

Krzysztof MAIK, Eugeniusz TOCZYŁOWSKI  
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej

## SYSTEM ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ W MODELOWEJ INSTALACJI CIM<sup>1</sup>

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono system nadrzędnego zarządzania produkcją w modelowej instalacji CIM. Zaprezentowano strukturę funkcjonalną i architekturę fizyczną całości systemu oraz sformułowano problem harmonogramowania produkcji wraz z modelem matematycznym.

## PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEM FOR LABORATORY CIM MODEL

**Summary.** The subject of this paper is a tactical production management system in the laboratory CIM model. The general functional structure, the physical architecture of the whole system, as well as the tactical production planning problem formulation and its mathematical model is presented.

### 1. Wprowadzenie

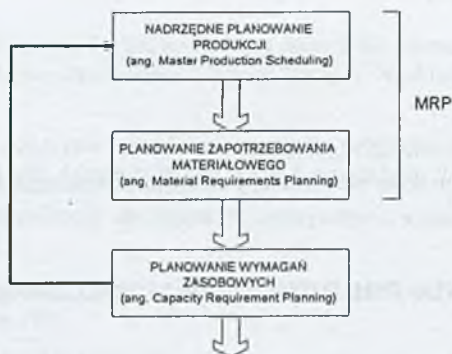
W niniejszym artykule przedstawione zostaną rozwiązania projektowe związane z nadrzędnym zarządzaniem produkcją i gospodarką magazynową występujące w modelowej instalacji CIM zrealizowanej w Instytucie Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej ([3]).

### 2. Struktura typowego systemu planowania produkcji (MRP II)

Na rys.1 przedstawiono strukturę ogólną standardowego systemu planowania zasobów produkcyjnych (ang. MRP II) ([4], [2]).

Zadaniem modułu nadrzędnego harmonogramowania produkcji jest ustalenie wielkości produkcji najpierw dla rodzin produktów podobnych w dłuższym horyzoncie czasu, a następnie przetworzenie uzyskanego zagregowanego harmonogramu w bardziej

<sup>1</sup>praca częściowo finansowana w ramach projektu badawczego KBN 8T11A02411



Rys. 1. Algorytm działania systemu MRP II

Fig. 1. MRP II Algorithm

szczegółowy plan wyrobów indywidualnych bądź ich agregatów odpowiadających mniejszym grupom. Na etapie tworzenia harmonogramu zagregowanego korzysta się z prognozy zbytu wyrobów w rozważanym horyzoncie. W fazie tej uwzględniane są jedynie zgrube, zagregowane moce przerobowe. Natomiast w fazie uszczegółowienia harmonogramu zapotrzebowanie na najbliższy okres jest ustalane na podstawie przyjętego portfela zamówień. Z uwagi na złożoność obliczeniową ograniczenia zasobowe nie są na tym etapie brane pod uwagę.

Zadaniem modułu planowania zapotrzebowania materiałowego jest określanie harmonogramów produkcji wyrobów pośrednich (zespołów, podzespołów itp.) i zamawiania dostaw części i innych surowców wchodzących w skład struktury materiałowej wyrobów finalnych.

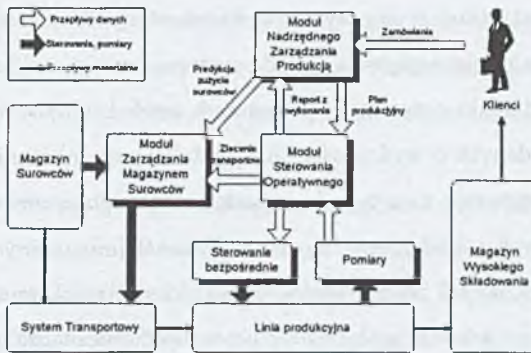
W module planowania wymagań zasobowych dokonuje się sprawdzenia, czy uzyskane harmonogramy produkcji wszystkich wyrobów są realizowalne ze względu na ograniczoną dostępność zasobów produkcyjnych. W przypadku przekroczenia ograniczeń zasobowych harmonogramy muszą ulec korekcie.

