ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: AUTOMATYKA z. 135 Nr kol. 1555

Paweł SITEK[1], Jarosław WIKAREK[1], Mirosław ZABOROWSKI[2]
[1]Politechnika Świętokrzyska
[2]Politechnika Śląska

PROBLEM OPTYMALIZACJI ZLECEŃ PRODUKCYJNYCH W SYSTEMACH MRP II

Streszczenie. W pracy zaproponowano model matematyczny optymalizacji planowania potrzeb materiałowych z rozdziałem obciążeń. Dodatkowo przedstawiono szczegółową dyskusję funkcji celu oraz ograniczeń modelu.

OPTIMIZATION PROBLEM OF SHOP ORDERS IN MRP II SYSTEMS

Summary. In the paper the mathematical model of material requirement planning with load distribution has been suggested. Mover, detailed discussion of its objective function and constraints has been presented in the paper.

1. Wprowadzenie

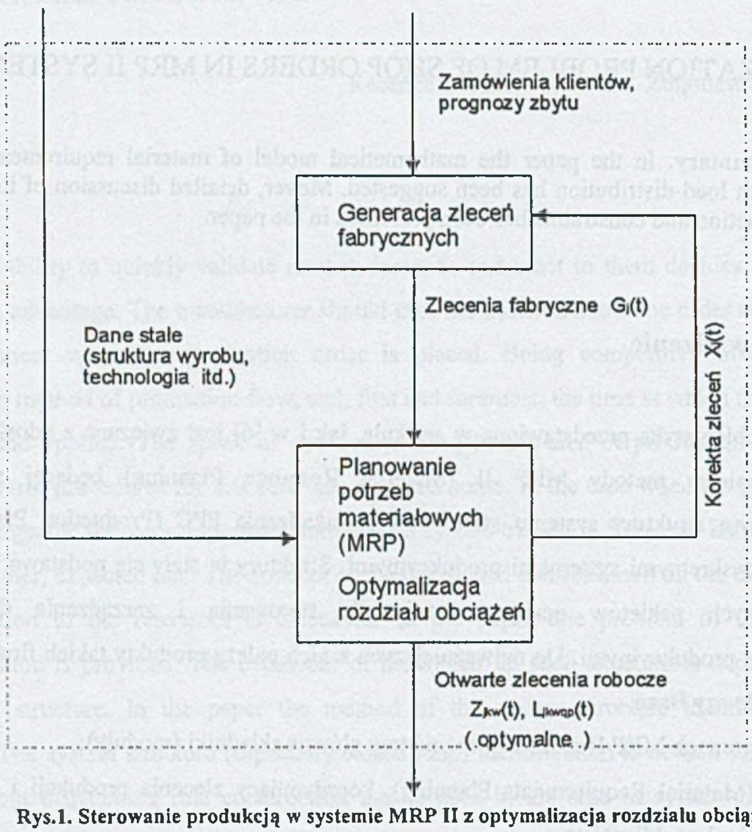
Problematyka przedstawiona w artykule, jak i w [6] jest związana z udoskonaleniem (rozszerzeniem) metody MRP II (Material Resource Planning) będącej standardem definiującym struktury systemu sterowania i zarządzania PPC (Production Planning and Control) dyskretnymi systemami produkcyjnymi. Struktury te stały się podstawą konstrukcji komercyjnych pakietów oprogramowania dla sterowania i zarządzania dyskretnymi systemami produkcyjnymi. Do najważniejszych z nich należą produkty takich firm, jak SAP, IFS, Oracle czy Baan.

W ramach MRP II można wyróżnić trzy główne składniki (moduły):

- MRP (Material Requirements Planning), koordynujący zlecenia produkcji i zakupów z zamówieniami klientów;
- CRP (Capacity Requirements Planning), dokonujący rozdziału zleceń produkcyjnych pomiędzy jednostki organizacyjne procesu;

* SFC (Shop Floor Control), wypracowujący decyzje harmonogramowania otrzymanych zleceń.

