

Zdzisław Hejducki, Juliusz Mrozowicz
Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej

USTALENIE KOLEJNOŚCI W ZBIORZE POTOKÓW OBJEJMUJĄCYCH KOMPLEKSY OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono algorytm szeregowania w zbiorze potoków. Zapewnia on skracanie czasu realizacji kompleksu obiektów budowlanych, np. osiedla mieszkaniowego. Przedstawiono praktyczny przykład planowania realizacji osiedla Szwałowo-Ozierki w Leningradzie, z wykorzystaniem przedstawionego algorytmu.

1. Wstęp

Referat ten stanowi kontynuację tematyki przedstawionej na IV Krajowej Konferencji Automatyzacji Dyskretnych Procesów Przemysłowych. Przedstawia wyniki kolejnego etapu prac nad harmonogramowaniem realizacji kompleksu obiektów budowlanych. Jest ponadto wynikiem współpracy z Katedrą Organizacji, Planowania i Zarządzania Budownictwem Leningradzkiego Instytutu Inżynieryjno-Budowlanego w dziedzinie zastosowania potokowych metod organizacji robót do planowania realizacji obiektów budowlanych.

Podstawowe pojęcia i definicje przedstawione zostały w pracach [1,2,3] oraz w artykule opublikowanym w materiałach konferencyjnych IV KK ADPP [4].

Proces planowania realizacji wielkich kompleksów obiektów budowlanych odbywa się etapami [3]. Ostatni etap polega na ustaleniu kolejności w zbiorze potoków. Zharmonizowane wcześniej potoki uwzględniają najbardziej racjonalne metody ich organizacji, kolejność robót w potoku oraz inne ograniczenia. Są one wewnętrznie uporządkowane, zapewniając najkrótszy czas realizacji i uwzględniając przyjęte ograniczenia [1,2,3].

Utworzony zbiór potoków wymaga ustalenia ich sekwencji z uwzględnieniem zasady bezkolizyjnej pracy brygad roboczych oraz zapewnienia minimalnego czasu realizacji zadania inwestycyjnego.

2. Algorytm szeregowania w zbiorze potoków

Zagadnienie to można rozwiązać z uwzględnieniem minimalno-czasowego kryterium. Zasada działania algorytmu oparta jest na metodzie podziału i ograniczeń [5,6].

Rozpoczynając od wariacji A_n^r , generujemy ciąg zestawień potoków. Działania te przeprowadzamy w celu ustalenia pierwszego węzła w drzewie wariantów H . Dla każdego zestawienia w ciągu obliczamy wartości $\tau(A)$, które są pod-

stawą do wyboru kierunku przeszukiwań przestrzeni rozwiązań.

$$T(A) = \max_i \left\{ \sum_{j=1}^n T_{ij}^z - \sum_{j=1}^n T_{1,j}^R \right\}, \quad (1)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} T(A) & - \text{okres rozwinięcia potoków w kolejnych zestawieniach,} \\ T^z & - \text{czas zanikania częściowych potoków} \\ T_j^z & = t_{ij+1}^{Pz} - t_{ij}^{Pz} \\ t_{ij}^{Pz} & - \text{najpóźniejszy termin zakończenia pracy } j \text{ na obiekcie } i, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} T^R & - \text{czas rozwinięcia częściowych potoków} \\ T_j^R & = t_{ij+1}^{WR} - t_{ij}^{WR} \\ t_{ij}^{WR} & - \text{najwcześniejszy termin rozpoczęcia pracy } j \text{ na obiek-} \\ & \text{cie } i. \end{aligned} \quad (3)$$

Zbiór wartości $T(A)$ dla zestawień dwóch potoków ze zbioru P_i umożliwia dokonanie wyboru zestawienia rokującego nadzieję na uzyskanie najkrótszego terminu realizacji.

Zestawienia potoków z n elementów po 2 w każdej wariancji:

$$A_n^2 = \left\{ P_1--P_2, P_1--P_3, P_1--P_4, \dots, P_1--P_n, P_2--P_1, P_2--P_3, P_2--P_4, \dots, P_2--P_n, \dots, P_n--P_1, P_n--P_2, \dots, P_n--P_{n-1} \right\} \quad (4)$$

