy
6	Samochód samowył.	Praca		S	7	120,00 zł/godz.	Proporcjonalnie	Standardowy
7	Ciągnik z przyczepą	Praca		S	2	40,00 zł/godz.	Proporcjonalnie	Standardowy
8	Żuraw samochodowy	Praca		S	2	130,00 zł/godz.	Proporcjonalnie	Standardowy
9	Piasek	Materiał	m ³	M		60,00 zł	Proporcjonalnie	
10	Płyty drogowe	Materiał	szt.	M		230,00 zł	Proporcjonalnie	

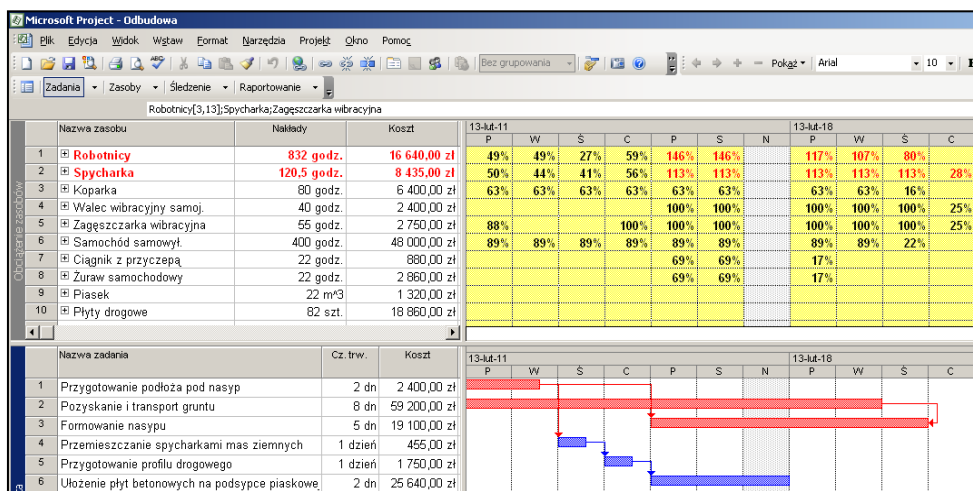
Rys. 5.4. Arkusz zasobów w programie MS Project

3. Wprowadzamy zbiór zadań przedsięwzięcia, nakłady zdefiniowanych zasobów oraz na ich podstawie określamy realny czas na wykonanie poszczególnych zadań (rys. 5.5).

Nazwa:	Pozyskanie i transport gruntu	Czas trwania:	8d	<input checked="" type="checkbox"/> Wg nakładu pracy	Popr
Rozpoczęcie:	Pon, 13-02-11	Zakończenie:	Śro, 13-02-20	Typ zadania:	Praca stała
Id.	Nazwa zasobu	Jednostki	Praca	Id.	Nazwa poprzednika
1	Robotnicy	3,75	240h		
3	Koparka	1,25	80h		
6	Samochód samowył.	6,25	400h		

Rys. 5.5. Arkusz zadania w programie MS Project

4. Wprowadzamy model sieciowy przedsięwzięcia i analizujemy uzyskany efekt – obciążenie dostępnych zasobów (rys.5.6).



Rys. 5.6. Arkusze „Obciążenie zasobów” i „Harmonogram Gantta” w programie MS Project

5. W sytuacji niedopuszczalnego przeciążenia zasobów, bilansujemy zasoby, dopuszczając możliwość dostosowywania przydziałów zasobów do zadań i podziały pracy pozostałej (ustawienia standardowe programu);

Z rysunku 5.6 wynika bardzo wiele informacji dla planującego. Opracowany harmonogram generuje zbyt duże obciążenie zasobów dla robotników i spycharek. Przekroczenie dostępnej ilości pracy dla tych zasobów sygnalizowane jest kolorem czerwonym i procentem wykorzystania potencjału. Planujący ma możliwość pogodzenia się z tym faktem lub podjąć proces wyeliminowania nadmiernej alokacji. Niewielkie przekroczenia mogą być akceptowane, bowiem nadmiar pracy do wykonania może być zrealizowany w nadgodzinach, bądź w innym czasie – gdy zasoby te nie są w pełni wykorzystane.