Istotną wadą systemów MRP II jest trudność znalezienia dopuszczalnego zestawu zleceń roboczych. Jeżeli w wyniku działania modułu CRP okaże się, że istniejące ograniczenia (awarie maszyn, zbyt małe zasoby ludzi i maszyn, wąskie gardła itp.) uniemożliwiają wypracowanie decyzji zapewniających realizowalność zleceń (albo planista nie potrafi ich wyznaczyć) [6], należy powrócić na poziom MRP w celu zmodyfikowania danych wejściowych, po czym ponownie przejść przez moduły SFC i CRP. Iteracyjna praca w trybie dialogu systemu z użytkownikiem zajmuje wiele czasu, a mimo to nie gwarantuje sukcesu, co czasem zmusza (nie wiadomo, czy potrzebnie) do zmian nadrzędnego harmonogramu produkcji (MPS), a nawet do przesuwania terminów realizacji zamówień klientów.



Rys.1. Sterowanie produkcją w systemie MRP II z optymalizacja rozdziału obciążeń

Fig.1.MRP II production control system with optimization of load distribution

2. Model optymalizacji zleceń produkcyjnych w rozszerzonej metodzie planowania potrzeb materiałowych

W praktyce, biorąc pod uwagę złożoność systemów MRP II oraz ich duże rozmiary, na ogół wystarcza uzyskanie dopuszczalnego rozwiązania problemu harmonogramowania zleceń produkcyjnych, to znaczy generacji zleceń realizowalnych – problem omawiany w [6]. Mimo to podjęto prace nad modelem optymalizacji rozwiązań tego problemu. Proponowany model w postaci zadania programowania liniowego umożliwia optymalizację obciążeń centrów roboczych i grup pracowniczych z kosztami produkcji jako funkcją celu [7, 5]. Jego umiejscowienie w środowisku MRP II pokazano na rys. 1.

2.1. Funkcja celu i ograniczenia

Zasadniczą częścią funkcji celu, podlegającej minimalizacji w zaproponowanym modelu optymalizacji zleceń, jest koszt obciążenia maszyn i siły roboczej, a ściślej – koszt obciążenia centrów roboczych i grup pracowniczych. Centrum robocze jest grupą jednakowych stanowisk roboczych (w tym maszyn), z których każde może wykonać każde zadanie ze zbioru określonego dla danego centrum. Grupa pracownicza składa się z pracowników o tych samych kwalifikacjach i tych samych stawkach za godzinę pracy, z których każdy może być przydzielony do zadań z tego samego dla całej grupy zbioru. Obciążenie centrów roboczych i grup pracowniczych przez poszczególne zadania mierzone jest czasem pracy na potrzeby tych zadań, wyrażonym najczęściej w maszynogodzinach i roboczogodzinach. Ograniczenia zmiennych decyzyjnych są, podobnie jak dla algorytmu heurystycznego [6], formalną reprezentacją więzów uwzględnianych w metodzie MRP II. Dzięki temu każde rozwiązanie dopuszczalne układu ograniczeń reprezentuje planowane zlecenia produkcyjne, które z dużym prawdopodobieństwem będą realizowalne bez potrzeby późniejszych modyfikacji. Ewentualnym korektom w przypadku sprzeczności ograniczeń podlegają zlecenia fabryczne. Aby to umożliwić wprowadzono do modelu nieujemne zmienne dodatkowe korygujące w dół wszystkie zlecenia fabryczne. Z drugiej strony, aby uniemożliwić nieuzasadnione zmniejszanie lub kasowanie zleceń fabrycznych, do funkcji celu wprowadzono karę za niezerowość zmiennych korygujących, o współczynnikach kary tak dużych, by dodatnie wartości korekt były niemożliwe, jeśli istnieje choć jedno rozwiązanie dopuszczalne. Obecność kosztów produkcji w funkcji celu gwarantuje, że plan produkcji nie przekroczy zapotrzebowania wynikającego ze zleceń fabrycznych pomniejszonego o wartości początkowe zapasów. Nie ma to jednak wystarczająco ścisłego związku z terminami produkcji. Możliwe jest bowiem przedwczesne wytworzenie części potrzebnej produkcji i przejściowe utrzymywanie zapasów nawet wtedy, gdy nie jest to konieczne. Aby temu zapobiec, wprowadzono do funkcji celu karę za utrzymywanie zapasów, ze współczynnikami kary wielokrotnie mniejszymi od kar za niezerowość korekt zleceń fabrycznych, jednak tak dużymi, by żaden zapas nie był utrzymywany przez żaden okres planistyczny, jeśli tylko układ ograniczeń ma choć jedno rozwiązanie dopuszczalne bez tego zapasu. Trzeba tu wyraźnie podkreślić, że nie chodzi tu o koszt magazynowania, bo ten byłby uzasadniony, jeśli dzięki zapasom można byłoby więcej zaoszczędzić na kosztach używania drogich zasobów. Duże współczynniki funkcji kary mają zagwarantować, że zapasy będą utrzymywane na minimalnym poziomie, najlepiej zerowym, tak jak to jest w przypadku stosowania klasycznego algorytmu MRP. Jednak, w przeciwieństwie do tego algorytmu, jeśli jest to konieczne, to plany produkcji uzyskiwane w wyniku omawianej optymalizacji są odpowiednio przyspieszane. Klasyczny algorytm MRP zawsze najpierw planuje pobór z magazynu, a dopiero po wyczerpaniu zapasu generuje zlecenie produkcyjne. W przypadku standardowego systemu MRP II próby przyspieszenia planów są dokonywane „ręcznie", przez planistę, dopiero po stwierdzeniu niewykonalności opracowanego uprzednio planu potrzeb materiałowych. Model optymalizacji o wyżej wymienionych cechach sformułowano jako następujące zagadnienie programowania liniowego, przy oznaczeniach zestawionych w tablicach 1, 2, 3:

