

Eugeniusz TOCZYŁOWSKI, Marek CYZIO, Remigiusz KRUPA,  
Krzysztof MAIK, Tomasz SIKORSKI, Artur WALCZAK  
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej

## LABORATORYJNY MODEL INSTALACJI CIM

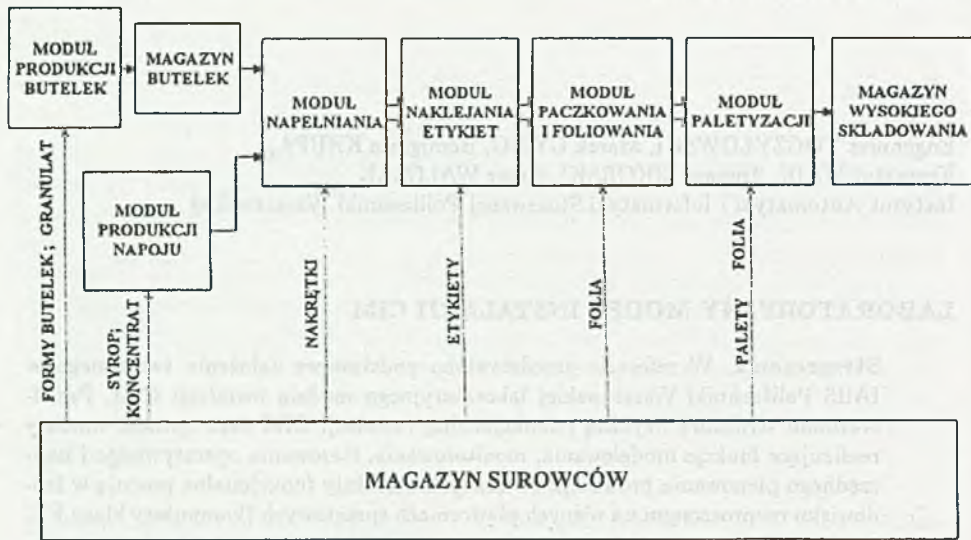
**Streszczenie.** W referacie przedstawiono podstawowe założenia tworzonego w IAIIS Politechniki Warszawskiej laboratoryjnego modelu instalacji CIM. Przedstawiono strukturę fizyczną i funkcjonalną instalacji CIM oraz opisano moduły realizujące funkcje modelowania, monitorowania, sterowania operatywnego i nadrzędnego planowania produkcji. Poszczególne moduły funkcjonalne pracują w środowisku rozproszonym na różnych platformach sprzętowych (komputery klasy PC, przemysłowe komputery oparte na magistrali VME) i programowych (systemy operacyjne OS/9, QNX, MS Windows), wykorzystując do komunikacji między sobą sieci lokalne Arcnet i Ethernet oraz sieć miejscową Profibus. Zaprezentowano też wykorzystaną w projekcie metodologię projektowania systemów czasu rzeczywistego Warda & Mellora.

## LABORATORY MODEL OF A CIM SYSTEM

**Summary.** The paper presents an implementation of a laboratory CIM system, which is being developed at the Warsaw University of Technology. The functional and physical structure of the CIM system is analysed and the functional modules for modelling, monitoring, operational control, and production planning are described. The implementation of the functional modules is distributed on various computers (PCs and industrial computers with VME bus), operation systems (OS/9, QNX, MS Windows), and various communication protocols (Arcnet, Ethernet and Profibus). The Ward & Mellor methodology for structured development of real-time systems, which was applied in the project, is also described.

### 1. Opis struktury systemu produkcyjnego

W rozdziale przedstawiono podstawowe założenia dotyczące struktury systemu produkcyjnego modelowanego w IAIIS PW *Laboratorium Systemów Sterowania CIM*. Modelowany system zawiera jedną półautomatyczną linię produkcyjną, na której asortyment wielu rodzajów wyrobów jest wytwarzany w trybie produkcji *przerywanej* realizowanej w *porcjach*, tzn. w danej chwili na linii może być produkowany tylko jeden wyrób, czyli usta-



Rys. 1. Schemat ogólny systemu produkcyjnego  
 Fig. 1. General structure of the production system

lony rodzaj napoju w określonym typie butelki. Zmiana rodzaju produkowanego wyrobu wymaga przestawienia (przebrojenia) linii. W szczególności zmiana rodzaju produktu wymaga czyszczenia instalacji. Zmiana wielkości butelki wymaga przebrojenia parametrów linii produkcyjnej na wymagany rozmiar (pojemność) butelki.

W zakładzie jest wytwarzany pewien asortyment wyrobów charakteryzowanych przez dwa atrybuty: rodzaj produktu i wielkość opakowania (butelki).

