

Jerzy CYKLIS, Waldemar MAŁOPOLSKI  
Politechnika Krakowska

## STEROWANIE ESP W WARUNKACH STOPNIOWEGO ROZWOJU CIM

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono system sterowania ESP umożliwiającą stopniową integrację z otoczeniem podczas wprowadzania CIM'u. Prezentowane rozwiązanie pozwala na uwzględnianie w procesie sterowania informacji pochodzących z otoczenia, jak i z wnętrza ESP. Najistotniejszym problemem jest integracja sterowania ESP z całym systemem CIM. W artykule zaproponowano rozwiązanie tego problemu w oparciu o dodatkowe macierze stanu w modelu macierzowym.

## THE FMS CONTROL SYSTEM IN CIM DEVELOPMENT STEP BY STEP

**Summary.** The paper presents the FMS control system able to be integrated with the CIM environment implemented step by step. This solution can take into account, in process control, information from inside and outside of the FMS. The most important problem is integration the FMS control system with all CIM components. This paper presents FMS control system solution based on additional conditions matrix in matrix model.

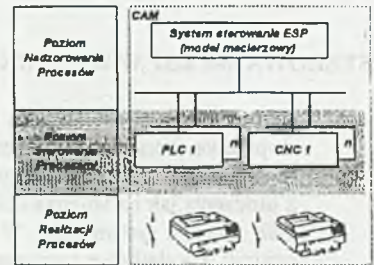
### 1. Wstęp

Wprowadzanie komputerowo zintegrowanego wytwarzania (CIM) w każdym systemie produkcyjnym wymaga odmiennych rozwiązań. Jest to związane z różnorodnością systemów wytwarzania. Ponadto zapewnienie ciągłości pracy i elastyczności systemu jest możliwe tylko w warunkach stopniowego rozwoju CIM'u („step by step”). Wprowadzanie CIM'u może rozpoczynać się w różnych obszarach działalności przedsiębiorstwa (firmy). Jest to uzależnione od konkretnych uwarunkowań i potrzeb. Najczęściej wprowadzanie CIM'u rozpoczyna się w obszarze wytwarzania (CAM). Prowadzi to bowiem do szybkiego podniesienia wydajności, jakości, elastyczności i do redukcji kosztów wytwarzania. Jest to jednak proces wieloetapowy. Szczególnie istotne jest zastosowanie w obszarze CAM odpowiedniego systemu sterowania ESP. Powinien on, poza spełnianiem swoich podstawowych zadań (sterowaniem), umożliwiać integrowanie informacji pojawiających się wokół systemu sterowania. Konieczność uwzględnienia nowych danych może być wynikiem

rozbudowy CIM'u lub też zmian w samym systemie wytwarzania. W artykule przedstawiono prace nad systemem sterowania ESP przygotowanym na wieloetapowy rozwój CIM'u.

### 1.1. Obecny stan rozwoju Systemu Sterowania ESP

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Krakowskiej został opracowany oryginalny System Sterowania ESP (rys. 1.) oparty na modelu macierzowym [1]. Zajmuje się on przydziałem zadań do poszczególnych obiektów systemu oraz nie dopuszcza do powstania blokad i kolizji w systemie. System ten został zastosowany do sterowania zmodernizowanym systemem CP TOR 1. Przeprowadzone próby wykazały, że system ten w pełni realizuje zadania przed nim stawiane. Dlatego celowe jest dalsze rozwijanie jego możliwości w aspekcie integracji z otoczeniem.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu sterowania ESP opartego na modelu macierzowym  
Fig. 1. Schema of FMS control system based on matrix model

