

Władysław Hejducki, Juliusz Mrozowicz
Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej

PROBLEMY HARMONOGRAMOWANIA REALIZACJI KOMPLEKSU OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono dwa zagadnienia związane z harmonogramowaniem realizacji dużych zespołów obiektów budowlanych. Prezentowane algorytmy umożliwiają modelowanie potoku o strukturze równoległej oraz przyspieszenie procesu wyznaczania kolejności realizowanych obiektów.

1. Wstęp

Referat ten jest wynikiem współpracy z Katedrą Organizacji, Planowania i Zarządzania Budownictwem Leningradzkiego Instytutu Inżynieryjno-Budowlanego. Badania nad zagadnieniami modelowania procesu realizacji kompleksu obiektów budowlanych trwają w obu ośrodkach już wiele lat.

Planowanie realizacji kompleksu obiektów budowlanych odbywać się może z wykorzystaniem potokowych metod organizacji robót [1]. Zapewniają one harmonizację przewidywanych do wykonania procesów na różnych obiektach, umożliwiając rytmiczną i ciągłą pracę brygad roboczych, maszyn, dostawy materiałów. Metody potokowe organizacji robót budowlanych dzielą się na:

- z zerowymi sprzężeniami między środkami realizacjiⁿ;
- z zerowymi sprzężeniami między frontami roboczymi;
- z uwzględnieniem sprzężeń między środkami i frontami;
- z uwzględnieniem sprzężeń między środkami, frontami i sprzężeń stopniowych;
- z uwzględnieniem sprzężeń między środkami, frontami i odwrotnych sprzężeń stopniowych;
- z uwzględnieniem sprzężeń stopniowych i odwrotnych stopniowych.

Metody potokowe, którymi posługujemy się w procesie modelowania kompleksu robót mają własności, które uwzględniają występujące w praktyce budowlanej ograniczenia. Zapewniając np.: ciągłość pracy brygadem roboczym modelujemy potok metodą z zerowymi sprzężeniami między środkami realizacji. Równocześnie jednak skutkiem ciągłości pracy specjalizowanych brygad przechodzących z obiektu na obiekt jest najczęściej przerwa w pracy na froncie roboczym. Podobną zależność dostrzeżemy, gdy wykorzystamy drugą z przedstawionych powyżej metod: z zerowymi sprzężeniami między frontami roboczymi.

n/ W pracy [2] podane jest pełne wyjaśnienie przytoczonych pojęć.

Ciągłość pracy na obiektach musiałaby zachować kosztem braku ciągłości pracy brygad roboczych. Pozostałe metody zapewniają minimalizację czasu realizacji kompleksu obiektów kosztem mniejszych przerw w pracy brygad lub przestoju obiektów. Należy zaznaczyć, że przypadki te mają miejsce gdy czasy wykonywania robót przez brygady na obiektach są różne, co ma najczęściej miejsce w praktyce budowlanej.

Wybór metody organizacji robót odbywa się z uwzględnieniem hierarchii kryteriów i wpływu warunków otoczenia. Służy temu "Kompleksowa ocena potokowych metod organizacji robót" [3], uwzględniająca wielostronną ocenę cząstkową poszczególnych metod.

Przedstawiając w zarysie problematykę harmonogramowania procesu realizacji kompleksu obiektów zwracamy uwagę na dwa problemy, które wyłoniły się podczas pracy nad tymi zagadnieniami.

Planowanie realizacji dużych kompleksów budowlanych, np.: osiedli mieszkaniowych metodami potokowymi jest zagadnieniem o dużej złożoności. Zastosowanie ich w znanej postaci staje się niemożliwe z uwagi na ograniczony czas realizacji zadania inwestycyjnego. Wprowadza się więc pojęcie potoku o strukturze równoległej [4]. Umożliwia on równoległe prowadzenie robót w kompleksach, przy zapewnieniu ciągłości trwania procesu wiodącego np.: montażu. Powiązanie potoków wg przedstawionej zasady staje się możliwe gdy zastosujemy w procesie modelowania heurystyczny algorytm [5].