Na rys.2 przedstawiono zestawienie modułów funkcjonalnych typowego systemu MRP II na przykładzie pakietu CaliachMRP firmy *Manufacturing & Computer Systems*, któremu przegląd systemów MRP II na rok 1997 ([5]) przypisywał 71000 użytkowników.

## 3. Opis instalacji CIM



Rys. 2. Struktura modułów systemu MRP II  
Fig. 2. Functional modules of an MRP II system



Rys. 3. Struktura funkcjonalna modelowej instalacji CIM  
Fig. 3. Functional structure of Laboratory CIM Model

W skład modelowej instalacji CIM wchodzi zarówno system zarządzania produkcją, jak i podsystem sterowania operacyjnego oraz moduły symulujące zachowanie elementów systemu produkcyjnego. Struktura funkcjonalna systemu jest przedstawiona na rys.3.

Modelowanym systemem produkcyjnym jest pojedyncza linia produkcyjna butelkowanych napojów gazowanych, na której asortyment wielu rodzajów wyrobów jest wytwarzany w trybie produkcji *przerywanej* realizowanej *w porcjach*, tzn. jednocześnie może być realizowana produkcja tylko jednego wyrobu, natomiast zmiana rodzaju produkcji wymaga przebrożenia instalacji. Wytwarzanych jest sześć rodzajów napojów (*B, C, F, L, S, T*). Napoje te są rozlewane do dwóch rodzajów butelek plastikowych o pojemności jednego lub dwóch litrów.

Linia produkcyjna jest uszeregowanym ciągiem modułów produkcyjnych. Każdy moduł jest pewnym zestawem zasobów produkcyjnych (maszyn technologicznych, buforów, środków transportu) realizującym określony asortyment operacji: magazyn surowców, moduł produkcji napoju, moduł produkcji butelek, magazyn butelek, moduł napelniania, moduł naklejania etykiet, moduł paczkowania i foliowania, moduł paletyzacji, magazyn wysokiego składowania. Dokładniejszy opis instalacji można znaleźć w [3].

W laboratoryjnym modelu instalacji CIM istnieją trzy podstawowe elementy zintegrowanego systemu zarządzania i sterowania: Moduł Nadrzędnego Zarządzania Produkcją (NZP), Moduł Zarządzania Magazynem Surowców (ZMS), Moduł Sterowania Operatywnego (SO).

Zadaniem modułu NZP jest wypracowanie średnio- i długoterminowych harmonogramów produkcji dla wszystkich typów wyrobów. Podstawowym kryterium wyznaczania harmonogramów jest realizacja napływających do systemu zamówień klientów na wyroby gotowe przy uwzględnieniu ograniczonej zasobów produkcyjnych. Moduł NZP na podstawie posiadanych danych o wydajności linii produkcyjnej, jej stanie oraz zgromadzonej bazie zamówień generuje dwa typy harmonogramu: długoterminowy, obejmujący horyzont 30 dni roboczych i średnioterminowy na dwie kolejne zmiany. Harmonogram średnioterminowy, oprócz danych ilościowych określających wielkości serii poszczególnych wyrobów, definiuje również sekwencję planów elementarnych przeznaczonych do wykonania w ciągu kolejnych dwóch zmian.

Harmonogram długoterminowy wykorzystywany jest do określenia predykcji zużycia surowców w ciągu całego horyzontu planowania. Predykcja ta jest przekazywana do modułu ZMS.

Moduł ZMS posiada dwie podstawowe funkcje. Pierwszą z nich jest określanie, na podstawie otrzymanej predykcji zużycia surowców i aktualnego stanu magazynu, harmonogramu zamawiania dostaw surowców. Druga funkcja polega na harmonogramowaniu wewnątrzzakładowego transportu surowców z uwzględnieniem ograniczeń zasobowych systemu transportowego. Wykonywanie zadań transportowych odbywa się w odpowiedzi na zlecenia odebrane z modułu SO.

