

***Systemy produkcyjne
komputerowo zintegrowane***



Spis treści

Komputerowy system sterowania

Sterowniki przemysłowe:

- budowa sterownika,

- zastosowania sterowników

 - programowanie sterowników

- środki techniczne połączenia z obiektem

Sieci przemysłowe – Profibus, Profinet

Spis treści

Projektowanie komputerowego sterowania systemach produkcyjnych

Elastyczne Systemy Produkcyjne – definicja, elementy składowe

Harmonogramowanie

Szeregowanie zadań

Algorytmy optymalizacji

kryteria optymalizacji – funkcje celu

modele systemów

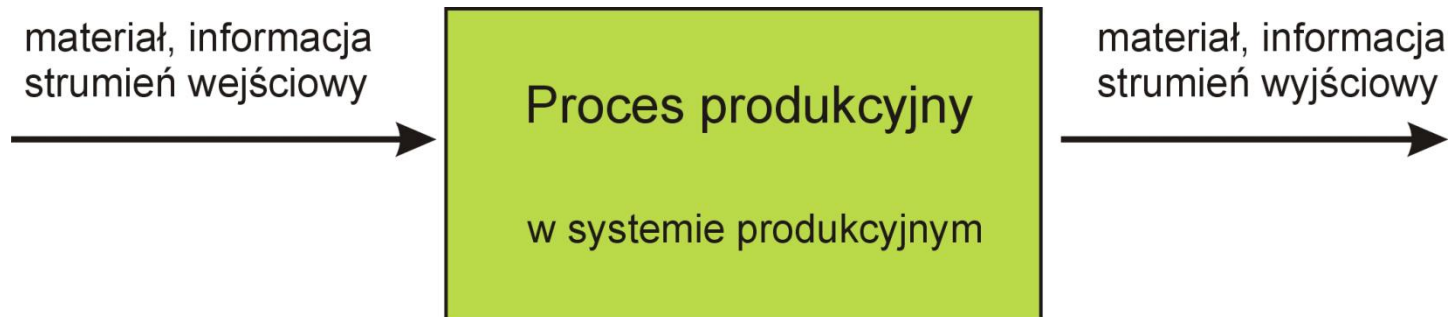


Komputerowy system sterowania...

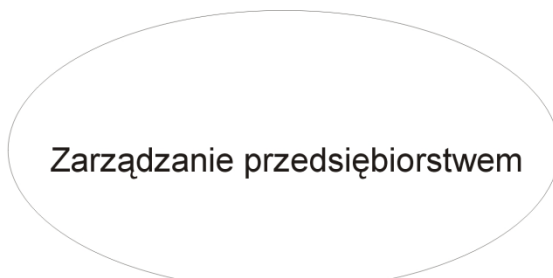
Proces produkcyjny - proces, w którym jego fizyczne parametry są przetwarzane (zmieniane) w oparciu o dostępne techniczne środki.

Automatyczny system, w którym proces techniczny (technologiczny) dotyczy pojedynczego urządzenia (system wbudowany).

Automatyczny system, w którym technologiczny proces składa się z wielu procesów składowych związanych z poszczególnymi elementami systemu Produkcyjnego.



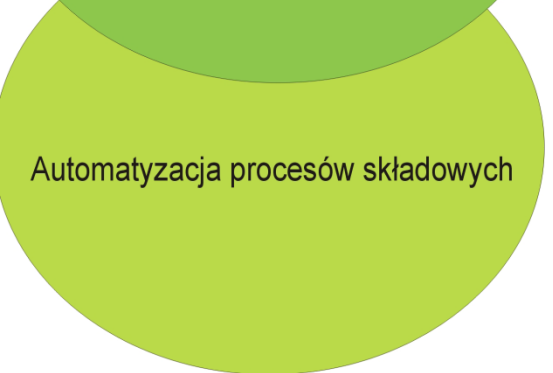
Komputerowy system sterowania...



Badanie rynku
Analiza kosztów
Analiza zatrudnienia



Struktura systemu (zasoby, procesy)
Planowanie sekwencji operacji,
Analiza jakościowa systemu
Optymalizacja pojemności
Algorytmy szeregowania

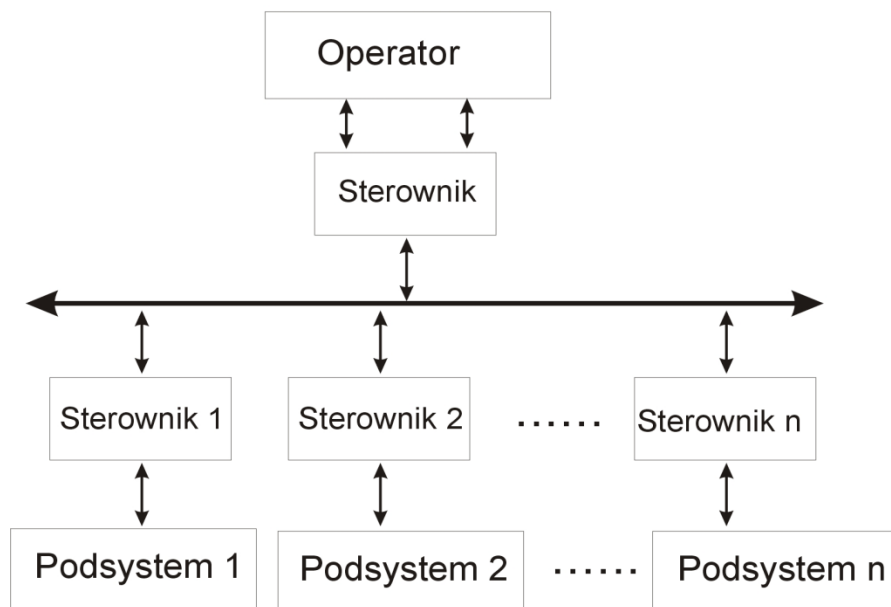
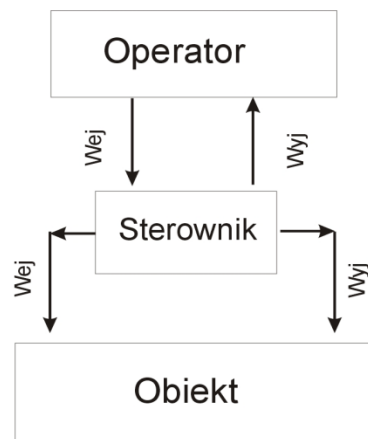


Sterowanie i monitorowanie przebiegiem procesów
(system czasu rzeczywistego)
analiza jakościowa systemu
algorytmy szeregowania

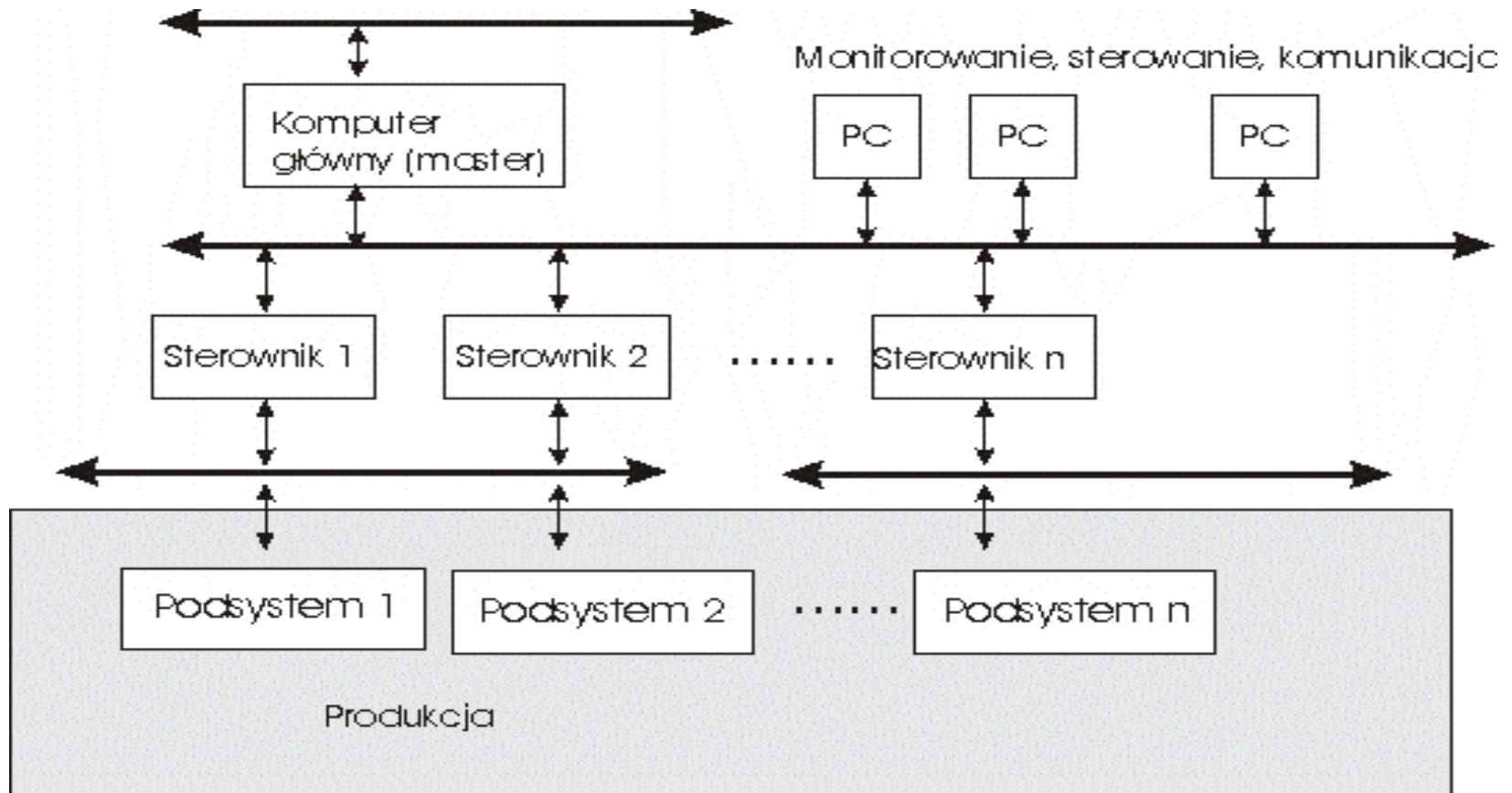
Sterowanie, regulacja, pomiary,

Komputerowy system sterowania...

