

Alojzy Stawinoga

Instytut Mechaniki i Podstaw
Konstrukcji Maszyn
Politechnika Śląska

KOMPUTEROWO WSPOMAGANE ROZMIESZCZANIE OBIEKTÓW

Streszczenie. Przedstawiono metodę optymalizacji rozmieszczenia obiektów o zadanych wymiarach, umożliwiającą komputerowe wspomaganie tego procesu.

1. Wstęp

Projektowanie rozmieszczenia obiektów jest zadaniem występującym między innymi przy projektowaniu i modernizacji zakładów przemysłowych.

Zakład przemysłowy, jako megaukład techniczny, jest układem o znacznym stopniu złożoności. Analizując tę złożoność można wyodrębnić w nim ze względu na organizację procesu wytwórczego wydziały, oddziały wytwórcze, gniazda i linie ciągu technologicznego oraz maszyny. Natomiast ze względu na relacje przestrzenne w zakładzie przemysłowym można najczęściej wyróżnić szereg budynków. Budynki mogą składać się z jednej lub więcej hal, w których da się wyróżnić szereg pomieszczeń.

Projektowanie rozmieszczenia obiektów wiąże się z rozmieszczaniem składników struktury ustalonej ze względu na organizację procesu wytwórczego, jak i ze względu na relacje przestrzenne.

2. Metody rozmieszczania obiektów

Obecnie projektowanie rozmieszczenia obiektów przeprowadza się najczęściej w sposób manualny, w którym to wykorzystuje się wyłącznie doświadczenie i intuicję projektanta. Proces ten wspomaga się stosując jedynie modelowanie za pomocą makiet płaskich lub modeli trójwymiarowych.

Rozwój metod matematycznych spowodował powstanie szeregu metod optymalizacji rozmieszczenia obiektów [4],[5]. W metodach tych rozmieszczane obiekty traktuje się jako punkty lub jako zbiór powierzchni modułowych. W przypadku rozmieszczania obiektów zakładu przemysłowego obiekty mają naj-

częściej znaczne wymiary. Wyklucza to stosowanie punktowych metod rozmieszczania. Natomiast sposób rozmieszczania obiektów modułowych powoduje, że nie wszystkie obiekty po zakończeniu rozmieszczania mają postacie odpowiadające ich postaci wejściowej - zachodzi "deformacja obiektu".

W praktycznych zadaniach często wymagane jest wprowadzenie ograniczeń pozwalających na modyfikację obszarów, na których rozmieszczane są obiekty. Istniejące metody takiej możliwości nie mają.

Z powyższych względów opracowano metodę optymalizacji rozmieszczenia obiektów /o zadanych wymiarach/ na obszarach ograniczonych, umożliwiającą między innymi wprowadzenie ograniczeń i modyfikację obszaru, na którym rozmieszczane są obiekty.

3. Zakład przemysłowy w ujęciu systemowym

Zakład przemysłowy będący megaukładem technicznym jest zespołem obiektów współdziałających ze względu na układ jako całość 1. Właściwością megaukładu technicznego jest działanie możliwe dzięki współdziałaniu obiektów tworzących megaukład. Podstawą działania megaukładu technicznego jest system rozumiany jako układ relacji przekształceń i relacji sprzężeń odniesiony do energii, masy i informacji.

Rozmieszczanie obiektów polega na optymalizacji relacji przekształceń, które w rozpatrywanym [przypadku są relacjami przemieszczeń. Położenie obiektów uwarunkowane jest koniecznymi relacjami sprzężeń.

Rozmieszczając obiekty należy dążyć do uzyskania optymalnej realizacji procesu wytwórczego. W zadaniach praktycznych nie ma pełnej dowolności rozmieszczania obiektów wynikającej między innymi z ograniczonej powierzchni, na której rozmieszczamy obiekty, zaś w razie modernizacji zakładu szereg obiektów jest już rozmieszczonych, istnieje określony układ dróg, sieci elektrycznych, energetycznych itp.

Optymalizacji rozmieszczenia obiektów dokonuje się ze względu na obrany układ kryteriów. W przypadku rozmieszczania obiektów zakładu przemysłowego takimi kryteriami są:

- kryterium minimum długości dróg transportowych, sieci elektrycznych lub energetycznych,
- kryterium minimum wielkości przewozów rozumianych jako iloczyn przemieszczanej masy przez długość drogi na jaką masa ta jest przemieszczana,
- kryterium minimum kosztów lokalizacji obiektów.

