

HARMONOGRAMOWANIE ROBÓT W BUDOWNICTWIE

Systematyka procesu

Część 2

dr hab. inż. Roman Marcinkowski
Profesor Politechniki Warszawskiej

Większość metod służących do harmonogramowania pracy to metody analizy stanów przewidywanych w produkcji lub też działalności inwestycyjnej. Oznacza to, że możemy przy ich pomocy wyznaczyć rozkład w czasie potrzeb zasobowych, ustalić terminy realizacji zadań w przedsięwzięciu, możliwości opóźnień i ich wpływ na dotrzymanie terminów dyrektywnych.

W większości metod harmonogramowania pracy plan przedsięwzięcia ustalany jest intuicyjnie przez planistę. Podejmując ambitne zadanie optymalizacji harmonogramu, musimy zdać sobie sprawę z wielkości zbioru planów dopuszczalnych, z których wyłoniony zostanie najlepszy – optymalny. Zbiór ten wynika z ograniczeń problemu, a w szczególności z możliwości realizacji zadań oraz z dostępności środków realizacji i ich organizacji.

Jeżeli na przykład mamy do czynienia z n zadań niezależnych, które mogą być realizowane przez dwa zespoły realizacyjne, to liczba różnych harmonogramów dla tych dwóch zespołów wynosi 2^n [1]. Nawet dla stosunkowo małego n liczba 2^n jest tak duża, że nie jesteśmy w stanie przeanalizować wszystkich dopuszczalnych rozwiązań. Oczywiście, praktyczne uwarunkowania realizacyjne, w szczególności kolejnościowe, zawężają zbiór rozwiązań dopuszczalnych. Jednakże zadania praktyczne są daleko większe, obejmują one kilkadziesiąt zadań realizowanych przy użyciu kilkunastu lub kilkudziesięciu zasobów.

Uznajmy więc, że nie jesteśmy w stanie przyjrzeć się wszystkim możliwym harmonogramom realizacji rozpatrywanego przedsięwzięcia. Większość zadań optymalizacji harmonogramów można bowiem zaliczyć do problemów NP-zupełnych [2]. Tylko nieliczne problemy harmonizacji, skrupowane mocno warunkami realizacyjnymi, możemy rozwiązywać ścisłymi metodami prowadzącymi do wyznaczenia rozwiązań optymalnych.

Czy jest więc sens podejmować problem optymalizacji harmonogramów w znaczeniu ogólnym? Na pewno tak. Badania w tym zakresie pozwoliły zwiększyć efektywność wielu działań organizacyjnych, wprowadzić elementy optymalizacji do systemów komputerowych wspomagających planowanie przedsięwzięć.

Badania operacyjne

Problematyką optymalizacji decyzji, w tym optymalizacji harmonogramów, zajmują się badania operacyjne. Rozwiązanie problemu w sensie badań operacyjnych wymaga na wstępie sformułowania modelu zadania. W modelu takim można wyróżnić:

- zmienne decyzyjne – które należy wyznaczyć,

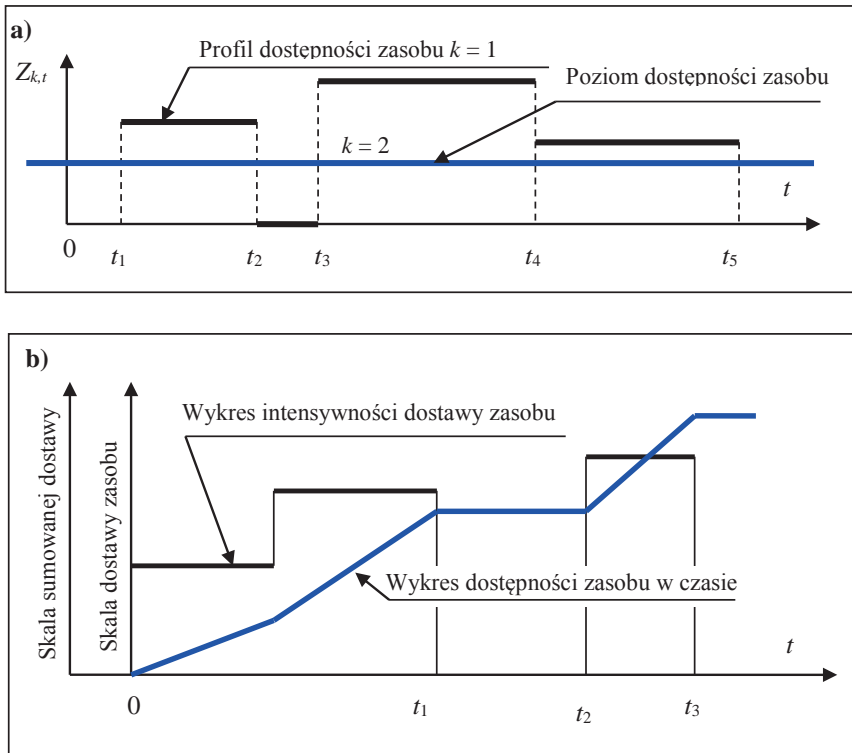
- warunki ograniczające zbiór rozwiązań dopuszczalnych,
- kryterium optymalizacji rozwiązania.