Drugim problemem, który wynika podczas rozwiązywania zagadnienia kolejnościowe jest wykorzystanie metody podziału i ograniczeń. Zastosowanie metody podziału i ograniczeń w opracowanych programach optymalizacyjnych OPT1, OPT2, OPT3 do modelowania potoku przedstawionymi metodami umożliwia przeszukiwanie przestrzeni możliwych rozwiązań i wybór kolejności realizacji obiektów budowlanych zapewniającej najkrótszy czas realizacji kompleksu.

Testowanie programów już dla przypadku kilkunastu obiektów staje się zadaniem o dużej złożoności obliczeniowej i zajmuje dużo miejsca w pamięci operacyjnej komputera. Rozwiązywanie zadań praktycznych, np.: planowanie realizacji osiedli mieszkaniowych składających się z kilkudziesięciu obiektów staje się problemem przekraczającym możliwości komputera, którym dysponujemy.

Dokonano modyfikacji algorytmu, zmniejszając ilość operacji logicznych w stosunku do klasycznej postaci algorytmu podziału i ograniczeń.

2. Potok o strukturze równoległej

2.1. Sformułowanie problemu

W praktyce zdarzają się sytuacje, kiedy w procesie realizacji niezbędne staje się wykorzystanie w sposób ciągły maszyn lub ich zestawów /maszy-

ny do robót ziemnych, zurdw wieżowy/ w potokach obejmujących kompleksy obiektów. Należy wówczas tak połączyć ze sobą potoki, aby zapewnić ciągłość pracy w wiodących częściowych potokach^m

$$O = \{O_i\} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad /1/$$

gdzie: n - liczba obiektów frontów roboczych

Roboty budowlane planowane do wykonania w czasie realizacji zgrupowano w częściowe potoki

$$M = \{M_j\} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad /2/$$

gdzie: m - liczba częściowych potoków rodzajów robót.

Czasy wykonania poszczególnych robót na obiektach zapisane są w macierzy T .

$$T = [t_{ij}] \quad i = 1, 2, \dots, n \quad /3/ \\ j = 1, 2, \dots, m$$

gdzie: t_{ij} - czas wykonania j -tej roboty na i -tym obiekcie.

Zgodnie z przyjętym ograniczeniem dokonano podziału macierzy T na podmacierze T_k / $k = 1, 2, \dots, p$ / obejmujące grupy obiektów.

Jeżeli przez τ oznaczymy czas wykonania wszystkich robót w potokach obejmujących kompleksy obiektów przy założeniu ich równoległego wykonania otrzymamy zależność:

$$\sum_{j=1}^m t_j^R + \sum_{i=1}^n t_{in} + \Delta = \tau = 0 \quad /4/$$

gdzie: t_j^R - czas rozwinięcia kolejnych częściowych potoków,
 Δ - różnica pomiędzy terminem zakończenia robót w pierwszym potoku i terminem rozpoczęcia robót w ostatnim częściowym potoku drugiej grupy obiektów,

τ - czas realizacji kompleksu obiektów, | pozostałe oznaczenia
na rys. 1

Przy założeniu bezkibizyjnej pracy brygad roboczych przechodzących z obiektu na obiekt i z kompleksu na kompleks, wzajemne położenie potoków ulegnie zmianie.