Zadaniem modułu SO jest sterowanie przepływem materiałów i intensywnością produkcji w poszczególnych modułach linii produkcyjnej w warunkach występujących zakłóceń, tak aby zostało zapewnione nadążanie produkcji za planem produkcyjnym przekazanym z NZP. SO komunikuje się z warstwą sterowania bezpośredniego złożoną z dedykowanych

sterowników obiektowych oraz z modulem pomiarowym odpowiedzialnym za przekazywanie aktualnego stanu modułów produkcyjnych i wielkości zużycia zasobów zużywalnych. Pełniejszy opis funkcji SO i sterowania bezpośredniego znaleźć można w pracy [3].

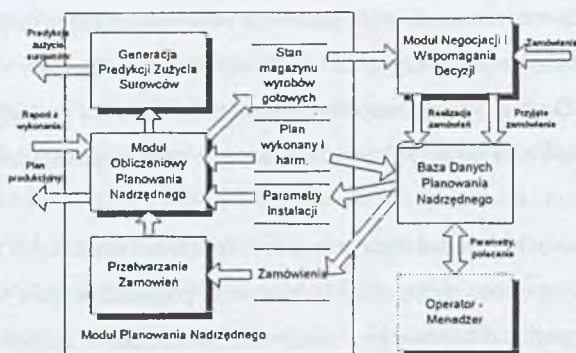
Wyprodukowane wyroby są umieszczane w magazynie wysokiego składowania, skąd są wydawane klientom.

Platforma fizyczna, na jakiej został oparty system Modelowej Instalacji CIM, została skonstruowana z wykorzystaniem różnorodnych środowisk programowych i łączy sieciowych. Komputery planowania nadrzędnego zostały umiejscowione w środowisku biurowym. Interfejs użytkownika modułu NZP i baza danych zostały zrealizowane w środowisku MS Windows. Komputery modułu ZMS i modułu SO wykorzystują system operacyjny czasu rzeczywistego QNX. Natomiast warstwa sterowania bezpośredniego i pomiarów oparta została na systemie OS/9. Komputery planowania nadrzędnego, magazynu surowców i sterowania operatywnego połączyła sieć Ethernet. Natomiast sterowanie operatywne komunikuje się ze sterowaniem bezpośrednim i pomiarami za pośrednictwem sieci miejscowej PROFIBUS.

W rozważanym systemie produkcyjnym struktura materiałowa wyrobów zagregowanych z punktu widzenia potrzeb planowania nadrzędnego jest dwustopniowa: obejmuje wyroby finalne oraz surowce. Ponadto dobrze znana jest charakterystyka linii produkcyjnej, a ograniczenia zasobowe z nią związane są łatwe do zamodelowania. W efekcie stało się możliwe zintegrowanie funkcji różnych modułów typowego systemu planowania zasobów produkcyjnych (MRP II) i zrezygnowanie z podejścia iteracyjnego w zamkniętej pętli dopasowującej generowane harmonogramy do istniejących mocy przerobowych.

Nadrzędne harmonogramowanie produkcji dokonuje się w module NZP. Wielkości porcji produkcyjnych są w nim uzyskiwane przy uwzględnieniu szczegółowego modelu zasobów produkcyjnych (punkt 4.). Tak więc zarazem w module NZP rozwiązywane jest zadanie planowania wymagań zasobowych.

Ponadto w module NZP wyznaczana jest, na podstawie struktury materiałowej, predykcja zużycia surowców, na podstawie której moduł ZMS określa terminy zamawiania dostaw z uwzględnieniem przewidywanych czasów dostaw. Tak więc planowanie zapotrzebowania materiałowego jest realizowane zarówno w module NZP jak i ZMS.



Rys. 4. Moduł NTP  
Fig. 4. TPP Module

#### 4. Moduł Nadrzędnego Zarządzania Produkcją

Na rys.4 przedstawiono schemat funkcjonalny modułu NTP.

Moduł NTP składa się z trzech zasadniczych modułów składowych: Modułu Planowania Nadrzędnego (MPN), Modułu Negocjacji i Wspomagania Decyzji (MNiWD), Bazy Danych Planowania Nadrzędnego (BDPN).

