

Jarosław WIKAREK  
Politechnika Świętokrzyska

## ALGORYTMY OBLICZENIOWE OPTIMALIZACJI ZLECEŃ PRODUKCYJNYCH W SYSTEMACH MRP II

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono problem planowania potrzeb materiałowych z optymalizacją rozdziału obciążeń pomiędzy gniazda robocze i grupy pracownicze. Zaproponowano dwa algorytmy obliczeniowe do optymalizacji zleceń produkcyjnych. Pierwszy to klasyczny algorytm programowania liniowego z minimalizacją funkcji celu, którą jest łączny koszt obciążenia gniazd roboczych i grup pracowniczych. Drugi z prezentowanych algorytmów jest to algorytm heurystyczny będący modyfikacją klasycznego algorytmu MRP.

## COMPUTATIONAL ALGORITHMS FOR PRODUCTION ORDERS OPTIMIZATION IN MRP II SYSTEMS

**Summary.** In the paper the problem of material requirements planning with optimization of work centers load distribution has been presented. Two computation algorithms for production orders optimization have been presented. The first one is the linear programming algorithm with minimization of load distribution. The second one is based on a heuristic modification of the material requirements planning model.

### 1. Systemy sterowania produkcją klasy MRP II

W ostatnich latach wiele krajowych przedsiębiorstw przemysłowych zaczyna wdrażać komputerowe systemy sterowania i zarządzania produkcją zgodne ze standardem MRP II (Manufacturing Resources Planning). Zintegrowany system zarządzania produkcją umożliwia realizację strategicznych celów przedsiębiorstwa przy optymalnym wykorzystaniu jego zasobów. Systemy sterowania produkcją zgodne ze standardem MRP II mają budowę hierarchiczną, która obejmuje między innymi warstwę taktycznego planowania produkcji, zaopatrzenia i zbytu, planowania operacyjnego oraz harmonogramowania zleceń roboczych, w wyniku czego osoby na różnych szczeblach zarządzania mogą w łatwy sposób otrzymać informacje potrzebne im do podejmowania trafnych decyzji. Z drugiej strony systemy te mają budowę modułową, obejmującą między innymi moduły nadrzędnego harmonogramowania

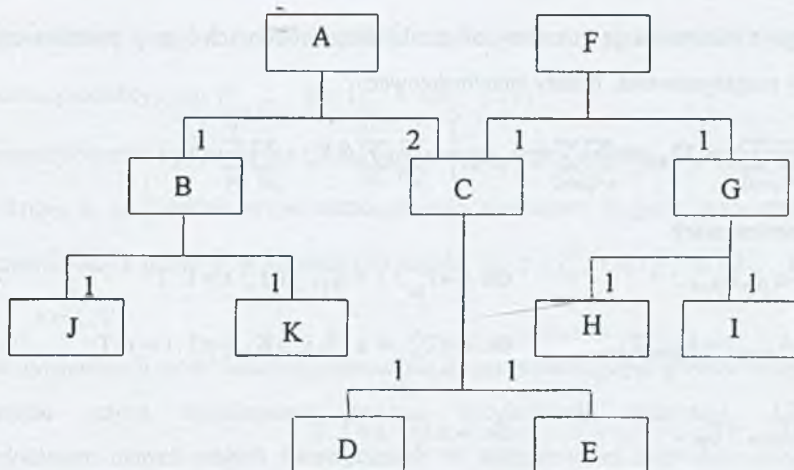
produkcji, planowania potrzeb materiałowych (MRP), kontrolę zdolności produkcyjnych, sterowanie przebiegiem produkcji i gospodarkę zapasami. Modułowość ułatwia wdrożenie systemu, gdyż umożliwia utworzenie zespołów pracowników odpowiedzialnych za wdrożenie poszczególnych modułów. Raporty generowane przez system klasy MRP II dotyczą nie tylko przebiegu procesu produkcyjnego, lecz także przepływów finansowych (koszty zużycia materiałów, koszty robocizny), a więc danych niezbędnych w księgowości.