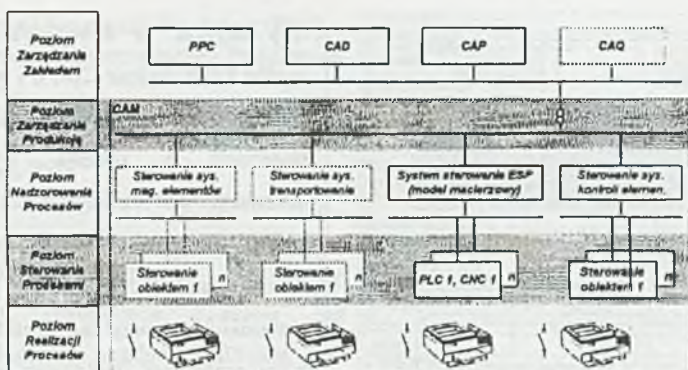
### 1.2. Kierunki dalszych prac nad Systemem Sterowania ESP

Kolejnym etapem prac jest umożliwienie integracji systemu sterowania z otoczeniem. Integracja ta polega na uwzględnianiu w procesie sterowania informacji występujących wokół systemu sterowania. Nadanie takich możliwości systemowi sterowania przyczyni się do jego elastyczności i umożliwi integrowanie informacji w trakcie dalszego stopniowego rozwoju. Celem prac jest zatem opracowanie takiego systemu sterowania ESP, który będzie posiadał możliwość:

- zarządzania zadaniami do wykonania,
- zarządzania programami do sterowników,
- sterowania wykonaniem zadań,
- przyjmowania informacji wewnętrznyśstemowych,
- przyjmowania informacji zewnętrznyśstemowych,
- współpracy z odpowiednią strukturą baz danych (z możliwością dalszego jej rozwoju),
- monitorowania stanu systemu i urządzeń.

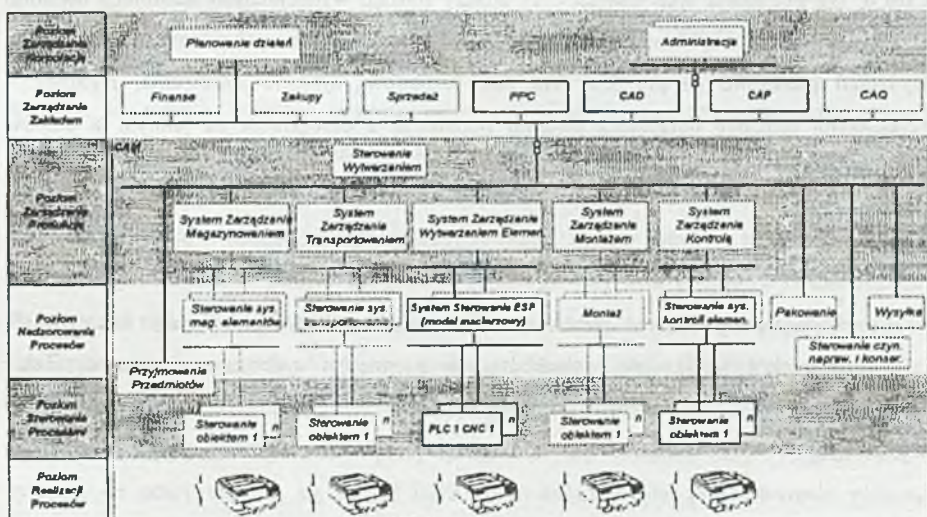
## 2. Analiza otoczenia i informacji występującej wokół ESP

Opracowanie systemu sterowania ESP przygotowanego do stopniowej integracji wymaga przeprowadzenia gruntownej analizy możliwości rozwoju otoczenia i rodzaju mogących się pojawić informacji. Ponieważ struktura organizacyjna CIM'u zależy od



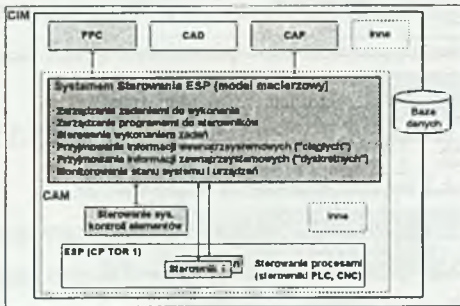
Rys. 2. Przykład struktury CIM'u  
Fig. 2. The example of CIM structure

konkretnych uwarunkowań (wielkości firmy, struktury organizacyjnej, stosowanych technologii itp.), nie jest możliwe stworzenie ogólnej uniwersalnej koncepcji CIM'u i wyspecyfikowanie wszystkich możliwych powiązań i wymienianych danych.