Przykłady struktur systemów, w których sterowanie jest oparte na sterownikach (PLC)



Komputerowe sterowanie w systemach...

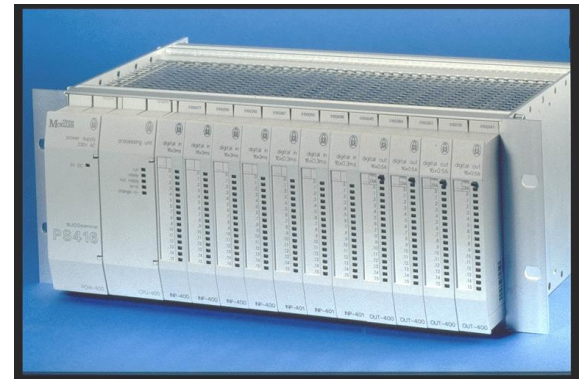


Przykład komputerowo sterowanego systemu produkcyjnego

Komputerowe sterowanie w systemach...

Przykłady komputerów stosowanych w systemach sterowania

Sterownik PLC (Programmable logic controller)



Komputerowe sterowanie w systemach...

Przykłady komputerów stosowanych w systemach sterowania

Microkontroler (Micro controller)



Komputer osobisty (PC)

Przemysłowy komputer osobisty
(Industrial Personal Computer (IPC))



Komputerowe sterowanie w systemach...

Przykłady komputerów stosowanych w systemach sterowania

Panel operatorski

WinCC(Windows ControlCenter) jest
zaawansowanym systemem HMI

(HumanMachineInterface),

tzn. interfejs pomiędzy człowiekiem (operator),

a maszyną (proces).



Komputerowe sterowanie w systemach...

Sterowniki - komunikacja (połączenie) pomiędzy komputerem, a sterownikiem.



Karta CP5512



Adapter komputerowy

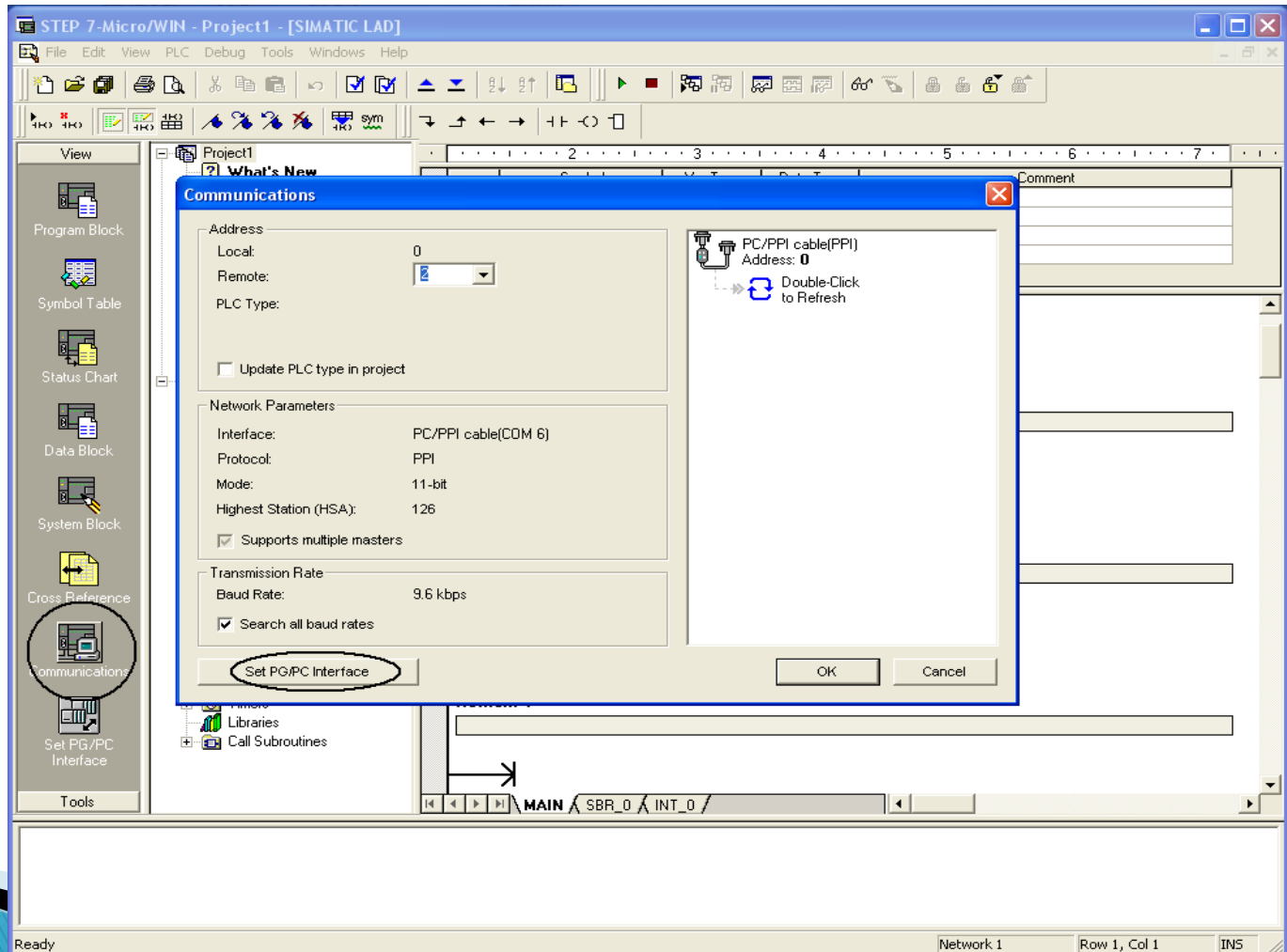


Kabel Ethernetowy

Komputerowe sterowanie w systemach...

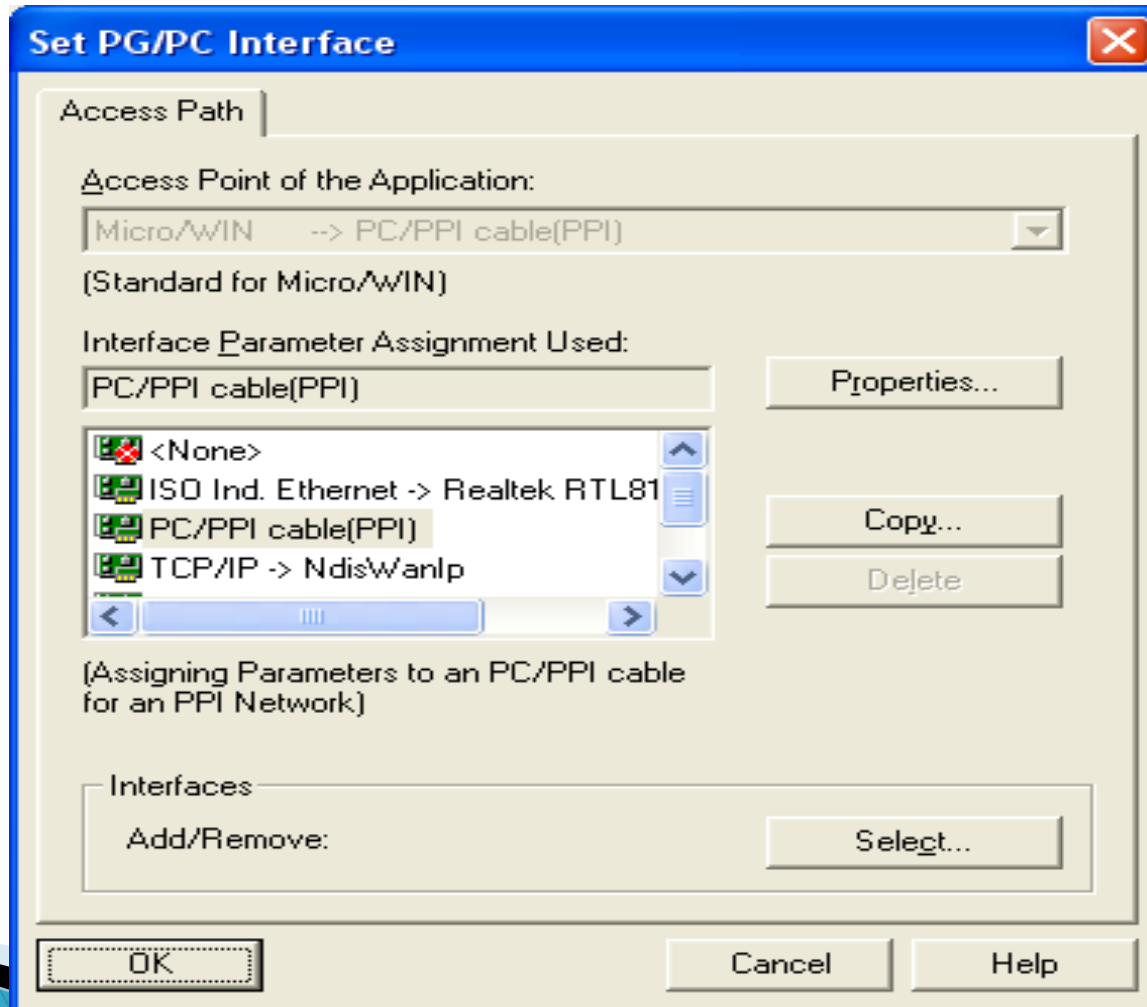
Sterowniki – przykładowe etapy połączenia sterownika w programie Step7.