Powyższe kryteria są kryteriami ilościowymi. Oprócz nich należy uwzględnić kryteria jakościowe, np. estetyczne, psychologiczne itp. Istnieje więc szereg różnych kryteriów, na podstawie których optymalizuje się rozmieszczenie obiektów. Wskazuje to na konieczność dokonania optymalizacji wielokryteriowej lub naszprowadzeniu wszystkich kryteriów do jednego kryterium uniwersalnego. Złożoność modeli polioptymalizacji i konieczność tworzenia ich praktycznie dla każdego z zadań zdecydowało o przyjęciu sposobu optymalizacji

uwzględniającego kolejno każde kryterium ze zbioru kryteriów ilościowych. Uwzględnianie pozostałych kryteriów, a więc jakościowych i nie ujętych przy optymalizacji pozostawiono projektantowi, który powinien odgrywać decydującą rolę w procesie rozmieszczania.

4. Model matematyczny zadania optymalizacji rozmieszczania obiektów

Opracowując model matematyczny przyjęto następujące założenia i ograniczenia:

- postać geometryczna obiektów została zastąpiona postacią prostopadłością - nu opisanego na obiekcie rzeczywistym,
- rozmieszczanie obiektów odbywać się będzie na płaszczyźnie,
- prowadzona będzie optymalizacja jednokryterialna.

Dane są:

- zbiór "n" obiektów $E = \{e_1, \dots, e_n\}$
- o wymiarach $X = \{x_1, \dots, x_n\}$; $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$;
- $Z = \{z_1, \dots, z_n\}$.
- macierz miar sprzężeń między obiektami $F = [f_{ij}]_{n \times n}$

Wyznaczyć takie wzajemne położenie obiektów na obszarze P, aby uogólniona funkcja kryterialna

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} f_{ij} l_{\pi(i)\pi(j)} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n t_{ik} s_{ik} l_{\pi(i)\pi(k)} + \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^1 c_{ip} w_{x_i y_i}$$

- osiągnęła wartość minimalną,

gdzie:

- f_{ij} - macierz miar sprzężeń między obiektami rozmieszczanymi,
- $l_{\pi(i)\pi(j)}$ - odległość między obiektami rozmieszczonymi,
- t_{ij} - koszt jednostkowy transportu między obiektami rozmieszczanymi,
- s_{ik} - macierz miar sprzężeń między obiektami rozmieszczanymi i obiektami o zadanym wcześniej położeniu,
- $l_{\pi(i)\pi(k)}$ - odległość między obiektami rozmieszczanymi i obiektami o zadanym wcześniej położeniu,
- t_{ik} - koszt jednostkowy transportu między obiektami rozmieszczanymi i obiektami o zadanym wcześniej położeniu,
- c_{ip} - koszt lokalizacji jednostki powierzchni obiektu na danym polu,

$W_{x_1 y_1}$ - wielkość pola powierzchni podstawy figury obiektu.

Rozmieszczenie realizowane jest w dwóch stadiach:

I stadium - wyznaczanie kolejności rozmieszczania obiektów

II stadium - optymalizacja rozmieszczania obiektów z uwzględnieniem powyższej kolejności.

Wyznaczenie kolejności rozmieszczania określa się przekształcając zbiór E w E^d tak, że:

$$E \xrightarrow{df} U_d(E); \quad 0 < d < n$$

gdzie:

U_d - operator umożliwiający przekształcenie zbioru E w E^d ; przekształcenie to może być robione w sposób arbitralny lub kryterialny,

E - zbiór obiektów podlegających rozmieszczaniu,

E^d - zbiór obiektów uporządkowany wg kolejności ich rozmieszczania,

d - liczba obiektów, których kolejność rozmieszczania została określona kryterialnie,

n - liczba obiektów podlegających rozmieszczaniu.

Zbiór E^d składa się z dwóch zbiorów: zbioru obiektów, których kolejność rozmieszczania została ustalona arbitralnie E_1^d , oraz zbioru obiektów, których kolejność rozmieszczania została określona kryterialnie E_2^d , czyli:

$$E^d = E_1^d \cup E_2^d$$

Kolejność rozmieszczania wyznaczana kryterialnie może być określona na podstawie kryterium wielkości pola powierzchni podstawy obiektów lub na podstawie kryterium wartości miar sprzężeń.