Rys. 3. Przykład struktury CIM'u na kolejnym etapie rozwoju  
Fig. 3. The example of CIM structure developed in next step

Dlatego konieczne jest stworzenie możliwości rozwoju systemu sterowania ESP i dostosowania go do aktualnie występujących potrzeb. Realizacja tego zadania wymaga posiadania ogólnych informacji o kolejnych etapach rozwoju CIM i możliwie dokładnej analizy wymienianych informacji.



Rys. 4. Połączenia systemu sterowania ESP z otoczeniem

Fig. 4. FMS control system connectivity with environment

przedstawionej na rysunku 2. Opierając się na analizie struktur CIM'u ustalono możliwe powiązania systemu sterowania ESP z innymi systemami mogącymi pojawić się w strukturze CIM'u. Na podstawie tych danych oraz analizy rodzaju wymienianych informacji ustalono wymagania stawiane systemowi sterowania ESP. Określenie możliwych powiązań i stawianych wymagań pozwoliło na podjęcie prac nad rozbudową systemu sterowania. Rysunek 4 przedstawia możliwe połączenia systemu sterowania z otoczeniem na jednym z etapów integracji.

### 3. Koncepcja integracji Systemu Sterowania z otoczeniem

Opracowany system sterowania ESP musi posiadać możliwość integrowania informacji wokół siebie, jak i pochodzących z wnętrza systemu wytwarzania. Takie rozwiązanie pozwala na stopniowy rozwój CIM'u i rozbudowę lub modyfikację systemu wytwarzania.

#### 3.1. Integracja informacji zewnętrznych

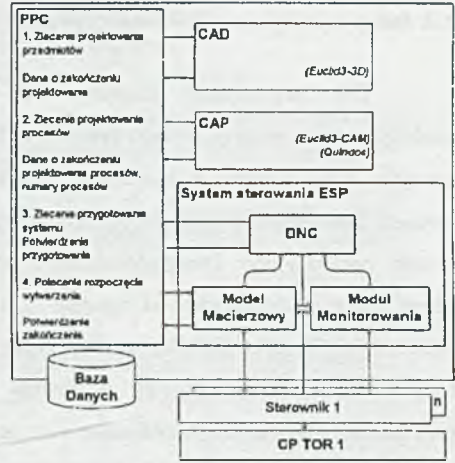
Podstawowym celem tej integracji jest uwzględnianie w procesie sterowania informacji przychodzących z zewnątrz do ESP, jak i udostępnianie danych potrzebnych innym systemom. Na podstawie powiązań systemu sterowania pokazanych na rysunku 4 zaproponowana została struktura organizacyjna (rys.5.), będąca kolejnym etapem rozwoju CIM'u w ITMiAP. Zawiera ona następujące moduły:

Aby uzyskać te dane, przeprowadzono analizę kilku struktur CIM'u i na jej podstawie określono możliwe powiązania między systemami i rodzaje wymienianych informacji. Jest to istotne dla ustalenia, z jakimi systemami może wymieniać dane system sterowania ESP. Na rys.2 przedstawiono przykład struktury CIM'u, która może być zbudowana na jednym z etapów rozwoju. Rys.3 przedstawia bardziej złożoną strukturę CIM'u, która może być kolejnym etapem rozwoju w stosunku do

- Planowania i Sterowania Produkcją (PPC).
- Komputerowo Wspomagane Projektowanie (CAD).
- Komputerowo Wspomagane Planowanie (CAP).
- Sterowania ESP.
- Baza danych integrująca wszystkie moduły.