Linia produkcyjna jest uszeregowanym ciągiem wyodrębnionych fragmentów nazywanych dalej modułami produkcyjnymi (ogólna struktura funkcjonalna systemu produkcji jest przedstawiona na rys.1). Każdy moduł jest pewnym zestawem zasobów produkcyjnych (maszyn technologicznych, buforów, środków transportu) działającym pod kontrolą sterownika przemysłowego i realizującym określony asortyment operacji. Moduł może posiadać w ogólnym przypadku kilka równoległych, elementarnych zasobów wytwórczych określonego typu (np. maszyn, agregatów produkcyjnych, stanowisk). Opis funkcjonalny poszczególnych modułów jest następujący:

- Magazyn surowców – w magazynie są przechowywane następujące materiały i składniki wymagane w procesie produkcji: formy butelek i granulaty, syrop i koncentraty

napojów, nakrętki, etykiety, folia oraz palety.

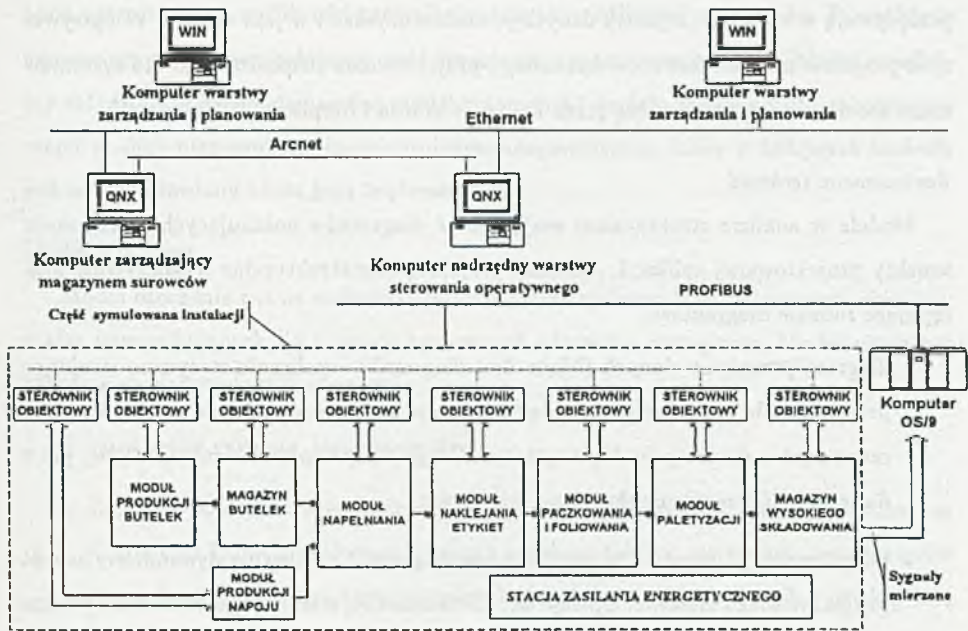
- Moduł produkcji napojów – w module tym odbywa się przygotowanie napoju polegające na wymieszaniu, w aparacie miksującym, wymaganych składników (tzn. odpowiedniego koncentratu, syropu i wody) podawanych w potrzebnych ilościach w sposób ciągły. W danej chwili mikser może być wykorzystywany do produkcji tylko jednego rodzaju napoju. W celu zmiany rodzaju napoju konieczne jest wykonanie operacji "przezbrowienia" polegającej na opróżnieniu miksera, wypłukaniu aparatury, napełnieniu i doprowadzeniu stanu napoju do wymaganego poziomu i składu.
- Moduł produkcji butelek – w module tym odbywa się produkcja dowolnego rodzaju butelek, która może być realizowana na jednym z dwóch zautomatyzowanych agregatów produkcyjnych (maszyn). Maszyna pierwsza produkuje butelki z gotowych form, które pobiera z bufora form. Maszyna druga produkuje butelki z granulatu, który jest przechowywany w buforze granulatu. Każda maszyna może produkować butelki jedno- albo dwulitrowe po uprzednim przezbrowieniu (przestawieniu parametrów modułu) i wznowieniu produkcji.
- Magazyn butelek – butelki mogą być przechowywane w trzech niezależnych, równoległych sekcjach magazynu pełniących rolę trzech buforów typu FIFO. W każdym buforze mogą być jednocześnie przechowywane zarówno butelki jedno-, jak i dwulitrowe. Wszystkie bufory mają jednakową pojemność niezależną od rodzaju przechowywanych w nim butelek.
- Moduł napełniania – w module tym butelki pobierane kolejno z magazynu butelek są napełniane, w karuzelowym automacie napełniającym, napojem nalewanym z miksera. Każda butelka po napełnieniu jest zakręcana. Przed opuszczeniem modułu butelki przechodzą kontrolę poziomu napełnienia. Butelki spełniające wymagania jakości są transportowane do kolejnego modułu, natomiast wadliwe są umieszczane w buforze odpadów, którego opróżnicznik wymaga obsługi operatorskiej.
- Moduł naklejania etykiet – w module tym następuje oklejanie butelek etykietami właściwymi dla danego rodzaju napoju i butelki. Dodatkowo na każdej etykiecie jest nadrukowywana data produkcji i numer serii.