Zminimalizować

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K_j}\sum_{w\in I^{\Omega}_{jk}}\left(\gamma_w\Omega_{jkw}(t)+\sum_{q\in I^{\Lambda}_{jk}}\sum_{p\in I^{\lambda}_{q}}\delta_p L_{jkwqp}(t)\right)+\sum_{j\in J^{Y}}\sum_{t=1}^{T+L^{\Sigma}_{j}}\beta_j X_j(t)+\sum_{j\in J}\sum_{t=1}^{T}c_j V_j(t) \tag{1}$$

przy ograniczeniach:

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

$$\sum_{p\in I^{\lambda}_{q}}\psi_{pq}L_{jkwqp}(t)=\lambda_{jkwq}Z_{jkw}(t),\qquad \text{dla } q\in I^{\Lambda}_{jk},\ w\in I^{\Omega}_{jk},\ k\in K_j,\ j\in J, \tag{3}$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{k\in K_j}\Omega_{jkw}(t)\le\zeta_w(t),\qquad \text{dla } w\in I^{\zeta},\ t=1..T \tag{4}$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{k\in K_j}\sum_{w\in I^{\Omega}_{jk}}\sum_{q\in I^{\Lambda}_{jk}}L_{jkwqp}(t)\le\xi_p(t),\qquad \text{dla } p\in I^{\xi},\ t=1..T \tag{5}$$

$$\sum_{w \in I^{\Omega}_{jk}} Z_{jkw}(t) = P_j(t + L^{o}_{jk}), \quad \text{dla } j \in J,\ t = 1..T \tag{6}$$

$$V_j(t) = V_j(t-1) + P_j(t) - R_j(t), \quad \text{dla } t = 1..T + L^{\Sigma}_j,\ j \in J \tag{7}$$

$$P_j(t) \geq R_j(t) - V_j(t-1), \quad \text{dla } t = 1..T + L^{\Sigma}_j,\ j \in J \tag{8}$$