## **2. Metoda planowania potrzeb materiałowych**

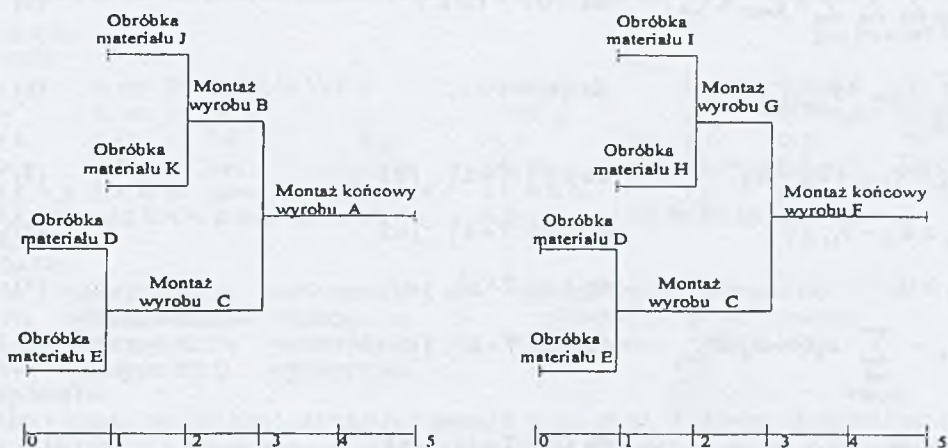
Centralną częścią systemu zarządzania produkcją klasy MRP II jest moduł planowania potrzeb materiałowych MRP (Material Requirements Planning). Algorytm MRP generuje planowane zlecenia produkcyjne na części wyrobów końcowych w takich ilościach i z takimi wyprzedzeniami czasowymi, aby zapewnić realizację zleceń fabrycznych reprezentujących prognozy zamówień na wyroby końcowe. Aby określić zapotrzebowanie na materiały, półprodukty itp., przypadające na jednostkę produktu, niezbędne są pewne dane stałe z technologii. Kluczową rolę odgrywają tu tzw. zestawienia materiałowe, które dla wszystkich produktów z kartoteki zapasów podają co i w jakiej ilości jest zużywane do wytworzenia danego produktu. Oczywiście jest, że wiele produktów to podzespoły będące zarówno komponentami większych zespołów, jak i pozycjami macierzystymi dla swoich komponentów. Zestawienia materiałowe są więc wielopoziomowe, a przedstawione graficznie przypominają odwrócone drzewo (rys. 1). Zestawienia te umożliwiają określenie zapotrzebowania na dany komponent w zależności od wielkości zapotrzebowania na wyrób finalny. W obliczeniach metody MRP uwzględnia się także wyprzedzenia czasowe na cykl realizacji zleceń.

## **3. Optymalizacja zleceń produkcyjnych w oparciu o algorytm programowania liniowego**

W standardzie MRP II nie wymaga się optymalności od wygenerowanych zleceń produkcyjnych. Nie jest także zapewniana ich realizowalność w systemie, gdyż przed przystąpieniem do ich realizacji obciążenie gniazd roboczych i grup pracowniczych wynikające z wykonania zleceń jest sprawdzane w module kontroli zdolności produkcyjnych.



Rys. 1. Wielopoziomowe zestawienie materiałowe  
Fig. 1. Multi-level bill of materials



Rys. 2. Czasy wyprzedzeń produkowanych elementów  
Fig. 2. Lead times of production orders

W wypadku przekroczenia zdolności produkcyjnych zlecenia planowane są odpowiednio korygowane tak, aby zapewnić ich realizowalność. Podjęte zostały prace mające na celu stworzenie modelu planowania potrzeb materiałowych umożliwiającego optymalizację rozdziału obciążeń gniazd roboczych i grup pracowniczych ze względu na minimalizację kosztów produkcji [5, 6].

Szczegółowy opis i dyskusja ograniczeń modelu optymalizacji zleceń produkcyjnych znajduje się w [5]. Model (1)..(14) został sformułowany jako zadanie programowania



liniowego z minimalizacją kosztów obciążenia gniazd roboczych i grup pracowniczych oraz kosztów magazynowania. Należy zminimalizować

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j \in J} \sum_{k \in K_j} \sum_{w \in I_{jk}^{\Omega}} \left( \gamma_w \Omega_{jkwt} + \sum_{q \in I_{jk}^{\Lambda}} \sum_{p \in I_q^{\delta}} \delta_p \Lambda_{jkwqpt} \right) + \sum_{j \in J^Y} \sum_{t=1}^{T+L_j^Y} \beta_j X_{jt} + \sum_{j \in J} \sum_{t=1}^T c_j V_{jt} \quad (1)$$

przy ograniczeniach

$$\Omega_{jkwt} = \omega_{jkw} Z_{jkwt}, \quad \text{dla } w \in I_{jk}^{\Omega}, k \in K_j, j \in J, t = 1..T \quad (2)$$

$$\sum_{p \in I_q^{\delta}} \psi_{pq} \Lambda_{jkwqpt} = \lambda_{jkwq} Z_{jkwt}, \quad \text{dla } q \in I_{jk}^{\Lambda}, w \in I_{jk}^{\Omega}, k \in K_j, j \in J, t = 1..T \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K_j} \Omega_{jkwt} \leq \zeta_{wt}, \quad \text{dla } w \in I^{\zeta}, t = 1..T$$

