

Redaktorzy:

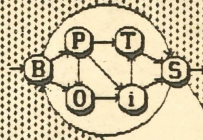
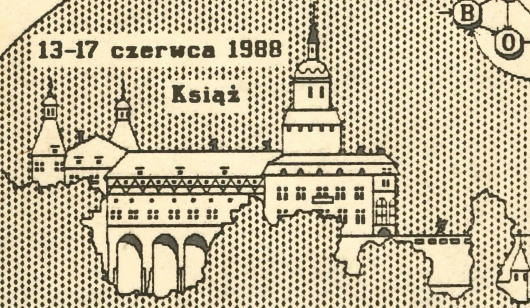
A. Straszak

Z. Nahorski

J. Sikorski

13-17 czerwca 1988

Książ



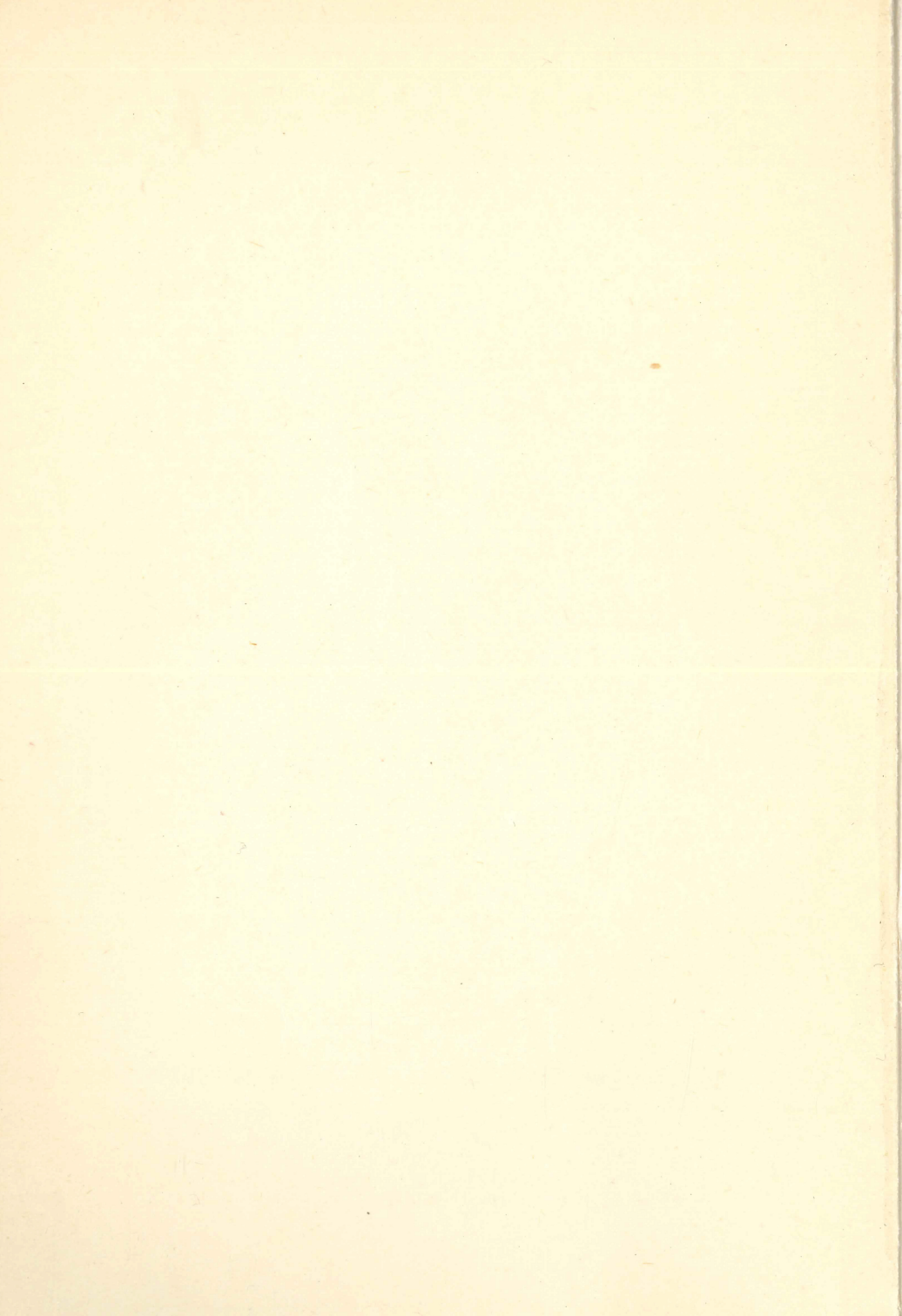
1. Krajowa Konferencja Badań Operacyjnych i Systemowych