$$P_j(t) \geq 0, \quad \text{dla } t = 1..T + L^{\Sigma}_j,\ j \in J \tag{9}$$

$$R_j(t) = \sum_{\substack{l \in J \\ (j,l) \in SW}} a_{jl}[1 + b_{jl}]P_l(t + L_l) + B_j(t) - X_j(t), \text{dla } t = 1..T + L^{\Sigma}_j,\ j \in J \tag{10}$$

$$B_j(t) = 0, \quad \text{dla } t = 1..T + L^{\Sigma}_j,\ j \in J \setminus J^Y \tag{11}$$

$$L_{jkwqp}(t) \geq 0, \quad \text{dla } p \in I^{\lambda}_q,\ q \in I^{\Lambda}_{jk},\ w \in I^{\Omega}_{jk},\ k \in K_j,\ j \in J,\ t = 1..T \tag{12}$$

$$Z_{jkw}(t) \geq 0, \quad \text{dla } w \in I^{\Omega}_{jk},\ k \in K_j,\ j \in J \tag{13}$$

$$0 \leq X_j(t) \leq B_j(t), \quad \text{dla } t = 1..T + L^{\Sigma}_j,\ j \in J^Y \tag{14}$$

Do indeksacji danych problemu optymalizacji będą stosowane wielkości zestawione w tablicy 1, gdzie objaśniono ponadto nazwy zbiorów indeksów.

Tablica 1

Indeksy i ich zbiory oraz parametry związków między indeksami

Symbol	Znaczenie
t	Numer okresu planistycznego
T	Liczba okresów objętych horyzontem optymalizacji
j	Numer elementu wytwarzanego, $j \in J$
J^Y	Zbiór numerów produktów fabrycznych, $J^Y \subset J$
SW	Relacja struktury wyrobów , $SW \subset JxJ$. Para (j,l) należy do relacji SW, jeżeli l jest numerem elementu macierzystego względem elementu j (element j wchodzi w skład lub jest przetwarzany na element l)
L_j	Wyprzedzenie na cykl realizacji elementu j mierzone liczbą okresów planistycznych
L^{Σ}_j	Wyprzedzenie na pełny cykl produkcji elementu j obejmujący cykle realizacji wszystkich elementów podrzędnych w drzewie struktury elementu j rozpatrywanego jako wyrób złożony
k	Numer zadania w ramach zlecenia, $k \in K_j$ (Zakłada się, że operacje $k \in K_j$ procesu wytwarzania elementu j są uporządkowane liniowo, tzn. operacja k+1 następuje bezpośrednio po operacji k, a co za tym idzie tak samo są uporządkowane zadania $k \in K_j$ zlecenia produkcyjnego na wytworzenie elementu j. Ponadto zakłada się, że krotność operacji wykonywanych w ramach każdego zadania $k \in K_j$ jest równa wielkości partii, czyli liczbie sztuk elementu j wytwarzanego w ramach danego zlecenia)

L^o_{jk}	Wyprzedzenie chwili końcowej okresu spływu zlecenia produkcyjnego przez chwilę końcową okresu wykonania zadania k tego zlecenia (zakłada się, że czas ten nie zależy od przydziału centrów roboczych do poszczególnych zadań, a realizacja zadania może rozkładać się na więcej niż jeden okres planistyczny, przy czym w takim przypadku samo wykonanie zadania oraz odpowiednie obciążenie maszyn i ludzi koncentruje się w ostatnim z tych okresów).
w	Numer centrum roboczego, czyli układu równolegle pracujących jednakowych stanowisk roboczych. (Przydział centrów roboczych do zadań lub części zadań wykonywanych w ramach planowanych zleceń produkcyjnych należy do decyzji rozdziału obciążeń)
I^ζ	Zbiór numerów wszystkich centrów roboczych systemu produkcyjnego
I^Ω_{jk}	Zbiór numerów centrów roboczych, które mogą być przydzielone do zadania k w zleceniu na wykonanie elementu j, $I^\Omega_{jk} \subset I^\zeta$
q	Numer specjalności pracownika wykonującego lub uczestniczącego w wykonaniu operacji k na elemencie j, $q \in I^\Lambda_{jk}$
p	Numer grupy pracowniczej, czyli zbioru pracowników, z których każdy ma jednakowe specjalności (przydział grup pracowniczych do zadań lub części zadań wykonywanych w ramach planowanych zleceń produkcyjnych należy do decyzji rozdziału obciążeń).
I^ξ	Zbiór numerów wszystkich grup pracowniczych systemu produkcyjnego
I^λ_q	Zbiór numerów grup pracowniczych, w których pracownicy posiadają specjalność q, $I^\lambda_q \subset I^\xi$