(4)

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K_j} \sum_{w \in I_{jk}^{\Omega}} \sum_{q \in I_{jk}^{\Lambda}} \Lambda_{jkwqpt} \leq \xi_{pt}, \quad \text{dla } p \in I^{\xi}, t = 1..T \quad (5)$$

$$\sum_{w \in I_{jk}^{\Omega}} Z_{jkwt} = P_{j,t+L_{jk}^{\Omega}}, \quad \text{dla } j \in J, t = 1..T \quad (6)$$

$$V_{jt} = V_{j,t-1} + P_{jt} - R_{jt}, \quad \text{dla } t = 1..T + L_j^{\Sigma}, j \in J \quad (7)$$

$$P_{jt} \geq R_{jt} - V_{j,t-1}, \quad \text{dla } t = 1..T + L_j^{\Sigma}, j \in J \quad (8)$$

$$P_{jt} \geq 0, \quad \text{dla } t = 1..T + L_j^{\Sigma}, j \in J \quad (9)$$

$$R_{jt} = \sum_{\substack{l \in J \\ (j,l) \in S^W}} a_{jl} (1 + b_{jl}) P_{l,t+L_l}, \quad \text{dla } t = 1..T + L_j^{\Sigma}, j \in J \setminus J^Y \quad (10)$$

$$R_{jt} = B_{jt} - X_{jt}, \quad \text{dla } t = 1..T + L_j^{\Sigma}, j \in J^Y \quad (11)$$

$$\Lambda_{jkwqpt} \geq 0, \quad \text{dla } p \in I_q^{\delta}, q \in I_{jk}^{\Lambda}, w \in I_{jk}^{\Omega}, k \in K_j, j \in J, t = 1..T \quad (12)$$

$$Z_{jkwt} \geq 0, \quad \text{dla } w \in I_{jk}^{\Omega}, k \in K_j, j \in J \quad (13)$$

$$0 \leq X_{jt} \leq B_{jt}, \quad \text{dla } t = 1..T + L_j^{\Sigma}, j \in J^Y \quad (14)$$

Zmiennymi decyzyjnymi problemu optymalizacyjnego są następujące wielkości :

$X_{jt}$  korekta zlecenia fabrycznego, większa od zera tylko wtedy, gdy pełna realizacja zlecenia fabrycznego prowadzi do sprzeczności ograniczeń,  $j \in J^Y \subset Y$ ,  $t = 1..T$ .

$P_{jt}$  planowane zlecenie produkcyjne, czyli zapotrzebowanie na element  $j$  w okresie produkcji  $t$ ,  $j \in J$ ,  $t = 1..T$ .

$Z_{jkw_t}$  część zadania  $k$  wykonywana w gnieździe roboczym  $w$ , w okresie  $t$ , w ramach zlecenia produkcyjnego  $P_{j,t+L_{jk}}$ ,  $w \in I_{jk}^\Omega$ ,  $k \in K_j$ ,  $j \in J$ .

$\Lambda_{jkwqt}$  pracochłonność (mierzona w roboczogodzinach) części zadania  $k$  wykonywanego w okresie  $t$ , w gnieździe  $w$ , w ramach zlecenia na element  $j$ , przez pracownika (lub pracowników) z grupy  $p$  w zakresie specjalności  $q$ ,  $p \in I_q^\Lambda$ ,  $q \in I_{jk}^\Lambda$ ,  $w \in I_{jk}^\Omega$ ,  $k \in K_j$ ,  $j \in J$ ,  $t = 1..T$ .

Dla celów optymalizacji model harmonogramowania zleceń produkcyjnych przedstawiono przy wykorzystaniu języka modelowania systemu optymalizacji dyskretnej „LINGO” z wykorzystaniem danych stałych zaczerpniętych ze zintegrowanej bazy danych systemu zarządzania przykładową fabryką samochodów osobowych. Dane stałe np. dotyczące struktury wyrobu, zleceń fabrycznych, zapasów początkowych są umieszczone w pliku ppm.ltd.