- Moduł paczkowania i foliowania – w module tym butelki są grupowane w paczki i foliowane.
- Moduł paletyzacji – w module tym paczki butelek są układane na palety tworząc tzw. kontenery transportowe.
- Magazyn wysokiego składowania – w magazynie tym są przechowywane spaletyzowane kontenery opakowanych napojów przygotowane do wysyłki. Magazyn wysokiego składowania ma strukturę wielopiętrową. Każdy kontener może być umieszczony na końcu kolejki znajdującej się w jednym polu magazynu (w odpowiedniej jego warstwie i kolumnie). Każde pole magazynu jest obsługiwane jako niezależna kolejka typu FIFO.

Na linii produkcyjnej moduły produkcyjne są połączone środkami transportowymi (transporterami). Każdy transporter pełni jednocześnie podwójną funkcję – z jednej strony jest nośnikiem, a z drugiej strony magazynem buforowym (kompensacyjnym) pomiędzy modułami produkcyjnymi. W zależności od rodzaju operacji, operacje transportowe pomiędzy poszczególnymi stopniami produkcyjnymi są realizowane za pomocą przenośników (taśmowych lub podwieszonych) albo wózków transportowych. W szczególności transport poszczególnych surowców z magazynu surowców do odpowiednich modułów produkcyjnych odbywa się przy wykorzystaniu transportu wózkowego. Butelki puste są transportowane za pomocą podwieszonego systemu przenośników pneumatycznych. Napełnione butelki oraz paczki butelek są transportowane pomiędzy dalszymi modułami produkcyjnymi za pomocą przenośników taśmowych. Gotowe do wysyłki spaletyzowane kontenery butelek są transportowane do magazynu wysokiego składowania za pomocą wózków widłowych.

W przyjętym modelu lekkie obiekty (butelki) znajdujące się na transporterze nie są mocowane sztywno, a więc mogą przesuwać się względem taśmy (a tym samym mogą być zatrzymywane przed stanowiskiem mimo ruchu taśmy).

Struktura fizyczna realizowanego układu sterowania i zarządzania produkcją jest przedstawiona na rys. 2.



Rys. 2. Struktura fizyczna modelu instalacji CIM

Fig. 2. Physical structure of CIM system

## 2. Metodologia projektowania strukturalnego

Metodyka projektowania strukturalnego z wykorzystaniem narzędzi CASE tworzy dogodne środowisko do projektowania złożonych aplikacji informatycznych, zwłaszcza dla systemów czasu rzeczywistego [6, 5]. Metody analizy i projektowania strukturalnego dzielą tworzenie aplikacji na trzy etapy: (1) przygotowanie modelu zasadniczego ("essential model") składającego się z modelu otoczenia ("environmental model") i modelu zachowań ("behavioral model"); (2) przygotowanie modelu implementacji ("implementation model") utworzonego na podstawie poprzedniego modelu i składającego się z modelu procesorów ("processor model"), modelu zadań ("task model") i modelu modułów ("module model"); (3) zaprogramowanie aplikacji zgodnie z modelem implementacji.

Tworzone podczas analizy i projektowania modele mają za zadanie pokazanie trzech aspektów aplikacji: (1) statycznego - jakie istnieją powiązania między danymi; (2) dynamicznego - jaka jest kolejność wykonywania operacji; (3) przetwarzania - jakie dane

przeplływają w systemie, z jakich danych je można uzyskać i w jaki sposób. W opisywanym projekcie zastosowano metodę analizy i projektowania strukturalnego dla systemów czasu rzeczywistego opracowaną przez Paula T. Warda i Stephena J. Mellora [5].