Pierwszy poziom w drzewie wariantów stanowią zestawienia 2- elementowe z wyznaczonymi wartościami $T(A)$. Ze zbioru wartości $T(A)$ z jednakowymi indeksami początkowymi wybieramy wartości najmniejsze, tzn.:

$$\begin{aligned} \left\{ T(P_1-P_2), T(P_1-P_3), T(P_1-P_4), \dots, T(P_1-P_n) \right\} & \xrightarrow{\min} P_1-P_1, \\ \left\{ T(P_2-P_1), T(P_2-P_3), T(P_2-P_4), \dots, T(P_2-P_n) \right\} & \xrightarrow{\min} P_2-P_k \text{ itd.} \\ 1, 2, \dots, i, k, n & - \text{indeksy potoków} \end{aligned}$$

Następnie wyznaczamy kolejne poziomy drzewa wariantów, eliminując ze zbioru utworzonego A_n^2 już ustalone zestawienia. Rozwijając gałęzie drzewa wariantów w kierunkach ustalonych na poprzednim etapie wybieramy ze zbioru zestawień potoków pozostałe w logicznym ciągu elementy, wyznaczając kolejności potoków w zbiorze.

Zaproponowana tu strategia podziału wynika z faktu, że na kolejnych poziomach drzewa wariantów wartości liczbowe pomocniczych wskaźników charakteryzujących węzły drzewa są coraz to większe. Tworzy go suma odpowiednich wartości $T(A)$, wynikająca z możliwego zestawienia potoków. Na każdym poziomie wzrasta ona o jeden składnik, a na ostatnim poziomie drzewa rozwiązań do sumy $T(A)$ dodajemy T -czas realizacji robót w ostatnim potoku.

Porównanie wyników końcowych utworzonych z sumy wartości pomocniczych $T(A)$ ustalonych zestawień w ciągu oraz czasu trwania ostatniego potoku, i

wybór spośród nich najmniejszej liczby, wskaże kolejność potoków zapewniającą skrócenie terminu realizacji, w stosunku do zadanej kolejności.

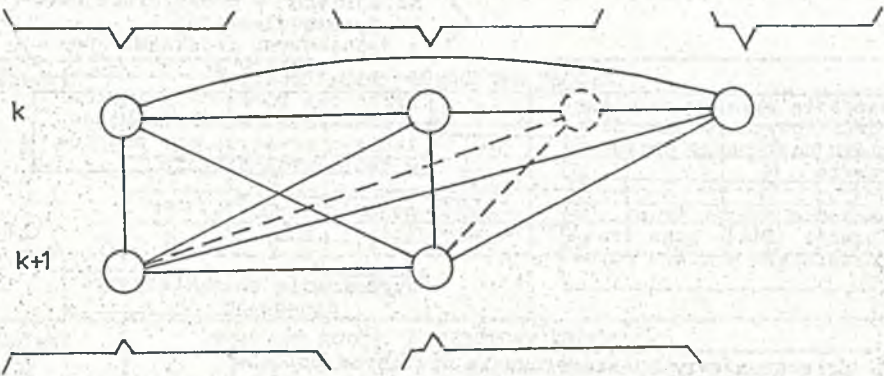
W przypadku gdy węzły drzewa wariantów określa się z uwzględnieniem jednokrotnej liczby elementów, przegląd przestrzeni rozwiązań odbywa się najczęściej drogą porównania wszystkich wartości charakteryzujących węzły drzewa, tworzących wektor T na wyższych poziomach. Wzrasta tym samym liczba operacji wydłużając znacznie czas pracy komputera.

Zagadnienie to można rozwiązać szybciej eliminując konieczność porównywania ze sobą na każdym poziomie wszystkich elementów wektorów T , wykorzystując dostrzeżoną podczas praktycznej weryfikacji algorytmu poszukiwania kolejność wznoszenia obiektów osiedla mieszkaniowego przy zastosowaniu kryterium minimalno-czasowego i zależności występującej pomiędzy elementami wektora T na każdym poziomie drzewa H .

Na każdym poziomie k w drzewie H przeprowadzamy selekcję elementów, wydzielaając ze zbioru elementów wektora T_k elementy o wartości najmniejszej i największej $T(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ir})$.

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

$$T(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik}) \cdot T(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{i, k+1}) \dots ; T(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ir})$$

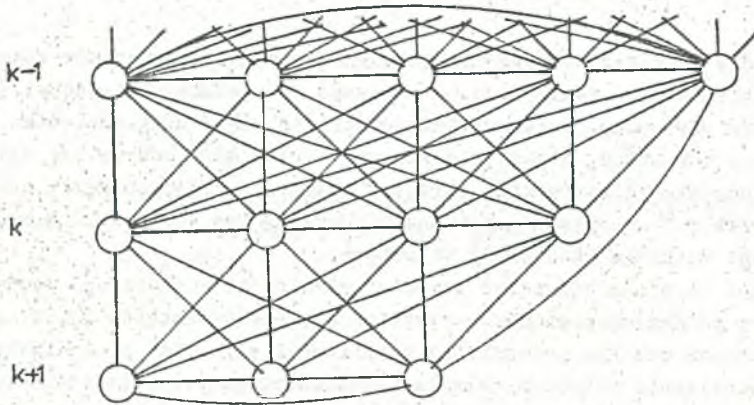


$$T(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{i, k+1}) \dots ; T(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ir})$$

