

Wybór systemu i planowanie wykorzystania deskowań w wykonawstwie monolitycznych konstrukcji betonowych

Dr hab. inż. Roman Marcinkowski, mgr inż. Anna Krawczyńska,
Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku, Politechnika Warszawska

Współczesne wykonawstwo monolitycznych konstrukcji betonowych staje się procesem coraz bardziej złożonym – głównie za sprawą stosowania nowoczesnych rozwiązań systemowych i materiałowych wraz z dostosowaną do nich technologią, jak również wskutek potrzeby optymalizacji kosztów wykonania, czasu pracy i innych wskaźników ekonomiczno-technicznych.

Przystępując do opracowania kompleksowego projektu robót, planista musi rozwiązać szereg problemów decyzyjnych. Umiejętność ich rozwiązywania umożliwia racjonalną alokację zasobów w czasie i pozwala na ich efektywne wykorzystanie.

Celem pracy jest identyfikacja i usystematyzowanie problemów pojawiających się w procesie planowania wykonania monolitycznych konstrukcji betonowych, zaproponowanie metod ich rozwiązywania i określenie czynników wpływających na rozwiązania jakościowe problemów, jak również sformalizowanie kryteriów oceny efektywności organizacji wykonywanych robót betonowych.

1. Wprowadzenie

We współczesnym wykonawstwie monolitycznych konstrukcji betonowych mogą być wykorzystywane różne deskowania. Firmy zajmujące się techniką deskowań oferują w ramach swojej oferty systemy deskowań do występujących w obiektach elementów konstrukcyjnych (ścian, słupów, stropów, kolumn, fundamentów, płyt itd.) o różnej charakterystyce wymiarowej i kształcie. W ofercie swojej firmy konkurują pod względem kompleksowości rozwiązań, ergonomii w montażu i demontażu, zapewnienia bezpieczeństwa pracowników i konstrukcji oraz dokładności wykonania formowanej konstrukcji.

Przystępując do opracowania projektu organizacji wykonania konstrukcji monolitycznej obiektu, trzeba

zdecydować o wyborze systemów deskowań, wielkości i lokalizacji działek roboczych oraz opracować harmonogram robót. Rozwiązanie tych kwestii powinno być podporządkowane określonym kryteriom efektywności realizacji robót.

Efektywność robót budowlanych najczęściej mierzona jest kosztami. Nie jest to jednak jedyne kryterium istotne z punktu widzenia wykonawcy. W wielu przypadkach opłaca się wykonać konstrukcję w wyższych (od minimalnych) kosztach na rzecz sprawności organizacyjnej, bezpieczeństwa pracy, skrócenia cykli realizacyjnych, komfortu pracy pracowników, jakości wykonania itp.

Rozwiązanie wyżej sformułowanych problemów (wybór systemów deskowań, określenie wielkości i lokalizacji działek roboczych, harmonizacja robót betonowych) jest więc zagadnieniem złożonym, wymagającym opracowania naukowo podbudowanej metodyki postępowania.

W zagadnieniu można wyróżnić dwa etapy decyzyjne:

- wybór systemu (systemów) deskowań do wykorzystania w budowie określonego obiektu,
- opracowanie organizacji wykorzystania deskowań wybranego systemu (systemów) w realizacji robót betonowych.

Etap pierwszy związany jest z zdecydowaniem o systemach deskowań, które powinno się zastosować na rozpatrywanej budowie ze względu na właściwości obiektu (monolitycznej konstrukcji) i technologiczność systemów deskowań. Technologiczność tą odnosimy do istniejących w wykonawstwie konstrukcji monolitycznej warunków i właściwości samego deskowania. Oczywiście koszty dzierżawy deskowań są również w tym etapie ważne.

W drugim etapie, po wyborze systemów deskowań do wykonania monolitycznej konstrukcji obiektu, należy zdecydować o ilości deskowań wykorzystywa-

nych na budowie, organizacji przestrzennej i czasowej ich wykorzystywania w celu wykonania konstrukcji monolitycznej całego obiektu. Występuje tu problem podziału na działki, przekładania desek, zapewnienia ciągłości betonowania elementów konstrukcyjnych i osiągnięcia zakładanych wskaźników tempa realizacji prac betonowych.

2. Wybór systemu desekowań

Wybór systemu desekowania z określonego zbioru dostępnych i użytecznych desekowań opiera się na kryteriach: kosztów użycia i technologiczności desekowania.