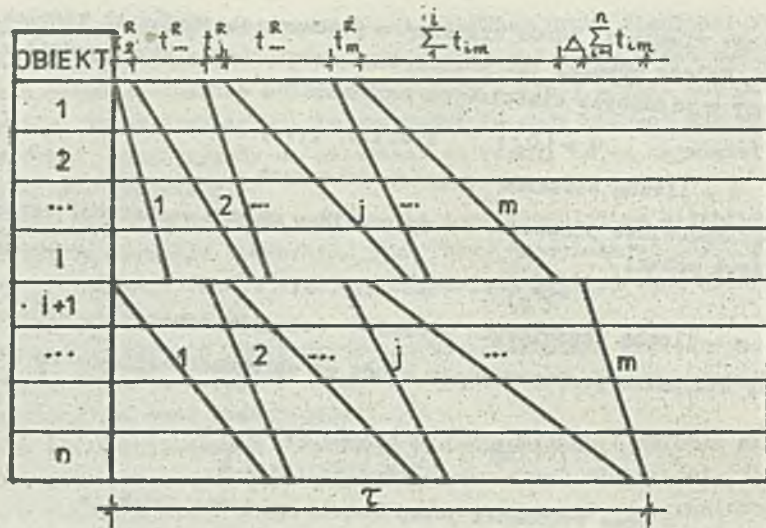
Zachodzi warunek:

$$t_{ij}^{WZ} \leq t_{i+1,j}^{WR} \quad /5/$$

gdzie: t_{ij}^{WZ} - najwcześniejszy termin zakończenia j -tej roboty na i -tym obiekcie,

$t_{i+1,j}^{WR}$ - najwcześniejszy termin rozpoczęcia j -tej roboty na obiekcie $i+1$.

^m/ Wiodącym jest częściowy potok, czas trwania którego ma decydujący wpływ na termin realizacji kompleksu.



Rys. 1. Potok o strukturze równoległej

Zapewniając wzajemne powiązanie potoków obejmujących kompleksy obiektów zgodnie z przyjętymi ograniczeniami należy zapewnić:

$$\Delta \rightarrow \min \quad |6|$$

W przypadku metod organizacji robót z zerowymi sprzężeniami między środkami realizacji oraz z zerowymi sprzężeniami między frontami roboczymi zachodzi zależność

$$t_{ij}^{WZ} = t_{ij}^{PZ} \quad \text{oraz} \quad t_{ij}^{PR} = t_{ij}^{WR} \quad |7|$$

2.2. Algorytm powiązania potoków obejmujących kompleksy obiektów

Rozwiązanie zagadnienia powiązania potoków zgodnie z przyjętymi ograniczeniami, przeprowadza się stosując algorytm dla każdej pary potoków.

Sporządzono macierz czasów realizacji $T = [t_{ij}]$, oraz dokonano podziału jej na podmacierze T_k i T_{k+1} .

W podmacierzach T_k i T_{k+1} należy przeprowadzić optymalizację minimalno-czasową [2], wynikiem czego jest nowa kolejność wierszy w podmacierzach. Nowe podmacierze będące podstawą do określenia czasów rozpoczęcia robót w przyległych potokach oznaczono T_k i T_{k+1} . Następnie wyznacza się ich charakterystyki czasowe /terminy rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych robót/.

Służą one do wyznaczania wektorów zanikania^{* T_k^Z} częściowych potoków w kompleksie k, oraz wektorów rozwinięcia^{** T_{k+1}^R} częściowych potoków w kompleksie k + 1.

Wyznaczamy następnie okres rozwinięcia T^R dwu częściowych potoków uformowanych z elementów wektorów T_k^Z i T_{k-1}^R, zapewniając bezkolizyjne ich powiązanie.

Po przetransponowaniu macierzy na dwukolumnową, umieszczamy w kolumnie pierwszej elementy wektora T_k^Z, w drugiej elementy T_{k+1}^R.

Okres rozwinięcia T^R będzie wartością maksymalną z elementów utworzonego zbioru:

$$T^R = \max \left\{ t_{11}, t_{11} + t_{21} - t_{12}; \dots, t_{11} + t_{21} + \dots + t_{11} - t_{12} - t_{22}, \dots, -t_{1-12}; \dots, t_{11} + t_{21} + \dots + t_{n1} - t_{12} - t_{22}, \dots, -t_{n-1,2} \right\}, \quad /8/$$

$i = 1, 2, \dots, n.$

Określa on wartość okresu czasu, jaki upłynie do rozpoczęcia robót drugiego kompleksu. Pozostałe wartości terminów rozwinięcia są elementami wektora T_{k+1}^R.