Etap1. *Ikona Communications -> Set PG/PC Interface,*



Komputerowe sterowanie w systemach...

Etap 2- Połączenie jest realizowane za pomocą kabla RS232. Wybieramy połączenie poprzez *PC/PPI cable (PPI)* -> naciskamy *Properties*.



Komputerowe sterowanie w systemach...

Etap 3 – Wybór parametrów połączenia

Properties - PC/PPI cable(PPI)

PPI | Local Connection

Station Parameters

Address: []

Timeout: 1 s

Network Parameters

Advanced PPI

Multiple master network

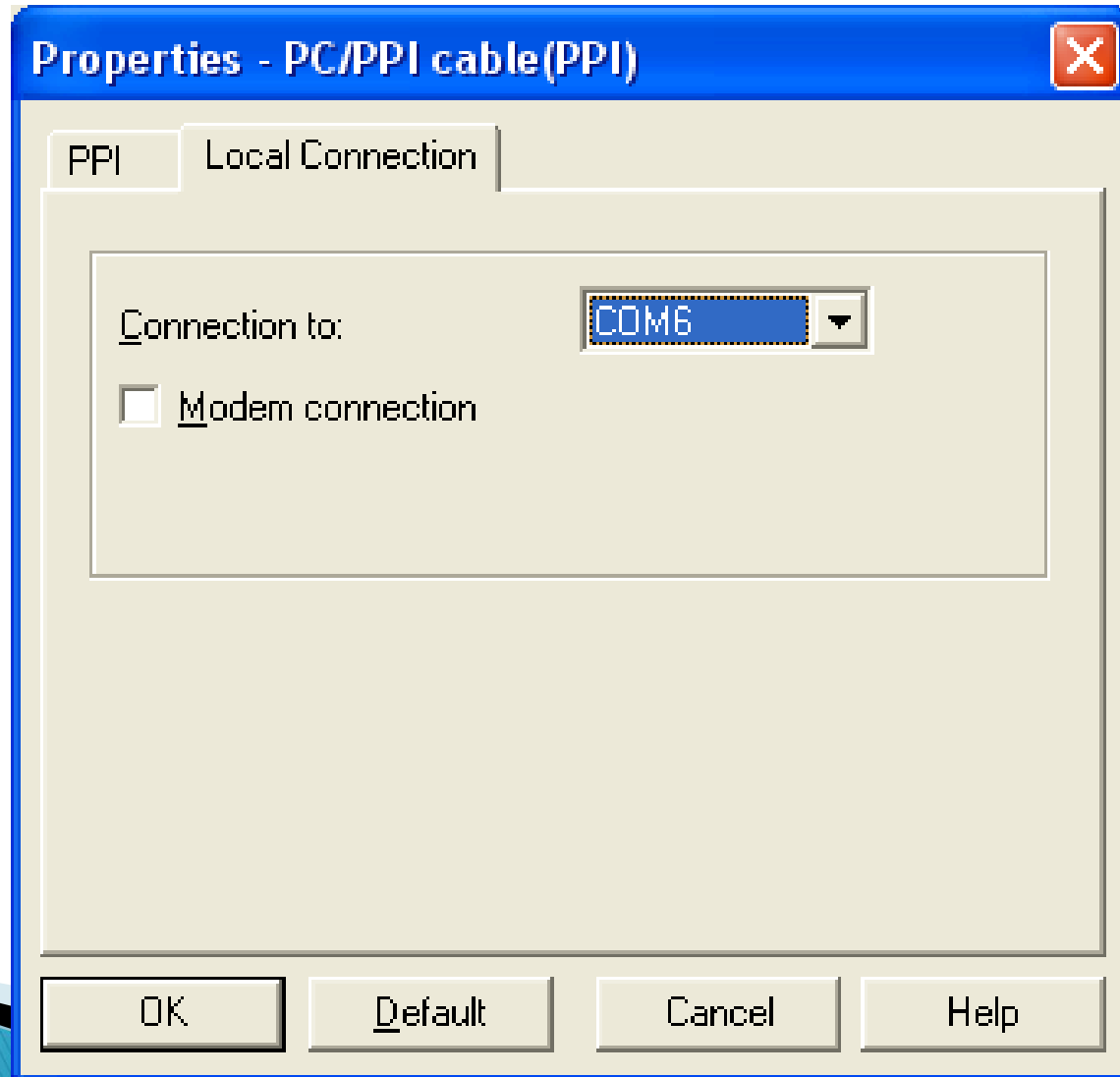
Transmission rate: 9.6 kbps

Highest station address: 126

OK | Default | Cancel | Help

Komputerowe sterowanie w systemach...

Etap 4 – wybór portu COM w celu połączenia komputera ze sterownikiem



Komputerowe sterowanie w systemach...

Etap 5 – wybór sterownika

Communications

Address

Local: 0

Remote: 2

PLC Type: CPU 226 REL 01.23

Update PLC type in project

Network Parameters

Interface: PC/PPI cable(COM 6)

Protocol: PPI

Mode: 11-bit

Highest Station (HSA): 126

Supports multiple masters

Transmission Rate

Baud Rate: 9.6 kbps

Search all baud rates

PC/PPI cable(PPI)
Address: 0

CPU 226 REL 01.23
Address: 2, 9.6 kbps

Double-Click to Refresh

Set PG/PC Interface OK Cancel

Komputerowe sterowanie w systemach...

Pierwsze kroki w Step7 - MicroWin.

- ✓ wybór języka programowania – np. schemat drabinkowy LAD.
- ✓ wprowadzenie danego schematu drabinkowego programu głównego (MAIN) oraz opcjonalnie podprogramów (SBR) i obsługi przerw (INT).
- ✓ przetłumaczenie na język wewnętrzny sterownika w PLC/Compile lub
- ✓ PLC/Compile All – uwaga: nie jest to jednak konieczne ponieważ sterownik sam wykona tę operację przy próbie przesłania programu do jego pamięci.
- ✓ załadowanie programu do sterownika - File/Download

Komputerowe sterowanie w systemach...

Pierwsze kroki w Step7 – MicroWin – okno projektu

The screenshot displays the STEP 7-Micro/WIN software interface for a project named "Project1 - [SIMATIC LAD]". The interface is divided into several main sections:

- View Panel (Left):** Contains icons for various project components: Program Block, Symbol Table, Status Chart, Data Block, System Block, Cross Reference, Communications, and Set PG/PC Interface.
- Project Tree (Left):** A hierarchical tree view showing the project structure. Under "Project1", there is a "What's New" section with items like CPU 226 REL 01.23, Program Block, Symbol Table, Status Chart, Data Block, System Block, Cross Reference, Communications, and Wizards. Below this is an "Instructions" section with a list of available instructions such as Favorites, Bit Logic, Clock, Communications, Compare, Convert, Counters, Floating-Point Math, Integer Math, Interrupt, Logical Operations, Move, Program Control, Shift/Rotate, String, Table, Timers, Libraries, and Call Subroutines.
- Variable Declaration Table (Top Right):** A table with columns for Symbol, Var Type, Data Type, and Comment. It contains four rows, all with "TEMP" in the Var Type and Data Type columns.

Symbol	Var Type	Data Type	Comment
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		
	TEMP		
- Network Editor (Main Area):** Displays a ladder logic network editor with four networks. Network 1 is selected and shows a "Network Comment" field and a single rung with a right-pointing arrow. Networks 2, 3, and 4 are also visible, each with a right-pointing arrow on the first rung.
- Status Bar (Bottom):** Shows the current network and row information: "MAIN \ SBR_0 \ INT_0 /" and "Network 1 Row 1, Col 1 INS".

Komputerowe sterowanie w systemach...

Zakresy i obszary pamięci dla przykładowego sterownika S7-200.