#### *Zastosowane techniki*

Modele w analizie strukturalnej mają postać diagramów pokazujących podstawowe aspekty projektowanej aplikacji. Analiza i projektowanie strukturalne wykorzystuje następujące rodzaje diagramów:

- diagram przepływu danych ("data flow diagram") – pokazuje statyczną strukturę przetwarzania w systemie, tzn. skąd pojawiają się dane w systemie, jak są przetwarzane i jakie dane wychodzą z systemu. Diagramy przepływu danych mówią, jak z danych wejściowych uzyskać dane wyjściowe;
- diagram przejść stanów ("state transition diagram") – pokazuje dynamiczny aspekt projektowanego systemu. Opisuje on, jak zmienia się stan danego elementu systemu w zależności od zdarzeń do niego dochodzących i jakie sygnały wysyła ten element. W metodzie Warda i Mellora diagramy przejść stanów rysowane są dla wszystkich procesów sterujących. Wchodzące do takiego procesu przepływy sterujące uważane są za zdarzenia, wychodzące zaś za sygnały tego procesu;
- diagram encji ("entity relationship diagram") – opisuje statyczną strukturę danych systemu. Pokazuje on, jak powiązane są między sobą różne dane przechowywane w systemie;
- diagram struktury ("structure chart") – pokazuje podział pewnego fragmentu projektowanego systemu na moduły oraz komunikację pomiędzy modułami wewnątrz tego fragmentu;
- specyfikacja danych – służy do określenia danych przekazywanych pomiędzy modułami. W opisywanym projekcie zastosowano najbardziej popularną notację BNF (zwaną też notacją De Marco).

#### *Analiza i projektowanie strukturalne*

Pierwszym etapem projektowania systemu informatycznego jest analiza problemu poprzez budowę i weryfikację modelu zasadniczego systemu. Model ten zakłada brak fizycz-

nych ograniczeń na możliwości przesyłania danych, możliwości sprzętu itp. W praktyce tworząc ten model uwzględnia się część ograniczeń, zapominając o innych. Model zasadniczy składa się z dwóch elementów: modelu otoczenia i modelu zachowań. Po zakończeniu etapu analizy otrzymujemy model projektowanego systemu, który w kolejnych krokach jest uszczegóławiany aż do jego implementacji.

### Model otoczenia

Model otoczenia ma za zadanie określenie granic systemu informatycznego, obiektów z nim komunikujących się i reakcji systemu na zdarzenia zewnętrzne. Model otoczenia składa się z następujących elementów:

- opisu celów systemu, jego granic itp.;
- diagramu kontekstowego będącego diagramem przepływu danych. Diagram ten składa się z jednej transformacji danych nazwanej tak jak system oraz terminatorów i przepływów pomiędzy terminatorami i systemem. Pokazuje on, jakie obiekty leżą na zewnątrz systemu i jak się z nim komunikują;
- listy zdarzeń, na które system ma reagować wraz z reakcjami systemu na zdarzenia. Lista zdarzeń musi przewidywać wszystkie możliwe (nawet bardzo opóźnione) reakcje systemu na zdarzenie. Powinna być ona spójna z diagramem kontekstowym - wszystkie dyskretne i sterujące przepływy od terminatorów są zdarzeniami dla systemu, wszystkie dyskretne i kontrolne przepływy od systemu są jego odpowiedziami.

### Model zachowań

Model zachowań pokazuje, jak realizowane są odpowiedzi systemu na zdarzenia zewnętrzne. Model zachowań składa się z hierarchii diagramów przepływu danych wraz z powiązаныmi z nimi diagramami przejść stanów, diagramami encji i specyfikacjami danych. Szczytem hierarchii diagramów przepływu danych jest diagram kontekstowy. Każda z transformacji danych może posiadać dekompozycję będącą diagramem przepływu danych lub opis jej funkcjonalności. Opisy mogą zostać utworzone zarówno w postaci tekstu, opisu warunków wejściowych i wyjściowych, jak i algorytmu opisanego w języku formalnym. Procesy sterujące są dekomponowane na diagram przejść stanów. Każdy z przepływów danych posiada opis w postaci specyfikacji danych. Pojemniki danych dekomponowane są na diagramy encji.

### Model procesorów

Stworzenie modelu procesorów jest pierwszym etapem projektowania oprogramowania systemu. Przy tworzeniu tego modelu decydujemy o rozbiciu całego programu pomiędzy różne procesory (komputery). Decydujemy także o sposobach przekazywania danych pomiędzy tymi procesorami i o powiązaniu terminatorów z procesorami. Model procesorów jest odpowiednikiem diagramu kontekstowego - jest to diagram przepływu danych, w którym każdy proces reprezentuje inny procesor.

### Model zadań

Drugim etapem projektowania oprogramowania systemu jest stworzenie modelu zadań. Model zadań jest hierarchią diagramów przepływu danych. Dla każdego z procesorów poprzedniego modelu decydujemy o podziale funkcji w nim wykonywanych na zadania. Decydujemy także o sposobie komunikacji i przekazywania danych między zadaniami. Z definicji zadania są wykonywane jednocześnie. Każde z zadań można dalej dekomponować jak w przypadku modelu zachowań.