MODEL:

SETS:

$j$	/1..max_j/:	$B_j, Fin, L_j, V_o, C_j; k$	/1..max_oper/;	$t$	/1..max_t/;
$w$	/1..max_w/:	$\gamma_w; q$	/1..max_q/;	$p$	/1..max_p/:
$j_k$	$(j, k)$ :	$L_{jk}$	$w_t$	$(w, t)$ :	$E_{wt}; p_q$
$p_t$	$(p, t)$ :	$E_{pt}$	$j_k_w$	$(j, k, w)$ :	$\omega_{jkw}$
$j_k_w_q$	$(j, k, w, q)$ :	$\lambda_{jkwq}$	$j_k_w_q_t$	$(j, k, w, q, t)$ :	$j_j$
$j_k_w_q_p_t$	$(j, k, w, q, p, t)$ :	$L_{jkwqpt}$	$j_t$	$(j, t)$ :	$X_{jt}, R_{jt}, B_{jt}, P_{jt}, V_{jt}$
					$\delta_p; \Psi_{pq}; Z_{jkw_t}; W_{ab};$

ENDSETS

DATA:

$B_j$  =@file(ppm.ltd);  $\gamma_w$  =@file(ppm.ltd);  $\omega_{jkw}$  =@file(ppm.ltd);  $\delta_p$  =@file(ppm.ltd);  
 $\Psi_{pq}$  =@file(ppm.ltd);  $\lambda_{jkwq}$  =@file(ppm.ltd);  $E_{wt}$  =@file(ppm.ltd);  $E_p$  =@file(ppm.ltd);  
 $L_{jk}$  =@file(ppm.ltd);  $Fin$  =@file(ppm.ltd);  $W_{ab}$  =@file(ppm.ltd);  $L_j$  =@file(ppm.ltd);  
 $V_o$  =@file(ppm.ltd);  $C_j$  =@file(ppm.ltd);

ENDDATA

MIN = @sum(j\_t(a1, a2):  $X_{jt}(a1, a2) * B_j(a1)$ ) + @sum(j\_k\_w\_t(a1, a2, a3, a4):  $Z_{jkw_t}(a1, a2, a3, a4) * \gamma_w(a3) * \omega_{jkw}(a1, a2, a3)$ ) + @sum(j\_k\_w\_q\_p\_t(a1, a2, a3, a4, a5, a6):  $L_{jkwqpt}(a1, a2, a3, a4, a5, a6) * \delta_p(a5)$ ) + @sum(j\_t(a1, a2):  $V_{jt}(a1, a2) * c_j(a1)$ );

@for(spcc\_przy\_t(j\_k\_w\_q\_t): @sum(w(a6):  $L_{jkwqpt}(a1, a2, a3, a4, a6, a5) * \Psi_{pq}(a6, a4)$ ) =  $Z_{jkw_t}(a1, a2, a3, a5)$ );

\*  $\lambda_{jkwq}(a1, a2, a3, a4)$

@for(w\_t(a1, a2): @sum(j(a3): @sum(k(a4):  $\omega_{jkw}(a3, a4, a1) * Z_{jkw_t}(a3, a4, a1, a2)$ ))<=Ewt)

@for(p\_t(a1, a2): @sum(j\_k\_w\_q(a3, a4, a5, a6):  $L_{jkwqpt}(a3, a4, a5, a6, a1, a2)$ )<=Ept)

@for(j\_t(a1, a2): @for(k(a3): @sum(w(a4):  $Z_{jkw_t}(a1, a3, a4, a2)$ ) =  $P_{jt}(a1, a2+L_{jk}(a1, a3))$ ))

@for(j\_t(a1, a2):  $V_{jt}(a1, a2+1) = V_{jt}(a1, a2) + P_{jt}(a1, a2) - R_{jt}(a1, a2)$ );

@for(j\_t(a1, a2):  $P_{jt}(a1, a2) >= R_{jt}(a1, a2) - V_{jt}(a1, a2)$ ); @for(j(a1):  $V_{jt}(a1, 1) = V_o(a1)$ );

@for(j\_t(a1, a2):  $(Fin(a1) - 1) * R_{jt}(a1, a2) = (Fin(a1) - 1) * @sum(j(a3):  $W_{ab}(a1, a3) * P_{jt}(a1, a2 + L_j(a3))$ ))$ );

@for(j\_t(a1, a2):  $Fin(a1) * B_{jt}(a1, a2) - Fin(a1) * X_{jt}(a1, a2) = Fin(a1) * (R_{jt}(a1, a2+1))$ );

@for(j\_t(a1, a2):  $X_{jt}(a1, a2) <= B_{jt}(a1, a2)$ );