5.5. Analiza ryzyka planu produkcji budowlanej

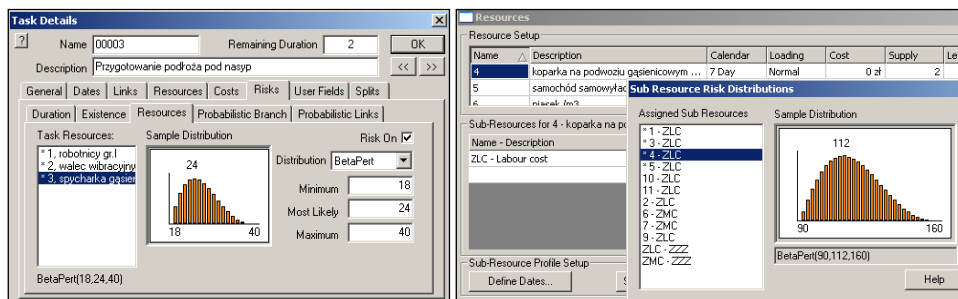
Ryzyko to pojęcie z zakresu teorii decyzji, oznaczające sytuację, w której wybranie danego wariantu pociąga za sobą możliwości wystąpienia różnych konsekwencji, przy znanym prawdopodobieństwie wystąpienia każdej z możliwości. Ryzyko w zarządzaniu projektami, oznacza możliwość wystąpienia nieoczekiwa-

nych okoliczności powodujących powstanie opóźnień w projekcie lub wzrost kosztów realizacji.

Poprzez analizę ryzyka należy rozumieć rozpoznanie zagrożeń oraz ustalenie ich przyczyn i możliwych następstw. Przeprowadzenie takiej analizy pozwala podjąć działania przeciwdziałające prognozowanym skutkom niepożądanym. Zasadniczą miarą ryzyka jest prawdopodobieństwo zaistnienia szkody i jej konsekwencje.

Ryzyko w planach produkcji budowlanej odnoszone jest do ustalonych i uzgodnionych terminów węzłowych, w tym do terminu zakończenia przedsięwzięcia oraz do kosztów zrealizowania prac. Charakterystyki te są funkcją rodzaju i zakresu zadań składających się na przedsięwzięcie, wymaganych nakładów zasobów, dostępności środków produkcji i kosztów środków produkcji. Niepewność nakładów rzeczowych, dostępności i kosztów środków produkcji implikuje niepewność dotrzymania uzgodnionych terminów oraz bilansu kosztów realizacji zadań i uzgodnionej kwoty kontraktu. Zwiększone koszty realizacji prac budowlanych mogą pochodzić z zwiększonych (w stosunku do normowych) nakładów na ich wykonanie, przekroczenia terminów umownych, konieczności zatrudnienia pracowników i maszyn w nadgodzinach, w dni ustawowo wolne od pracy, itp. Są one więc zasadniczą miarą konsekwencji szkody w ocenie ryzyka. Oceniając ryzyko określonego programu produkcyjnego, należy ustalić prawdopodobieństwo zdarzeń niekorzystnych i obliczyć ich koszty. Ponieważ w umowach na roboty budowlane określa się terminy wykonania prac, cenę umowną i różnego rodzaju kary i potrącenia, ryzyko produkcji budowlanej należy też odnosić do czasu wykonania zadań.

Podstawowym zagadnieniem w ocenie ryzyka planu realizacji produkcji jest więc probabilistyczna ocena czasu trwania i kosztu realizacji zadań (przykłady opisu tych danych przedstawiono na rys. 5.7) oraz analiza wpływu tej oceny na spełnienie wymagań umownych (zakładanych).