Rozmieszczanie obiektów na odpowiednich polach wg powyższej kolejności polega na znajdowaniu takiego położenia obiektu na obszarze P , aby wartość cząstkowej funkcji kryterialnej osiągnęła wartość minimalną.

Obszar P określony jest wymiarami A i B

$$P \xrightarrow{df} P(A, B)$$

Obiekty rozmieszczane opisane są następująco:

$$e_i \xrightarrow{df} e_i(x_1, y_1, z_1)$$

gdzie:

x_1, y_1, z_1 - wymiary postaci uogólnionej obiektu.

Natomiast położenie obiektu opisano w sposób:

$$e_i \xrightarrow{df} e_i^j(x_1', y_1', x_1, y_1, f_{1j}, s_{1k}, c_{1p}, R)$$

gdzie:

x_1', y_1' - współrzędne środka ciężkości pola podstawy obiektu względem przyjętego układu odniesienia,

x_1, y_1 - wymiary pola podstawy obiektu,

R - zbiór pól zabronionych i zajętych przez obiekty

$$R = R_1 \cup R_2$$

gdzie:

R_1 - zbiór pól zabronionych

R_2 - zbiór pól zajętych przez obiekty o zadanym wcześniej położeniu R_2^0 oraz rozmieszczone w procesie optymalizacji R_2^* .

Rozmieszczając obiekty poszukuje się na obszarze P pól zajętych i nie zabronionych, w których możliwe jest umieszczenie obiektu. Stanowią one tzw. pole kandydujące K , czyli:

$$K = P \setminus R$$

Optymalne położenie obiektu /dające minimum wartości funkcji Q / wyznacza się przemieszczając o wartość "mo" /moduł obszaru/ w sposób iteracyjny obiekt po całym obszarze.

Pola opisane są w następujący sposób:

- pole zabronione

$$R_1 = \sum_{r=1}^q e_r(x_r^*, y_r^*, x_r, y_r)$$

- pola zajęte przez obiekty o zadanym wcześniej położeniu

$$R_2^0 = \sum_{s=1}^m e_s(x_s^*, y_s^*, x_s, y_s)$$

- pola zajęte przez obiekty rozmieszczone w procesie optymalizacji

$$R_2^* = \sum_{j=1}^q e_j^i(x_j^*, y_j^*, x_j, y_j, f_{ij}, a_{ik}, o_{ip}, R)$$

Na początku cały obszar stanowi pole kandydujące. Z pola kandydującego eliminuje się najpierw pola zabronione

$$K = P \setminus R_1$$

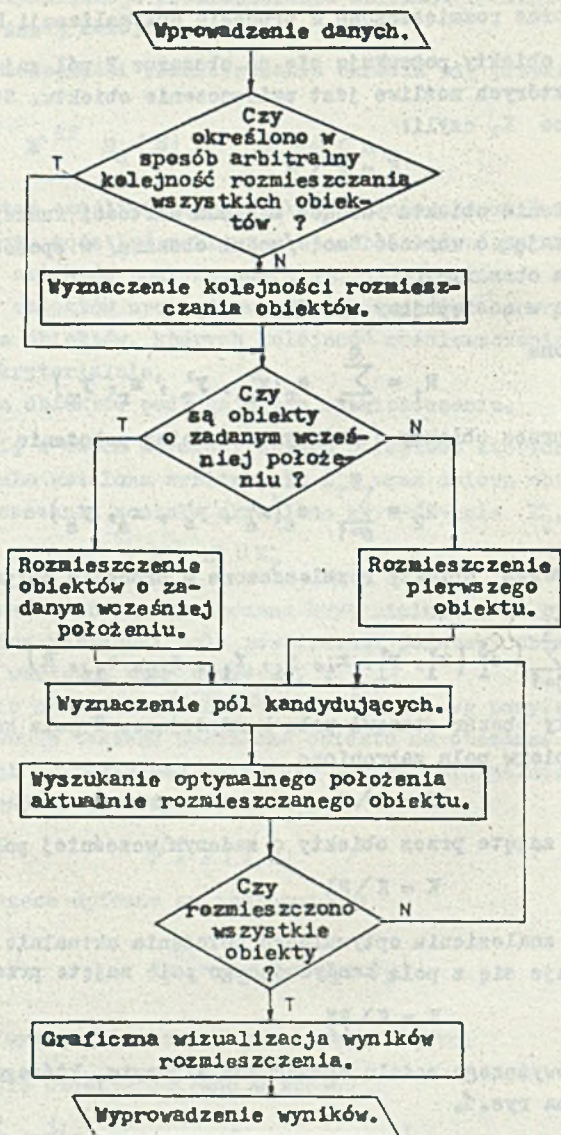
Następnie pola zajęte przez obiekty o zadanym wcześniej położeniu