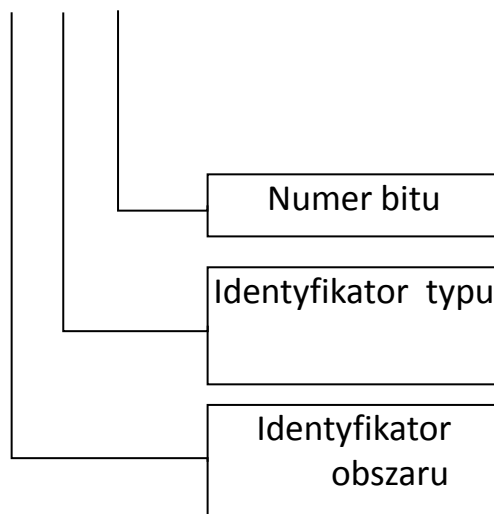
Identyfikator	Obszar pamięci	Zakres (BITY)
V	Zmienne	0.0-1023.7
I	Wejścia (Inputs)	0.0-7.7
Q	Wyjścia (Outputs)	0.0-7.7
M	Pamięć wewnętrzna	0.0-15.7
SM	Bity specjalne	0.0-45.7
T	Elementy czasowe	0-63
C	Liczniki	0-63
S	Przełączniki sterowania sekwencyjnego	0.0-7.7
AI	Wejścia analogowe	0-30
AQ	Wyjścia analogowe	0-30
AC	Akumulatory	0-3

Komputerowe sterowanie w systemach...

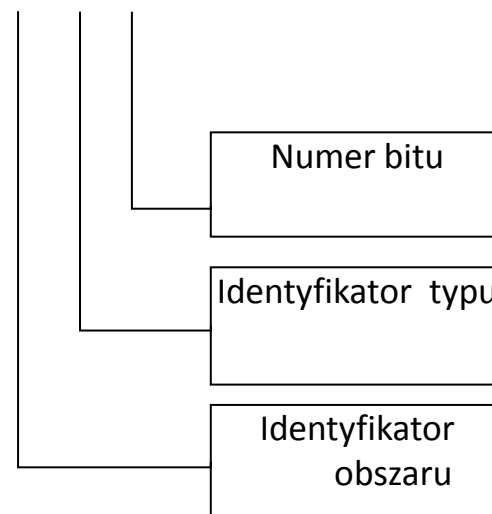
Adresowanie bitów, bajtów, słów i podwójnych słów

Procedury zapisu danych - struktura adresu bitu

I 0.0

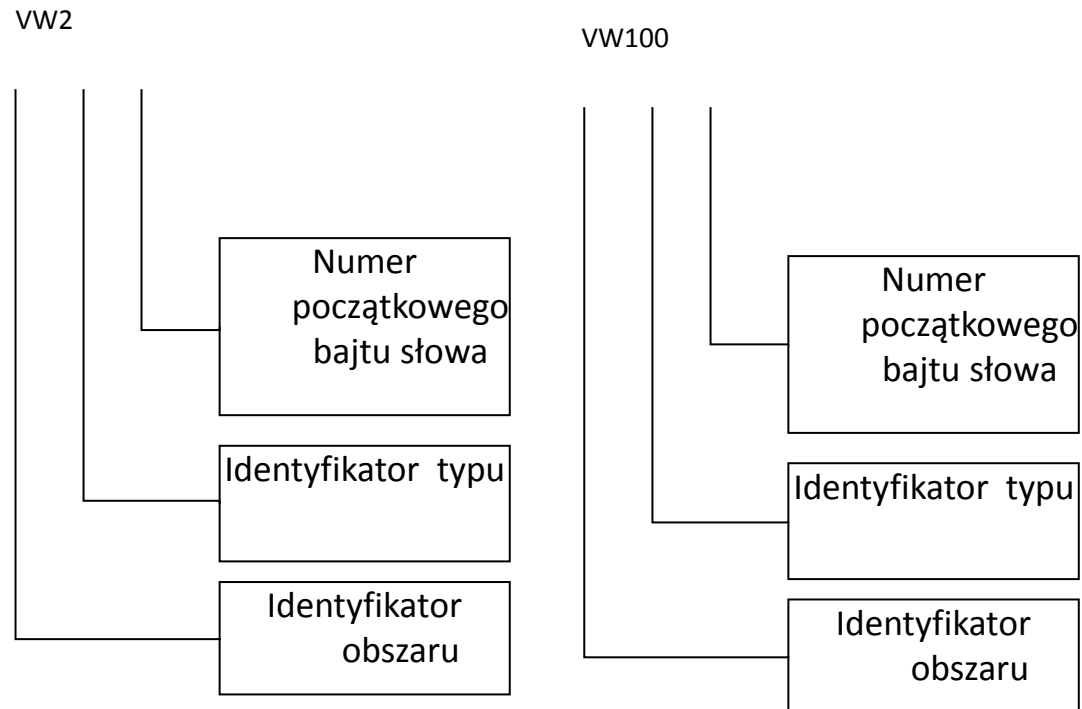


M 1.3



Komputerowe sterowanie w systemach...

Procedury zapisu danych - struktura adresu słowa



Komputerowe sterowanie w systemach...

Sterowniki – programowanie – języki programowania

LAD (Ladder Logic) – zapis drabinkowy;

STL (Statement List) – listy instrukcji;

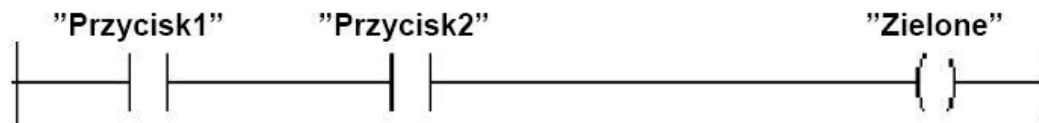
FBD (Function Block Diagram) – bloki logiczne;

Komputerowe sterowanie w systemach...

Przykład programu

Dane są dwa przyciski (Przycisk1 i Przycisk2) oraz lampka świecąca na zielono (Zielone). Wciśnięcie obydwu przycisków spowoduje zaświecenie się lampki.

LAD (schemat drabinkowy)



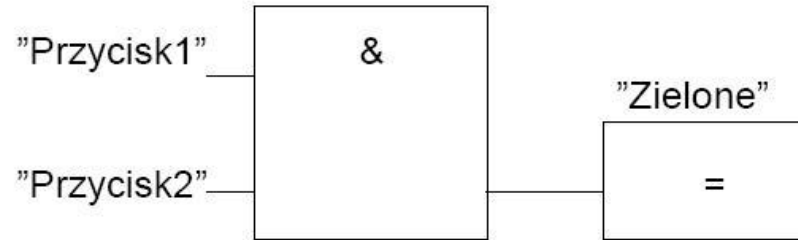
STL (lista instrukcji)

```
A    "Przycisk1"  
A    "Przycisk2"  
=    "Zielone"
```

Komputerowe sterowanie w systemach...

Przykład programu

FBD (bloki logiczne)



Adresowanie symboliczne, a absolutne (STL):

Symboliczne:

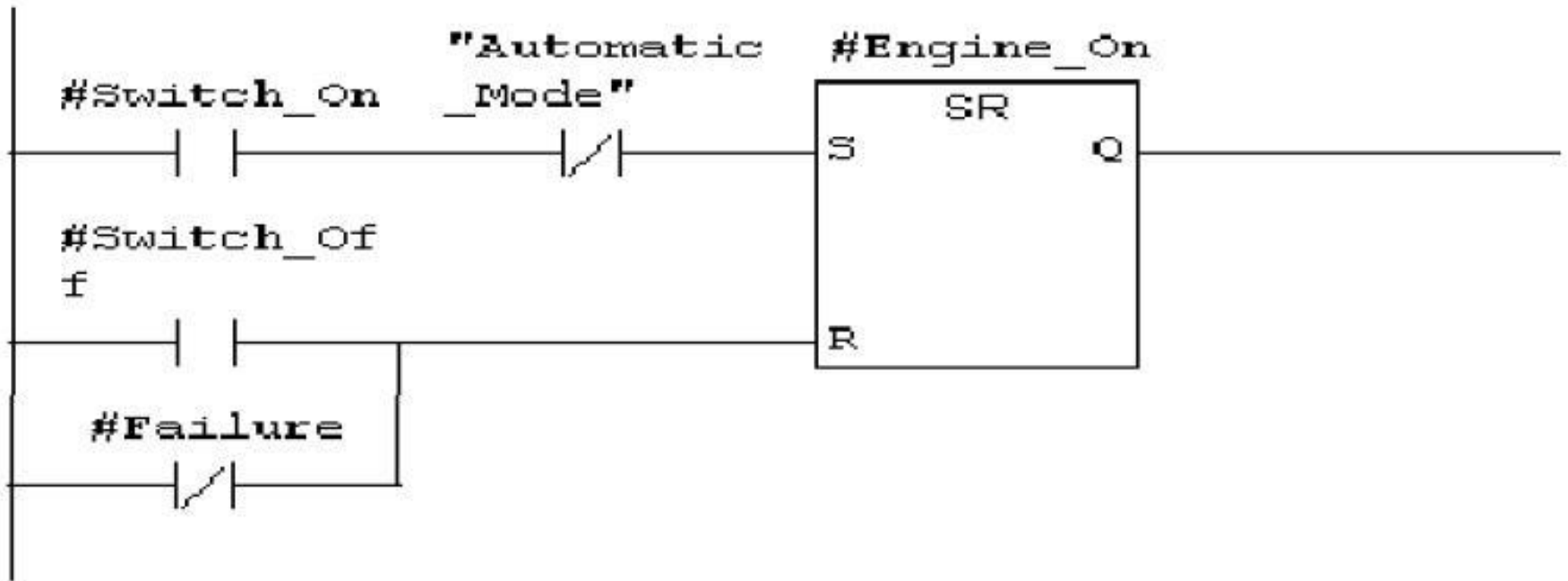
A	„Przycisk1”
A	„Przycisk2”
=	„Zielone_Swiatlo”

Absolutne:

A	I	0.1
A	I	0.2
=	Q	4.0

Komputerowe sterowanie w systemach...