MPN skupia w sobie wszystkie funkcje obliczeniowe konieczne dla generacji harmonogramów i predykcji zużycia surowców. Można w nim wyróżnić trzy podmoduły dedykowane różnym funkcjom:

**Przetwarzanie zamówień** – podział dużych zamówień na podzamówienia, agregacja zamówień ze względu na terminy wykonania oraz typy zamawianych wyrobów (wyznaczanie poziomu zapotrzebowań na wyroby zagregowane).

**Moduł obliczeniowy planowania nadrzędnego** – algorytm harmonogramowania produkcji wyznaczający harmonogram nadrzędny i harmonogram szczegółowy na podstawie otrzymanej informacji o zapotrzebowaniu na wyroby gotowe w poszczególnych zmianach produkcyjnych horyzontu planowania i bieżących wartości parametrów opisujących stan instalacji.

**Generacja predykcji zużycia surowców** – wyznaczanie przypuszczalnego zużycia surowców w ciągu horyzontu planowania w wyniku realizacji wyznaczonego harmonogramu nadrzędnego na podstawie posiadanych danych o nominalnym zużyciu każdego z surowców przy produkcji jednostki określonego wyrobu.

MPN komunikuje się z dwoma pozostałymi modułami NZP za pośrednictwem protokołu TCP/IP i FTP, co umożliwia rozdzielenie lokalizacji obu części podsystemu i wyodrębnienie jego zadań charakterystycznych dla aplikacji biurowej i wykonawczej.

BDPN gromadzi wszelkie dane konieczne dla funkcjonowania procesu planowania nadrzędnego: zamówienia klientów, strukturę materiałową produktów, parametry kosztowe pracy instalacji itp. Aplikacja BDPN pełni również funkcję interfejsu użytkownika; to za jej pośrednictwem osoba odpowiedzialna za procedurę generacji harmonogramów nadrzędnych steruje pracą pozostałych modułów, zadaje parametry instalacji i wczytuje przyjęte zamówienia. BDPN umożliwia zdefiniowanie struktury systemu produkcyjnego obejmującego wiele przedsiębiorstw, które z kolei mogą składać się z szeregu, powiązanych ze sobą, linii produkcyjnych zarówno w układzie równoległym, jak i szeregowym. Dla każdej linii możliwe jest określenie asortymentu produkowanych wyrobów wraz z właściwymi parametrami. Wszystkie wyroby tworzą globalną dla całego systemu strukturę materiałową wyrobów finalnych. BDPN przechowuje również dane opisujące działanie wszystkich zdefiniowanych linii: harmonogramy produkcji oraz raporty z wykonanych planów produkcyjnych.

Funkcje MNiWD skupiają się wokół dwóch aspektów. Po pierwsze, moduł wspomaga negocjację z klientami składającymi zamówienia na wyroby gotowe. Przedmiotami negocjacji są w tym przypadku terminy realizacji zamówienia oraz ceny i kary umowne (np. za nieterminowość). Po drugie, zadaniem modułu jest również przypisywanie wyprodukowanych wyrobów do konkretnych zamówień (realizacja zamówień).

#### 4.1. Moduł Planowania Nadrzędnego

Zadaniem MPN jest wypracowywanie realizowalnych, możliwie mało kosztownych i zaspokajających wszystkie przyjęte zamówienia harmonogramów nadrzędnych obejmujących horyzont 30 dni roboczych, czyli 60 zmian roboczych zwanych dalej etapami produkcyjnymi. Niech  $T = 60$  oznacza długość horyzontu planowania. W dalszej części paragrafu zostaną przedstawione modele użyteczne dla rozwiązywania postawionego zadania.

Jak już wspomniano w punkcie 1, asortyment wytwarzanych wyrobów obejmuje 12 typów produktów różniących się pod względem rodzaju napoju i wielkości butelki. Na opis wyrobów składają się więc dwa atrybuty  $p$  i  $s$  oznaczające odpowiednio rodzaj napoju i wielkość opakowania. Niech  $p \in P$ ,  $P = \{C, L, F, B, S, T\}$  oraz  $s \in S$ ,  $S = \{1, 2\}$ . Taki opis

wyrobów jest często stosowany w przemyśle spożywczym, kosmetycznym i chemicznym. Zwykle jeden z atrybutów (atrybut wielkości) uznawany jest za ważniejszy ze względu na większe koszty i dłuższy czas przebrojeń linii przy zmianie jego wartości. Drugi atrybut (atrybut rodzaju) jest mniej znaczący, gdyż zmiana jego wartości dla produkowanych typów wyrobów wymaga mniej licznych i prostszych operacji.