Koszty użycia desekowania kalkuluje się w odniesieniu do określonych elementów konstrukcyjnych przez przyzmat nakładów pracy robotników, maszyn montażowych i desekowania przy montażu i demontażu oraz przy pracy desekowania w czasie montażu zbrojenia, betonowania elementu i dojrzewania betonu (do czasu rozdeskowania). Aktualnie brak jest norm nakładów rzeczowych na wykonanie konstrukcji betonowych w różnych systemach desekowań. Będące w użyciu katalogi, w swoim zbiorze technologii ujmują jedynie niektóre desekowania firmy PERI, U-form, co nie wyczerpuje zbioru oferowanych na polskim rynku desekowań. Stąd dość trudno jest przeprowadzić obiektywny ranking kosztowy desekowań w zastosowaniu do określonego obiektu. Nie oznacza to jednak, że należy odstąpić od takiej analizy. Koszty użycia desekowań różnych firm w odniesieniu do danego obiektu są możliwe do oszacowania niezależnie jak daleko są znormalizowane procesy pracy wykonywane przy ich użyciu.

Koszty bezpośrednie użycia desekowań określonego systemu należy kalkulować techniką szczegółowej kalkulacji kosztorysowej, wg wzoru:

$$K^d = \left(N_j^{m,d} + \frac{n_j \cdot t_{db}}{B} \right) \cdot C_j \cdot B \quad (1)$$

gdzie: $N_j^{m,d}$ – nakłady jednostkowe (na jednostkę obmiaru) pracy desekowań związane z ich montażem i demontażem; n_j – krotność użycia kompletu desekowań do zadeskowania obmiaru konstrukcji betonowej; t_{db} – czas pracy desekowania w jednym miejscu z pominięciem czasu potrzebnego na jego montaż i demontaż; B – ilość jednostek obmiaru konstrukcji do zadeskowania; C_j – cena m-g pracy jednostki desekowania (jednostką desekowania jest najczęściej 100 m²).

Wartość n_j jest funkcją ilości jednostek obmiaru konstrukcji możliwej do zadeskowania z jednego kompletu desekowań, a więc:

$$n_j = \frac{B}{b_j} \quad (2)$$

gdzie: b_j – ilość jednostek obmiaru konstrukcji możliwej do zadeskowania jednym kompletem desekowań. Do określonych w ten sposób kosztów, należy doliczyć koszty robocizny i pracy sprzętu pomocniczego (do transportu wewnętrznego i montażu). W analizie możemy pominąć koszty pośrednie i zysk, chyba że są one zróżnicowane dla różnych systemów desekowań.

Decyzję o wyborze określonego systemu desekowania planista może podjąć, posługując się intuicją i doświadczeniem, zdobytym w trakcie praktyki zawodowej lub korzystając ze statystycznej analizy decyzyjnej. Im decyzja ta jest trudniejsza i wiąże się z większą odpowiedzialnością, tym chętniej sięga się po metody analizy matematycznej. Pozwala to na obiektywizację procesu decyzyjnego i w konsekwencji uzyskanie rozwiązania optymalnego. Wspomaganie procesu decyzyjnego modelowaniem matematycznym pozwala określić ściśle zależności między kryteriami, ich hierarchię, a sam proces decyzyjny sprowadza się do porządkowania, analizy i racjonalizacji. Modelowanie matematyczne pozwala również na zmianę systemu wartości, preferencji oraz wskazanie nowych możliwości.

Istnieje wiele metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji [6]: matematyczne, (wykorzystujące kodowanie Neumana – Morgernsterna, kodowanie metodą Pattern), geometryczne (sieć pajęczna, metoda wektorów wypadkowych), grafowe (metoda sortowania ELEKTRA, oparta na modelu preferencji w postaci relacji przewyższania konstruowanej w trybie testu zgodności i niezgodności) taksonometryczne (aksonometria wrocławska, Czekanowskiego), polioptymalizacja w obecności ocen rozmytych.

Ocenę i wybór technologiczności systemów desekowań proponujemy prowadzić z wykorzystaniem metody ELEKTRA [1].