Tom 1

BOS'88

POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ
OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH

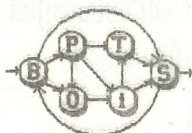
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH
POLSKIEJ AKADEMII NAUK



POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH

Tom 1

**OPTYMALIZACJA
METODY I ZASTOSOWANIA**



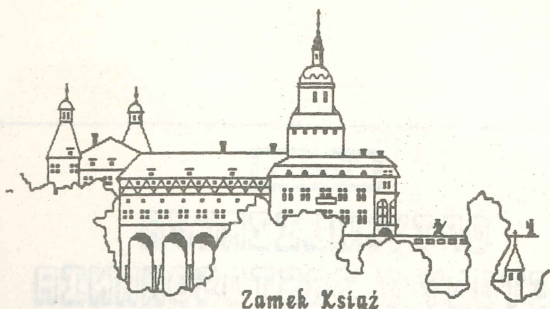
**I KRAJOWA KONFERENCJA
BADAŃ
OPERACYJNYCH
i
SYSTEMOWYCH**

Książ. 13 - 17 czerwca 1988

BOS'88

INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH POLSKIEJ AKADEMII NAUK

**1989
WARSZAWA**



Zamek Książ

I Krajowa Konferencja Badań Operacyjnych i Systemowych

Organizator konferencji

Polskie Towarzystwo Badań Operacyjnych i Systemowych
przy współpracy
Instytutu Badań Systemowych PAN

Komitet naukowy konferencji

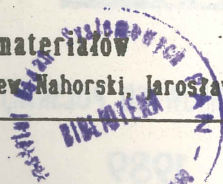
Jerzy Hołubiec, Andrzej Kałuszko, Jerzy Kisielnicki, Henryk Kowalowski,
Roman Kulikowski, Franciszek Marecki, Zbigniew Nahorski,
Stanisław Piasecki, Jarosław Sikorski, Jan Stachowicz, Jan Stasiński,
Andrzej Straszak, Maciej Sysło, Władysław Świtalski