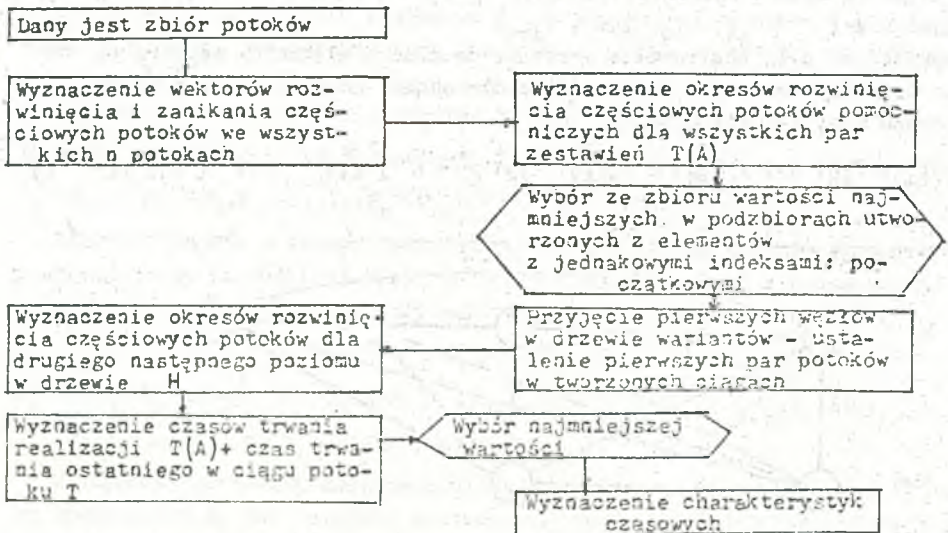
przy czym model ten należy rozwinąć dla pozostałych poziomów /np. rys.4/

W referacie przedstawionym na IV KK ADPP wyjaśniono zasady działania zmodyfikowanego algorytmu poszukiwania kolejności realizacji i przeglądu przestrzeni rozwiązań wg nowej propozycji, dlatego się go tu nie przytacza [4].

Wykorzystanie powyższego algorytmu zmniejsza pracochłonność obliczeń, co ma szczególne znaczenie dla wykorzystania pojemności pamięci operacyjnej komputera.



Rys. 1. Schemat przeglądu przestrzeni rozwiązań wg klasycznego algorytmu
 Fig. 1. The scheme of solutions-set due to the classical algorithm



Rys. 2. Schemat algorytmu szeregowania w zbiorze potoków
 Fig. 2. The scheme of the "put-in-series" algorithm in the set of flows.

3. Praktyczne wykorzystanie algorytmu

Rozwiązanie zagadnienia szeregowania zbioru potoków przedstawiono na podstawie danych liczbowych z realizacji obiektów osiedla mieszkaniowego Szwałowo-Dzierki w Leningradzie (ZSRR).

Wydzielono cztery potoki $n=4$, w których została ustalona kolejność realizowanych obiektów oraz metoda ich organizacji.

Sporządzono macierze czasów wykonania robót na frontach z uwzględnieniem kolejności prowadzenia robót, z minimalno-czasowym kryterium.

Tabela 1

Potok	Kolejność realizowanych działań	Czas realizacji, dni	Metoda
P ₁	3-5-1-4-2	385	I
P ₂	2-5-4-1-3	379	I
P ₃	5-3-1-2-4	322	III
P ₄	2-3-4-1-5	246	III

Tabela 2

Macierze czasów realizacji obiektów z ustaloną kolejnością ich wykonania w potokach, Potok P₁

Obiekt	RODZAJE ROBÓT (CZĘŚCIOWE PROCESY)							
	3	0	0	0	0	37	30	19
5	0	0	0	0	31	28	14	7
1	11	58	9	58	46	40	20	10
4	0	0	0	0	37	30	19	7
2	17	85	9	45	30	25	15	7