Zakłada się, że w każdym momencie pracy linia produkcyjna jest przygotowana do produkcji jednego z możliwych typów wyrobów oraz że zmiana produkowanego typu wymaga przebrojenia linii. Każde przebrojenie pociąga za sobą określony koszt i wymaga określonego czasu, które w ogólności mogą być różne dla każdej pary typów wyrobów: przed i po przebrojeniu. Całkowity koszt i czas przebrojeń w danym etapie zależy więc od sekwencji typów wyrobów produkowanych w etapie, a także od stanu linii produkcyjnej na początku etapu (czyli od typu wyrobu produkowanego jako ostatni w etapie poprzednim).

Produkcja realizowana jest w odpowiedzi na napływające zamówienia klientów. Zakłada się, że każde przyjęte zamówienie  $k$ , oprócz atrybutów wyrobu  $(p, s)$  i jego ilości  $d_{ps}^k$ , określa również trzy terminy jego realizacji:

- termin najwcześniejszy  $T^{\min,k}$ , przed którym zamawiający nie jest w stanie odebrać wyprodukowanych wyrobów, muszą one oczekiwać w magazynie wyrobów gotowych, co wiąże się z kosztami magazynowania,
- termin pożądaný  $T^{\text{duc},k}$ , do którego zamawiający może odebrać wyroby bez dodatkowych kosztów i po którym zmuszeni jesteśmy ponosić koszty zaległości,
- termin najpóźniejszy  $T^{\text{maz},k}$ , który nie może być przekroczony.

Kryterium oceny jakości harmonogramu produkcji jest całkowity jego koszt w horyzoncie planowania. Koszt ten obejmuje trzy składniki:

- bezpośrednie koszty produkcyjne proporcjonalne do wielkości porcji produkcyjnych wszystkich wyrobów w kolejnych etapach horyzontu planowania,
- koszty związane z magazynowaniem wyrobów gotowych bądź z utrzymywaniem zaległości realizacji zamówień,
- koszty przebrojeń linii produkcyjnej.

Wśród ograniczeń modelu występuje grupa ograniczeń bilansowych zapewniająca realizację wszystkich przyjętych zamówień oraz grupa ograniczeń zasobowych modelująca ograniczony czas produkcyjny w każdym z etapów horyzontu planowania.

Dokładny opis omawianego modelu został zamieszczony w [1].



Ogólność opisu kosztów i czasów trwania przebrojeń występująca w modelu na ogół nie jest potrzebna. W praktyce często rozróżnia się jedynie dwa rodzaje przebrojeń: większe – związane ze zmianą wartości atrybutu wielkości  $s$ , oraz mniejsze – związane ze zmianą wartości atrybutu rodzaju  $p$ . Takie rozróżnienie przebrojeń wprowadza model problemu przedstawiony w kolejnych punktach. Ponadto uwzględnia on agregację terminów realizacji zamówień i atrybutów wyrobów.

Celem agregacji trzech terminów realizacji charakteryzujących dane zamówienia do pojedynczego terminu jest określenie zapotrzebowań na wyroby gotowe w każdym z etapów horyzontu planowania.

Niech  $T^{agr,k}$  oznacza zagregowany termin realizacji dla zamówienia  $k$ :

$$T^{agr,k} = f(T^{min,k}, T^{duc,k}, T^{max,k}, k, d_{ps}^k). \quad (4.1)$$

Jest on funkcją parametrów zamówienia i może być wyznaczany różnie dla różnych klientów, wyrobów itp.