Redaktorzy naukowcy materiałów

Andrzej Straszak, Zbigniew Nahorski, Jarosław Sikorski

9.1

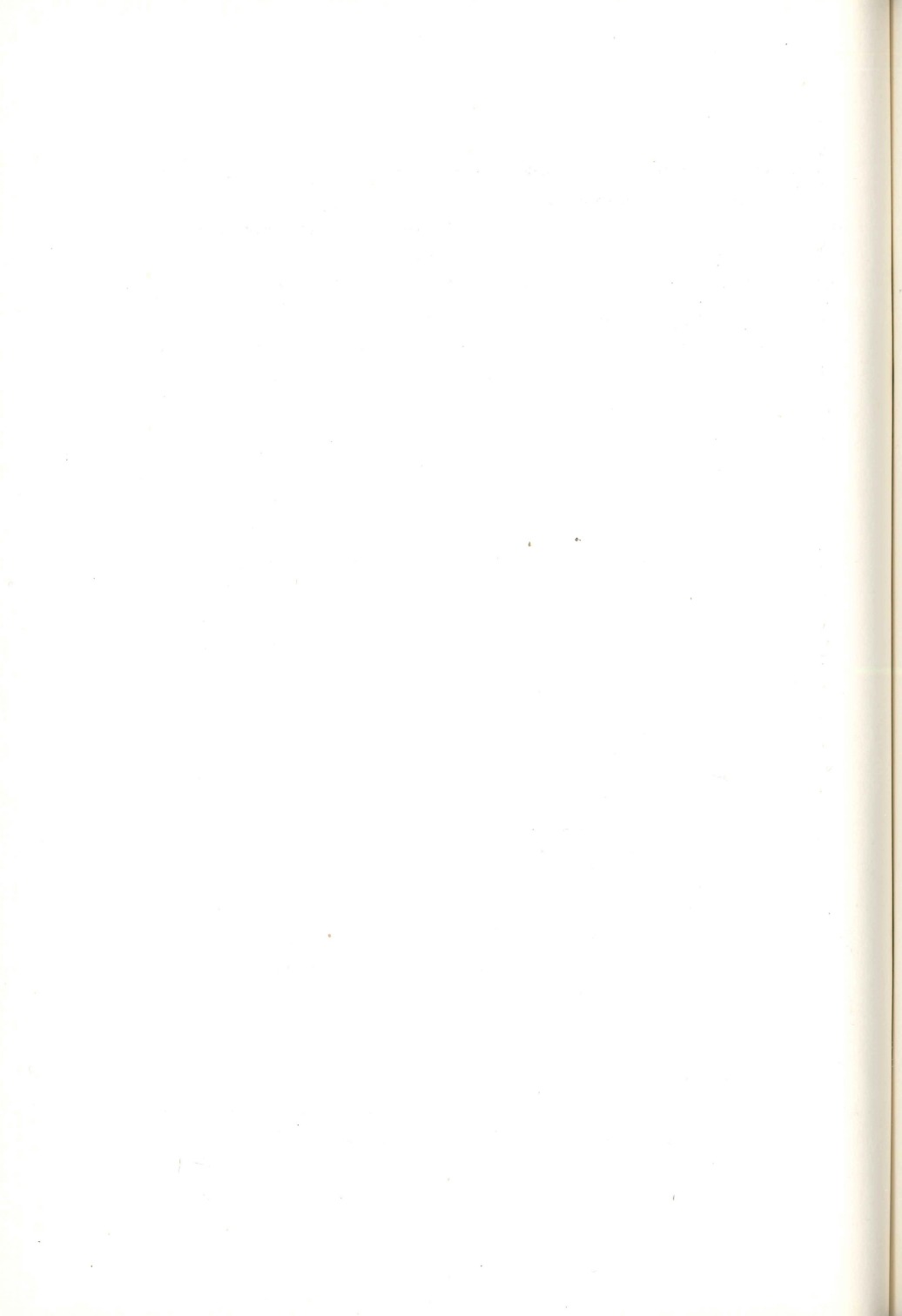
N.173



ZPZC

Biblioteczna

41278/I



4. Harmonogramowanie

HARMONOGRAMOWANIE PROCESU ZAFORMOWAŃ ELEMENTÓW PREFABRYKOWANYCH DLA WYBRANEGO MODELU ORGANIZACJI PROCESÓW.

Zygmunt Orłowski

Politechnika Białostocka

ul. Wiejska 45

15-351 Białystok

Jolanta Stępień

Instytut Badań Systemowych PAN

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

W artykule przedstawiono model matematyczny procesu zaformowań elementów budowlanych w zakładzie prefabrykacji oraz zaproponowano algorytm rozwiązania tego problemu w oparciu o metodę podziału i oszacowań.

1. Wprowadzenie.

Podstawowa baza produkcyjna elementów budowlanych z betonu składa się ze 170 tzw. fabryk domów, wytwarzających elementy budownictwa mieszkaniowego oraz z około 500 wytwórni elementów betonowych i żelbetowych innych rodzajów budownictwa. Są one w zdecydowanej większości wysoko zmechanizowane i technicznie uzbrojone.

Analiza kilkuletniej działalności tych wytwórni dowodzi, że ich efektywność w porównaniu z zakładami innych krajów jest stosunkowo niewielka. Negatywne wyniki uprzemysłowienia polskiego budownictwa są spowodowane niespełnieniem wielu wymagań natury organizacyjno-gospodarczej, koniecznych przy przejściu na przemysłowe formy produkcji. Wyposażenie wytwórni i zakładów w zmechanizowane środki produkcji nie zapewnia jeszcze przemysłowych

form produkcji. Winne być spełnione wymagania w zakresie nowoczesnych metod organizacji i sterowania. Tylko wysoka wydajność wytwórni, osiągnięta w wyniku zastosowania ciągłej i rytmicznej produkcji może zapewnić ich efektywność.