Potok P₂

Obiekt	RODZAJE ROBÓT (CZĘŚCIOWE PROCESY)							
	2	0	0	0	0	45	35	24
5	0	0	0	0	46	45	15	9
4	11	58	9	57	46	45	15	9
1	13	62	9	54	29	20	19	7
3	0	0	0	0	29	20	19	7

Potok P₃

Obiekt	RODZAJE ROBÓT (CZĘŚCIOWE PROCESY)							
	5	4	21	9	42	31	24	107
3	0	0	0	0	45	31	28	7
1	4	22	9	43	32	24	18	7
2	13	63	9	54	29	25	15	7
4	0	0	0	0	29	23	16	7

Potok P_4

Obiekt	RODZAJE ROBÓT (CZĘŚCIOWE PROCESY)							
	2	0	0	0	0	45	33	26
3	0	0	0	0	45	33	26	8
4	0	0	0	0	45	33	26	8
1	25	45	9	56	32	30	12	8
5	0	0	0	0	30	29	11	8

Wybór potoku ze zbioru $\{P_1, P_2, P_3, P_4\}$ na pierwsze miejsce w ciągu. Macierz czasów rozwijania r częściowych potoków i ich związania z w potoku kompleksowym:

$$T_1^{r,z} = \begin{bmatrix} 11, 134, 9, 0, 56, 81, 56, 7 \\ 28, 126, 9, 94, 78, 28, 15, 7 \end{bmatrix} \begin{matrix} r \\ z \end{matrix}$$

$$T_2^{r,z} = \begin{bmatrix} 11, 111, 9, 0, 57, 92, 50, 7 \\ 24, 107, 9, 102, 84, 27, 19, 7 \end{bmatrix} \begin{matrix} r \\ z \end{matrix}$$

$$T_3^{r,z} = \begin{bmatrix} 4, 21, 9, 42, 31, 24, 107, 6 \\ 21, 89, 9, 54, 69, 23, 50, 7 \end{bmatrix} \begin{matrix} r \\ z \end{matrix}$$

$$T_4^{r,z} = \begin{bmatrix} 0, 0, 0, 0, 56, 33, 26, 8 \\ 25, 45, 9, 45, 62, 30, 11, 8 \end{bmatrix} \begin{matrix} r \\ z \end{matrix}$$

Obliczenia $T(A)$ dla możliwych zestawień potoków

$$T(P_1, P_2)$$

$$\begin{matrix} z: & 28, 126, 9, 94, 78, 28, 15, 7 \\ r: & 0, 11, 111, 9, 0, 57, 92, 60 \end{matrix} \rightarrow 204$$

$$T(P_1, P_3)$$

$$\begin{matrix} z: & 28, 126, 9, 94, 76, 28, 15, 7 \\ r: & 0, 4, 21, 9, 42, 31, 24, 107 \end{matrix} \rightarrow 259$$

$$T(P_1, P_4)$$

$$\begin{matrix} z: & 28, 126, 9, 94, 78, 28, 15, 7 \\ r: & 0, 0, 0, 0, 0, 45, 33, 26 \end{matrix} \rightarrow 335$$

$$T(P_1, P_1)$$

$$\begin{matrix} z: & 24, 107, 9, 102, 84, 27, 19, 7 \\ r: & 0, 11, 134, 9, 0, 56, 81, 56 \end{matrix} \rightarrow 172$$

$$T(P_2, P_3)$$

$$\begin{matrix} z: & 24, 107, 9, 102, 84, 27, 19, 7 \\ r: & 0, 4, 21, 9, 42, 31, 24, 107 \end{matrix} \rightarrow 250$$

$$T(P_2, P_4)$$

$$z: 24, 107, 9, 102, 84, 27, 19, 7 \rightarrow 326$$

r: 0, 0, 0, 0, 0, 45, 33, 26	
$T(P_3, P_1)$	
z: 21, 89, 9, 54, 69, 23, 50, 7	
r: 0, 11, 134, 9, 0, 56, 31, 56	→ 99
$T(P_3, P_2)$	
z: 21, 89, 9, 54, 69, 23, 50, 7	→ 111
r: 0, 11, 111, 9, 0, 57, 92, 60	
$T(P_3, P_4)$	
z: 21, 89, 9, 54, 69, 23, 50, 7	→ 242
r: 0, 0, 0, 0, 0, 45, 33, 26	
$T(P_4, P_1)$	
z: 25, 45, 9, 56, 62, 30, 11, 8	→ 59
r: 0, 11, 134, 9, 0, 56, 61, 55	
$T(P_4, P_2)$	
z: 25, 45, 9, 56, 62, 30, 11, 0	→ 66
r: 0, 11, 111, 9, 0, 57, 92, 60	
$T(P_4, P_3)$	
z: 25, 45, 9, 56, 62, 30, 11, 8	→ 121
r: 0, 4, 21, 9, 42, 31, 24, 107	