Koordinacją pracy systemów zajmuje się moduł PPC (*Production Planning and Control*). Zadaniem modułu CAD jest projektowanie przedmiotów i przygotowanie danych dla systemu CAP (*Computer Aided Planning*). Opracowanie procesu technologicznego i wszystkich danych potrzebnych do

sterowania systemem wytwarzania jest realizowane w module CAP. Wszystkie te dane są zapisywane w bazie danych, która jest elementem integrującym wszystkie systemy. Umożliwia to korzystanie z danych, w miarę potrzeb, przez inne moduły pracujące w CIM'ie. Takie rozwiązanie umożliwia swobodne korzystanie z potrzebnych danych przez kolejno dołączane moduły. Z punktu widzenia systemu sterowania ESP istotne jest otrzymanie danych potrzebnych do sterowania dla modelu macierzowego. Podstawowymi danymi dla niego są dwa pliki, zawierające całą logikę sterowania systemem wytwarzania. Pliki te zawierają między innymi informację o kolejności wykonywanych zadań. Inaczej mówiąc, pliki te są zapisem procesu wytwarzania w danym systemie. Dotychczas były one przygotowywane ręcznie. Prowadzone są obecnie prace nad automatyzacją generowania danych wejściowych do modelu macierzowego na podstawie określonego procesu technologicznego [2]. Wszystkie te dane są zapisane w bazie. Aby model macierzowy mógł sterować systemem wytwarzania, należy uprzednio przygotować system do pracy (programy NC, narzędzia itd.). Przygotowaniem systemu do pracy zajmuje się moduł DNC. Jego zadaniem jest przygotowanie systemu, dostarczenie programów NC oraz danych dla modelu macierzowego. Po tych przygotowaniach moduł PPC może wydać polecenie rozpoczęcia wytwarzania dla ESP. Takie rozwiązanie pozwala na integrację systemu sterowania ESP z innymi modułami. Istotne jest tylko przygotowanie danych dla systemu sterowania, samego systemu wytwarzania i otrzymanie polecenia rozpoczęcia działania.



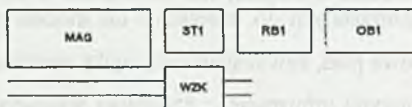
Rys. 5. Struktura organizacyjna CIM'u

Fig. 5. The CIM organisational structure

### 3.2. Integracja informacji wewnątrzsystemowych

Dla poprawnego działania ESP konieczne jest uwzględnianie informacji pochodzących z wnętrza samego systemu wytwarzania. Informacje o awariach lub o zużyciu narzędzi mają zasadnicze znaczenie dla działania systemu wytwarzania. Konieczne jest również udostępnianie potrzebnych informacji innym systemom. Przykładem może tu być system narzędziowy. Uwzględnianiem i udostępnianiem informacji zajmuje się Moduł Monitorowania zaznaczony na rysunku 5. Komunikuje się z nim bezpośrednio model macierzowy. W celu przedstawienia metody uwzględniania informacji wewnątrzsystemowej rozpatrzono system z rysunku 6. System ten działa w sposób następujący. Palety z przedmiotami do obróbki są pobierane z magazynu (MAG) na wózek (WZK) i przewożone na stół (ST1). Następnie robot (RB1) pobiera przedmioty ze stołu (ST1), podaje na obrabiarkę (OB1) i odkłada po obróbce. Po zakończeniu obróbki paleta z przedmiotami jest odwożona przez wózek do magazynu. Metoda sterowania tym systemem za pomocą modelu macierzowego jest następująca. Każdemu obiektowi systemu jest przyporządkowywany kolejny numer  $k=1,2,\dots,K$ . Czynności wykonywane przez obiekty systemu tworzą zbiór czynności elementarnych i są im przyporządkowane numery  $j=1,2,\dots,J$ .