Wówczas można określić zapotrzebowanie na wyrób  $(p, s)$  w etapie  $t$ :

$$d_t^{ps} = \sum_{k: T^{agr,k}=t} d_{ps}^k. \quad (4.2)$$

Ze względu na fakt, że jeden z atrybutów wyrobu ma charakter dominujący, można przeprowadzić agregację wyrobów ze względu na wartość atrybutu ważniejszego.

Niech  $i$  będzie indeksem wyrobów zagregowanych, zaś  $N$  — liczbą wyrobów zagregowanych. Oczywiście  $N$  jest równe liczbie dopuszczalnych wartości atrybutu  $s$ :  $N = |S|$ .

Zapotrzebowanie w etapie  $t$  dla wyrobu zagregowanego  $i$  wyznaczone jest następująco:

$$d_{it} = \sum_{s=i, p \in P} d_t^{ps}. \quad (4.3)$$

Parametry modelu związane z wyrobem zagregowanym, takie jak koszty produkcji jednostkowej, koszt magazynowania, czasy produkcji jednostkowej mogą być szacowane jako średnie parametrów o tej samej wartości atrybutu  $s$ .

Czas przebrojenia linii  $f_t$  produkcyjnej po agregacji wyrobów jest czasem przebrojenia przy zmianie wartości atrybutu wielkości  $s$ .

Wprowadźmy następujące zmienne decyzyjne problemu:

$v_i(t) \in \{0, 1\}$  – zmienna równa 1, jeżeli w etapie  $t$  jest produkowany wyrób  $i$ ,

$x_i(t)$  – wielkość produkcji wyrobu  $i$  w etapie  $t$ ,

$I_i(t)$  – liczba gotowych wyrobów  $i$  w magazynie na koniec etapu  $t$ ,

$\xi_i(t)$  – zmienna binarna równa 1, jeżeli w etapie  $t$  następuje kontynuacja produkcji wyrobu  $i$  produkowanego jako ostatni w etapie  $t - 1$  (brak przebrożenia na granicy etapów),

$l(t)$  – czas nie wykorzystany na produkcję w etapie  $t$ .

Parametrami modelu są:

$c_{it}$  – jednostkowy koszt produkcji wyrobu  $i$  w etapie  $t$ ,

$h_{it}$  – koszt magazynowania jednostki wyrobu  $i$  na koniec etapu  $t$ ,

$s_t$  – koszt przebrożenia linii w etapie  $t$ ,

$f_t$  – czas trwania przebrożenia w etapie  $t$ ,

$q_t$  – długość etapu  $t$ .

Wykorzystując zdefiniowane zmienne, można zbudować następujący model problemu:

$$\min \sum_{t=1}^T \left\{ \sum_{i=1}^N [c_{it}x_i(t) + h_{it}I_i(t)] + \left[ \sum_{i=1}^N v_i(t) - \sum_{i=1}^N \xi_i(t) \right] \cdot s_t \right\} \quad (4.4)$$

przy następujących ograniczeniach:

– ograniczenia bilansowe zapewniające zaspokojenie zagregowanego zapotrzebowania na wyroby w każdym etapie:

$$\begin{aligned} I_i(t-1) + x_i(t) - I_i(t) &= d_{it} \quad t = 1, \dots, T, \quad i = 1, \dots, N \\ I_i(0) &= 0 \quad i = 1, \dots, N, \\ 0 \leq I_i(t) &\leq \bar{I}_{it} \quad t = 1, \dots, T, \quad i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (4.5)$$

– ograniczenia zasobowe: czas wykorzystany na produkcję i łączny czas przebrożeń musi być mniejszy lub równy długości etapu  $q_t$ :

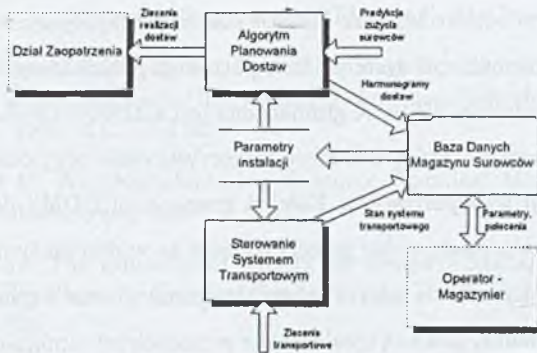
$$\sum_{i=1}^N f_{it}x_i(t) + \left[ \sum_{i=1}^N v_i(t) - \sum_{i=1}^N \xi_i(t) \right] \cdot f_t + l(t) \leq q_t \quad t = 1, \dots, T \quad (4.6)$$