2.3. Przykład

Na podstawie opracowanych przez BP-BBO "Miastoprojekt" Wrocław zestawień pracochłonności robót, obowiązującej bazy normatywnej oraz uwzględniając zasoby przedsiębiorstwa wykonawczego, sporządzono macierz czasów realizacji robót występujących podczas wznoszenia ośmiu budynków mieszkalnych osiedla mieszkaniowego. Elementami macierzy są czasy realizacji wyrażone w brygado-dniach, przy czym wiersze odpowiadają kolejno realizowanym obiektom, kolumny - procesom roboczym /zdjęcie humusu, wykonanie wykopu, roboty betonowe, montaż, roboty uzupełniające, roboty wykończeniowe I, II, III/. Sporządzono macierz T / 8 x 8/.

* Czasem zanikania częściowych potoków T_j^Z nazywamy czas jaki upływa pomiędzy zakończeniem procesu j i procesu j + 1 w kompleksie

$$T_j^Z = t_{1,j+1}^{PZ} - t_{1,j}^{PZ} \quad /9/$$

** Czasem rozwinięcia częściowych potoków T_j^R nazywamy czas jaki upływa pomiędzy rozpoczęciem procesu j i j+1 w kompleksie

$$T_j^R = t_{1,j+1}^{WR} - t_{1,j}^{WR} \quad /10/$$

T =	2	7	5	54	12	13	15	13
	5	20	15	141	34	37	35	38
	2	7	5	54	12	13	15	13
	5	29	15	141	34	37	35	38
	4	17	9	127	29	34	38	33
	4	14	12	92	22	25	23	25
	4	17	12	121	29	34	36	27
	5	20	15	141	34	37	35	38

Uwzględniając warunki wykonania robót uformowano dwa potoki obejmujące po cztery obiekty, podmacierze T_1 i T_2 .

$T_1 =$	2	7	5	54	12	13	15	13	$T_2 =$	4	17	9	127	29	34	38	33
	5	20	15	141	34	37	35	38		4	14	12	92	22	25	23	25
	2	7	5	54	12	13	15	13		4	17	12	121	29	34	36	27
	5	20	15	141	34	37	35	38		5	20	15	141	34	37	35	38

W wyniku przeprowadzonej na komputerze optymalizacji minimalno-czasowej otrzymano nową kolejność realizacji obiektów /wierszy w macierzach/, zapewniającą skrócenie czasów realizacji w potokach uformowanych metodą z zerowymi sprzężeniami między środkami realizacji. Dla podmacierzy T_1 czas realizacji wynosi 575 jednostek, po optymalizacji T_1^i - 553 jednostki, dla T_2 - 682 jednostki, T_2^i - 660 jednostek.

W wyniku zmiany kolejności nastąpiło skrócenie czasu realizacji w każdym potoku o 3,8% i 3,2%.

$T_1^i =$	2	7	5	54	12	13	15	13	$T_2^i =$	4	17	9	127	29	34	38	33
	5	20	15	141	34	37	35	38		5	20	15	141	34	37	35	38
	5	20	15	141	34	37	35	38		4	17	12	121	29	34	36	27
	2	7	5	54	12	13	15	13		4	14	12	92	22	25	23	25

Na podstawie charakterystyk czasowych potoków sporządzono wektory zanikania i rozwinięcia częściowych potoków modelowych macierzami T_1^i i T_2^i .