Model macierzowy na każdym etapie funkcjonowania ESP wyznacza wszystkie czynności, których rozpoczęcie jest możliwe ze względu na dostępność wszystkich niezbędnych obiektów. Decyzje o kolejności rozpoczynania czynności określają względy taktyczne. O możliwości rozpoczęcia czynności na etapie  $i$



Rys. 6. Przykład systemu wytwarzania  
Fig. 6. Example of manufacturing system

decyduje macierz stanu  $S(i)$ . Określa ona różnicę pomiędzy liczbą obiektów gotowych do rozpoczęcia czynności i liczbą obiektów w niej używanych. Czynność  $j$  na etapie  $i$  można rozpocząć, jeżeli spełniony jest warunek:  $\bigwedge_{k \in E} S_{i,k} \geq 0$ , gdzie  $E$  jest zbiorem obiektów w systemie. Inaczej mówiąc, czynność może się rozpocząć, jeżeli wszystkie obiekty w niej uczestniczące są do niej gotowe. Na rysunku 7 przedstawiono macierz stanu dla opisanego powyżej systemu. Opisane czynności mają następujące znaczenie:

- |                  |   |
|------------------|---|
| 1. PAL1; MAG→WZK | pobranie palety z magazynu na wózek,        |
| 2. WZK→ST1       | przejazd wózka do stołu,                    |
| 3. PAL1; WZK→ST1 | pobranie palety z wózka na stół,            |
| 4. PO1; ST1→OB1  | pobranie przedmiotu ze stołu na obrabiarkę, |
| 5. PO1; OB1*     | obróbka przedmiotu na obrabiarkę,           |
| 6. PO1; OB1→ST1  | oddanie przedmiotu z obrabiarki na stół,    |

7. PAL1;ST1→WZK      oddanie palety ze stołu na wózek,  
 8. WZK→MAG            przejazd wózka do magazynu,  
 9. PAL1;WZK→MAG      oddanie palety z wózka do magazynu.

Na danym etapie działania systemu mogą rozpocząć się tylko dwie czynności  $j=1,5$ .

OBIEKTY→ CZYNNOSCI↓	j \ k	MAG	WZK	ST1	RB1	OB1	PAL1	PO1
		1	2	3	4	5	6	7
PAL1; MAG→WZK	1	1	1	0	0	0	-1	0
WZK→ST1	2	0	-1	-1	0	0	-1	0
PAL1;WZK→ST1	3	0	-1	-1	0	0	-1	0
PO1;ST1→OB1	4	0	0	1	1	-1	0	-1
PO1;OB1*	5	0	0	0	0	1	0	1
PO1;OB1→ST1	6	0	0	-1	1	-1	0	-1
PAL1;ST1→WZK	7	0	-1	-1	0	0	-1	0
WZK→MAG	8	1	-1	0	0	0	-1	0
PAL1;WZK→MAG	9	1	-1	0	0	0	-1	0

Rys. 7. Macierz stanu  $S(i)$

Fig. 7. State matrix  $S(i)$

Jest to możliwe, gdyż wszystkie obiekty biorące w nich udział są gotowe. Przy podejmowaniu decyzji o rozpoczęciu czynności należy uwzględnić informacje pochodzące z wnętrza systemu wytwarzania. Można do nich zaliczyć dane o sprawności technicznej obiektów systemu, jak i o poprawności przebiegu procesu wytwarzania. Realizacja tego zadania była przedstawiona jako jeden z celów prac nad integracją systemu sterowania ESP z otoczeniem. Rozwiązanie tego problemu polega na wprowadzeniu macierzy stanów lokalnych. Uzależnia ona możliwość rozpoczęcia czynności od sprawności technicznej obiektów systemu.

Rysunek 8 przedstawia macierz stanów lokalnych dla rozpatrywanego systemu.

OBIEKTY→ CZYNNOSCI↓	j \ k	Goto wość	MAG	WZK	ST1	RB1	OB1	PAL1	PO1
			1	2	3	4	5	6	7
PAL1; MAG→WZK	1	1	1	1				1	
WZK→ST1	2	1		1	1			1	
PAL1;WZK→ST1	3	1		1	1			1	
PO1;ST1→OB1	4	1			1	1	-1		1
PO1;OB1*	5	-1					-1		1
PO1;OB1→ST1	6	1			1	1	1		1
PAL1;ST1→WZK	7	1		1	1			1	
WZK→MAG	8	1	1	1				1	
PAL1;WZK→MAG	9	1	1	1				1	