Rys. 5.7. Okienka dialogowe programu Pertmaster Project Risk do wprowadzania rozkładów zmienności nakładów pracy i kosztów jednostkowych zasobów.

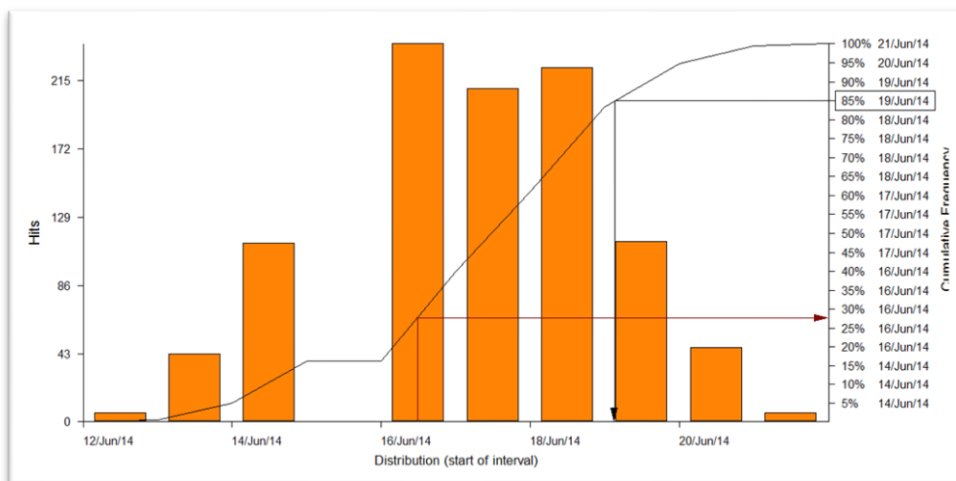
Sposób analizy tak rozumianego ryzyka metodą symulacyjną w planach produkcyjnych został przedstawiony w (Marcinkowski i Koper, 2008). Symulacja komputerowa, którą proponują twórcy programów Pertmaster Project Risk, czy też, @RISK for Project umożliwiła zdefiniowanie wartości danych jako zmienne losowe o określonych rozkładach, i symulowanie realizacji planowanego programu robót z oceną interesujących nas wielkości. Wielkości te są zapamiętywane, a na zakoń-

czenie symulacji poddane analizie statystycznej, którą otrzymuje planujący jako wynik analizy. Oto krótka charakterystyka tej metody z wykorzystaniem programu Pertmaster Project Risk.

Posługując się programem z możliwością symulacyjnej analizy ryzyka, wprowadzamy do programu charakterystyki probabilistyczne nakładów czasu i ich kosztów⁸ i tak przygotowany plan poddajemy symulacji. Program losuje wielkości charakterystyczne danych według zdefiniowanych rozkładów i ustala następujące charakterystyki:

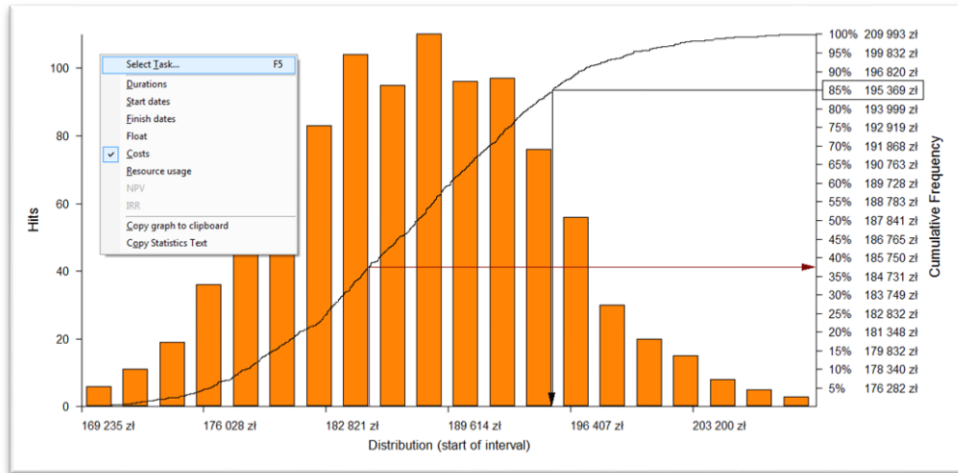
- czasy trwania i koszty realizacji zdefiniowanych grup zadań ,
- terminy rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych zadań,
- nakłady pracy zasobów na realizację całego analizowanego zbioru zadań,
- termin i koszt zrealizowania całego analizowanego zbioru zadań.