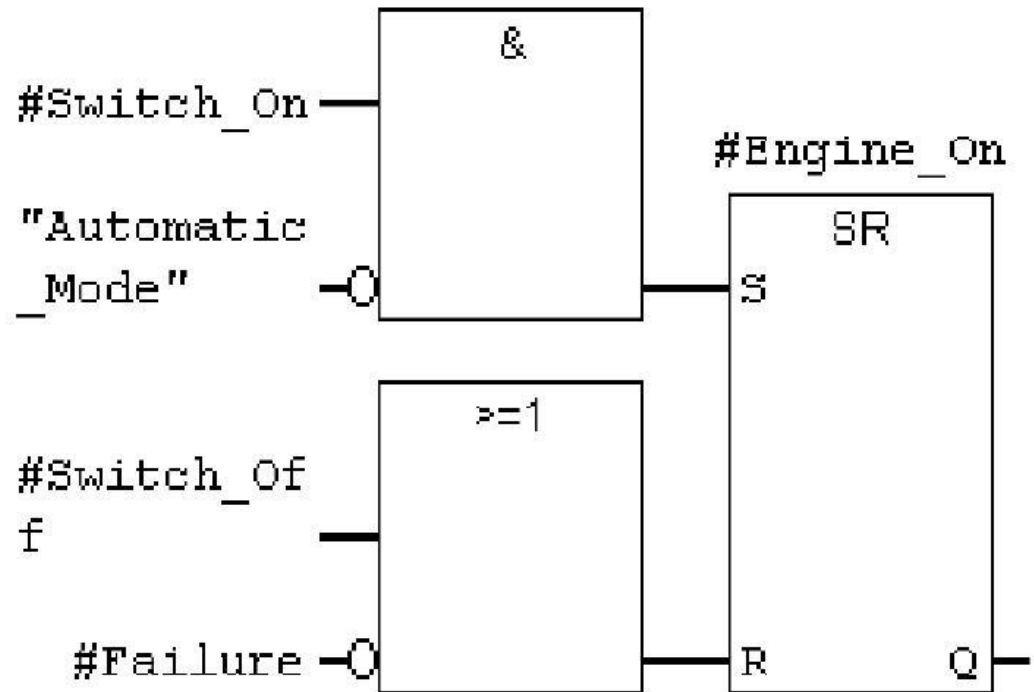
Przykład programu - Program załączania i wyłączania silnika



Komputerowe sterowanie w systemach...

Przykład programu - Program załączania i wyłączania silnika

```
A      #Switch_On
AN     "Automatic_Mode"
S      #Engine_On
O      #Switch_Off
ON     #Failure
R      #Engine_On
```



Komputerowe sterowanie w systemach...

Przykład programu – Sterowanie windą

Obiektem sterowanym jest winda 5-poziomowa

Opis warunków przejścia algorytmu sterowania

SYMBOL

TREŚĆ

Warunek 1 - Wciśnij przyciski P_1.

Warunek 2 - Czy jest osiągnięty poziom 1?

Warunek 3 - Wciśnij przyciski P_5.

Warunek 4 - Czy jest osiągnięty poziom 5?

Opis algorytmu sterowania. Wciśnięcie przycisku P_1 powoduje sprawdzenie na którym piętrze jest winda. Jeżeli nie jest na poziomie 1, to zjeżdża w dół. Następnie naciskamy przycisk P_5 (jeżeli winda nie jest na poziomie 1 - przycisk P_5 nie jest aktywny) winda jedzie w górę na piąte piętro, zatrzymując się dopiero na ostatnim. Po wciśnięciu przycisku zapala się odpowiednia lampka, która gaśnie, gdy winda się zatrzyma na wywołanym piętrze.

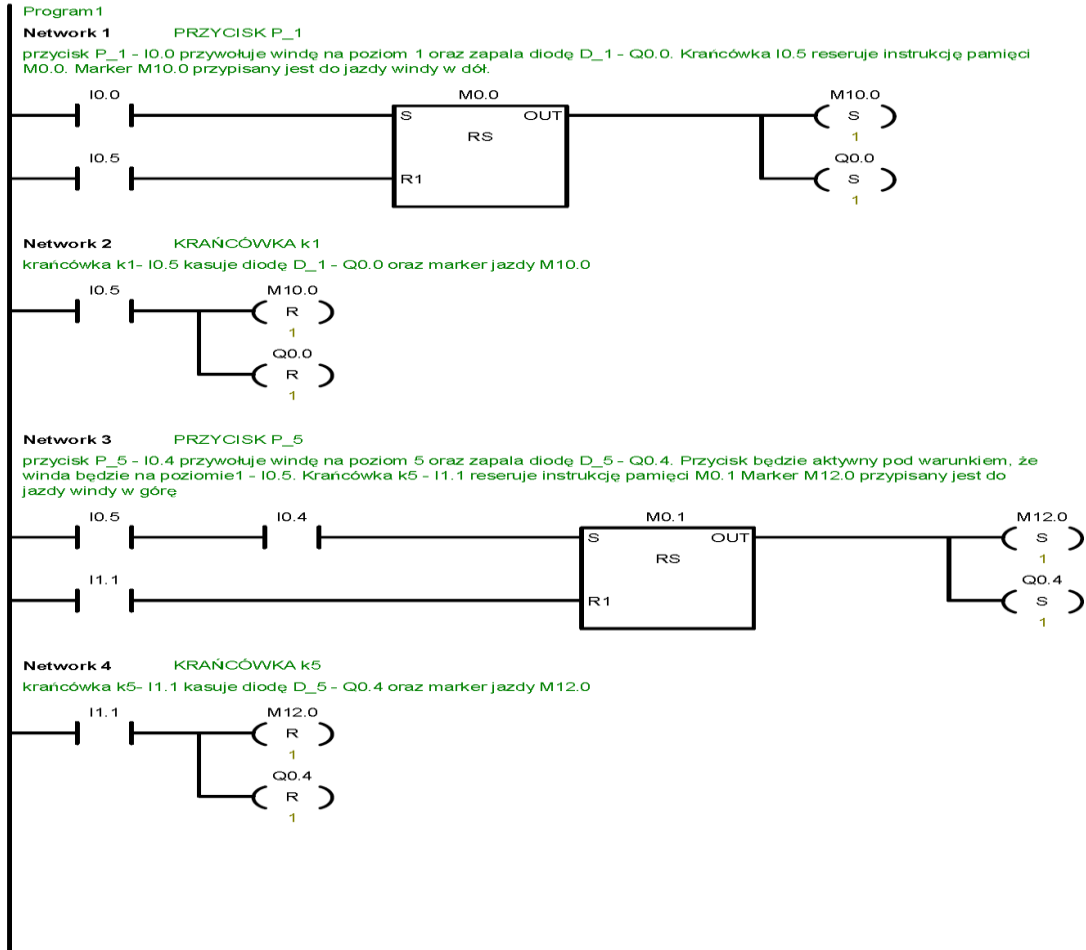
Komputerowe sterowanie w systemach...

program1 / MAIN (OB1)

Block: MAIN
Author:
Created: 06/15/2011 06:00:47 pm
Last Modified: 09/10/2011 04:51:04 pm

Symbol	Var Type	Data Type	Comment
--------	----------	-----------	---------

Przykład programu –
zapis typu LAD



Komputerowe sterowanie w systemach...

Panel operatorski

WinCC (Windows Control Center) jest zaawansowanym systemem HMI (Human Machine Interface), tzn. interfejs pomiędzy człowiekiem (operator), a maszyną (proces).

Podstawowe podsystemy **WinCC**:

System graficzny - edytor do tworzenia ekranów - Graphics Designer;

System alarmów - edytor do konfiguracji alarmów - Alarm Logging;