– ograniczenia stwierdzające, że kontynuacja produkcji w każdym etapie może dotyczyć co najwyżej jednego wyrobu:

$$\sum_{i=1}^N \xi_i(t) \leq 1 \quad t = 1, \dots, T \quad (4.7)$$

– ograniczenia mówiące, że kontynuacja produkcji wyrobu  $i$  w etapie  $t$  może nastąpić pod warunkiem, że wyrób  $i$  jest produkowany zarówno w etapie  $t$ , jak i  $t - 1$ :

$$\begin{aligned} \xi_i(t) &\leq v_i(t-1) \quad t = 2, \dots, T, \quad i = 1, \dots, N \\ \xi_i(t) &\leq v_i(t) \quad t = 1, \dots, T, \quad i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (4.8)$$



Rys. 5. Moduł ZMS  
Fig. 5. MIM Module

– ograniczenia mówiące, że kontynuacja produkcji tego samego wyrobu w etapach  $t$  i  $t+1$  oznacza również, iż jest to jedyny wyrób produkowany w etapie  $t$ :

$$\xi_i(t) + \xi_i(t+1) + v_j(t) \leq 2 \quad t = 1, \dots, T-1, i = 1, \dots, N \quad (4.9)$$

$$j = 1, \dots, N, j \neq i.$$

Przedstawiony model poddawany jest obecnie testom obliczeniowym przy wykorzystaniu uniwersalnego pakietu programowania liniowego i mieszanego CPLEX, które mają na celu zbadanie przydatności do wyznaczania nadrzędnych harmonogramów produkcji dla rozważanej instalacji, na horyzoncie złożonym z 60 etapów.

## 5. Moduł Zarządzania Magazynem Surowców

Na rys.5 przedstawiono schemat funkcjonalny modułu ZMS.

W skład modułu ZMS wchodzi podmoduł Algorytmu Planowania Dostaw (APD) odpowiedzialny za generowanie harmonogramów zamawiania dostaw surowców, zapewniających zachowanie płynności produkcji, oraz Baza Danych Magazynu Surowców (BDMS) przechowująca dane konieczne dla prawidłowego funkcjonowania modułu ZMS. Ponadto moduł przejmuje część funkcji sterowania operatywnego związaną z systemem transportowym: moduł Sterowania Systemem Transportowym (SST) ma za zadanie harmonogramowanie operacji transportowych od magazynu surowców do linii produkcyjnej.

BDMS przechowuje przede wszystkim opisy surowców wykorzystywanych w procesie produkcyjnym: ich nazwy, poziomy bezpieczne, wielkości zużycia przy produkcji jednostkowej różnych wyrobów, wielkości dostaw. Ponadto w bazie definiowana jest struktura

i topologia samego magazynu surowców, oraz bieżące poziomy znajdujących się w nim surowców. BDMS zawiera również opis systemu transportowego, charakterystykę typów tworzących go wózków oraz ich stan. W bazie gromadzona jest statystyka wykonywanych przez wózki zleceń transportowych, która może być wykorzystywana przy ocenie jakości harmonogramowania operacji transportowych. Kolejna grupa encji BDMS dedykowana jest procesowi planowania dostaw surowców; przechowywane są w niej opisy dostaw zrealizowanych i dostaw będących jeszcze w toku oraz harmonogramy dostaw zaplanowanych.

Ponieważ wszystkie podmoduły ZMS są zrealizowane w ramach tej samej sieci lokalnej i w jednolitym środowisku programowym (QNX) komunikacja między nimi, jak również między nimi a modułami SO i NZP, jest zrealizowana za pomocą usług systemu czasu rzeczywistego: w formie spotkań i przesyłania depozytów.