Charakterystyki te podawane są przez program w postaci graficznej – funkcji (zobrazowanej histogramem) rozkładu i dystrybuanty zmiennej losowej oraz opisowej – statystyki uzyskanej w wyniku symulacji próby.



Rys. 5.8. Wyniki symulacji terminu zakończenia realizacji przedsięwzięcia.

⁸ Program Pertmaster Project Risk nie umożliwia definiowania kosztów nakładów w postaci zmiennych losowych, jednak możliwość definiowania w programie podzasobów pozwala na określenie kosztu jako podzasobu zasobu, którego ten koszt dotyczy, i ustalenia charakterystyki probabilistycznej dla podzasobu.



Rys. 5.9. Wyniki symulacji kosztu realizacji przedsięwzięcia.

Program jest przygotowany do symulacji analizy ryzyka dla wybranych rozkładów statystycznych opisujących poszczególne zmienne, składające się na dane wyjściowe do planowania. Zadaniem projektanta jest wybór rozkładu najlepiej pasującego do opisu danego zadania. Nie jest to zadanie łatwe, tym bardziej, że aktualnie brak jest badań ukierunkowanych na ten problem.

Wyznaczone w wyniku symulacji charakterystyki zmiennych losowych czasu i kosztów nie są ryzykiem. Na rysunkach 5.8 i 5.9 widzimy bowiem wartości charakterystyczne czasów, terminów, kosztów, z oceną prawdopodobieństwa ich osiągnięcia w realizacji projektu. Ryzyko jest iloczynem straty z tytułu niepowodzenia i prawdopodobieństwa nastąpienia tej straty.

Ryzyko związane jest zawsze z decyzją. Nie rozstrzyga ono jednak o istocie problemu, który rozwiązujemy. Charakteryzuje za to samą decyzję. Stąd są decyzje o mniejszym i większym ryzyku. Nie jest więc istotne „spełnienie się” ryzyka. Kwantyfikacja ryzyka jest potrzebna do porozumiewania się decydentów między sobą i podejmowania decyzji wraz z akceptacją lub alokacją ryzyka.

5.6. Podsumowanie

Planowanie produkcji budowlanej przez pryzmat nakładów rzeczowych jest podstawą wszystkich programów komputerowych wykorzystywanych w tym przeznaczeniu. Planiści chcą szybko i wiarygodnie ustalać zużycie czasu i koszty prac budowlanych. Na bazie tej wiedzy podejmują decyzje operatywne i planistyczne.

Problemy na wyznaczenie środków pracy do wykonania określonych robót (decyzje operatywne) są bardzo często bagatelizowane. Najczęściej wykonawcy budowlani chcą wykonać zadania szybko, nie zastanawiając się przy tym nad globalnymi skutkami takiego postępowania. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę z tego, że efektywność rozwiązań organizacyjnych mierzona jest w sensie globalnym kosztami straconego czasu. Kryterium takie dawno temu sformułował w (Adamiecki, 1985) prekursor naukowej organizacji pracy Karol Adamiecki. Dążenie do skracania

cykli realizacyjnych, tak często podejmowane w różnych projektach, w sensie globalnym jest nieracjonalne.