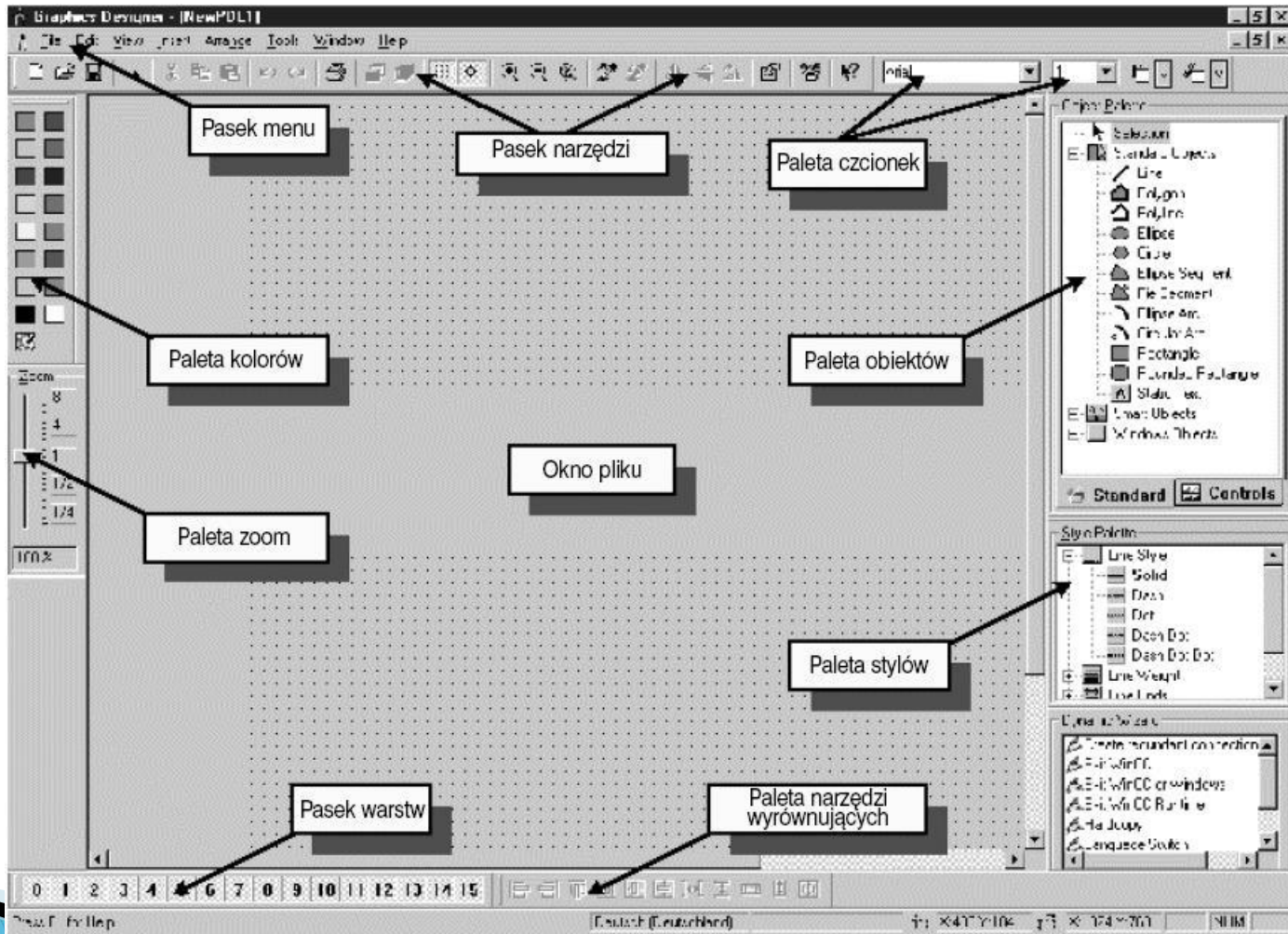
System archiwizacji - edytor do specyfikacji danych podlegających archiwizacji - Tag Logging;

System raportowania - edytor do tworzenia raportów - Report Designer;

System komunikacji jest konfigurowany bezpośrednio z WinCC Explorer. Wszystkie dane konfiguracyjne są zapisywane w bazie danych CS.

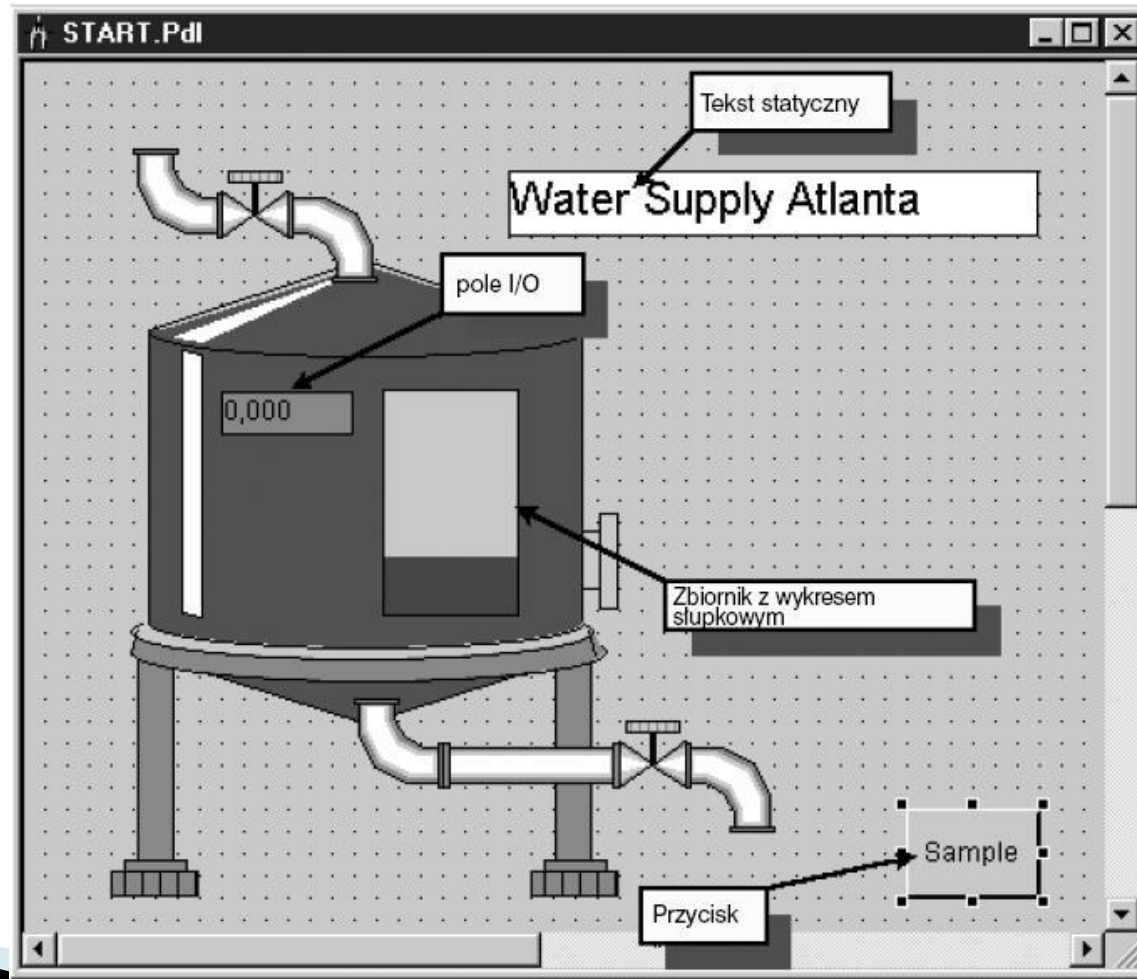
Komputerowe sterowanie w systemach...

Panel operacyjny - przykładowy edytor graficzny



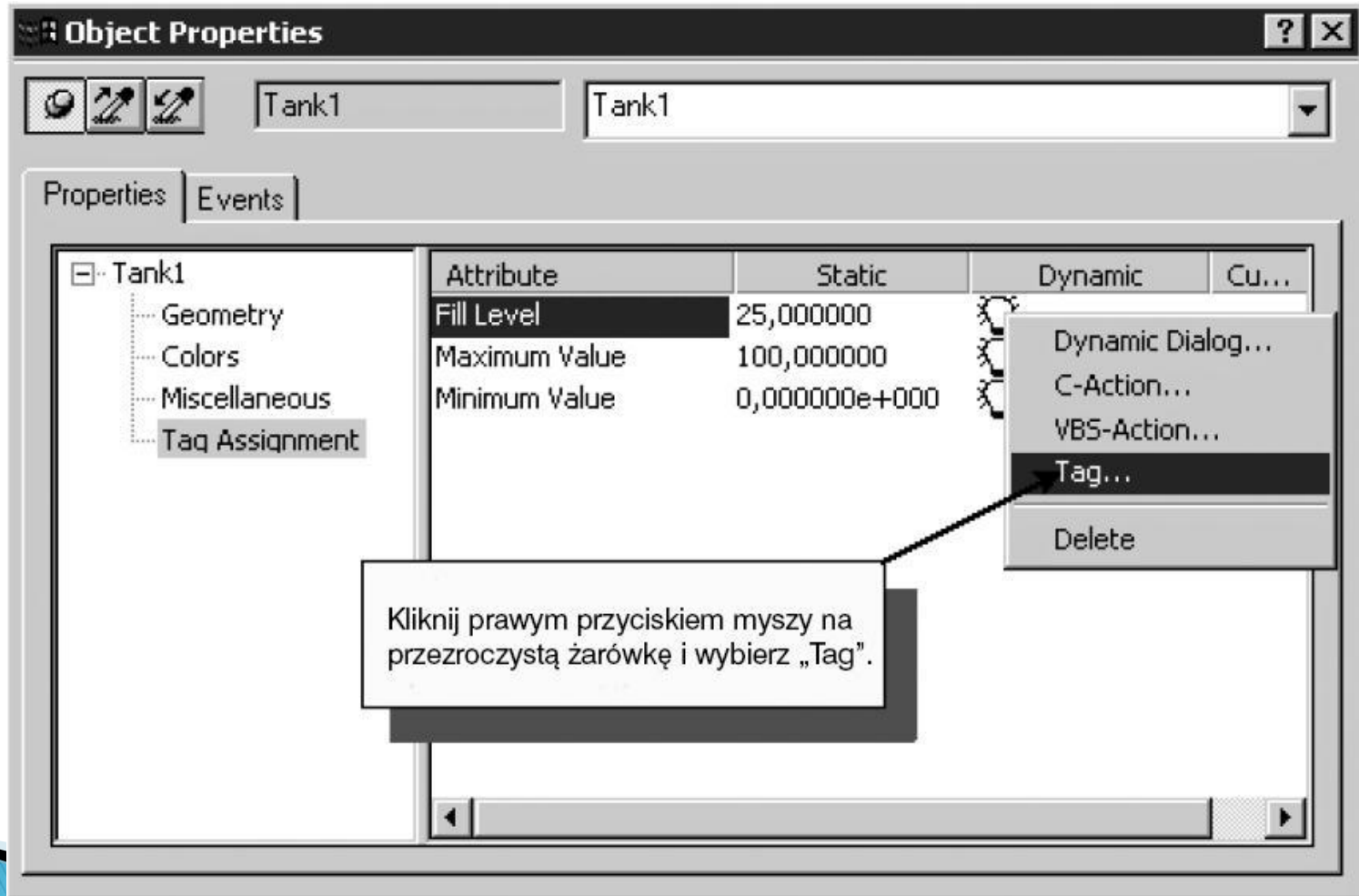
Komputerowe sterowanie w systemach...