Tablica 2

Zmienne decyzyjne problemu optymalizacji

Zmienna	Znaczenie
$P_j(t)$	Planowane zlecenie produkcyjne, czyli ilość produktu j o planowanym okresie spływu 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 $P_j(t + L^o_{jk})$, $w \in I^\Omega_{jk}$, $k \in K_j$, $j \in J$
$L_{jkwqp}(t)$	Pracochłonność (mierzona w roboczogodzinach) części zadania k wykonywanego w okresie t, w centrum roboczym w, w ramach zlecenia na element j, przez pracownika (lub pracowników) z grupy p w zakresie specjalności q, $p \in I^\lambda_q$, $q \in I^\Lambda_{jk}$, $w \in I^\Omega_{jk}$, $k \in K_j$, $j \in J$, $t = 1..T$
$X_j(t)$	Korekta zlecenia fabrycznego, większa od zera tylko wtedy, gdy pełna realizacja zlecenia fabrycznego prowadzi do sprzeczności ograniczeń, $j \in J$, $t = 1..T$

Zmienne $P_j(t)$ oraz $X_j(t)$ dotyczą decyzji podejmowanych w obrębie modułu planowania potrzeb materiałowych (MRP). Zmienna $Z_{jkw}(t)$ należy do modułu sterowania przebiegiem produkcji (SFC), jej wystąpienie (niezerowa wartość) świadczy o przydziale zadania do centrum roboczego. Zmienna $L_{jkwqp}(t)$ należy zarówno do modułu sterowania przepływem produkcji (SFC), gdzie jej wystąpienia (niezerowe wartości) świadczą o przydziałach do centrów roboczych grup pracowniczych o określonych specjalnościach, jak i do modułu kontroli zdolności produkcyjnych (CRP), gdzie jej wartość określa liczbę roboczogodzin w danym okresie planistycznym, w których są zaangażowani pracownicy z danej grupy pracowniczej o określonej specjalności.

Poza zmiennymi decyzyjnymi w problemie (1) .. (14) występują wielkości zawarte w tablicy 3.

Tablica 3

Wielkości występujące w problemie optymalizacji

Symbol	Znaczenie
a_{jl}	Współczynnik zużycia elementu j na jednostkę elementu l
b_{jl}	Współczynnik nadmiaru na braki
$R_j(t)$	Zapotrzebowanie na element j w okresie t
β_j	Kara za korektę zleceń fabrycznych
$B_j(t)$	Zlecenie fabryczne, czyli zewnętrzne zapotrzebowanie na produkt fabryczny j w okresie t
$\Omega_{jkw}(t)$	Stanowiskochłonność (mierzona w maszynogodzinach) części zadania k wykonywanego w okresie t, w centrum roboczym w, w ramach zlecenia na element j
γ_w	Koszt jednej maszynogodziny w centrum roboczym w
ω_{jkw}	Stanowiskochłonność jednostkowa operacji k wykonywanej w centrum roboczym w na elemencie j
λ_{jkwq}	Pracochłonność jednostkowa operacji k wykonywanej w centrum roboczym w na elemencie j, przez pracownika o specjalności q
δ_p	Koszt jednej roboczogodziny pracownika z grupy p
ψ_{pq}	Współczynnik do przeliczania pracochłonności na pracochłonność standardową dla specjalności q (co najmniej dla jednego p współczynnik $\psi_{pq} = 1$. Dla pracowników gorzej kwalifikowanych $\psi_{pq} < 1$, co prowadzi do większych pracochłonności mierzonych w roboczogodzinach danej grupy p)
$\zeta_w(t)$	Zdolność produkcyjna centrum roboczego (może się zmieniać w wyniku awarii bądź remontów), czyli ograniczenie na obciążenie centrum w w okresie t
$\xi_p(t)$	Zdolność produkcyjna grupy pracowniczej (może się zmieniać w wyniku urlopów lub absencji z innych przyczyn), czyli ograniczenie na obciążenie grupy p w okresie t
$V_j(t)$	Zapas planowany elementu j na końcu okresu t (zapas $V_j(0)$ jest dany)
c_j	Kara za magazynowanie jednostki wyrobu przez jednostkę czasu