$$K = K \setminus R_2^0$$

Każdorazowo po znalezieniu optymalnego położenia aktualnie rozmieszczonego obiektu eliminuje się z pola kandydującego pole zajęte przez ten obiekt

$$K = K \setminus R_2^*$$

Na podstawie powyższego modelu opracowano algorytm, którego model blokowy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Model blokowy algorytmu optymalizacji rozmieszczenia obiektów.

5. Eksperyment numeryczny

Możliwości metody sprawdzono dla zbioru danych testowych:

- na obszarze o wymiarach 60x60 rozmieścić 9 obiektów o następujących wymiarach (x, y, z)

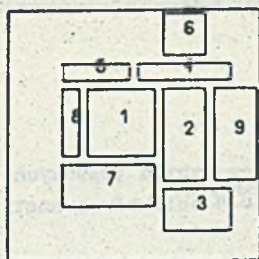
Nr obiektu	Wymiary		
	x	y	z
1	18	18	18
2	12	24	24
3	18	12	12
4	6	24	30
5	18	6	24
6	12	12	6
7	24	12	24
8	6	18	18
9	12	24	24

Szerokość dróg między obiektami wynosi 2.

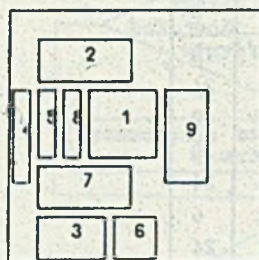
Macierz miar sprzężeń f_{ij} wynikająca z procesu wytwórczego jest następująca:

do obiektu nr	z obiektu nr								
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	1	1	3	2	1	2	4	5
2	1	0	3	1	0	0	1	3	4
3	0	2	0	2	6	1	1	1	0
4	2	3	1	0	6	5	4	3	5
5	1	2	1	0	0	2	4	2	2
6	4	2	2	0	4	0	1	0	1
7	8	0	2	0	5	0	0	1	0
8	6	5	2	1	0	3	2	0	5
9	4	3	7	0	2	1	1	0	0

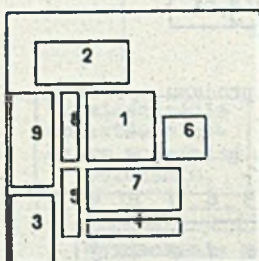
Na podstawie przyjętych danych, zakładając różne kryteria kolejności rozmieszczenia obiektów oraz różne kryteria optymalizacji otrzymano szereg wariantów rozmieszczenia, tzn. kilka rozwiązań zadania. Przy tworzeniu niektórych wariantów uwzględniono kryteria ograniczające, a także zadawano arbitralnie położenia obiektów oraz wprowadzono tzw. pola zabronione. Wyniki optymalizacji były wyprowadzone w postaci graficznej przy użyciu automatycznego stołu kreślarskiego.



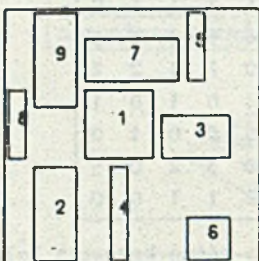
Rys.2 Rozmieszczenie obiektów otrzymane przy założeniach:
 - kryterium kolejności rozmieszczenia: wielkość pola powierzchni podstawy obiektów
 - kryterium optymalizacji: minimum wielkości przewozów