Przyjmijmy, że planista ma wstępnie określić możliwe do zastosowania na rozpatrywanej budowie systemy desekowań. Jak wiemy, systemy desekowań mogą być stosowane w pewnych grupach, uzupełniając się wzajemnie. Planujący musi zestawić te systemy w warianty – strategię w metodzie ELEKTRA. Niech tworzą one zbiór $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$. Warianty będziemy oceniać przez przyzmat kryteriów technologiczności $K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ możliwych do zastosowania na budowie systemów desekowań. Kryteriami tymi mogą być: dostępność konstrukcji desekowań (możliwość dostosowania ilości i asortymentu do potrzeb), ergonomiczność konstrukcji (łatwość montażu i demontażu, transportu), stopień zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji i pracowników, jakość wykonania formowanej konstrukcji, itp.

W analizie zapewniamy niezależność strategii (wariantów możliwych do zastosowania desekowań).

Każda strategia ($s \in S$) jest obciążona kosztami C_s^k ,

wyznaczanymi z zależności:

$$C_s^k = \sum_{i \in E} K_i^d \quad (3)$$

gdzie: K_i^d – koszty bezpośrednie użycia deskowań do wykonania i -tego elementu konstrukcji, wyznaczone wg zależności (1); E – zbiór elementów konstrukcji w obiekcie różniących się sposobem obmiaru i rodzajem użytych deskowań (zbiór pozycji kosztorysowych).

Technologiczność wariantów (zbioru S) jest charakteryzowana wskaźnikami jakości: $C = [c_{s,i}]_{n \times m}$, gdzie: $c_{s,i}$ jest wskaźnikiem jakości dla s -tej strategii i dla i -tego kryterium.

Celem zastosowania metody ELEKTRA, do wyboru najkorzystniejszej strategii, przyjmijmy, że kryteria będą minimalizowane. Oznacza to konieczność wyrażania wskaźników jakości dla strategii najlepszych najmniejszą liczbą. Jeżeli wskaźniki jakości nie spełniają tego warunku należy przyjąć do analizy ich odwrotności. Dla poszczególnych kryteriów technologiczności $i \in K$ należy ustalić też współczynniki wagowe w_i oraz zakresy skali d_i .

Podstawą analizy jest porównywanie poszczególnych strategii między sobą, stawiając hipotezę, że strategia „s” przewyższa (jest lepsza) strategię „k”. Metodą ELEKTRA obiektywizujemy ten osąd poprzez obliczenie współczynników zgodności z_{sk} z hipotezą, że strategia „s” przewyższa (jest lepsza) strategię „k” według zależności [2, 3]:

$$z_{sk} = \begin{cases} \text{jest nieokreślony} & \text{gdy } s = k \\ \frac{\sum_{i \in I_{sk}^+} w_i + \sum_{i \in I_{sk}^-} w_i}{\sum_{l=1}^m w_l} & \text{gdy } s \neq k \end{cases} \quad (4)$$

oraz współczynników n_{sk} niezgodności z wyżej określoną hipotezą, według zależności:

$$n_{sk} = \begin{cases} \text{jest nieokreślony} & \text{gdy } s = k \\ \max_{i \in I_{sk}^-} \left\{ \frac{c_i(k) - c_i(s)}{d_i} \right\} & \text{gdy } I_{sk}^- \neq 0 \\ 0 & \text{gdy } I_{sk}^- = 0 \end{cases} \quad (5)$$

gdzie: I_{sk}^+ , I_{sk}^- , I_{sk} – zbiory indeksów „i”, dla których wartość $c_i(s)$ kryterium „i” strategii „s” jest odpowiednio: bardziej, tak samo lub mniej pożądana niż wartość $c_i(k)$ kryterium „i” strategii „k”.

Na podstawie powyższych współczynników, stosując dalszą metodykę metody ELEKTRA wyznaczamy strategię nieprzewyższoną przy zadanym (przyjętym) progu zgodności i niezgodności z hipotezą przewyższania.

Relację przewyższania strategii „k” przez strategię „s” ze współczynnikiem zgodności z_{sk} należy rozumieć, że strategia „s” jest niegorsza od strategii „k” pod względem dostatecznie wielu i dostatecznie ważnych kryteriów ($z_{sk} \geq p_n$), dla pozostałych kryteriów strategia „s” jest niedużo gorsza od strategii „k” ($n_{sk} \leq q_n$).

Sposób działania metody ELEKTRA możemy prześledzić na prostym przykładzie.