Jednym z czynników mających istotny wpływ na wydajność jest operatywne sterowanie produkcją. Obecnie sterowanie w zakładach prefabrykacji odbywa się intuicyjnie. Wynikiem takiego sterowania jest nadmierna ilość pewnych elementów, magazynowanie ich na placu składowym oraz brak niektórych typów prwfabrykatów i nagłe w związku z tym /najczęściej na skutek interwencji budowy/ przebrajanie form.

Stosowane systemy budownictwa mieszkaniowego charakteryzują się bardzo bogatym i zróżnicowanym asortymentem. W zależności od stopnia otwartości systemu różna jest liczba typów, typorozmiarów i odmian. Np. w systemie OWT /Cieszyński i in. 1987/ występuje 7 podstawowych typów elementów i 97 typoelementów, w systemie szczecińskim liczba typów wynosi już 13, a typoelementów 140. Zróżnicowany asortyment produkcji, choć nie tak bogaty, mają również systemy budownictwa wiejskiego i przemysłowego.

Zmiennność asortymentu produkowanych elementów na danej linii produkcyjnej powoduje konieczność przebrożeń form. Czynność ta związana jest z faktem, że zakład nie posiada tylu form ile jest rodzajów i typów elementów prefabrykowanych. Czas trwania operacji przebrajania form uzależniony jest od tego, jakie elementy prefabrykowane na danym podkładzie /stendzie/ będą formowane kolejno po sobie, np. czy będą to elementy o tej samej długości i grubości, a zmiennej tylko szerokości, czy też będą to elementy o różnej geometrii i kształcie.

W niniejszym artykule przedstawiono model matematyczny procesu harmonogramowania zaformowań elementów prefabrykowanych na li-

niach technologicznych, w których produkcja odbywa się wg. modelu przedmiotowo-potokowego organizacji procesów.

Zaproponowano również metodę rozwiązania tego problemu. Przedstawiona metoda ma na celu zapewnienie uzyskania zaplanowanej produkcji w rozpatrywanej linii technologicznej przy możliwie największym stopniu synchronizacji jej przebiegu, tzn. najmniejszej liczbie i czasie trwania przebrojeń. Ponadto w algorytmie uwzględniono liczne uwarunkowania wynikające z technicznych możliwości zakładu prefabrykacji, takie, jak np.: /Orłowski 1986/:

- ograniczona wydajność wężła betoniarskiego,
- ograniczona ilość form /dostępnych w magazynie/ dla danego typu elementu,
- dopuszczalna ilość zaformowań w ciągu jednej zmiany,
- wielkość placu składowego.

Zapotrzebowanie /ilość poszczególnych typoelementów/ na prefabrykаты jest nadsyłane od zamawiającego, np. spółdzielni mieszkaniowych. Planowanie produkcji obejmuje najczęściej okres 1+3 tygodni /5+15 dni/.

2. Model matematyczny problemu.

Przedmiotem badań jest stanowisko form bateryjnych o działaniu cyklicznym. Bateria form składa się z dwóch sekcji. W każdej sekcji jest po 10 kaset /form/.

Proces technologiczny produkcji elementów prefabrykowanych składa się z następujących czynności:

- a/ prac przygotowawczych do rozformowania /wybicie klinów ze ściągu form, zdjęcie ściągu, rozsunięcie kaset/,
- b/ wyjęcie i odtransportowanie elementu,
- c/ rozbrojenie kasety,
- d/ czyszczenie i smarowanie kasety,

- e/ układanie zbrojenia,
- f/ spięcie kaset,
- g/ układanie mieszanki betonowej wraz z zagęszczaniem,
- h/ naparzenie.

Czynności a+g wykonywane są przez brygadę mechaników w ciągu jednej zmiany. Pełny cykl wytwarzania elementów - wraz z obróbką termiczną - zamyka się w ciągu jednej doby.