Tabela 3

Wyznaczenie ciągów potoków z określeniem węzłów w drzewie wariantów

Zestawienia potoków	$T(A)$	Wyznaczenie możliwych ciągów potoków utworzonych w zestawieniu	$T(A) + T$
P_1, P_2 P_1, P_3 P_1, P_4	204 [*] 259 335	P_1, P_2, P_3, P_4	920
P_2, P_1 P_2, P_3 P_2, P_4	172 [*] 250 326	P_2, P_1, P_3, P_4	919
P_3, P_1 P_3, P_2 P_3, P_4	99 [*] 111 224	P_3, P_1, P_2, P_4	875
P_4, P_1 P_4, P_2 P_4, P_3	59 [*] 66 121	P_4, P_1, P_2, P_3	835

* / - najmniejsza wartość $T(A)$ w podzbiorze.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano nową kolejność potoków: P_4, P_1, P_2, P_3 , zapewniającą zrealizowanie zadania inwestycyjnego w 835 jednostek czasowych. Zapewnia to skrócenie terminu realizacji o 9,2% w stosunku do terminu wyznaczonego przy zadanej kolejności potoków: P_1, P_2, P_3, P_4 , tj. 920 jednostek.

4. Podsumowanie

Planowanie realizacji wieloletnich przedsięwzięć inwestycyjnych, np. budowy osiedla mieszkaniowego, wymaga, w przypadku stosowania metod równoległo-potokowych, uwzględnienia kolejności potoków w procesie realizacyjnym. Prezentowany algorytm zapewnia ustalenie kolejności planowanych do realizacji potoków przy zastosowaniu minimalno-czasowego kryterium, zachowując ciągłość pracy w procesach wiodących. Zaproponowana strategia podziału zmniejsza liczbę operacji logicznych, co ma istotne znaczenie dla wykorzystania pojemności pamięci operacyjnej komputera, a w efekcie obniża pracochłonność obliczeń w procesie projektowania organizacji budowy.

Literatura

- [1] Afanasev V.A.; Algoritmy formirovaniya i rasčeta potocznoj organizacii rabot. LISI, Leningrad 1980.
- [2] Mrozowicz J.; Metody potokowe organizacji procesów budowlanych o charakterze deterministycznym. W PWr, Wrocław 1982.
- [3] Hejducki Z.; Próba zastosowania potokowych metod organizacji robót do planowania realizacji wielkich kompleksów budowlanych, praca doktorska, Raport Instytutu Budownictwa PWr, seria PRE Nr 5/86.
- [4] Hejducki Z., Mrozowicz J.; Problemy harmonogramowania realizacji kompleksu obiektów budowlanych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Automatyka, z. 75, Gliwice 1984, s. 19-27.
- [5] Grabowski J.; Uogólnione zagadnienia optymalizacji kolejności operacji w dyskretnych systemach produkcyjnych. Monografia nr 9, W PWr, Wrocław 1979.
- [6] Mitten L.G., Branch-and-Bound Methods, General Formulation and Properties, Operations Research, No 18, 1970.

Recenzent: Doc.dr h.inż. Józef Grabowski

Wpłynęło do Redakcji do 1986.04.30

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧЕРЕДНОСТИ В МНОЖЕСТВЕ ПОТОКОВ ДЛЯ СТРОЙКОМПЛЕКСА

Р е з ю м е

В работе изложен алгоритм определения очередности строительных потоков. Дает он возможность сократить строительство комплекса объектов на пример жилого района, квартала. В статье дается практический пример планирования строительства квартала Шувалово-Озерки в Ленинграде о применении излагаемого алгоритма.

THE SEQUENCE SETTLEMENT PROBLEM IN THE SET OF FLOWS INCLUDING THE COMPLEX OF BUILDINGS

S u m m a r y

The algorithm for arrangement rows of the set of flows, is presented. The algorithm secures reduction of realization of the complex of buildings, for instance a housiny estate. A process of planning of the realization of complex of buildings is usually divided into several stages. The last stage is concerned with settlement of sequence in the set of flows. The flows have been internally harmonized, earlier. Thus, they are put in order by means of flow-organization method of construction work. The management and technological restrictions and the noncollisions work of gangs law are kept. Additionally, the practical example of planning of the realization of the housing estate "Suvalowo-Ozierki" in Leningrad /USSR/ by means of described algorithm is presented.