Panel operatorski - przykładowa wizualizacja



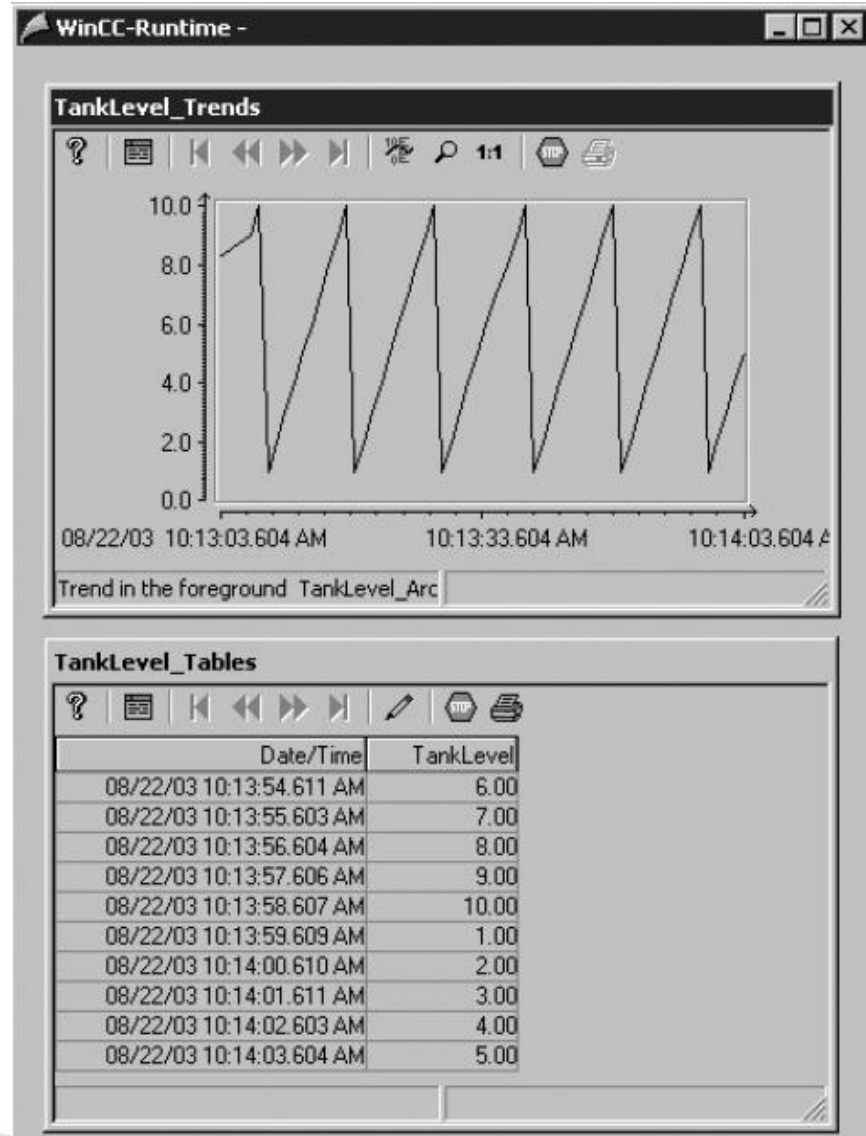
Komputerowe sterowanie w systemach...

Panel operatorski - definiowanie i inicjalizacja zmiennej



Komputerowe sterowanie w systemach...

Panel operatorski - Trendy



Komputerowe sterowanie w systemach...

Panel operatorski - Alarmy

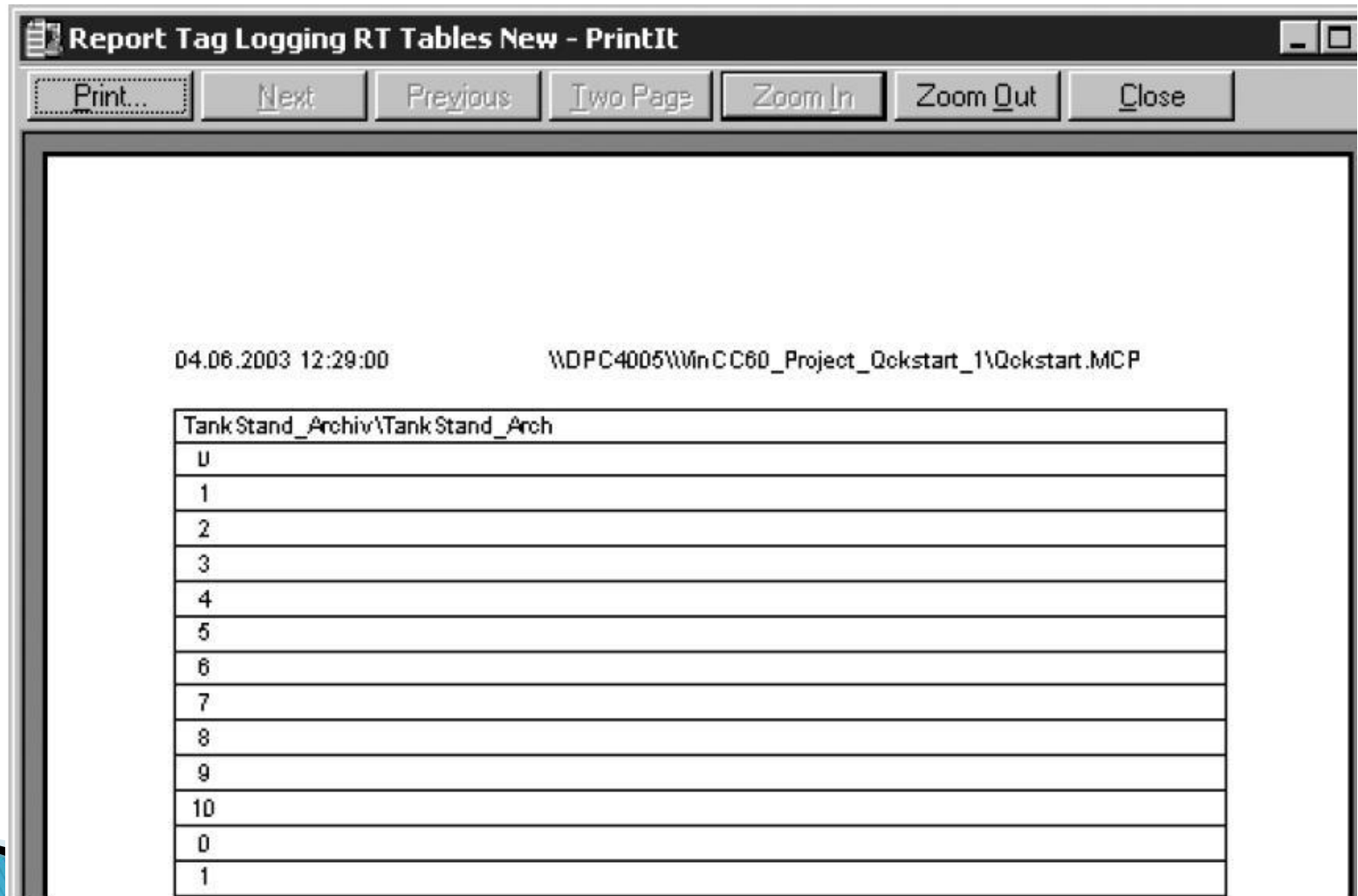
The screenshot shows a WinCC-Runtime window titled "WinCC-Runtime -". Below the title bar is a numeric input field containing "79,000" and a horizontal scrollbar. Below that is a sub-window titled "Water Supply Atlanta" with a close button. The sub-window contains a toolbar with various icons and a table of alarm messages. The table has columns for "Date", "Time", "Number", "Message text", and "Point of error". The current date is 6/25/2003 and the time is 7:36 AM (LOC). The list shows 5 messages, with the 1000th message selected.

...	Date	Time	Number	Message text	Point of error
994	25/06/03	07:36:00 AM	5	Lower limit value	
995	25/06/03	07:36:02 AM	1	Fill level exceeded	Tank
996	25/06/03	07:36:02 AM	1	Fill level exceeded	Tank
997	25/06/03	07:36:03 AM	5	Lower limit value	
998	25/06/03	07:36:07 AM	2	Tank empty	Tank
999	25/06/03	07:36:07 AM	1	Fill level exceeded	Tank
▶ 1000	25/06/03	07:36:07 AM	2	Tank empty	Tank

6/25/2003 7:36 AM (LOC) List: 5 Window: 1000

Komputerowe sterowanie w systemach...

Panel operatorski - Raporty



04.06.2003 12:29:00 WDPC4005\WinCC60_Project_Qokstart_1\Qokstart.MCP

Tank Stand_Archiv\Tank Stand_Arch
U
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
0
1

Komputerowe sterowanie w systemach...