Zagadnienie wyznaczenia optymalnego harmonogramu dla procesu zaformowań elementów prefabrykowanych może być sformułowane jako zadanie wyznaczenia takiej kolejności wytwarzania określonych typów elementów w poszczególnych kasetach i dniach rozpatrywanego okresu planowania, aby minimalizować sumaryczny koszt ich wytwarzania. Dotrzymane przy tym być muszą ilościowe plany prefabrykacji elementów oraz graniczne terminy ich wykonania, wynikające z założonego planu montażu obiektów budowlanych. Ponadto, jak zaznaczono powyżej, muszą być uwzględnione ograniczenia wynikające z technicznych parametrów zakładu prefabrykacji.

Minimalizację kosztów wytwarzania zwykle można uzyskać poprzez minimalizację czasów wytwarzania elementów i przezbrajania form. Uwzględniając powyższe model matematyczny rozpatrywanego problemu można sformułować następująco:

$$\min \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p x_{ik}^j x_{(i+1)l}^j (t_k + \tau_{kl}) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p x_{1k}^j (\tau_{ok}^j + t_k) \quad /1/$$

przy ograniczeniach

$$\sum_{i=1}^{T_k} \sum_{j=1}^n x_{ik}^j \geq Z_k \quad /k=1,2,\dots,p/ \quad /2/$$

$$\sum_{k=1}^p x_{ik}^j \leq 1 \quad /i=1,2,\dots,m//j=1,2,\dots,n/ \quad /3/$$

$$\sum_{k=1}^p x_{ik}^j \geq \sum_{k=1}^p x_{(i+1)k}^j \quad /j=1,2,\dots,n/, /i=1,2,\dots,m-1/ \quad /4/$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p x_{ik}^j v_k \leq W_w \quad /i=1,2,\dots,m/ \quad /5/$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p x_{ik}^j \leq N_z \quad /i=1,2,\dots,m/ \quad /6/$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ik}^j \leq M_k \quad /i=1,2,\dots,m/, /k=1,2,\dots,p/ \quad /7/$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p x_{(i+1)l}^j \tau_{kl} \leq 390 \quad /i=1,2,\dots,m-1/ \quad /8/$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p x_{ik}^j \tau_{ok} \leq 390 \quad /9/$$

$$F_z(i-1) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p x_{ik}^j F_k - \sum_{k=1}^p F_k L_{ik} \leq F_z \quad /i=1,2,\dots,m/ \quad /10/$$

$$x_{ik}^j \in \{0, 1\} \quad /i=1,2,\dots,m/, /j=1,2,\dots,n/, /k=1,2,\dots,p/ \quad /11/$$

gdzie:

$$x_{ik}^j = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } i\text{-tego dnia w } j\text{-tej kasecie produkowany} \\ & \text{jest element } k\text{-tego typu} \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

- m - liczba dni produkcji objętych sterowaniem /horyzont planowania/,
- n - liczba kaset,
- p - liczba rodzajów typoelementów produkowanych w rozpatrywanym okresie planowania,
- t_{kj} - czas wytwarzania k-tego typoelementu,
- τ_{ok}^j - czas przezbrajania j-tej kasety ze stanu początkowego /końcowego z poprzedniego okresu planowania/ na k-ty typ elementu,

- T_{kl} - czas przezbrajania kasety z k-tego na l-ty typ elementu,
 Z_k - liczba elementów k-tego typu, wynikająca z wielkości zamówienia na k-ty typ element w rozpatrywanym okresie planowania,
 T_k - termin graniczny /nieprzekraczalny/ dla realizacji zamówienia na k-ty typ elementu $T_k \leq m$,
 V_k - objętość mieszanki betonowej zużywanej przy produkcji elementu k-tego typu,
 W_w - wydajność wężla betoniarского w ciągu zmiany,
 N_z - dostępna liczba urządzeń do przezbrajania form,
 M_k - dostępna liczba form dla danego typu elementu,
 F_k - powierzchnia magazynowa zajmowana przez element k-tego typu,
 F_z - powierzchnia magazynowa zakładu prefabrykacji,
 L_{ik} - liczba elementów k-tego typu wyekspediowanych z magazynu w ciągu i-tego dnia,

$F_{z(i-1)}$ - zajęta powierzchnia magazynowa z dnia poprzedniego.