Przykład:

Mamy do dyspozycji pięć systemów deskowań, stanowiących strategię S1–S5. Każdy z systemów oceniamy w skali od 1 do 5 (1 – ocena najwyższa) przez pryzmat czterech kryteriów: K1 – możliwość dostosowania asortymentu do potrzeb, K2 – ergonomiczność konstrukcji, K3 – stopień zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji i pracowników, K4 – jakość wykonania formowanej konstrukcji. Każdemu z kryteriów przypisujemy jego istotność nadając wagę w skali od 1 do 5 (1 – ocena najwyższa).

Zestawienie ocen poszczególnych systemów przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Ocena systemów deskowań S1–S5 przez pryzmat kryteriów K1–K4

Strategie (systemy)	Kryteria			
	K1	K2	K3	K4
System S1	1	1	1	3
System S2	1	1	2	2
System S3	2	2	1	2
System S4	3	2	3	2
System S5	2	4	3	2
Waga kryterium	1	2	2	3
Zakres skali	5	5	5	5

Wykorzystując zależności (4) i (5), wyznaczamy macierze współczynników zgodności (tab. 2a) i niezgodności (tab. 2b) z hipotezą, że strategia (system) S_i przewyższa strategię (system) S_j .

Tabela 2. Macierze współczynników a) zgodności z testowaną hipotezą

Strategia (system)	S1	S2	S3	S4	S5
S1	–	0,625	0,625	0,625	0,625
S2	0,750	–	0,750	1,000	1,000
S3	0,625	0,625	–	1,000	1,000
S4	0,375	0,375	0,625	–	0,875
S5	0,375	0,375	0,500	0,750	–

b) niezgodności z testowaną hipotezą

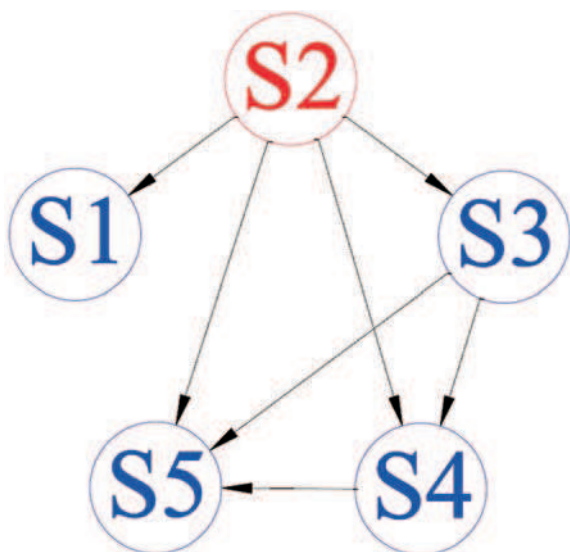
Strategia (system)	S1	S2	S3	S4	S5
S1	–	0,200	0,200	0,200	0,125
S2	0,200	–	0,200	0,000	0,000
S3	0,200	0,200	–	0,000	0,000
S4	0,400	0,400	0,400	–	0,000
S5	0,600	0,600	0,400	0,400	–

Na podstawie wyznaczonych współczynników wyznaczamy strategię nieprzewyższone przy zadanym progu zgodności p_n i niezgodności q_n z hipotezą przewyższania. Przyjmijmy dla przykładu $p_n = 0,75$ oraz $q_n = 0,25$. Dla tak określonych progów, macierz przewyższania obrazuje tabela 3.

Tabela 3. Macierz przewyższeń poszczególnych strategii

	S1	S2	S3	S4	S5
S1	–	0,000	0,000	0,000	0,000
S2	1,000	–	1,000	1,000	1,000
S3	0,000	0,000	–	1,000	1,000
S4	0,000	0,000	0,000	–	1,000
S5	0,000	0,000	0,000	0,000	–

Jak należy odczytywać i rozumieć uzyskany wynik? Wybieramy interesującą nas strategię S_i i czytamy w wierszu, które strategię S_j zostały przewyższone przez S_i pod względem dostatecznie wielu kryteriów. Liczba 1 oznacza przewyższenie, zaś 0 – jego brak, np.: strategia (system) S4 przewyższa strategię S5, lecz nie przewyższa S1. Zależności przewyższania strategii można także przedstawić przy pomocy grafu przewyższeń (rys. 1).