### Model modułów

Model modułów ma za zadanie przekształcenie abstrakcyjnych diagramów przepływu danych w diagram struktury pokazujący jednostki programowe i ich wzajemne powiązania. Każde z zadań modelu zadań jest opisywane w postaci modelu modułów. Wykonanie modelu modułów kończy prace projektowe - na jego podstawie możliwe jest wykonanie specyfikacji podprogramów, a następnie ich zakodowanie.

## 3. Projekt instalacji CIM

Celem budowy systemu jest opracowanie nietrywialnego modelu produkcji w przedsiębiorstwie przemysłowym, możliwego do implementacji w warunkach laboratoryjnych i odpowiedniego do celów szkoleniowych.

### *Model otoczenia*

Model otoczenia opisuje środowisko, w którym system funkcjonuje. Diagram kontekstowy definiuje granicę pomiędzy systemem a otoczeniem (reprezentowanym przez terminatory - obiekty na zewnątrz systemu, z którymi system się komunikuje) oraz ich wzajemne powiązania.

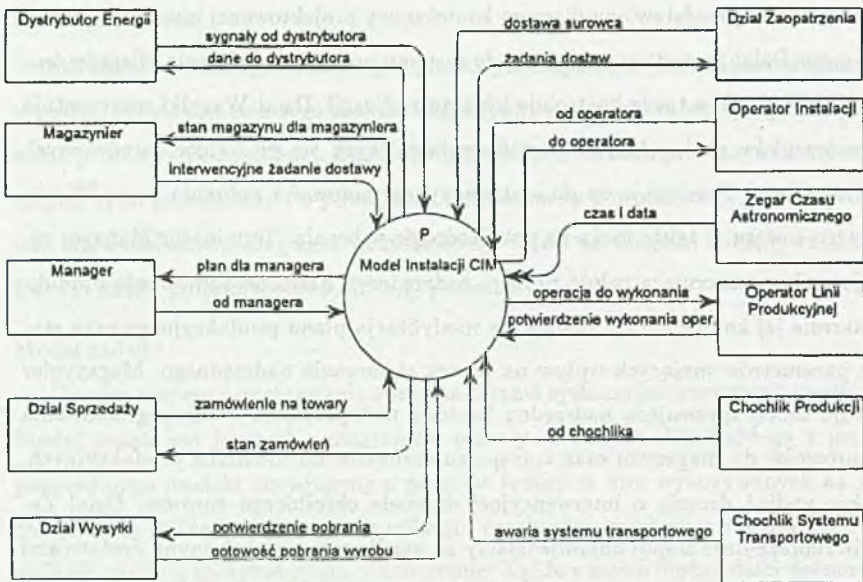


Na rys. 3 został przedstawiony diagram kontekstowy projektowanej instalacji CIM.