Ograniczenie /2/ gwarantuje wykonanie zamówień na poszczególne typy elementów pod względem ilościowym i w wymaganych terminach.

Warunek /3/ zapewnia wykonywanie danego dnia w danej kasecie najwyżej jednego elementu, zaś /4/ gwarantuje ciągłość pracy kaset.

Nierówność /5/ uwzględnia ograniczoną wydajność wężla betoniarского, /6/ ograniczoną liczbę urządzeń do przezbrajania form, /7/ ograniczoną liczbę form dla danego typu elementu.

Ograniczenia /8/-/9/ dotyczą czasu pracy brygady wykonującej przezbrajanie form /efektywny czas pracy w ciągu zmiany wynosi 6,5 godz./, natomiast /10/ uwzględnia ograniczoną powierzchnię magazynową w zakładzie prefabrykacji.

Model powyższy zakłada, że nie jest możliwe wykonywanie dwóch /lub więcej/ elementów w jednej kasecie jednocześnie. W rzeczywistości istnieje możliwość wykonywania pewnych elementów parami.

Jednak dla uproszczenia rozważań /modelu, a następnie algorytmu/ problem łączenia typoelementów w pary został potraktowany osobno, zaś para taka w modelu /1/÷/11/ występuje jako nowy typ elementu. Ponieważ zwykle w danej baterii kaset wykonywanych jest tylko kilka typów elementów, to problem jak najkorzystniejszego łączenia ich w pary może być stosunkowo prosto rozwiązany nawet przy użyciu algorytmu pełnego przeglądu.

Wracając jednak do rozpatrywanego zagadnienia w postaci /1/÷/11/, jak łatwo można zauważyć, tak sformułowany problem jest nieliniowym zadaniem programowania binarnego. Zadanie o tej postaci w przypadku ogólnym są trudne do rozwiązania, szczególnie dla programów rzeczywistych. /Walukiewicz 1986/.

3. Opis algorytmu.

Problemy harmonogramowania z zależnymi kosztami /czasami/ przezbrajania często formułuje się w postaci zadań komiwojżerskich, a do ich rozwiązania stosuje algorytmy charakterystyczne dla tej grupy zagadnień.

W przypadku rozważanego problemu model /1/-/11/ również możemy przeformułować do zagadnienia wielu komiwojżerskich z dodatkowymi warunkami ograniczającymi. Dlatego też do jego rozwiązania proponuje się metodę będącą połączeniem algorytmu heurystycznego, opartej na idei powiększania tzw. rozwiązania częściowego /ostatnio algorytmem tym dla zagadnienia komiwojżerskiego poświęca się dużo uwagi - /Arabiński i in. 1983, Golden i in. 1980, Kasprzak 1984, Rosenkrantz i in. 1977// z metodą podziału i oszacowań.

Ze względu na ograniczoną objętość artykułu niemożliwe jest szczegółowe omówienie algorytmu /podobne podejście prezentowane jest np. w prasach /Rakus 1986, Stępień 1987//, zaś jego główne kroki można przedstawić następująco:

Krok 0

Ustalenie uszeregowania początkowego oraz początkowych wartości funkcji celu i oszacowań.

Ustawienie typów elementów w kolejności, w której mają być dołączone do rozwiązania częściowego. Dla omawianego zagadnienia są one ustawiane według:

- a/ najwcześniejszych granicznych terminów wykonania,
- b/ gdy terminy są takie same, jako pierwszy wykonywany jest ten typ elementu, którego trzeba wyprodukować więcej.

Krok 1

Dla wszystkich możliwych wariantów wstawienia /zbiór Ω_1 / danego zadania 1 /elementu określonego typu/ do rozwiązania częściowego, przy spełnieniu ograniczeń problemu obliczamy przyrost wartości funkcji celu. Przyrost ten określony jest według wzoru:

$$\Delta f = -\tau_{1_1 1_2} + \tau_{1_1 1_1} + \tau_{1_1 1_2}$$

gdy zadanie 1 wstawiane jest pomiędzy zadania 1_1 i 1_2 .