W odniesieniu do problemów harmonizacji zmienne decyzyjne opisują terminy rozpoczęcia X_i i zakończenia Y_i wyróżnionych w przedsięwzięciu zadań, gdzie $i \in I$ jest zbiorem zadań podlegających harmonizacji.

Warunki ograniczające, jak już wspomniano, wynikają z wymagań technologii, jak również z dostępności środków realizacji. Obejmują one najczęściej:

- kolejność realizacji zadań modelowaną grafem-sięcią,
- potrzeby zasobów dla realizacji zadań – opisywane macierzowo,
- dodatkowe informacje, dotyczące reżimu realizacji zadań (przerwy technologiczne, terminy dyrektywne, rodzaj zadań: przerywane i nieprzerywane itp.).

Głównym problemem rozstrzyganym w procesie optymalizacji harmonogramów jest ustalenie kolejności realizacji zadań przez jednostki organizacyjne zasobów czynnych. Rozwiązanie tego zagadnienia związane jest z alokacją zasobów na zadania, których czas wykonania zależy od liczby skierowanych do nich środków pracy.



Rys. 1. Interpretacja graficzna ograniczeń dostępności zasobów: a) dla zasobów czynnych, b) dla zasobów biernych

Wyszczególnienie robót	j.m.	Ilość	Metoda wykonania (ny KNR ew. poz. kosztorysu)				Liczba dni (zmian pracy)
			Środki pracy	j.m.	Nakłady na wyk. robót	Skład zespołu	
Przygotowanie podłoża pod nasypy zapór ziemnych	m ³	346	KNR 2-01 0405-01+KNR 2-01 0406-02	ś	3135	3	1,82
			robotnicy	rg	4198		
			spycharka 74 kW (100 KM)	mg	1453		
			walec wibracyjny samojedźny 9t	mg	57		
Pozyskanie i transport gruntu	m ³	1500	KNR 2-01 0202-02+KNR 2-01 0214-04	ś	88590	4	10,82
			robotnicy	rg	247,8		
			koparka gąsienicowa 0,4m ³	mg	86,55		
			samochód samowyładowczy do 5t	mg	727,8		

Czas realizacji zadania jest funkcją nakładów czasu pracy środków pracy – np: dla pozyskania i transportu gruntu :

$$t = [\max \{247,8/4; 86,55/1; 727,8/9\}] / 8 \text{ godz/d} = 10,82 \text{ d}$$

Rys. 2. Przykład określania czasu trwania zadania na podstawie nakładów pracy

Zasoby w optymalizacji harmonogramów

W harmonogramowaniu przedsięwzięć budowlanych istotne ograniczenia wypływają z posiadanych zasobów. Z uwagi na odmienną sposobu modelowania ich dostępności i potrzeb należy wyróżniać w planowaniu zasoby czynne i bierne.