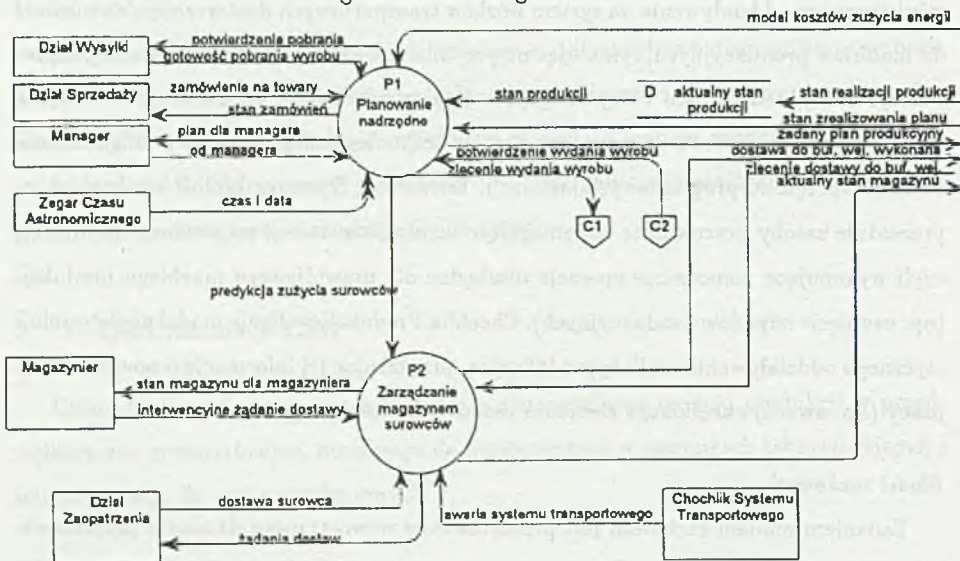
Terminator Dział Sprzedaży przekazuje do systemu przyjęte zamówienia klientów (rodzaj i ilość produktu), a także kontroluje ich stan realizacji. Dział Wysyłki reprezentuje zespół pracowników obsługujących klientów zgłaszających się po odbiór zamówionych wcześniej wyrobów. Przekazuje on do systemu sygnał gotowości pobrania przez klienta zamawianego towaru, a także czeka na potwierdzenie pobrania. Terminator Manager reprezentuje osobę nadzorującą całość procesu nadrzędnego harmonogramowania produkcji. W zakresie jej kompetencji znajduje się modyfikacja planu produkcyjnego oraz statycznych parametrów mających wpływ na proces planowania nadrzędnego. Magazynier reprezentuje osobę sprawującą nadrzędną kontrolę nad procesem harmonogramowania dostaw surowców do magazynu oraz transportu surowców do modułów produkcyjnych. Może także podjąć decyzję o interwencyjnej dostawie określonego surowca. Dział Zaopatrzenia reprezentuje zespół odpowiedzialny za współpracę z niezależnymi dostawcami surowców. Przyjmuje on z systemu żądania dostaw surowców, a po ich zrealizowaniu zawiadamia o tym system. Chochlik Systemu Transportowego realizuje model niedeterministycznego oddziaływania na system wózków transportowych dostarczających surowce do modułów produkcyjnych, symulując na przykład ich awarię. Operator Instalacji reprezentuje osoby nadzorujące i wspomagające działanie instalacji na poziomie sterowania operatywnego, nadzorowanie przebiegu procesu technologicznego, a także konfigurowanie zasobów sprzętowo-programowych instalacji. Terminator Operator Linii Produkcyjnej reprezentuje zasoby pracownicze wspomagające działanie instalacji na poziomie produkcji, czyli wykonujące pomocnicze operacje niezbędne dla prawidłowego przebiegu produkcji (np. usunięcie odpadów produkcyjnych). Chochlik Produkcji realizuje model niedeterministycznego oddziaływania na linię produkcyjną, przekazując jej informację o nowym trybie pracy (np. awarii) określonego elementu modułu produkcyjnego.

### *Model zachowań*

Zadaniem modelu zachowań jest przedstawienie wewnętrznego działania projektowanego systemu tak zaplanowanego, by spełniać wymogi otoczenia określone w modelu otoczenia. Model zachowań obejmuje wstępny diagram przepływu danych oraz początkową definicję schematu danych.



Rys. 3. Diagram kontekstowy  
Fig. 3. Context diagram



Rys. 4. Model instalacji CIM, cz.1  
Fig. 4. Model of CIM system, part 1

Transformacje, czyli elementy przekształcające dane wejściowe na wyjściowe zgodnie z opisującymi je algorytmami, pokazane są na rysunkach 4, 5 i 6.

#### Planowanie nadrzędne (P1)

Funkcje wykonywane przez tę transformację obejmują, przede wszystkim, generowanie harmonogramu produkcji 12 typów wyrobów na horyzoncie czasowym złożonym z  $T = 60$  zmian produkcyjnych, uszczegółowienie harmonogramu na najbliższe dwie zmiany (przy wykorzystaniu mechanizmu repetycji) oraz wyznaczanie predykcji zużycia surowców w przewidywanym horyzoncie czasowym.

#### Zarządzanie magazynem surowców (P2)

Funkcje tej transformacji – to generowanie żądań dostaw określonych ilości surowców na podstawie prognozy ich zużycia, uzupełnianie (na podstawie zleceń) buforów surowców za pomocą systemu wózków transportowych, sterowanie i symulacja systemu wózków transportowych oraz symulowanie stanu magazynu surowców.