Zadaniem modułu APD jest cykliczne wyznaczanie i korygowanie harmonogramu zamawiania dostaw surowców na horyzont obejmujący 60 zmian produkcyjnych. Zakłada się, że dla każdego typu surowca określone są wartości poziomów bezpiecznych w magazynie, poniżej których zejście grozi niemożnością zrealizowania planów produkcyjnych ze względu na brak surowca. Ponadto zakłada się, że w momencie startu procedury planującej dostawy znana jest ilość każdego z surowców dostępna w magazynie oraz wszystkie dostawy w toku i dostawy zaplanowane. Harmonogram dostaw wyznaczany jest za pomocą klasycznych algorytmów EOQ (ang. *economic order quantity*) lub harmonogramowania produkcji porcjami (ang. *economic lot-sizing*).

W module SST dokonuje się realizacja zleceń transportowych, która w obecnej wersji instalacji odbywa się według zasady kolejki FIFO. Najwcześniejsze napływające zlecenie transportu określonej porcji surowca do określonego modułu produkcyjnego przydzielane jest jako pierwsze do wolnego wózka. W przypadku jego braku, zlecenie oczekuje w kolejce.

Jednakże zarówno postać komunikatów opisujących zlecenia transportowe, jak i struktury danych opisujące system transportowy, umożliwiają wykorzystanie bardziej złożonych procedur harmonogramowania operacji transportowych.

## LITERATURA

1. Maik K., Toczyłowski E., 'Tactical Production Planning System', *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, June 17-20, 1996, Warsaw, Proceedings pp. 1071-1076.

2. Orlicky J., 'Materials Requirements Planning', *McGraw-Hill*, New York 1975.
3. Toczyłowski E., Cyzio M., Krupa R., Maik K., Sikorski T., Walczak A., 'Laboratoryjny model instalacji CIM', *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka*, Z.119, 1996, str. 113-126.
4. Wight O. W., 'Manufacturing Resource Planning: MRP II', *Oliver Wight Limited Publications, Inc.*, 1984.
5. APICS – The Educational Society for Resource Management, '1997 Manufacturing Resource Planning Software Survey', [www.lionheartpub.com](http://www.lionheartpub.com), *Lionheart Publishing, Inc.*, 1998.

Recenzent: Dr hab.inż. Mirosław Zaborowski, prof. Politechniki Śląskiej

## Abstract

In the paper we present design issues of the tactical production planning module which constitutes the upper level layer of the laboratory CIM structure model. The production environment consists of the soft beverages production line, raw materials inventory, manufactured goods inventory and transportation system. The production line is formed by a sequence of production modules. Each production module requires certain types of raw materials which are delivered from material inventory.

The first part of the paper is dedicated to the description of a general functional structure of the CIM system. It consists of three main modules: Tactical Production Planning Module (TPP), Material Inventory Management Module (MIM) and Operational Control Module (OC). TPP module is responsible for generating the production schedules for the mid-term planning horizon. Production schedules are passed to the OC module which determines the production intensity for each module so as to accomplish given plans. The reports of completed plans during the shift are sent to the TPP module. MIM module accepts the prediction of material consumption in the planning horizon which is used for generating the supplies orders plan assuring the proper materials levels in the inventory. The other task of the module is control of the transportation system for delivering raw materials to the production line.

The main interest of the paper is TPP module and its connections with MIM module. The separate section is dedicated to production planning problem which is solved in the TPP. In the paper we propose the mathematical mixed-integer model for determining the best production schedule. The main requirement for the schedule is to satisfy all accepted orders for manufactured goods during the planning horizon. Every single order is characterized by attributes of an item type, its quantity and three dates: the earliest possible date of delivery, the latest and the most desirable. The items produced before the earliest date have to wait in the inventory which is connected with the holding costs. On the other hand, items produced after the due date are charged with the due date penalty costs. Furthermore, the production process has its own limitations concerning the fact that all items are produced on a single line which has to be changeovered in order to switch to production of a different item. The solving method incorporates the two-level aggregation: first the aggregation of dates of delivery, then the aggregation of item types which leads to determining the demand rates for every aggregated item in every period of the planning horizon.