Krok 2

Spśród możliwych wariantów wstawienia wybieramy wariant "najkorzystniejszy", tzn.:

- a/ dający najmniejszy przyrost wartości funkcji celu,
- b/ zaś przy jednakowych przyrostach wybieramy ten wariant wstawienia, który daje dłuższą serię elementu tego samego typu w jakiejś kasecie w horyzoncie planowania.

Jeśli wyczerpano już wszystkie warianty / $\Omega_1 = \emptyset$ /, to Krok 8.

Krok 3

Modyfikacja zbioru Ω_1 i sprawdzenie warunków związanych z oszacowaniami. Jeśli wybrany wariant wstawienia uniemożliwia znalezienie rozwiązania o lepszym oszacowaniu niż dotychczas znalezione, to Krok 2.

Krok 4

Jeśli wybrany wariant wstawienia uniemożliwia w następnej iteracji /dla następnego zadania/ spełnienie jakiegos ograniczenia, to Krok 2.

Krok 5

Modyfikacja rozwiązania częściowego i funkcji celu. Jeśli uszeregowano wszystkie zadania, to Krok 7.

Krok 6

Modyfikacja oszacowań dla drugiego co do jakości rozwiązania częściowego w danej iteracji. Idź do Kroku 1.

Krok 7

Znaleziono rozwiązanie. Modyfikacja bieżących wartości funkcji celu i oszacowań dla najlepszego dotychczas znalezionego rozwiązania. Jeśli oszacowanie dla bieżącego rozwiązania jest mniejsze od oszacowania dla drugiego co do jakości rozwiązania /choć nieznanego/, to znalezione rozwiązanie jest optymalne. STOP. W przeciwnym przypadku idź do Kroku 9.

Krok 8

Cofanie ze względu na niespełnienie ograniczeń / $\Omega_1 = \emptyset$ /
Jeśli jesteśmy w pierwszej iteracji, to STOP - sprawdzono wszystkie możliwe rozwiązania. W przeciwnym przypadku cofnij się o jedną iterację /do poprzedniego zadania/, odtwórz parametry algorytmu, idź do Kroku 2.

Krok 9

Cofanie w celu poprawy rozwiązania.
Wyznacz taki indeks iteracji, że oszacowanie dla drugiego co do jakości rozwiązania częściowego w tej iteracji jest mniejsze od wartości oszacowania dla najlepszego dotychczas znalezionego rozwiązania problemu. Cofnij się do wyznaczonej iteracji, odtwórz parametry algorytmu, idź do Kroku 2.

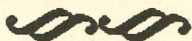
Zaprezentowany algorytm oparty jest na idei przeszukiwania drzewa rozwiązań "w głąb", co umożliwiło szybkie znalezienie "niezłego" rozwiązania dopuszczalnego /o ile istnieje/, a następnie jego poprawienie. Dla zagadnień o stosunkowo niewielkim rozmiarze umożliwił on znalezienie rozwiązania optymalnego, dla większych zadań należy zadowolić się rozwiązaniem dopuszczalnym. Należy zauważyć, że prezentowany algorytm nie obejmuje problemu łączenia pewnych typoelementów w pary w celu ich jednoczesnego wykonywania w tej samej kasecie. Zagadnienie to bowiem rozwiązywane jest niezależnie, a w powyższym algorytmie połączone elementy są traktowane jako "nowe" prefabrykaty.

Literatura

- 1 Adrański A., Sysło M.M./1983/ "Computational Experiments with Some Approximation Algorithms for the Traveling Salesman Problem", Zastosowania Matematyki 18, 91-95.
- 2 Cieszyński S. i inni /1987/ "Przemysłowa produkcja prefabrykatów", PWN, Warszawa.
- 3 Golden B., Bodin L., Doyle T., Stewart W.Jr./1980/ "Approximate Traveling Salesman Algorithms" Opns.Res.28,694-711.
- 4 "Optymalizacja dyskretna. Zastosowania ekonomiczne" red. T.Kasprzak /1984/ PWE, Warszawa.
- 5 Orłowski Z. /1986/ "Próba sterowania produkcją elementów prefabrykowanych w zakładach prefabrykacji" Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 46,159-163.
- 6 Rakus A./1986/ "Nierówność trójkąta w problemie komiwojazera" Prace IBS PAN.
- 7 Rosenkrantz D.J., Stearns R.E., Lewis P.M./1977/ "An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem" SIAM J. Comput. 6, 563-581.
- 8 Stępień J. /1987/ "Metoda harmonogramowania procesu produkcji z uwzględnieniem przebrojeń i remontów" Rozprawa doktorska, IBS PAN.
- 9 Walukiewicz S./1986/. "Programowanie dyskretno" PWN, Warszawa.