#### Sterowanie operatywne (P3)

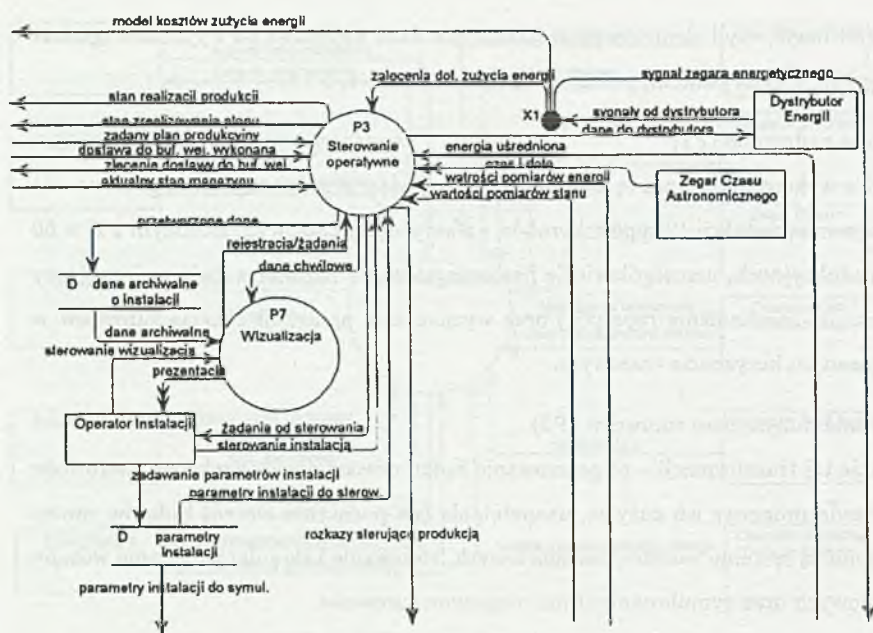
Funkcje realizowane przez transformację sterowania operatywnego dotyczą bieżących, szczegółowych zagadnień decyzyjnych związanych z realizacją procesu produkcji i są związane z realizacją algorytmu sterowania operatywnego oraz przetwarzania i rejestracji danych pomiarowych opisujących stan instalacji.

#### Symulacja linii produkcyjnej (P5)

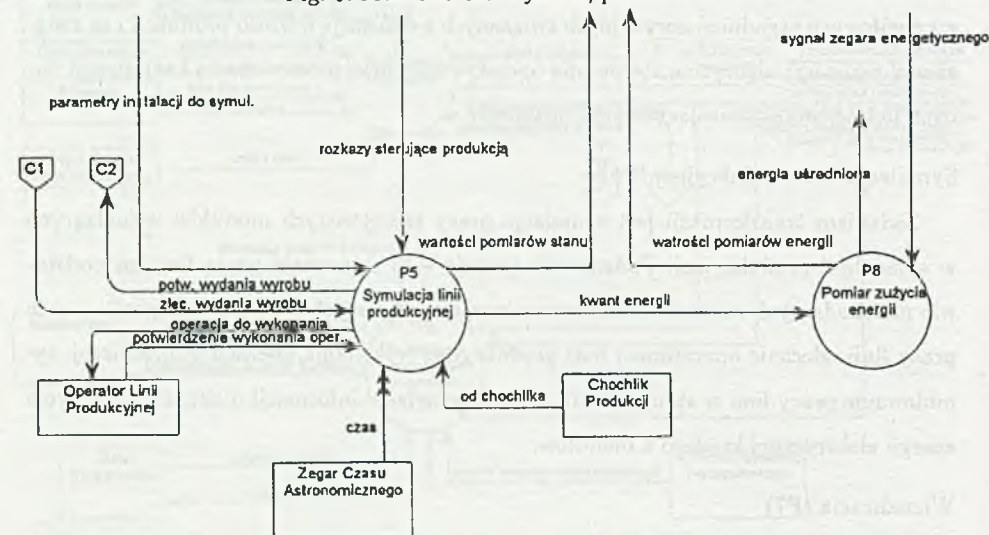
Zadaniem transformacji jest symulacja pracy rzeczywistych modułów wchodzących w skład linii produkcyjnej. Podstawowe funkcje – to sterowanie pracą linii na podstawie nadchodzących rozkazów, informowanie warstw wyższych o aktualnych parametrach pracy linii, zlecenie operatorowi linii produkcyjnej wykonania operacji pomocniczej, symulowanie pracy linii w stanie awarii, a także wysyłanie informacji o aktualnym zużyciu energii elektrycznej każdego z modułów.

#### Wizualizacja (P7)

Transformacja ta pełni funkcje wspomagające pracę operatorów instalacji, a jej podstawowym zadaniem jest graficzna prezentacja bieżącego stanu instalacji, sygnalizowanie stanów awaryjnych lub przekroczenia limitów oraz generowanie raportów. Dostępne dla operatora formy prezentacji to hierarchiczna mapa synoptyczna instalacji oraz forma ta-



Rys. 5. Model instalacji CIM, cz.2  
Fig. 5. Model of CIM system, part 2



Rys. 6. Model instalacji CIM, cz.3  
Fig. 6. Model of CIM system, part 3

belaryczna. Operator może obserwować ogólny schemat całej instalacji, szczegółowy obraz jednego, wybranego modułu produkcyjnego, albo obraz opisujący jeden z jego elementów.