2.2. Dyskusja modelu optymalizacji zleceń produkcyjnych

Ograniczenie (2), będące w istocie wzorem na stanowiskochłonność zadań przydzielonych do centrów roboczych, można byłoby łatwo wyeliminować dokonując odpowiedniego podstawienia w (1) i (4). Zachowano je dla przejrzystości zapisu funkcji celu. Równość (3) reprezentuje rozdział pracochłonności zadań na grupy pracownicze. Proporcje tego rozdziału nie są ustalone, a istniejąca w tym zakresie swoboda jest wykorzystywana w modelu do minimalizacji kosztów przez obciążanie w maksymalnym stopniu grup pracowniczych o małych stawkach za godzinę pracy δ_p i dużych współczynnikach przeliczeniowych ψ_{pq}.

Ograniczeniom obciążenia, wynikającym ze zdolności produkcyjnych centrów roboczych i grup pracowniczych odpowiadają nierówności (4) (5). Występujące po prawych stronach (4) (5) wartości ograniczeń na obciążenia oblicza się sumując w danym okresie planistycznym prognozowany czas dostępności poszczególnych stanowisk w centrum roboczym, albo pracowników w grupie, a następnie mnożąc te wielkości przez odpowiednie współczynniki mniejsze od 1, uwzględniające normy niepełnego wykorzystania.

Równanie (6) reprezentuje rozdział zadań na poszczególne centra robocze. Założono tu, że wielkość każdego zadania (tzn. krotność operacji) przed rozdziałem na centra robocze jest równa wielkości zlecenia. Założenie to można byłoby łatwo usunąć przez wprowadzenie do (6) odpowiednich współczynników przeliczeniowych. Występujące w (6) przesunięcie czasowe odpowiada wyprzedzeniu chwili spływu zlecenia produkcyjnego przez chwilę zakończenia danego zadania. Wielkość tego wyprzedzenia można podać tylko w przybliżeniu, ponieważ o jego rzeczywistej wartości decyduje się na poziomie harmonogramowania zleceń roboczych, a nie podczas planowania potrzeb materiałowych. Tym niemniej uwzględnienie go w modelu zwiększa szanse na wygenerowanie planu potrzeb materiałowych, który będzie realizowalny.

Zależności (7) (8) (9) (10) reprezentują standardowy algorytm MRP. Równanie (7) jest bilansem planowanych zapasów. Nieujemność zapasów gwarantują ograniczenia (8) (9). Ponadto ograniczenia te wraz z kryterium (1) gwarantują, że jeśli tylko jest to możliwe, jest spełniona następująca zależność