Zasoby czynne – zwane również *odnawialnymi, niezużywanymi, typu praca, niekonsumowanymi* – to takie środki, które mają określone możliwości działania, świadczenia pracy. Są to więc ludzie, zespoły wykonujące zadania oraz różnego rodzaju jednostki organizacyjne. Zasoby czynne nie ulegają zużyciu. Ich wysiłek jest mierzony czasem pracy (np. ro-

boczogodzina, maszynogodzina). Dostępność zasobu wynika z ich zajętości i jest charakteryzowana poziomem lub profilem zatrudnienia w skali czasu (rys. 1a).

Zasoby bierne – zwane również: *nieodnawialnymi, zużywanymi, typu materiał, konsumowanymi* – ulegają zużyciu w toku działania. Mogą być potrzebne do realizacji zadań – przed ich rozpoczęciem lub po ich zakończeniu – jak też potrzeby zasobu mogą być określone funkcją ilości w skali czasu. Ich dostępność (wyrażona w charakterystycznych dla nich jednostkach obmiarowych) wynika zazwyczaj z intensywności dostaw, ilości w skali czasu. Ta z kolei wprowadzana jest do funkcji sumowa-

REKLAMA

15.17.04.2016

25 LAT DOŚWIADCZENIA

SZCZECIN
HALA MTS
UL. STRUGA 6

www.mts.pl

nej dostawy zasobów (rys. 1b). Zasoby biernie określają przede wszystkim wysiłek logistyczny. Mogą być przyczyną spowolnienia działania, zmiany koncepcji, zakresu i sposobów (technologii) w działaniu.

Przez pryzmat zasobów charakteryzuje się procesy budowlane realizowane określonymi technologiami. Dla każdego wyróżnionego procesu określa się nakłady pracy zasobów czynnych oraz zużycie zasobów biernych. Obie te charakterystyki określone są mianem *nakładów rzeczowych*. Ustalanie nakładów rzeczowych na wykonanie określonego zadania jest wynikiem analizy czasu pracy i składu zespołu skierowanego do wykonania zadania oraz potrzeb materiałowych. W wielu przypadkach optymalizacji harmonogramów nie uwzględnia się pełnych ograniczeń zasobowych. I słusznie. Zdając sobie sprawę ze złożoności zadania optymalizacji harmonogramu, należy w modelu zadania ujmować tylko te ograniczenia, które w rzeczywistości występują. Nie ma jednak optymalizacji harmonogramu bez analizy zasobów.

Zadania w harmonogramie i modelowanie kolejności ich wykonania

Najistotniejszym elementem każdego harmonogramu jest struktura zadaniowa planowanego przedsięwzięcia. Plan opisujemy bowiem listą zadań, dla których chcemy ustalić potrzebne zasoby i czas realizacji. Zadaniem zaś jest dowolny zakres prac, co do którego chcemy znać te charakterystyki. Ustala je planujący na podstawie analizy przedsięwzięcia, którego realizację planuje. Są to lokalizacyjnie określone zbiory prac podstawowych, z często ustalonym terminem rozpoczęcia realizacji i/lub jej zakończenia, do zrobienia których trzeba wyznaczyć zespół wykonawczy. Zadania powinny być również tak określone, aby pozwalały zdefiniować technologię do wykorzystania w przedsięwzięciu.

Podsumujmy więc: zadaniem jest każdy rodzaj i zakres działalności, dla którego znane są sposób i czas wykonania, nakłady rzeczowe oraz zależności technologiczne. Praktycznie, nakłady rzeczowe na wykonanie zadania określa się poprzez przemnożenie ilości robót przez normatywne jednostkowe nakłady rzeczowe na ich wykonanie lub ustala się w drodze kalkulacji indywidualnej.

Nakłady pracy zasobów czynnych i liczba skierowanych do wykonania zadań środków pracy wyznaczają czas zrealizowania robót (rys. 2).

Technologię w przedsięwzięciach typu „kompleks operacji” [3] definiuje się najczęściej grafem zorientowanym G , acyklicznym, w konwencji krawędziowej:

$$G = \{I, P_i, K_i\}, \quad I = \{1, 2, \dots, m\}, \quad i \in I$$

gdzie I – zbiór numerów wyróżnionych zadań,

P_i – numer zdarzenia początkowego dla zadania i ,

K_i – numer zdarzenia końcowego dla zadania i .