Rys. 1. Graf przewyższeń strategii S1–S5

Jak wynika z tabeli 3 oraz rysunku 1, system S2 przewyższa wszystkie pozostałe systemy pod względem dostatecznie wielu (75%) dostatecznie ważnych kryteriów, co nie oznacza, że nie istnieją kryteria, w których system S2 został gorzej oceniony od innych systemów. Na podstawie analizy progów niezgodności z hipotezą przewyższania możemy stwierdzić, że w ostatecznej ocenie, system S2 jest nie gorszy od pozostałych systemów w większości kryteriów.

Metodą ELEKTRA możemy zdecydować o wyborze deskowań poszczególnych producentów deskowań (PERI, DOKA, Noe-PI, Hünnebeck) lub zestawów – zbiorów tzw. typów deskowań. Proponujemy przy tym odrębne traktowanie kryterium kosztowego i kryteriów technologiczności. Przykłady takich analiz można znaleźć w [2] i [4].

Wybór systemu deskowań nie kończy projektowania organizacji robót. Jest to jedynie wstępna faza procesu projektowego. Zasadnicze projektowanie ma na celu określenie ilości deskowań zapotrzebowanych na budowę i opracowanie systemu organizacyjnego ich wykorzystania.

3. Organizacja wykorzystania deskowań na budowie

Zagadnienie to proponujemy rozwiązać techniką harmonogramowania. Na wstępie sformułujmy model zadania.

Przyjmijmy, że na podstawie analizy konstrukcji monolitycznej, możemy wyodrębnić przestrzennie i rzeczowo fragmenty konstrukcji, które mogą być formowane w jednym czasie na określonym froncie. Niech stanowią one zbiór frontów robót: $F = \{f_1, f_2, \dots, f_F\}$ – działek roboczych. Na działce wykorzystywany jest określony zestaw deskowań. Każdy front robót generuje dwa – cztery zadania: Z_1 – przygotowanie deskowania (montaż z ewentualnym demontażem z innego frontu), Z_2 – montaż zbrojenia w deskowaniu, Z_3 – dojrzewanie betonu w deskowaniu, Z_4 – dojrzewanie betonu po rozdeskowaniu (zdjęciu układu formującego, ale z wykorzystywaniem układu podpór).

Czasy tych zadań łatwo jest określić. Znając zakres robót betonowych na każdym froncie robót, określamy ilości deskowań i innych urządzeń związanych z uformowaniem konstrukcji, i ustalamy czasy wykonania zadań Z_1, \dots, Z_4 . Przyjmijmy, że elementy deskowań tworzą zbiór $D = \{d_1, d_2, \dots, d_D\}$. Każdy z tych elementów ma określony koszt dzierżawy odniesiony do określonej jednostki czasu. Niech koszty dzierżawy elementów deskowań określa wektor $CD = [c_1^d, c_2^d, \dots, c_D^d]$. Nieistotne elementy deskowań powinny być pominięte w analizie. Przypisując deskowania do zadań frontu robót, określamy liczbę poszczególnych elementów użytych (pracujących) na poszczególnych frontach (działkach):

$$L^d(f_i) = [l_1^d(f_i), l_2^d(f_i), K, l_D^d(f_i)] \quad (6)$$

dla $i: f_i \in F$. Wykonujemy to wykorzystując programy do projektowania geometrycznego deskowań, takie jak PeriCad, Tipos, Elpos. Czas pracy elementów deskowań obliczany jest automatycznie jeżeli analizy wykonujemy w programie do planowania przedsięwzięć jako iloczyn ich ilości i czasu trwania zadań realizowanych na poszczególnych frontach robót.