$$P_j(t) = \mathrm{Max}\{0, R_j(t) - V_j(t-1)\}, \tag{15}$$

co jest charakterystyczne dla algorytmu MRP. Zależność (10) w metodzie MRP służy do obliczania tzw. potrzeb brutto na podstawie zestawień materiałowych, czyli na podstawie grafu struktury wyrobów. Łatwo pokazać, że w przypadku zerowych zleceń fabrycznych, czyli gdy $B_j(t) = X_j(t) = 0$, dopuszczalnym i optymalnym rozwiązaniem problemu (1) .. (14) jest rozwiązanie o zerowych wartościach wszystkich zmiennych decyzyjnych i funkcji celu. Odpowiada to zerowym kosztom w przypadku braku produkcji. Problem (1) .. (14) staje się nietrywialny, gdy $B_j(t) \geq 0$. Jednak również w tym przypadku, dzięki obecności zmiennych korygujących, problem ten ma zawsze rozwiązanie. Jeśli zlecenia fabryczne przekraczają zdolności produkcyjne systemu, to niezerowe wartości zmiennych korygujących wskazują planiście, które zlecenia fabryczne, a w konsekwencji które zamówienia klientów należy zmodyfikować.

3. Metody optymalizacji

Odpowiedni dobór i sposób wykorzystania optymalizacyjnych programów narzędziowych [5, 4], w tym opracowanie specjalnych procedur wstępnego przetwarzania danych, umożliwiły implementacje modelu oraz rozwiązywanie problemów optymalizacji zleceń o stosunkowo dużych rozmiarach. Zaproponowano optymalizację metodą programowania liniowego (3,1) oraz programowania w logice z ograniczeniami (3.2).

3.1. Optymalizacja metodą programowania liniowego

Ze względu na to, że model matematyczny optymalizacji, przedstawiony w punkcie 2, został sformułowany jako zagadnienie programowania liniowego, do jego rozwiazania wykorzystano w pierwszej kolejności jeden z komercyjnych pakietów optymalizacji – „LINGO" firmy LINDO. Aby dokonać optymalizacji, należało:

- zintegrować wejścia i wyjścia pakietu „LINGO" z systemem zarządzania produkcją,
- przedstawić model optymalizacyjny w języku modelowania pakietu „LINGO",
- opracować procedury programowe, które przekształcają dane ze zintegrowanej bazy danych do formatu akceptowanego przez pakiet „LING r",
- uruchomić optymalizację.

Pakiet optymalizacji „LINGO" ma swój własny język modelowania, za pomocą którego możliwy jest opis modelowanego problemu [3]. Problem optymalizacji zleceń produkcyjnych, którego model zaproponowano w rozdziale 2, przedstawiono więc w tym języku i zapisano w odpowiednim pliku tekstowym. Składa on się z trzech modułów: Deklaracji Zmiennych, Danych i Głównego. Szczegóły implementacji modelu (1)...(14) w systemie „LINGO" przedstawiono w [5].

3.2. Optymalizacja metodą programowania w logice z ograniczeniami (CLP)

Trudności obliczeniowe, pojawiające się przy stosowaniu pakietu „LINGO", jak również potrzeba weryfikacji uzyskiwanych wyników były powodem poszukiwania innej metody optymalizacji zleceń produkcyjnych. Zdecydowano się na programowanie w logice z ograniczeniami (Constraint Logic Programming) ze względu na stosunkową nowość i nadzieje wiązane z tym narzędziem [4]. Jako implementację CLP wybrano język „CHIP" (Constraint Handling in Prolog), który jest językiem deklaratywnym podobnie jak Prolog, lecz dodatkowo posiada zaawansowane techniki rozwiązywania problemów z ograniczeniami. Ze względu na filozofię języka „CHIP" jest on tym bardziej efektywny, im więcej ograniczeń występuje w rozwiązywanym problemie. Dodatkową zaletą języka „CHIP" jest możliwość bezpośredniej implementacji ograniczeń w kodzie programu [1, 2].