END

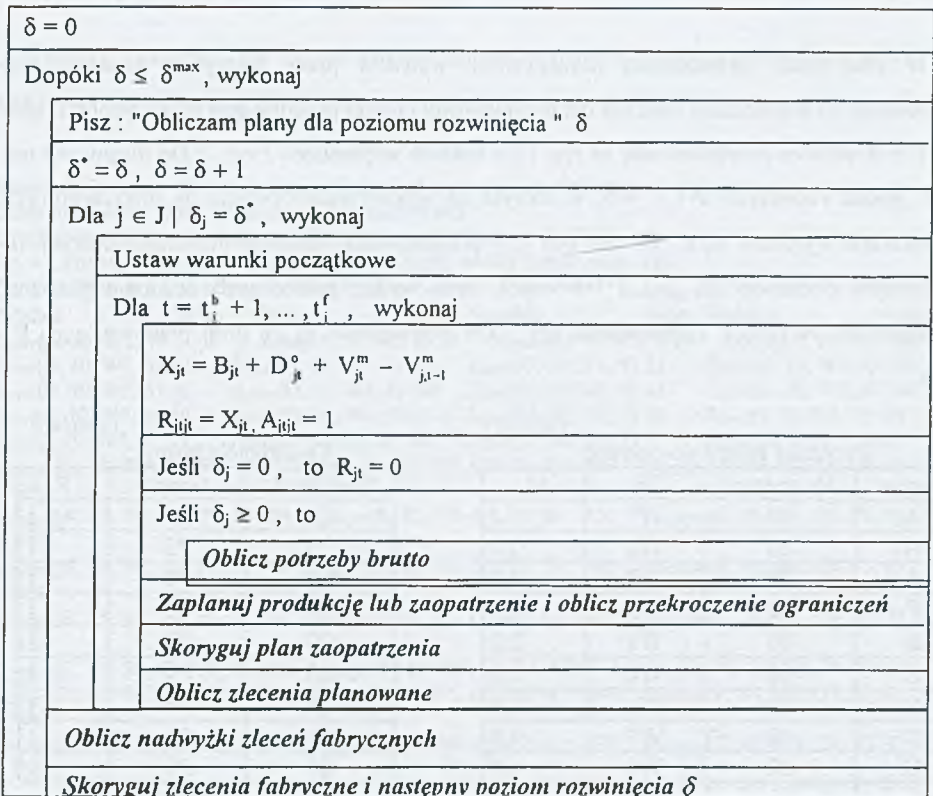
#### 4. Optymalizacja zleceń produkcyjnych w oparciu o zmodyfikowany algorytm MRP

Klasyczny algorytm planowania potrzeb materiałowych (MRP) został omówiony w [1]. Na rys. 3 przedstawiono heurystyczny algorytm planowania potrzeb materiałowych przydzielający wygenerowane zlecenia robocze do gniazd roboczych i grup pracowniczych o najniższych kosztach w taki sposób, aby obciążenie gniazd roboczych i grup pracowniczych nie przekraczało ich zdolności produkcyjnych. Szczegółowy opis zmiennych użytych w algorytmie przedstawiono w [2]. W oparciu o przedstawiony algorytm został napisany program komputerowy *opty\_mrp.4ge* w języku zarządzania bazą danych Informix 4gl. W schemacie algorytmu posłużono się następującymi oznaczeniami:

- $\delta^{\max}$  maksymalny poziom rozwinięcia we wszystkich drzewach struktury
- $j$  numer elementu wytwarzanego,  $j \in J$ ,
- $J$  zbiór numerów produktów,
- $\delta_j$  najniższy poziom rozwinięcia dla elementu  $j$ ,
- $t_j^b$  początek aktualnego horyzontu planowania produkcji elementu  $j$ ,
- $t_j^f$  koniec aktualnego horyzontu planowania produkcji elementu,
- $X_{jt}$  zlecenia fabryczne na element  $j$  w okresie  $t$ ,
- $B_{jt}$  potrzeby montażu wielowersyjnego elementu  $j$  w okresie  $t$ ,
- $D_{jt}^o$  potrzeby zbytu wyrobu jednowersyjnego  $j$  w okresie  $t$ ,
- $V_{jt}^m$  zapas elementu  $j$  na końcu okresu  $t$ ,
- $B_{jt}$  potrzeby montażu wielowersyjnego elementu  $j$  w okresie  $t$ ,
- $R_{jils}$  zapotrzebowanie brutto na element  $j$  w okresie  $t$  wynikające z realizacji zlecenia na wyrób  $l$  w okresie  $s$ ,
- $A_{jils}$  współczynnik zużycia element  $j$  w okresie  $t$  na jednostkę wyrobu  $l$  w okresie  $s$ .

Występujące w algorytmie procedury odpowiadają za następujące fragmenty obliczeniowe:  
**Oblicz potrzeby brutto** oblicza zapotrzebowanie brutto dla wszystkich elementów z danego poziomu rozwinięcia w zależności od wielkości zapotrzebowania na pozycje macierzyste.