Rys. 8. Macierz stanów lokalnych

Fig. 8. Local state matrix

Kolumna „Gotowość” określa, które czynności mogą być wykonane ze względu na stan

obiektów systemu. Model macierzowy po wybraniu na etapie  $i$  czynności  $j=1$  i  $5$  z macierzy stanu  $S(i)$  sprawdza, czy macierz stanów lokalnych pozwala na ich wykonanie. W przypadku pokazanym na rys.8 czynność  $j=5$  nie może być wykonana ze względu na niesprawność obrabiarki OB1. Wartość „-1” w polu obrabiarki dla tej czynności jest wynikiem iloczynu logicznego wartości określających gotowość elementów wchodzących w jej skład (np. brak narzędzia). Ze względów taktycznych pojawia się -1 również w kolumnie obrabiarki dla czynności nr 4. Jest to realizowane w celu zablokowania wykonywania czynności, dla których uszkodzenie obrabiarki blokuje możliwość dalszej realizacji procesu.

Wartości opisujące stan systemu wytwarzania są zapisywane w bazie danych. Wielkość bazy i rodzaj uwzględnianych informacji zależy od aktualnych potrzeb i może być w miarę wymagań zwiększana. Dowolne warunki logiczne z systemu rozbudowywanego metodą „step by step” mogą być wprowadzane do macierzy stanów lokalnych. O celowości ich wprowadzania decyduje projektant CIM na podstawie wiedzy o jego działaniu. W trakcie eksploatacji systemu wiedza ta jest wzbogacana, a macierz stanów lokalnych modyfikowana. Umożliwia to stopniową integrację systemu sterowania ESP z otoczeniem w trakcie rozwoju jego softweru.

#### 4. Podsumowanie

Wprowadzanie komputerowo zintegrowanego wytwarzania (CIM) ze względów ekonomicznych i technicznych musi być realizowane etapowo. Powoduje to konieczność stosowania takich rozwiązań w zakresie sterowania ESP, które pozwalają na stopniową integrację tego systemu z otoczeniem.

Zadanie to spełnia rozwiązanie systemu sterowania oparte na modelu macierzowym, opracowane w ITMiAP. Pozwala ono na integrację z innymi modułami wchodzącymi w skład CIM'u wprowadzanymi na kolejnych etapach rozwoju. Umożliwia ono również integrację informacji pochodzących z wnętrza systemu wytwarzania. Ważne jest również to, że zapisanie danych w bazie pozwala na korzystanie z nich innym systemom (np. systemowi narzędziowemu, systemowi doboru warunków skrawania).

#### LITERATURA

1. Cyklis J., Pierzchała W.: Taktyka sterowania ESP w oparciu o model macierzowy. ZN Politechniki Śląskiej. s. Automatyka, z. 110, 1992, s. 33-43.



2. Cyklis J., Krupa K.: Algorytmizacja uzyskiwania modelu sterowania ESP, ZN Politechniki Śląskiej, 1996.
3. Cyklis J., Pierzchała W.: Modelowanie procesów dyskretnych w elastycznych systemach produkcyjnych, monografia, Politechnika Krakowska, Kraków 1995.
4. CIM: A Management Perspektive, Published by Siemens Aktiengesellschaft, Berlin and Munich 1990.

Recenzent: Dr hab.inż. Jan Kałuski, prof. Pol.Śl.

Wpłynęło do Redakcji do 30.06.1996 r.

### Abstract

The CIM implementation, preferred in ITMiAP, is possible in step by step method. The most important is the integration information on FMS control level. The paper presents the control system able to be integrated step by step. This solution can take into account, in process control, information from inside and outside of the FMS. For integration information from outside of the FMS it is necessary to prepare needed data for the control system and set a method making decisions concerning manufacturing orders. Other components of CIM have to be also able to take needed information from this system. In this solution, all data are stored in the database.

For inside information integration with FMS control system an additional conditions matrix has been used. This matrix includes data concerning the state of objects in FMS.

Presented solution of the control system is able to integrate step by step with environment in the CIM.