Tablica 4

Etapy rozwiązania problemu optymalizacyjnego w systemie CHIP

Etap	Rozwiązywany problem
1.	Założenie zerowej wartości korekt zleceń fabrycznych (zmienne $X_j(t)$, dla $t = 1..T$, $j \in J$)
2.	Wyznaczenie zapotrzebowań brutto $R_j(t)$, zleceń planowanych $P_j(t)$ oraz wielkości zapasów planowanych $V_j(t)$, dla $t = 1..T$, $j \in J$
3.	Rozdział zleceń planowanych $P_j(t)$ na poszczególne centra robocze i grupy pracownicze (wyznaczenie wartości zmiennych $Z_{jkw}(t)$, $L_{jkwqp}(t)$). W przypadku przekroczenia zdolności produkcyjnych (brak dopuszczalnego rozdziału obciążeń) następuje powrót do kroku drugiego z odpowiednio ustawioną, niezerową korektą zleceń $X_j(t)$.

Przygotowując problem do implementacji w języku „CHIP" dokonano jego podziału na kilka etapów rozwiązywania, co przedstawiono w tablicy 4. Ponadto przyjęto, że planowane wielkości zapasów i ilości przepływających materiałów muszą być wielokrotnościami określonych partii elementarnych, których wielkość jest dobierana przez autora programu. Zastosowanie języka „CHIP" oraz podział problemu na etapy spowodowały zwiększenie efektywności optymalizacji. Dzięki temu, a także dzięki kontrolowanej przez programistę ziarnistości zmiennych, można było rozwiązywać problemy o rozmiarach przewyższających możliwości systemu „LINGO" [5]. Optymalizacja problemu etapami możliwa była m.in. dzięki właściwościom języka „CHIP", który pozwala autorowi programu wpływać na kolejność ukonkretniania wartości zmiennych. System „LINGO", gdzie zadanie optymalizacji jest rozwiązywane w całości, nie ma tej zalety. Pełna implementacja modelu optymalizacyjnego w środowisku CLP została przedstawiona w [5].

4. Podsumowanie

Zmienne decyzyjne prezentowanego modelu optymalizacji zleceń produkcyjnych (tab. 2) obejmują planowanie potrzeb materiałowych, kontrolę zdolności produkcyjnych oraz sterowanie przebiegiem produkcji. W stosunku do klasycznych rozwiązań, znanych ze standardu MRP II, proponowany model (1)...(14) umożliwia optymalizację generowanych decyzji zgodnie z kryterium (1), a w przypadku przekroczenia zdolności produkcyjnych formalizuje wprowadzanie odpowiednich korekt. Podejście takie umożliwia znalezienie rozwiązania optymalnego w każdej sytuacji, przy czym jeśli występują przekroczenia zdolności produkcyjnych, to pojawiające się korekty wymuszeń powodują zmianę pierwotnie postawionego zadania. Prezentowany model oraz algorytm heurystyczny [1] stanowią znaczące rozszerzenie w stosunku do standardu MRP II.

LITERATURA

1. Cosytec S.A.: CHIP Primer. 1993
2. Cosytec S.A.: CHIP Reference Manual. 1993.
3. Dokumentacja techniczna programu LINGO
4. Niederliński A.: Constraint Logic Programming – From Prolog to CHIP. Proceedings of the Workshop on Constraint Programming for Decision and Control. Gliwice, 1999, s. 27-34.
5. Wikarek J.: Optymalizacja zleceń produkcyjnych w systemach MRP II. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2002.

6. Wikarek J., Sitek P., Zaborowski M.: Problem realizowalności zleceń produkcyjnych w systemach MRP II Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Automatyka, z. 135, Gliwice 2002.
7. Zaborowski M., Wikarek J.: Model planowania potrzeb materiałowych z optymalizacją rozdziału obciążeń, Materiały XV Ogólnopolskiej Konferencji Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania Mielno 1997, s. 323 – 330.

Recenzent: Dr hab. inż. Bożena Skołud

Abstract

In the paper the problem of material requirements planning with optimization of load distribution between work centers and workers' groups has been presented. The mathematical model of this problem has been suggested. The model has been formulated as a problem of linear programming. Moreover, the detailed discussion of its objective function and constraints has been presented. Two computational methods – using the commercial solver of LINGO and the CLP (Constraint Logic Programming) – and their application to solve the considered problem have been shortly described.