Rys.3. Zmodyfikowany algorytm metody MRP  
 Fig.3. Modification of the problem of MRP

*Zaplanuj produkcję lub zaopatrzenie i oblicz przekroczenie ograniczeń* dokonuje rozdziału obciążenia wynikającego z wykonania poszczególnych elementów na gniazda robocze i grupy pracownicze oraz wylicza obciążenie gniazd i grup w poszczególnych okresach.

*Skoryguj plan zaopatrzenia* na podstawie wygenerowanych zapotrzebowań ustalane są wielkości zamówień.

*Oblicz zlecenia planowane* wylicza zlecenia planowane korygując plan zapotrzebowania z uwzględnieniem wielkości partii transportowych.

*Oblicz nadwyżkę zleceń fabrycznych* ustala, które ze zleceń fabrycznych powodują przekroczenie zdolności produkcyjnych.

*Skoryguj zlecenia fabryczne i następny poziom rozwinięcia* w przypadku przekroczenia zdolności produkcyjnych dokonuje korekty zleceń fabrycznych.

## 5. Przykłady liczbowe

W celu oceny przydatności uzyskiwanych wyników przez algorytmy przedstawione w punkcie 3 i 4 dokonano obliczeń dla przykładowej fabryki produkującej dwa wyroby finalne A, F o strukturze przedstawionej na rys. 1 i o czasach wyprzedzeń z rys. 2 Do dyspozycji jest pięć gniazd roboczych W1 .. W5, w których są wykonywane operacje na poszczególnych elementach wyrobów A, F. W tablicach 1, 3 przedstawiono możliwe przydziały operacji na wybranym elemencie do gniazd roboczych, oraz wykaz potrzebnych do ich wykonania specjalności. W tablicy 2 specjalności Q1 .. Q5 przydzielone są do grup pracowniczych P1 ..P5.

Tablica 1

Przydział gniazd do operacji

Nazwa	Nr operacji	W	M.
A	10	W1	5
A	10	W2	1,5
A	20	W3	1,2
F	10	W5	1,4
B	10	W1	2,3
C	10	W1	1,3
C	10	W2	1,6
C	10	W3	1,8
G	10	W4	1,7
D	10	W5	1,0
E	10	W5	1,0
H	10	W5	1,0
I	10	W5	1,0
J	10	W5	1,0
K	10	W5	1,0

Tablica 2

Kwalifikacje grupy

Specjalność	Grupa	F
Q1	P1	1
Q1	P2	1
Q2	P2	1
Q2	P3	1
Q3	P3	1
Q3	P4	1
Q4	P5	1
Q5	P1	1
Q5	P5	1

Tablica 3

Technologia

Nazwa	Nr oper	W	Q	L	Nazwa	Nr oper	W	Q	L
A	10	W1	Q1	2,00	C	10	W3	Q5	27,00
A	10	W1	Q2	25,00	G	10	W4	Q1	23,00
A	10	W2	Q3	13,00	G	10	W4	Q2	23,00
A	20	W3	Q1	17,00	D	10	W5	Q5	1,00
F	10	W5	Q3	17,00	E	10	W5	Q5	1,00
F	10	W5	Q4	18,00	H	10	W5	Q5	1,00
B	10	W1	Q3	15,00	I	10	W5	Q5	1,00
B	10	W1	Q4	17,00	J	10	W5	Q5	1,00
B	10	W1	Q2	16,00	K	10	W5	Q5	1,00
C	10	W1	Q4	13,00	C	10	W2	Q2	19,00



