

Zbigniew GŁÓWKA
Krzysztof SULEJA

PROJEKTOWANIE OPTYMALNEJ KOLEJNOŚCI REALIZACJI OBIEKTÓW W WARUNKACH OGRANICZONEJ WIELKOŚCI ZASOBÓW

Streszczenie. Kolejność wykonywania obiektów jedno lub niejednorodnych w ramach zadań wieloobektowych wpływa na cykl zadania. Wykorzystując istniejące metody projektowania optymalnej kolejności realizacji przedstawiono na przykładzie porównania wyników uzyskiwanych tymi metodami.

1. KRYTERIUM OPTIMALIZACJI ROZWIĄZANIA

Planując realizację dowolnego zadania poszukuje się z reguły odpowiedzi na następujące pytania:

- w jakim terminie będzie można ukończyć zadanie przy założonej technologii i organizacji wykonania, dysponując określonym potencjałem zasobów, względnie
- jakimi ilościami zasobów powinni dysponować wykonawcy, by powierzone im do wykonania zadania zrealizować w ustalonym terminie.

Dynamicznie rosnące zadania budownictwa przy pogłębiającym się równocześnie deficycie siły roboczej, powodują konieczność poszukiwania najlepszych rozwiązań w aspekcie określonego kryterium [1].

Zdaniem autorów kryterium temu powinno odpowiadać racjonalne wykorzystanie zasobów z równoczesnym skracaniem cykli realizacji.

Racjonalne wykorzystanie zasobów będzie możliwe w przypadku stosowania we wszystkich fazach realizacji metody pracy równomiernej, co w konsekwencji prowadzić będzie do wzrostu wydajności, a za tym doprowadzi do skracania cykli realizacji [2], [3].

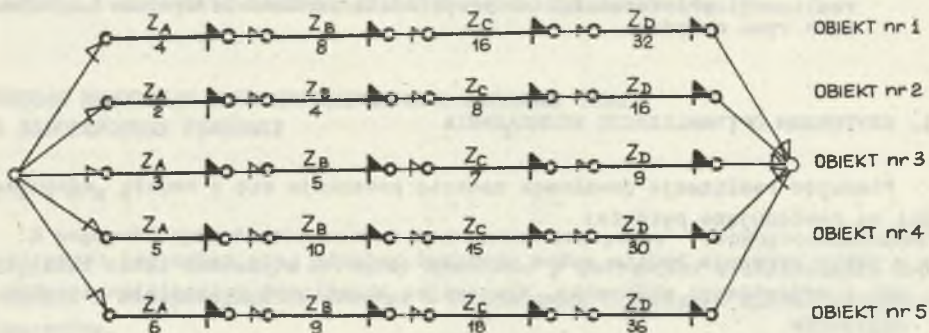
Nie pozostaje także bez wpływu na cykl realizacji problem doboru najwłaściwszej kolejności realizacji obiektów lub grup obiektów.

2. BADANIE CYKLU REALIZACJI ZESPOŁU OBIEKTÓW W OPARCIU O SIATKI POWIĄZAŃ W ZALEŻNOŚCI OD ZAŁOŻONEJ KOLEJNOŚCI WYKONANIA

Stosowane obecnie metody planowania produkcji budowlano-montażowej nie uwzględniają w dostatecznym stopniu problemu doboru najwłaściwszej kolej-

ności realizacji obiektów. Problemu tego nie rozwiązują metody sieciowe, gdzie kolejność realizacji obiektów jest determinowana w momencie projektowania sieci i ustalana dowolnie [4].

W celu zilustrowania zagadnienia na rys. 1 przedstawiono uproszczoną technologiczną siatkę powiązań dla realizacji pięciu obiektów, w których realizowane są kolejno procesy A, B, C, D. Kolejność realizacji poszczególnych elementów zadania jest dowolna a zadanie uzna się za wykonane kiedy zakończony zostanie ostatni obiekt (ostatni proces) zadania. Do wykonania procesów zaangażowano cztery specjalizowane zespoły zasobów realizujące odpowiednio: zespół Z_A - procesy A; zespół Z_B - procesy B; zespół Z_C - procesy C; zespół Z_D - procesy D, na wszystkich obiektach. W siatce naniesiono odpowiednie czasy trwania procesów.



Rys. 1

W celu określenia najkorzystniejszej kolejności realizacji obiektów w aspekcie najkrótszego czasu wykonania zadania należałoby rozpatrzyć $(n!)^k$ możliwych kombinacji kolejności, przy czym "n" oznacza liczbę obiektów, a "k" liczbę elementów poszczególnych faz realizacji obiektu.

Z racji dużej pracochłonności omawianego działania rozpatrzono jedynie następujące cztery warianty kolejności: 4-5-3-2-1; 3-4-5-1-2; 2-5-3-1-4; 2-3-4-1-5.

Wyniki przeliczeń dla rozpatrywanych wariantów kolejności zestawiono w tabeli 1.