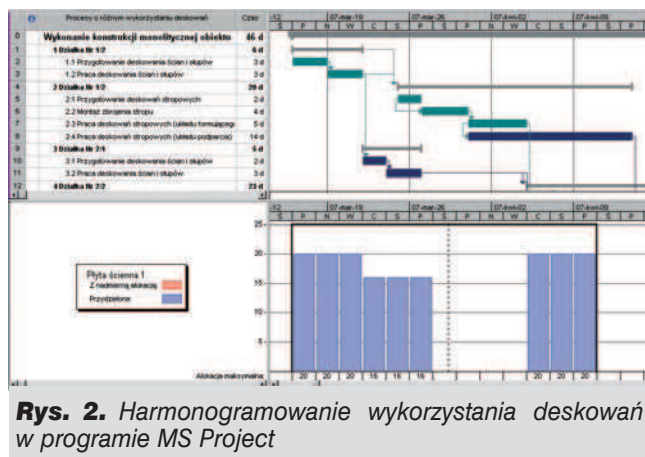
Następnie tworzymy model sieciowy realizacji zadań związanych z wykonywaniem konstrukcji monolitycznej całego obiektu i ustalamy harmonogram robót. Harmonogram ten implikuje zapotrzebowanie na elementy deskowań. Na jego podstawie określamy zapotrzebowanie na elementy deskowań, pomijając przy tym okresowe zmniejszenia potrzeb. Wykonujemy przy tym alokację zadań w czasie, dążąc do równomierności zatrudnienia montażystów i deskowań określonego rodzaju.

Zapotrzebowana ilość deskowań i ustalone dla harmonogramu potrzeby deskowań, są podstawą do określenia wskaźnika wykorzystania deskowań. Wskaźnik ten określamy kosztami strat z tytułu niepełnego wykorzystania zapotrzebowanych elementów deskowań wg wzoru:

$$K^s = \sum_{t=1}^H \sum_{j \in D} (Z_j^d(t) - P_j^d(t)) \cdot C_j^d \quad (7)$$

gdzie: $Z_j^d(t)$ – poziom dostępności j -tego deskowania w czasie t ; $P_j^d(t)$ – poziom wykorzystania j -tego deskowania w czasie t ; C_j^d – cena jednostkowa j -tego deskowania; H – horyzont czasu planowania równy terminowi wykonania konstrukcji monolitycznej; D – zbiór elementów deskowań analizowanych pod kątem wykorzystania na budowie.

Celem naszym powinno być zminimalizowanie kosztów strat określonych wzorem (7). Metodyka harmonogramowania realizująca ten cel została przedstawiona w [5]. Jest nią sposób postępowania w procesie harmonogramowania zmierzający do ustalenia planu realizacji robót minimalizującego koszty strat z tytułu przestoju (braku pracy) środków realizacji (zasobów



Rys. 2. Harmonogramowanie wykorzystania deskowań w programie MS Project

czynnych). Środkami tymi w niniejszej analizie są elementy deskowań.

Analizę wykorzystania deskowań na budowie realizować należy w programie komputerowym do planowania i kontroli realizacji przedsięwzięć. Program powinien być przygotowany do takiej analizy. Należy więc wprowadzić do aplikacji jako dane: elementy deskowań (nazwy, kody), ich koszty wykorzystywania (w zł/godz.), dostępność deskowań (liczbę elementów deskowań sprowadzonych na budowę). Przy czym, wszystkie deskowania traktujemy jako zasoby typu „praca” ze zdefiniowanym kalendarzem odpowiednim do systemu naliczania czasu dzierżawy deskowań. Przy okresowych zmianach zestawów deskowań wykorzystywanych na budowie, określamy profil dostępności deskowań z uwzględnieniem tych zmian. W przygotowaniu aplikacji do analizy wykorzystania deskowań, należy zadbać również o przygotowanie arkusza pracy zasobów, definiując w nim dla każdego elementu deskowań charakterystyki: % alokacji i koszt niewykorzystania. Charakterystyki te obliczane powinny być w zadanych przedziałach skali czasu dla zadań oraz dla całego przedsięwzięcia – wykonania konstrukcji monolitycznej obiektu.

W tabelach 4, 5, 6 oraz na rysunku 2 zaprezentowane zostały niektóre zobrazowania analizy wykorzystania deskowań na budowie prowadzone w programie Microsoft Project.

Na każdej działce zdefiniowano zadania, różniące się wykorzystaniem deskowań. Każde z zadań miało określony czas trwania wynikający z możliwości zdję-

Tabela 4. Fragment danych o elementach deskowań zestawionych w tabeli Arkusz zasobów w programie komputerowym MS Project