- (1) ...
- (2) ...
- (3) ...
- (4) ...
- (5) ...
- (6) ...
- (7) ...
- (8) ...
- (9) ...
- (10) ...
- (11) ...
- (12) ...
- (13) ...
- (14) ...
- (15) ...
- (16) ...
- (17) ...
- (18) ...
- (19) ...
- (20) ...
- (21) ...
- (22) ...
- (23) ...
- (24) ...
- (25) ...
- (26) ...
- (27) ...
- (28) ...
- (29) ...
- (30) ...
- (31) ...
- (32) ...
- (33) ...
- (34) ...
- (35) ...
- (36) ...
- (37) ...
- (38) ...
- (39) ...
- (40) ...
- (41) ...
- (42) ...
- (43) ...
- (44) ...
- (45) ...
- (46) ...
- (47) ...
- (48) ...
- (49) ...
- (50) ...
- (51) ...
- (52) ...
- (53) ...
- (54) ...
- (55) ...
- (56) ...
- (57) ...
- (58) ...
- (59) ...
- (60) ...
- (61) ...
- (62) ...
- (63) ...
- (64) ...
- (65) ...
- (66) ...
- (67) ...
- (68) ...
- (69) ...
- (70) ...
- (71) ...
- (72) ...
- (73) ...
- (74) ...
- (75) ...
- (76) ...
- (77) ...
- (78) ...
- (79) ...
- (80) ...
- (81) ...
- (82) ...
- (83) ...
- (84) ...
- (85) ...
- (86) ...
- (87) ...
- (88) ...
- (89) ...
- (90) ...
- (91) ...
- (92) ...
- (93) ...
- (94) ...
- (95) ...
- (96) ...
- (97) ...
- (98) ...
- (99) ...
- (100) ...

Zarząd
Polskiego Towarzystwa Badań Operacyjnych i Systemowych



Prezes

prof.dr hab.inż. Andrzej Straszak
Instytut Badań Systemowych PAN

Wiceprezes

prof.dr hab.inż. Jan Stasiński
Wojskowa Akademia Techniczna

Wiceprezes

prof.dr hab.inż. Stanisław Piasecki
Instytut Badań Systemowych PAN

Sekretarz generalny

dr inż. Zbigniew Nahorski
Instytut Badań Systemowych PAN

Sekretarz

dr inż. Jarosław Sikorski
Instytut Badań Systemowych PAN

Skarbnik

dr inż. Andrzej Kafuszko
Instytut Badań Systemowych PAN

Członkowie

prof.dr hab. Jerzy Kisielnicki
Wydział Zarządzania UW

doc.dr hab.inż. Bohdan Korzan
Wojskowa Akademia Techniczna

doc.dr hab.inż. Jan Słachowicz
Zakład Nauk Zarządzania PAN

doc.dr hab.inż. Maciej Sysło
Instytut Informatyki UW.

Komisja rewizyjna

PRZEWODNICZĄCY

dr Władysław Świtalski
Katedra Cybernetyki i Badań Operacyjnych UW

CZŁONKOWIE

dr inż. Janusz Kacprzyk
Instytut Badań Systemowych PAN

dr inż. Marek Malarski
Instytut Transportu PW

doc.dr hab. Henryk Sroka
Akademia Ekonomiczna w Katowicach

dr inż. Leon Słomiński
Instytut Badań Systemowych PAN

TBS

41278 $\frac{1}{1}$

ZP2C -

~~Bib. podręczna~~

PION III