Z zestawionych w tabeli 1 przeliczeń wynika jak istotne znaczenie przy określeniu cyklu zadania ma przyjęcie właściwej kolejności wykonania obiektów.

W prezentowanym przykładzie z punktu widzenia minimalnego czasu trwania zadania najkorzystniejszym wariantem prowadzenia robót jest kolejność 2-3-4-1-5.

Każdorazowa zmiana ustalonej kolejności powodować będzie wydłużenie cyklu realizacji. Naturalnie zagadnienie znacznie się komplikuje przy w większej liczbie budynków i większej ilości procesów do wykonania, które składają się na realizację obiektów.

Tabela 1

Przyjęta kolejność realizacji obiektu	Cykl realizacji	Terminy ukończenia obiektu				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
4-5-3-2-1	153	153	121	105	60	96
3-4-5-1-2	147	131	147	24	63	99
2-5-3-1-4	142	112	30	80	142	71
2-3-4-1-5	137	101	30	39	69	137

3. METODY USTALANIA OPTIMALNEJ KOLEJNOŚCI REALIZACJI OBIEKTÓW

Przedstawiony w punkcie 2 sposób postępowania przy ustalaniu optymalnej kolejności realizacji charakteryzuje się znaczną pracochłonnością. Przy znacznej liczbie obiektów zadanie to jest praktycznie niewykonalne.

Na przestrzeni ostatnich lat poszukiwano metod, która by umożliwiła osiągnięcie zamierzonego efektu przy równoczesnym ograniczeniu pracochłonności obliczeń.

W wyniku tych poszukiwań powstał:

- system planowania dynamicznego "Osiedle" [5], oprogramowany na emc Odra serii 1300 [6],
- algorytm Lubeckiego [7], przeznaczony do manualnego stosowania.

Ponadto istnieje możliwość wykorzystania w omawianym zakresie standardowych oraz własnych tablic decyzyjnych, wchodzących w zakres programów bibliotecznych Pert opracowanych na emc firmy ICL - systemu 4 [8] oraz naszyn pokrewnych.

Jak wykazały badania [3], uzyskane w oparciu o powyższe metody wyniki charakteryzują się dużą rozbieżnością. Skłoniło to autorów do poszukiwania metody w oparciu, o którą możliwym byłoby jednoznaczne ustalenie optymalnej kolejności realizacji w aspekcie postawionego kryterium.

Zadanie to rozwiązano w oparciu o zależności wynikające z teorii metod sieciowych [9], [3].

4. PORÓWNIANIE OPTIMALNYCH KOLEJNOŚCI REALIZACJI WYLICZONYCH WEDŁUG WYBRANYCH METOD NA PRZYKŁADZIE PIĘCIU OBIEKTÓW

W oparciu o przedstawione w punkcie 3 metody ustalono optymalną kolejność realizacji zadania dla przykładu zamieszczonego na rys. 1.

Poszukując rozwiązania omawianego zadania według systemu planowania dynamicznego "Osiedle" oraz w oparciu o standardowe tablice decyzyjne programu PERT firmy ICL 4-50 postępować można dwojako a mianowicie:

- ustalić optymalny czas realizacji drogą kolejnych przybliżeń poprzez zmianę w kolejnych przebiegach obliczeniowych tzw. priorytetów kolejności realizacji,
- ustalić optymalny czas realizacji poprzez nadanie obiektom jednakowych priorytetów kolejności wykonania, co w konsekwencji doprowadza do ustalenie wymaganej kolejności w jednym przebiegu obliczeniowym.

W przypadku omawianego zadania dla określenia optymalnej kolejności realizacji z wykorzystaniem do obliczeń emc posłużono się drugim wariantem rozwiązania, natomiast w oparciu o pierwszy obliczono czas realizacji dla kolejności ustalonej według metody przedstawionej w pracy [3].

Uzyskane wyniki obliczeń według prezentowanych metod zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Lp.	Metoda ustalenia optymalnej kolejności	Optymalna kolejność realizacji obiektów wg metody	Cykl realizacji wg metody
			wg kolejności ustalonej metodą 4
1	2	3	4
1	Algorytm Lubeckiego	2-4-5-1-3	139
2		- zespół: Z_A, Z_B 1-2-5-4-3	147
		- zespół: Z_C 2-1-5-3-4	144
		- zespół: Z_D 2-1-3-5-4	
3	Tablice decyzyjne Part ICL 4-50	- zespół: Z_A, Z_B Z_C 5-1-4-2-3	206
		- zespół: Z_D 3-2-4-1-5	141
4	Metoda wg [3]	2-3-4-1-5	137

Jak wynika z porównania wyników zestawionych w tabeli 2, w zależności od zastosowanej metody uzyskano różne optymalne kolejności realizacji. Zmienna jest także kolejność realizacji obiektów w ramach poszczególnych grup zasobów (metoda 2 i 3). W wyniku zastosowania metody 4 uzyskano 12 wariantów kolejności, których czas realizacji wynosi 137 jednostek czasu. Za wariant optymalny uznano kolejność realizacji 2-3-4-1-5, która charakteryzuje się najkrótszym czasem oczekiwania frontów robót.