Id.	Elementy deskowań	Typ	Limit	Stawka zasadnicza	Płatność	Kalendarz
1	Płyta ścienna 1	Praca	25	1,50 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
2	Płyta ścienna 2	Praca	22	3,00 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
3	Płyta ścienna 3	Praca	30	4,50 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
4	Płyta SKYDECK1	Praca	101	0,80 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
5	Płyta SKYDECK2	Praca	58	1,50 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
6	Dźwigary SLT	Praca	131	5,50 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
7	Podp. MULTITROP	Praca	154	6,00 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
8	Głowice opadowe	Praca	124	1,00 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
9	Koziół zastawczy	Praca	10	3,00 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
10	Koziół oporowy	Praca	15	5,00 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
11	Zastrzały	Praca	20	6,00 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
12	Wsporniki zastawcze	Praca	100	0,20 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy
13	Pomost roboczy	Praca	17	7,00 zł/h	Proporcjonalnie	Standardowy

Tabela 5. Fragment arkusza zadań do analizy wykorzystania deskowań w programie MS Project

Procesy o różnym wykorzystaniu deskowań	Czas	Start	Deskowania
Wykonanie konstrukcji monolitycznej obiektu	46 d	2007-03-16	
Działka Nr 1/2	6 d	2007-03-16	
Przygotowanie deskowania ścian i słupów	3 d	2007-03-16	Płyta ścienna 1[20];Płyta ścienna 2[10];Płyta ścienna 3[4]
Praca deskowania ścian i słupów	3 d	2007-03-19	Płyta ścienna 1[20];Płyta ścienna 2[10];Płyta ścienna 3[4]
Działka Nr 1/2	20 d	2007-03-25	
Przygotowanie deskowań stropowych	2 d	2007-03-25	Płyta SKYDECK1[12];Płyta SKYDECK2[8];Dźwigiary SLT[8]
Montaż zbrojenia stropu	4 d	2007-03-27	Płyta SKYDECK1[12];Płyta SKYDECK2[8];Dźwigiary SLT[8]
Praca deskowań stropowych (układu formującego)	5 d	2007-03-31	Płyta SKYDECK1[12];Płyta SKYDECK2[8];Dźwigiary SLT[8]
Praca deskowań stropowych (układu podparcia)	14 d	2007-03-31	Dźwigiary SLT[8];Podp. MULTITROP[20]
Działka Nr 2/1	5 d	2007-03-22	
Przygotowanie deskowania ścian i słupów	2 d	2007-03-22	Płyta ścienna 1[16];Płyta ścienna 2[12];Płyta ścienna 3[8]
Praca deskowania ścian i słupów	3 d	2007-03-24	Płyta ścienna 1[16];Płyta ścienna 2[12];Płyta ścienna 3[8]
Działka Nr 2/2	23 d	2007-04-05	
Przygotowanie deskowań stropowych	3 d	2007-04-05	Płyta SKYDECK1[16];Płyta SKYDECK2[12];Dźwigiary SLT[1]
Montaż zbrojenia stropu	3 d	2007-04-07	Płyta SKYDECK1[16];Płyta SKYDECK2[12];Dźwigiary SLT[1]
Praca deskowań stropowych (układu formującego)	5 d	2007-04-10	Płyta SKYDECK1[16];Płyta SKYDECK2[12];Dźwigiary SLT[1]
Praca deskowań stropowych (układu podparcia)	14 d	2007-04-14	Dźwigiary SLT[10];Podp. MULTITROP[18]
Działka Nr 3/1	5 d	2007-04-05	
Przygotowanie deskowania ścian i słupów	2 d	2007-04-05	Płyta ścienna 1[20];Płyta ścienna 2[10];Płyta ścienna 3[4]
Praca deskowania ścian i słupów	3 d	2007-04-07	Płyta ścienna 1[20];Płyta ścienna 2[10];Płyta ścienna 3[4]
Działka Nr 3/2	21 d	2007-04-10	
Przygotowanie deskowań stropowych	4 d	2007-04-10	Płyta SKYDECK1[12];Płyta SKYDECK2[8];Dźwigiary SLT[8]

cia deskowań (np. deskowania stropowe SKYDECK – 3 dni, deskowania ścienne – 3 dni). Dla każdego zadania zdefiniowano rodzaj i liczbę potrzebnych elementów deskowań, co zostało przedstawione fragmentarycznie na rysunku 2 i w tabeli 5. Kontrolowano wynik harmonogramowania na wykresach alokacji zasobów (wykres zasobów) – rysunek 2 i w tabeli 6 Arkusz pracy zasobów z modyfikacją tego arkusza do potrzeb oceny wykorzystania dostępnych deskowań.