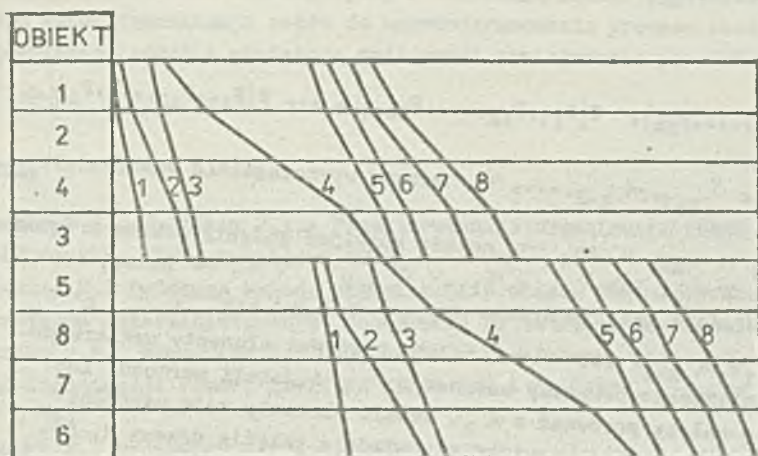
$$T_1^Z = [14, 42, 13, 355, 12, 41, 37, 39]$$

$$T_2^R = [0, 4, 32, 9, 389, 29, 34, 39]$$

Wykorzystując zależność /8/ wyznaczamy terminy rozpoczęcia robót w częściowych potokach drugiego potoku obejmującego kompleksu obiektów, oznaczonego T_2^i . Czasy rozwinięcia tworzą wektor T_2^R .

$$T_2^R = [391, 4, 32, 9, 389, 29, 34, 39]$$

Prezentowany algorytm umożliwia powiązanie potoków obejmujących kompleksy obiektów zapewniając ciągłość pracy /wykorzystania maszyn/ w procesach wiodących.



Rys. 2. Schemat potoku o strukturze równoległej zapewniającej ciągłość pracy w procesach wiodących

W obu kompleksach roboty budowlane wykonywane są przez te same specjalizowane brygady o nie zmienionym składzie.

Zastosowanie algorytmu do harmonogramowania realizacji kompleksu obiektów umożliwia skrócenie czasu jego wznoszenia - w zamieszczonym przykładzie z 1108 jednostek do 1050, tj. o 5,2%.

3. Poszukiwanie kolejności realizacji obiektów

Schemat algorytmu

Na każdym poziomie k drzewa H tworzymy wektor T_k , którego elementami są czasy $T(P_{1k})$. Są to terminy realizacji robót wyznaczone z zestawień potoków P_1 obliczone wg algorytmu przedstawionego w p. 2.2. Stanowią one bazę do porównania, zgodnie z przyjętą strategią podziału. Jako strategię podziału na każdym poziomie k obejmującym wygenerowane węzły drzewa H i utożsamiane z wartościami $T(P_{1k})$, przyjęto $\min f(T)$.

W każdym z poziomów k drzewa H przeprowadzamy selekcję wydzielając ze zbioru elementów wektora T_k elementy o wartości najmniejszej i największej $T(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1l})$ $T(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1r})$, $n \gg 1 \gg k$, $n \gg r \gg k$.

Wyznaczone dwie ekstremalne wartości ze zbioru elementów wektora są podstawą do przeprowadzenia porównania z elementami ekstremalnymi na wyższych poziomach $k - 1, k - 2, \dots, 1$.

Nazwijmy:

$$\min \{ T(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1k}), T(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1k+1}), \dots, T(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1n}) \} \Rightarrow \alpha_k,$$

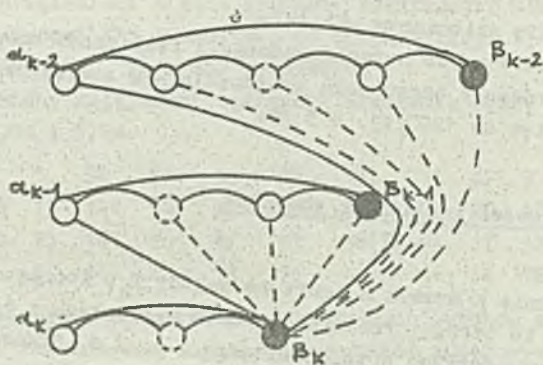
oraz

$$\max \{ T(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1k}), T(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1k+1}), \dots, T(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1n}) \} \Rightarrow \beta_k.$$