#### Pomiar zużycia energii (P8)

Zadaniem tej transformacji jest zbieranie danych o zużyciu energii każdego z modułów, przetwarzanie tych danych i wyliczanie statystyk (dla każdego z modułów produkcyjnych zużycie minutowe i w kwadransach - pomiędzy dwoma sygnałami zewnętrznego zegara energetycznego).

#### Architektura sprzętowa

Struktura fizyczna realizowanej instalacji CIM jest przedstawiona na rys. 2. Budowany model instalacji CIM zawiera heterogeniczną sieć komputerową. Zróżnicowanie sieci pracujących na różnych poziomach komunikacyjnych systemu wynika z odmiennych warunków pracy i stawianych wymagań. Sieci miejscowe pracują (na ogół) na podstawie protokołu znacznikowego zgodnego z normą ISO 8802.4 (w projekcie sieć PROFIBUS oraz Arcnet). W tym projekcie łączą moduł warstwy sterowania operatywnego i wizualizacji (komputer PC z systemem operacyjnym QNX) z modulem zarządzania magazynem surowców, z modulem symulacji linii produkcyjnej (oba to komputery PC z systemem QNX) lub z modulem pomiaru zużycia energii elektrycznej (w projekcie inteligentny sterownik o nazwie Smart I/O pracujący pod kontrolą systemu OS/9).

Sieci lokalne pracują przeważnie wykorzystując protokół CSMA/CD zgodny z normą ISO 8802.3 (w projekcie Ethernet). Łączą one w naszym systemie moduły zarządzania i planowania produkcji (komputer PC pod kontrolą systemu Windows) ze wspomnianymi już modułami sterowania operatywnego, czy też zarządzania magazynem surowców. Sieci rozległe, stosowane w warstwie zarządzania, nie wykazują istotnej specyfiki w porównaniu z sieciami rozległymi ogólnego przeznaczenia. Stąd szeroko wykorzystywany jest tu zestaw protokołów TCP/IP.

#### LITERATURA

1. Toczyłowski E., Cyzio M., Krupa R., Maik K., Sikorski T., Walczak A., : Projekt modelu instalacji CIM realizującej funkcje sterowania operacyjnego i harmonogra-

- mowania produkcji w modelowym gnieździe produkcyjnym. Raport IAiIS Nr 96-7, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, Politechnika Warszawska.
2. Sikorski T., Toczyłowski E.: Struktura Systemu Sterowania i Zarządzania Laboratoryjnego Modelu Instalacji CIM. Raport IAiIS Nr 95-17, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, Politechnika Warszawska.
  3. Sacha K., Sikorski T., Toczyłowski E.: Opracowanie założeń budowy modelu instalacji CIM integrującej różnorodne platformy sprzętowo-programowe przy wykorzystaniu sieci LAN i przemysłowych sieci miejscowych. Raport IAiIS Nr 95-18, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, Politechnika Warszawska.
  4. Sacha K.: Projekt bramy Profibus – TCP/IP. Raport IAiIS Nr 96-4, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej, Politechnika Warszawska.
  5. Ward P.T., Mellor S.J.: Structured Development for Real-Time Systems, Volume 1, 2, 3. Yourdon Press, A Prentice-Hall Co., 1989.
  6. Yourdon E.: Modern Structured Analysis. Yourdon Press, A Prentice-Hall Co., 1989.

Recenzent: Prof. dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.06.1996 r.

### Abstract

The paper presents an implementation of a laboratory CIM system, which is being developed at the Warsaw University of Technology. The modelled production system is a complex manufacturing cell, which consists of a network of production modules. Modules may operate in a continuous, semi-continuous or batch mode and are arranged, in terms of work flow, in a combination of series and parallel. The model and the control structure does consider all detailed, realistic features and limitations of the production system, including storage buffers and materials handling limitations.

The production system produces a set of items, where item is described by two attributes: one pertaining to its processing requirements within a family of items, termed as the product attribute. The other attribute describes how various familie of items are related to one another. The second attribute is refered as the size of the family of items. The lot-size scheduling takes into account the setting of a facility from one family to another (*major changeovers*) and re-setting within a family (*minor changeovers*).

The functional and physical structure of the CIM system is analysed and the functional modules for modelling, monitoring, operational control, and production planning are described. The implementation of the functional modules is distributed on various computers (PCs and industrial computers with VME bus), operation systems (OS/9, QNX, MS Windows), and various communication protocols (Arcnet, Ethernet and Profibus). The Ward & Mellor methodology for structured development of real-time systems, which was applied in the project, is also described.