Optymalizację prowadzono ręcznie, starając się ustalić taki harmonogram realizacji procesów i takie zapotrzebowanie deskowań, aby koszty strat z tytułu ich niewykorzystywania, obliczone wg wzoru (7), były jak najmniejsze.

4. Uwagi końcowe

Zagadnienie optymalizacji wykorzystania deskowań w wykonawstwie monolitycznych konstrukcji betonowych nie zostało jak dotychczas formalnie rozwiązane. Stosuje się podejścia wariantowania rozwiązań, jednak mają one zawsze ograniczony i subiektywny charakter. W pracy proponuje się niewiele więcej. Zadbano jedynie o usystematyzowanie podejścia do problemu i formalizację kryteriów oceny efektywności. Problem optymalizacyjny jest tu niezmiernie

nie trudny. Rozwiązania jakościowe zależą bowiem od wielu czynników, które w procesie decyzyjnym trzeba wyznaczyć. Są to: struktura podziału obiektu na fronty robót, ilość deskowań poszczególnych typów zapotrzebowanych na budowę, możliwości zmechanizowania robót betonowych, harmonogram prac, i inne. Na obecnym etapie studiów i badań proponuje się więc interaktywne projektowanie deskowań, wykorzystując przy tym aplikacje do planowania przedsięwzięć i do projektowania geometrycznego deskowań. Dalsze prace powinny zmierzać do wypracowania jednej spójnej metody optymalizacji, prowadzącej do wyboru systemu deskowań i ustalenia organizacji jego wykorzystania.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ignasiak E., Optymalizacja procesów inwestycyjnych, PWE, Warszawa 1994
- [2] Kasprowicz T., Wielokryterialna ocena podpór składanych mostu kolejowego, Przegląd Kolejowy 1996, nr 3
- [3] Roy B., Wielokryterialne wspomaganie decyzji, WNT, Warszawa 1990
- [4] Marcinkowski R.: Analiza decyzyjna wykorzystania tymczasowych konstrukcji składanych w budownictwie, Biuletyn WAT Vol. LIII, 2004, Nr 8
- [5] Marcinkowski R., Harmonogramowanie produkcji przedsiębiorstwa budowlanego, „Przegląd Budowlany”, 2007, nr 2, str. 41–47
- [6] Szwabowski J., Deszcz J., Metody wielokryterialnej analizy porównawczej. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie, WPS, Gliwice, 2001

Elementy deskowań	Praca	Koszt pozostały	Stawka zasadnicza zł/h	Charakterystyki kalkulacyjne	16-17.03	18-19.03	20-21.03	22-23.03	24-25.03	26-27.03
Płyta ścienna 1	2 400 h	2 400,00 zł	1,50	Dostępność szt.	25	25	25	25	25	25
				Dostęp. pracy w h	400	400	400	400	400	400
				Praca w h	320	320	320	256	256	128
				Praca pozostała w h	80	80	80	144	144	272
				% alokacji	80%	80%	80%	64%	64%	32%
Płyta ścienna 2	1 000 h	5 568,00 zł	3,00	Dostępność szt.	22	22	22	22	22	22
				Dostęp. pracy w h	352	352	352	352	352	352
				Praca w h	160	160	160	192	192	96
				Praca pozostała w h	192	192	192	160	160	256
				% alokacji	45%	45%	45%	55%	55%	27%
Płyta ścienna 3	552 h	6 912,00 zł	4,50	Dostępność szt.	16	16	16	16	16	16
				Dostęp. pracy w h	256	256	256	256	256	256
				Praca w h	64	64	64	128	128	64
				Praca pozostała w h	192	192	192	128	128	192
				% alokacji	25%	25%	25%	50%	50%	25%
Płyta SKYDECK1	3 560 h	2 030,40 zł	1,80	Dostępność szt.				25	25	25
				Dostęp. pracy w h				200	400	400
				Praca w h					96	192
				Praca pozostała w h				200	304	208
				% alokacji					24%	48%
Płyta SKYDECK2	1 776 h	2 730,00 zł	1,50	Dostępność szt.	18	18	18	18	18	18
				Dostęp. pracy w h	288	288	288	288	288	288
				Praca w h			144	144	64	88
				Praca pozostała w h	288	288	144	144	224	200
				% alokacji			50%	50%	22%	31%

Tabela 6. Wyniki harmonogramowania wykorzystania deskowań w tabeli Arkusz pracy zasobów – fragment