Porównując β_k z $\alpha_{k-1}, \alpha_{k-2}, \dots, \alpha_1$ możemy wyszczególnić następujące przypadki:

1. $\beta_k < \alpha_{k-1} \wedge \alpha_{k-2} \wedge \dots \wedge \alpha_1 \rightarrow$ należy rozwijać gałęzie drzewa z wężła w wartościach α_k , lub $\beta_k \leq \alpha_{k-1} \vee \alpha_{k-2} \vee \dots \vee \alpha_1 \rightarrow$ należy rozwijać odpowiednie gałęzie drzewa $\alpha_{k-1} \vee \alpha_{k-2} \vee \dots \vee \alpha_1$ i α_k .
2. $\beta_k > \alpha_{k-1} \vee \alpha_{k-2} \vee \dots \vee \alpha_1 \rightarrow$ należy porównać elementy wektora poziomu spełniającego powyższy warunek z β_k i jeżeli wartości ich są mniejsze należy porównać z α_k . Jeżeli elementy mają wartości mniejsze od α_k , należy rozwijać odpowiednie gałęzie drzewa H, natomiast gdy są wartości większe rozwijać gałęzie od wężła α_k .

Procedura przeglądu jest analogiczna w kolejnych ustalanych poziomach drzewa H, $k+1, k+2, \dots, n$.



Rys. 3. Schemat przeglądu przestrzeni rozwiązań.

4. Podsumowanie

Praktyka modelowania kompleksu robót budowlanych nakłada dodatkowe ograniczenia nie uwzględnione w opracowanych dotychczas algorytmach. Wywołuje to konieczność ich modyfikacji i uogólnienia w celu ujęcia występujących w praktyce budowlanej szczególnych przypadków realizacyjnych.

rzedstawione w referacie dwa algorytmy rozszerzają obszar wykorzystania otokowych metod organizacji robót do harmonogramowania procesu realizacji użytych kompleksów robót i otwierają możliwości zmniejszenia pracochłonności bliczeń.

LITERATURA

- [1] Afanasev V.A., Veličkin V.Z.: Proektirovanije organizacii rabot s pomoščjju EVM, VIKI, Leningrad 1975.
- [2] Mrozowicz J.: Potokowe metody organizacji procesów budowlanych o charakterze deterministycznym. Monografia nr 14 WPWr., Wrocław 1982.
- [3] Afanasev V.A., Mrozowicz J., Hejducki Z.: Kompleksowa ocena potokowych metod organizacji robót. XXVII KN KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1981, s. 7 - 14.
- [4] Hejducki Z., Mrozowicz J.: Modelowanie potoku o strukturze równoległej zapewniającej ciągłość pracy w procesach wiodących, XXVIII KN KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 1982, s. 39 - 45.
- [5] Grabowski J.: Uogólnione zagadnienia optymalizacji kolejności operacji w dyskretnych systemach produkcyjnych, Monografia nr 9, WPWr., Wrocław 1979.

Recenzent: Doc.dr hab.inż.Tadeusz Sawik

Wpłynęło do redakcji do 30.03.1984r.

ВОПРОСЫ ПЛАНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ

Резюме

В работе изложены два вопроса, касающиеся планирования строительства комплекса зданий. Представленные алгоритмы дают возможность моделировать строительный поток с параллельной структурой а также ускорить ход расчёта очередности строительства зданий.

PROBLEMS OF GRAPHIC SCHEDULES DESIGN FOR REALIZATION OF THE BUILDING OBJECTS

Summary

Two problems connected with graphic schedules design realization of big complexes of building objects have been presented in the paper. The algorithm presented in the paper make possible to model the parallel - structure flow and to speed up the process of calculation of the sequence of realized objects.