## 6. Wyniki optymalizacji

Wyniki optymalizacji dla zadania zamieszczonego w punkcie 5 przedstawiono jako plik wynikowy z systemu „LINGO”, oraz jako raport z programu komputerowego opty\_mrp.4ge

```

Rows= 1082 Vars= 1092 No. integer vars= 0 (all are linear) Nonzeros= 5450
Constraint nonz= 3288( 2298 are +- 1) Density=0.005
Smallest and largest elements in absolute value= 1.00000 10000.0
No. < : 210 No. =: 651 No. > : 220, Obj=MIN, GUBs <= 601 Single cols= 118
Optimal solution found at step: 1444 Objective value: 135718.1
Variable Value Variable Value Variable Value Variable Value
ZJKWT(A, 10, W1, 7) 12 ZJKWT(A, 10, W2, 8) 30 ZJKWT(A, 20, W3, 7) 12 ZJKWT(A, 20, W3, 8) 30
ZJKWT(B, 10, W1, 5) 12 ZJKWT(B, 10, W1, 6) 30 ZJKWT(C, 10, W1, 5) 22 ZJKWT(C, 10, W1, 6) 100
ZJKWT(D, 10, W5, 3) 22 ZJKWT(D, 10, W5, 4) 100 ZJKWT(E, 10, W5, 3) 22 ZJKWT(E, 10, W5, 4) 100
ZJKWT(F, 10, W5, 8) 40 ZJKWT(G, 10, W4, 6) 40 ZJKWT(H, 10, W5, 5) 40 ZJKWT(I, 10, W5, 5) 40
ZJKWT(J, 10, W5, 4) 12 ZJKWT(J, 10, W5, 5) 30 ZJKWT(K, 10, W5, 4) 7 ZJKWT(K, 10, W5, 5) 30
LJKWQPT(A, 10, W1, Q1, P1, 7) 24 LJKWQPT(A, 10, W1, Q2, P2, 7) 300 LJKWQPT(A, 10, W2, Q3, P3, 8)
390
LJKWQPT(A, 20, W3, Q1, P1, 7) 204 LJKWQPT(A, 20, W3, Q1, P1, 8) 510 LJKWQPT(B, 10, W1, Q2, P2, 5)
192
LJKWQPT(B, 10, W1, Q2, P2, 6) 480 LJKWQPT(B, 10, W1, Q3, P3, 5) 180 LJKWQPT(B, 10, W1, Q3, P3, 6)
450
LJKWQPT(B, 10, W1, Q4, P5, 5) 204 LJKWQPT(B, 10, W1, Q4, P5, 6) 510 LJKWQPT(C, 10, W1, Q4, P5, 5)
286
LJKWQPT(C, 10, W1, Q4, P5, 6) 1300 LJKWQPT(D, 10, W5, Q5, P1, 3)220 LJKWQPT(D, 10, W5, Q5, P1, 4) 1000
LJKWQPT(E, 10, W5, Q5, P1, 3) 220 LJKWQPT(E, 10, W5, Q5, P1, 4) 1000 LJKWQPT(F, 10, W5, Q3, P3, 8)
680
LJKWQPT(F, 10, W5, Q4, P5, 8) 720 LJKWQPT(G, 10, W4, Q1, P2, 6) 920 LJKWQPT(G, 10, W4, Q2, P2, 6)
920
LJKWQPT(H, 10, W5, Q5, P5, 5) 400 LJKWQPT(I, 10, W5, Q5, P1, 5)400 LJKWQPT(J, 10, W5, Q5, P1, 5) 300
LJKWQPT(J, 10, W5, Q5, P5, 4) 1200 LJKWQPT(K, 10, W5, Q5, P5, 4) 70 LJKWQPT(K, 10, W5, Q5, P5, 5)
300
Rπ(A, 8) 20 Rπ(A, 9) 30 Rπ(B, 6) 12 Rπ(B, 7) 30 Rπ(C, 6) 24 Rπ(C, 7) 100 Rπ(D, 4) 22
Rπ(D, 5) 100 Rπ(E, 4) 22 Rπ(E, 5) 100 Rπ(F, 9) 40 Rπ(G, 7) 40 Rπ(H, 6) 40 Rπ(I, 6) 40
Rπ(J, 5) 12 Rπ(J, 6) 30 Rπ(K, 5) 12 Rπ(K, 6) 30 Bπ(A, 8) 20 Bπ(A, 9) 30 Bπ(F, 9) 40
Pπ(A, 8) 12 Pπ(A, 9) 30 Pπ(B, 6) 12 Pπ(B, 7) 30 Pπ(C, 6) 22 Pπ(C, 7) 100 Pπ(D, 4) 22
Pπ(D, 5) 100 Pπ(E, 4) 22 Pπ(E, 5) 100 Pπ(F, 9) 40 Pπ(G, 7) 40 Pπ(H, 6) 40 Pπ(I, 6) 40
Pπ(J, 5) 12 Pπ(J, 6) 30 Pπ(K, 5) 7 Pπ(K, 6) 30
    
```

Tablica 4

Plan potrzeb materiałowych

PRODUKT	OKRES	POTRZEBY	PRODUKT	OKRES	POTRZEBY
D	4	22	I	6	30
E	4	22	J	6	30
D	5	100	K	6	30
E	5	100	B	7	30
J	5	12	C	7	100
K	5	7	G	7	40
B	6	12	A	8	12
C	6	22	A	9	30
H	6	40	F	9	40

Tablica 5

## Obciążenie gniazd roboczych

Gniazdo	Produkt	Nr op.	Okres	Masz.	Gniazdo	Produkt	Nr op.	Okres.	Masz.
W1	B	10	5	27,6	W5	E	10	3	110
W1	C	10	5	28,6	W5	D	10	4	500
W1	B	10	6	69	W5	E	10	4	100
W1	A	10	7	60	W5	J	10	4	60
W1	A	10	8	150	W5	H	10	5	200
W2	C	10	6	160	W5	I	10	5	200
W3	A	20	7	14,4	W5	F	10	8	56
W3	A	20	8	36	W5	J	10	5	150
W4	G	10	6	68	W5	K	10	4	35
W5	D	10	3	110	W5	K	10	5	150