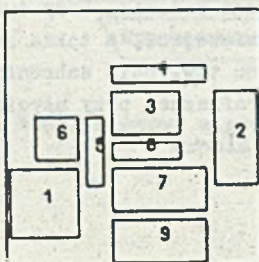
Rys.3 Rozmieszczenie obiektów otrzymane przy założeniach:
 - kryterium kolejności rozmieszczenia: wartość sprzężeń
 - kryterium optymalizacji: minimum długości dróg transportowych



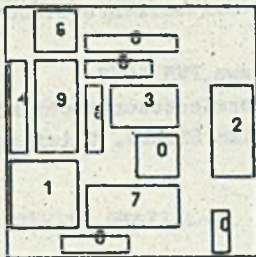
Rys.4 Rozmieszczenie obiektów otrzymane przy założeniach:
 - kryterium kolejności rozmieszczenia: wartość sprzężeń
 - kryterium optymalizacji: minimum wielkości przewozów



Rys.5 Rozmieszczenie obiektów otrzymane przy założeniach jak wyżej oraz dla następujących kryteriów ograniczających:
 - odległość między obiektem:
 nr 1 i nr 8 24
 nr 1 i nr 6 30
 nr 2 i nr 9 24
 nr 7 i nr 4 18



Rys.6 Rozmieszczenie obiektów otrzymane przy założeniach jak dla rys.4 oraz przy arbitralnym rozmieszczeniu obiektów nr 1,2i3



Rys.7 Rozmieszczenie obiektów otrzymane przy założeniach jak dla rys.4 oraz wprowadzając pola zabronione /oznaczone zerami/

Następnie zweryfikowano metodę dla 2 zadań praktycznych:

- a/ optymalizacji rozmieszczenia wydziałów zakładu przemysłowego,
- b/ optymalizacji rozmieszczenia maszyn i pomieszczeń w gnieździe wytworczym.

6. Wnioski

Opracowana metoda optymalizacji rozmieszczania obiektów umożliwia komputerowe wspomaganie tego procesu. Pozwala ona w szczególności rozmieszczać obiekty traktowane jako integralną całość, bez konieczności ich podziału na elementy modułowe. Optymalizacji rozmieszczania można dokonać ze względu na kolejno przyjmowane, pojedyncze kryteria ilościowe. Prowadzi to do otrzymania wielu wariantów rozmieszczenia optymalnych ze względu na przyjęte kryteria. Na podstawie otrzymanych wariantów projektant wybiera rozwiązanie najlepsze spośród istniejących lub modyfikuje jedno z nich. Modyfikacja polega bądź na decyzyjnym ustalaniu położenia wybranych obiektów, bądź na wprowadzaniu tzw. pól zabronionych. Możliwe jest zastosowanie obu tych sposobów. Uwzględnianie innych kryteriów, nie tylko ilościowych, pozostawione jest projektantowi, który odgrywa decydującą rolę w procesie rozmieszczania. Ze względu na podniesienie czytelności uzyskany wynik rozmieszczania wprowadza się w postaci rysunku sporządzonego w sposób automatyczny. Możliwe jest otrzymanie rozmieszczenia w rzucie płaskim lub w rzucie aksometrycznym /dla obiektów trójwymiarowych/ [6].

LITERATURA

- [1] Dietrych J.: System i konstrukcja. Warszawa, WNT 1978
- [2] Bąbiński C., Chorobiński A.: Metody optymalizacji w projektowaniu planów generalnych zakładów przemysłowych. Warszawa, Arkady 1971
- [3] Lee R.C., Moore J.M.: CORELAP-Computerized RELationship LAYout PLANing; The Journal of Industrial Engineering. Vol XVIII No3 1967

- [4] Lis S., Santarek K.: Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych. Warszawa, PWN 1980
- [5] Nowe techniki organizatorskie. Warszawa, PWN 1977
- [6] Stawinoga A.: Metoda optymalizacji rozmieszczania obiektów zakładu przemysłowego. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1983

A METHOD OF THE LAY-OUT OF OBJECTS OF AN INDUSTRIAL PLANT

Summary

A method is shown that makes it possible to aid by computer the design of lay-out of objects of an industrial plant. The lay-out process using this method is carried in conservative manner.

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАВОДА

Резюме

В статье представлено метод оптимизации расположения объектов промышленного завода принимая во внимание их геометрические размеры. Проблемы оптимизации решено согласно с комплексом экономических и эксплуатационных критерий.