Ustalona według metod 1; 2; 3 kolejności, charakteryzują się zmiennym cyklem realizacji.

Najkrótszy cykl realizacji uzyskano stosując do obliczeń metodę 4. Zbliżoną wartość czasu wynoszącą 139 jednostek stanowi cykl realizacji ustalony według metody 1. Ustalone wartości czasu w skrajnym przypadku (metoda 3) różnią się o około 50% w stosunku do najkrótszego cyklu realizacji; a około 7% w przypadku cyklu obliczonego metodą 2. Ustalone w oparciu o metodę 1 oraz 2 kolejności realizacji nie zapewniają ciągłości pracy zasobom angażowanym do wykonania rozpatrywanego zadania [3]. Ciągłość pracy wszystkich brygad uzyskano przy ustalaniu kolejności realizacji w oparciu o metodę 3 i 4.

Jak wspomniano na wstępie dla metod opartych o emc (metoda 2 i 3) poszukiwano optymalnej kolejności poprzez nadanie obiektom jednakowych priorytetów.

Następnie w kolejnym przebiegu obliczeniowym dla ustalonej wg metody 4 kolejności 2-3-4-1-5 poszukiwano optymalnego czasu realizacji. (Uzyskane wyniki umieszczone są w mianowniku kol. 4 tab. 2).

Obliczony wg metody 2 i 3 czas realizacji różni się w stosunku do optymalnego (metoda 4) o 4 jednostki w przypadku zastosowania metody 3, a o 7 jednostek czasu w przypadku stosowania metody 2.

Jak wynika z porównania wyników stosując system planowania dynamicznego "Osiedle" oraz wykorzystując standardowe tablice decyzyjne Pert uzyskuje się wyniki zbliżone do optymalnych w przypadku poszukiwania rozwiązania drogą kolejnych przybliżeń, poprzez zmianę w kolejnych przebiegach obliczeniowych priorytetów realizacji obiektów. Jednak doprowadzenie zadania do stanu optymalnego jest pracochłonne, gdyż w skrajnym przypadku może zaistnieć konieczność przeanalizowania $(n!)^k$ możliwych kombinacji kolejności realizacji.

Zdaniem autorów stosowanie metod 2 i 3 do poszukiwania optymalnej kolejności bez zróżnicowania priorytetów obiektów jest niecelowe, gdyż ustalone w ten sposób kolejności realizacji oraz wyliczone cykle nie stanowią rozwiązań optymalnych.

Spełnienie wymagań stawianych rozwiązaniu optymalnemu w warunkach ograniczonych zasobów uzyskać można stosując metodę 1 oraz 4. Wydaje się jednak, że z uwagi na zachowanie ciągłości pracy wszystkich angażowanych do wykonania zadania zasobów [3], co stanowi jeden z podstawowych warunków poprawnej organizacji pracy, metoda autorów powinna przynieść lepsze efekty.

LITERATURA

- [1] Luenberger D.G.: Teoria optymalizacji. PWN, Warszawa 1974.
- [2] Rowiński L.: Organizacja i ekonomika budownictwa. Część 1; PWN, Warszawa 1975.
- [3] Suleja K.: Praca doktorska. Gliwice 1976.
- [4] Moliński J.: Metoda KZC. TNOiK, Warszawa 1973.
- [5] Moliński J., Straszewski J.: Planowania dynamiczne w kombinatach budownictwa mieszkaniowego. Centrum ETOB, Warszawa 1971.
- [6] Praca zbiorowa: System planowania dynamicznego w kombinatach i przedsiębiorstwach budowlano-montażowych. OBR Śl. Zj. Bud. Miejskiego, Katowice 1975.
- [7] Lubacki J.: Planowanie dynamiczne produkcji przedsiębiorstwa budowlano-montażowego. Śl. Zj. Bud. Przem. Zakład "ETOB", Katowice 1971.
- [8] International Computer Limited.: Pert Reference Manual. Londyn 1970.
- [9] Jurecka W., Zimmermann H.: Operations Research im Bauwesen. Springer-Verlag, Berlin 1972.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ОЧЕРЕДНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ
В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ВЕЛИЧИНЫ РЕСУРСОВ

Р е з ю м е

Полное время, необходимое для выполнения однородной или неоднородной постройки, зависит от очередности реализации отдельных объектов. Применено несколько методов определения оптимальной очередности реализации объектов. Полученные результаты сравнены и обсуждены.

PLANNING OF THE OPTIMUM SEQUENCE OF REALIZATION OF BUILDINGS
UNDER THE CONDITIONS OF RESTRICTED NUMBER OF WORKMEN

S u m m a r y

Total-time required to complete an uniform or non-uniform multi-object building investment depends on the sequence of realization of unit objects. Several methods were applied to determine the optimum sequence of realization of buildings and the results obtained by these methods have been compared and discussed.