Tablica 6

## Obciążenie grup pracowniczych

Gr.	Sp.	Gn.	Pr.	Op.	Ok.	Rob.	Gr.	Sp.	Gn.	Pr.	Op.	Ok.	Rob.
P1	Q1	W1	A	10	7	24	P2	Q2	W2	C	10	6	1900
P1	Q1	W1	A	10	8	60	P2	Q1	W4	G	10	6	920
P1	Q5	W5	D	10	3	220	P2	Q2	W4	G	10	6	920
P1	Q5	W5	D	10	4	1000	P3	Q3	W1	B	10	5	180
P1	Q5	W5	E	10	3	220	P3	Q3	W1	B	10	6	450
P1	Q5	W5	E	10	4	1000	P3	Q3	W5	F	10	8	680
P1	Q5	W5	I	10	5	400	P5	Q4	W1	B	10	5	204
P1	Q5	W5	J	10	5	300	P5	Q4	W1	B	10	6	510
P1	Q1	W3	A	20	7	204	P5	Q4	W1	C	10	5	286
P1	Q1	W3	A	20	8	510	P5	Q4	W5	F	10	8	720
P2	Q2	W1	A	10	7	300	P5	Q5	W5	H	10	5	400
P2	Q2	W1	A	10	8	750	P5	Q5	W5	J	10	4	120
P2	Q2	W1	B	10	5	192	P5	Q5	W5	K	10	4	70
P2	Q2	W1	B	10	6	480	P5	Q5	W5	K	10	5	300

Zarówno optymalizacja bezpośrednia (pkt. 3), jak i zastosowanie zmodyfikowanego algorytmu MRP (pkt. 4) w zakresie wielkości wygenerowanych zleceń planowanych dały identyczne wyniki, co jest wynikiem zastosowania reguł metody MRP w obu algorytmach. Różnice pojawiły się w rozdziale zleceń na gniazda robocze i przyporządkowaniu im odpowiednich grup pracowniczych, co spowodowało różne koszty łączne obciążenia. Optymalizacja przy wykorzystaniu pakietu „LINGO” modelu przedstawionego w punkcie 3 dała lepsze wyniki, tzn. łączny koszt okazał się mniejszy. Ze względu na rozmiary problemu (dużą liczbę zmiennych decyzyjnych), a także środowisko pracy pakietu „LINGO” w praktycznym podejściu może okazać się efektywniejsze zastosowanie zmodyfikowanego algorytmu MRP. Operowałby on bowiem (jako dodatkowa procedura) w tym samym systemie operacyjnym i na tych samych tabelach bazy danych co inne moduły systemu zarządzania produkcją klasy MRP II.

## LITERATURA

1. Orlicky J.: Material Requirements Planning. Mc Graw-Hill, New York 1975.
2. Zaborowski M.(red.): Modyfikacja i rozwój systemu sterowania produkcją ISTEP dla potrzeb FSS „POLMO-SHL” w Kielcach. Raport z etapu II projektu celowego KBN Nr 1066/CSS-8/94. Kielce 1995 (nie publikowane).
3. Zaborowski M.: Optymalizacja planów w systemach operatywnego sterowania produkcją. Archiwum Automatyki i Robotyki, tom 36/(1991), z.2, s.313-325.
4. Zaborowski M.: Agregacja modelu systemu produkcyjnego w systemie sterowania produkcją metodą PPM. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Automatyka, z.119, Gliwice 1996, s.127-137.
5. Zaborowski M., Wikarek J.: Model planowania potrzeb materiałowych z optymalizacją rozdziału obciążeń. Materiały XV Ogólnopolskiej Konferencji Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania, Mieleno 97, s.323-330.
6. Wikarek J., Zaborowski M.: Optymalizacja planowania potrzeb materiałowych. Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 1998 s.347- 354.
7. Lingo User's Guide, LINDO System Inc, rok 1995.

Recenzent: Prof.dr hab.inż.Zbigniew Banaszak

**Abstract**

In the paper the problem of material requirements planning with optimization of load distribution between work centers and workers' groups has been presented. Two computation algorithms have been presented. The first one is the linear programming algorithm where the constraints are formed so as ensure that if shop orders are feasible, they are the same as for the classic MRP algorithm. Unlike the MRP method both presented algorithms suggest production schedule in which the shop orders are always feasible. The first algorithm is a linear programming method. The second one is based on the heuristic modification of the material requirements planning model. The sample computation results of these algorithms have been presented.