Graf G określa kolejność realizacji wyróżnionych zadań wynikającą z technologicznego porządku robót i ograniczeń frontów robót, nie uwzględnia natomiast kolejności wynikającej z ograniczonego dostępu do środków produkcji (zasobów). Kolejność ta jest ustalana w procesie optymalizacji harmonogramu – ściślej – w rozwiązaniu problemu szeregowania zadań, który z kolei może być w zadaniu optymalizacyjnym połączony z wyborem sposobu realizacji zadań. Dla każdego zadania w tym przypadku wyznacza się 2-3 sposoby wykonania, różniące się przydziałem zasobów i oceną czasu wykonania. Rozwiązując zadanie optymalizacyjne, ustala się dla każdego zadania w planowanym przedsięwzięciu sposób i terminy wykonania [4].

Kryteria optymalizacji harmonogramów

Jak wiemy, główną rolę w problemach optymalizacyjnych odgrywa kryterium efektywności rozwiązania. Wyraża ono, w formie funkcji, ocenę jakości harmonogramu. Każdy harmonogram dopuszczalny, spełniający warunki ograniczające, daje określoną wartość funkcji kryterium. Problem polega na znalezieniu takiego harmonogramu, dla którego funkcja ta osiąga pożądane ekstremum. W literaturze z zakresu optymalizacji harmonogramów proponuje się szereg różnych kryteriów oceny optymalności harmonogramów, które zostały omówione w [5]. Ogólnie można wyróżnić trzy ich typy, tj.: czasowe, kosztowo-czasowe i kosztowe.

Wybór odpowiedniego kryterium uwarunkowany jest celem, jaki chcemy osiągnąć w procesie harmonogramowania, a ten z kolei zależy od tego, czyje interesy mają być zaspokojone,

jakie są uwarunkowania inwestora oraz stan potencjału wykonawczego.

Wydaje się, że najbardziej zasadnymi kryteriami optymalizacyjnymi są kryteria typu kosztowego. Wyrażają one dążenie do minimalizacji kosztu wykonania przedsięwzięcia. Zastosowanie ich w praktyce wiąże się jednak z wielowariantowym spojrzeniem na technologię i organizację realizacji robót.

Kryteria typu czasowo-kosztowego wyrażają najczęściej dążenie do minimalizacji sumarycznych kosztów strat spowodowanych wydłużonym czasem realizacji przedsięwzięcia lub jego części, niewykorzystaniem potencjału wykonawczego realizatora, przerwami w pracy, itp. Należy podkreślić, że kryteria tego typu uelastyczniają modele optymalizacyjne i w prosty sposób mogą być sprowadzone do kryteriów typu czasowego.

Praktyczne stosowanie kryteriów w optymalizacji harmonogramów jest uwarunkowane przyjętym modelem zadania harmonizacji pracy i powinno być przedmiotem analizy celów w opracowywaniu metody planistycznej. ■

Literatura:

1. Praca zbiorowa pod red. Lynna Arthura Steena, Matematyka współczesna. Dwanaście esejów, WNT, Warszawa 1983.
2. Błażewicz J., Złożoność obliczeniowa problemów kombinatorycznych, WNT, Warszawa 1988.
3. Praca zbiorowa pod redakcją Kaplińskiego O., Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych, Polska Akademia Nauk Komitet Inżynierii Łądowej i Wodnej, Warszawa 2007.
4. Marcinkowski R., Harmonogramowanie produkcji przedsiębiorstwa budowlanego, Przegląd Budowlany Nr 2/2007 str. 41-47
5. Marcinkowski R., Kryteria optymalizacji harmonogramów budowlanych, Inżynieria Morska i Geotechnika. Rok 34: 2013 nr 5, str. 373-376.

Abstract: SCHEDULING OF CONSTRUCTION WORKS

The problem of schedule optimization is a key issue of the following paper. The elaboration describes both a structure of the optimization model as well as how the model parameters can be determined. The mentioned above model incorporates: harmonized tasks, a graph that arranges the tasks in technological order, resource workloads and material demands, allocation of resources, and finally - criteria for schedule quality assessment. Difficulties arising from determination of the optimal schedules are also presented.

Keywords: schedule, optimization, resources