Technika harmonogramowania i analizy ryzyka przez pryzmat nakładów pracy jest również niedoceniana. Uznaje się, że jest szereg mankamentów takiego planowania, wynikających z zbyt drobiazgowego rozpatrywania zasobów i nierealności norm.

Baza wiedzy o nakładach pracy na wykonanie procesów pracy jest bardzo krytykowana. Istnieją w niej przestarzałe technologie, nakłady są odniesione do bliżej nieokreślonych maszyn, procesy pracy mają niesprecyzowane warunki wykonania. Nie prowadzi się też opisu norm nakładów pracy z uwzględnieniem ich niepewności (opisu probabilistycznego). Mimo tej krytyki, firmy oferujące oprogramowanie dla budownictwa w zakresie wykonawstwa budowlanego dokładają wielu starań o uaktualnianie bazy KNR, upatrując w niej jedyną możliwość komputeryzacji procesów kalkulacyjnych w kosztorysowaniu i planowaniu produkcji budowlanej.

5.7. Literatura

- [1] Adamiecki, K. (1985). *O nauce organizacji*. Warszawa: PWE.
- [2] Jaworski, K. M. (1999). *Metodologia projektowania realizacji budowy*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [3] Jaworski, K. M. (2002). Wielokryterialna analiza jakości harmonogramów budowlanych. *Przegląd Budowlany*, 1, 18-21.
- [4] Jaworski, K. M. (2004). *Podstawy organizacji budowy*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [5] Kapliński, O. (red.). (2007). *Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych*. Warszawa: KILiW PAN, Instytut Podstawowych Problemów Techniki.
- [6] Kowalczyk, Z. i Zabielski, J. (2005). *Kosztorysowanie i normowanie w budownictwie*. Warszawa: WSiP.
- [7] Marcinkowski, R. (2002). *Metody rozdziału zasobów realizatora w działalności inżynieryjno-budowlanej*. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
- [8] Marcinkowski, R. (2007). Harmonogramowanie produkcji przedsiębiorstwa budowlanego. *Przegląd Budowlany*, 2, 41-47.
- [9] Marcinkowski, R. (2010). Metodologiczne aspekty analiz efektywności procesu budowlanego. W R. Marcinkowski (red.), *Problemy naukowo-badawcze budownictwa*. (strony 215-243). Płock: Wydział Budownictwa Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej.
- [10] Marcinkowski, R. i Koper, A. (2008). Ocena ryzyka czasu i kosztów w planowaniu produkcji budowlanej. *Przegląd Budowlany*, 7/8, 70-75.
- [11] Marcinkowski, R. i Koper, A. (2011). Projektowanie zespołu maszyn zapewniających ciągłość betonowania konstrukcji monolitycznej. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, wyd. Politechniki Białostockiej, 2, 583-587.
- [12] Marcinkowski, R. i Krawczyńska, A. (2011). Koncepcja metody analizy efektywności wykorzystania deskowań systemowych w budowie obiektu żelbetowego. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, 58, 257-264.

[13] Milian, Z. (2005). Wybrane metody oceny ryzyka niedotrzymania terminów realizacji budowy. *Przegląd Budowlany*, 12, 45-47.

Optimization decisions of planning construction on the basis of its work Roman Marcinkowski¹

Abstract: Man or machine hours needed by various resources to complete construction works are the basis for work estimation and scheduling. In particular, they enable the planner to estimate labor costs or time needed to complete the task, review resources' workload and availability of resources assigned to particular task, check the possibility of sharing resources across various tasks and determine other rates and factors useful in works scheduling. The project schedule can be analyzed both on no and in consideration of risk of the end date of the project being pushed out or going over budget on the project.

Issues presented above are the subject of this paper. The methods of solving described problems consider thoroughly optimization of a loss that derives from partial utilization of assigned resources' productivity.