Interfejsy komunikacyjne Profibus i MPI:

Profibus

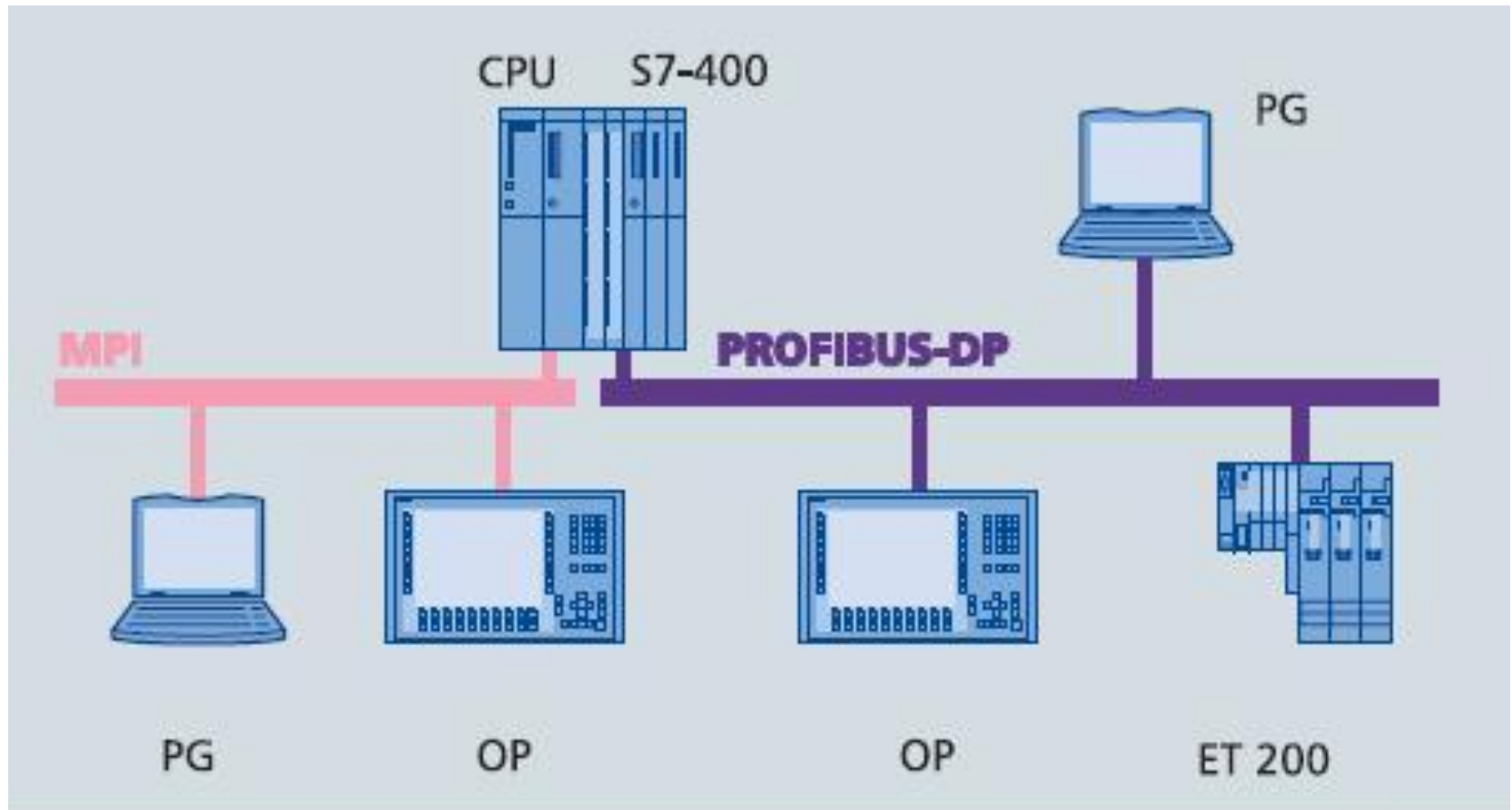
- ▶ komunikacja z rozproszonymi układami we/wy;
- ▶ wymiana danych z inteligentnymi węzłami sieci PROFIBUS;
- ▶ komunikacja z panelami operatorskimi (Routing);
- ▶ bardzo szybka obsługa zdecentralizowanych urządzeń we/wy;
- ▶ sterownik przez cały czas odpytuje lokalne sterowniki we/wy.

MPI (Multi-point interface)

- ▶ programowanie sterownika, monitorowanie stanu jego pracy i diagnostyka;
- ▶ przesyłanie danych procesowych pomiędzy sterownikami;
- ▶ podłączanie do sterowników paneli operatorskich i stacji wizualizacji procesu;
- ▶ W niektórych CPU interfejs MPI może pracować jako dodatkowy port PROFIBUS-DP, zarówno w trybie „Master“ jak i „Slave“.

Komputerowe sterowanie w systemach...

Interfejsy komunikacyjne Profibus i MPI:



Zintegrowane interfejsy S7-300 do bezpośredniego podłączenia MPI i PROFIBUS-DP

Komputerowe sterowanie w systemach...

Profibus – opis, własności

Sieć **PROFIBUS** jest otwartą i standardową technologią komunikacyjną, która stwarza liczne możliwości aplikacyjne w automatyce przemysłowej i procesowej. PROFIBUS przewidziano dla aplikacji krytycznych czasowo oraz do kompleksowych zadań komunikacyjnych.

PROFIBUS DP na poziomie warstwy fizycznej (okablowania) najczęściej bazuje na RS-485.

Wszystkie urządzenia w segmencie są ze sobą połączone przy pomocy wspólnej, jednoparowej skrętki. To powoduje że:

- obowiązuje jedna prędkość transmisji w całej sieci
- wraz ze wzrostem prędkości transmisji maleje długość segmentu (przykładowo dla 500 kbit/sek

segment może mieć do 400m długości, zaś dla 1,5 Mbit/sek tylko 200m)

- jednocześnie mogą wymieniać informacje tylko dwa urządzenia (jednym z nich będzie DP Master) i to tylko w jednym kierunku (nadawanie lub odbieranie), ponieważ do komunikacji wykorzystywana jest tylko jedna para przewodów.

Komputerowe sterowanie w systemach...

Profibus – opis, własności

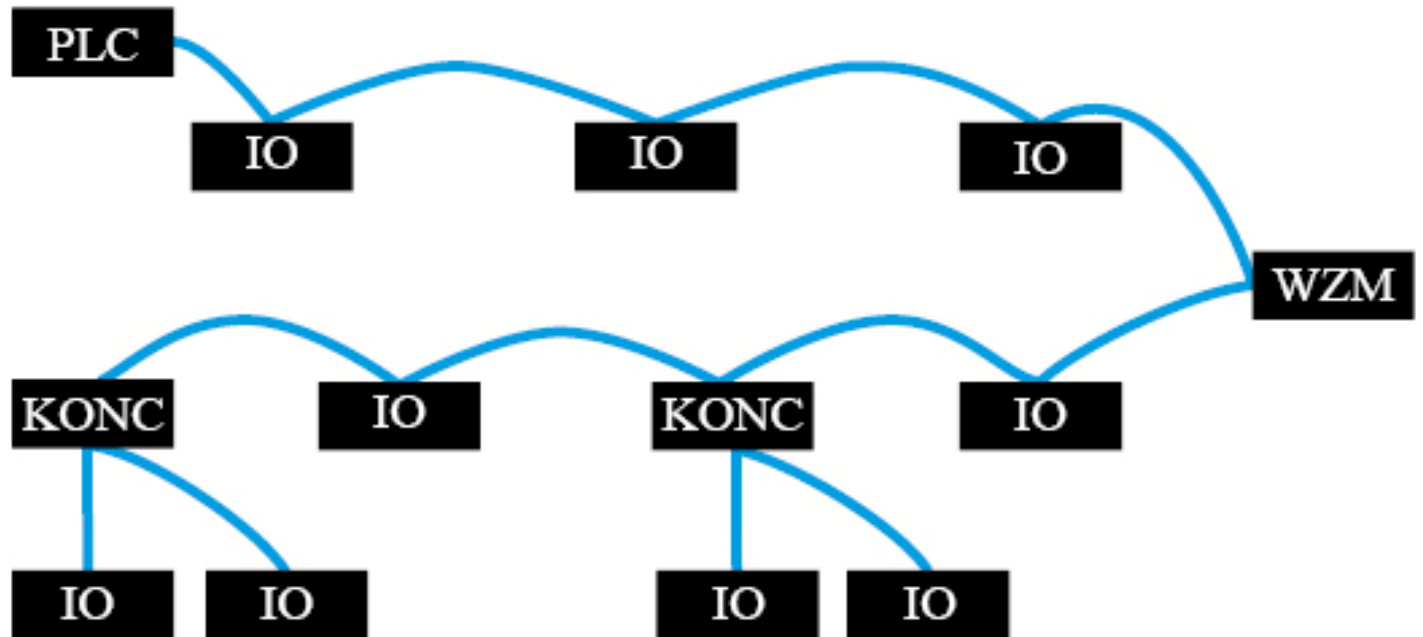
Sieć **PROFIBUS** - połączenie kabel miedziany - topologia dostępna to linia. Komponenty sieciowe (wzmacniacze / koncentratory) = realizacja odgałęzienia = topologia przypominająca układ drzewiasty.

W sieci PROFIBUS DP połączenia nadmiarowe (redundancja) = sieć oparta na światłowodzie = struktura pierścieniowa.

W przypadku stosowania światłowodów nie ma problemów wynikających ze stosowania kabli miedzianych (maksymalna długość segmentu i jej zależność od prędkości transmisji).

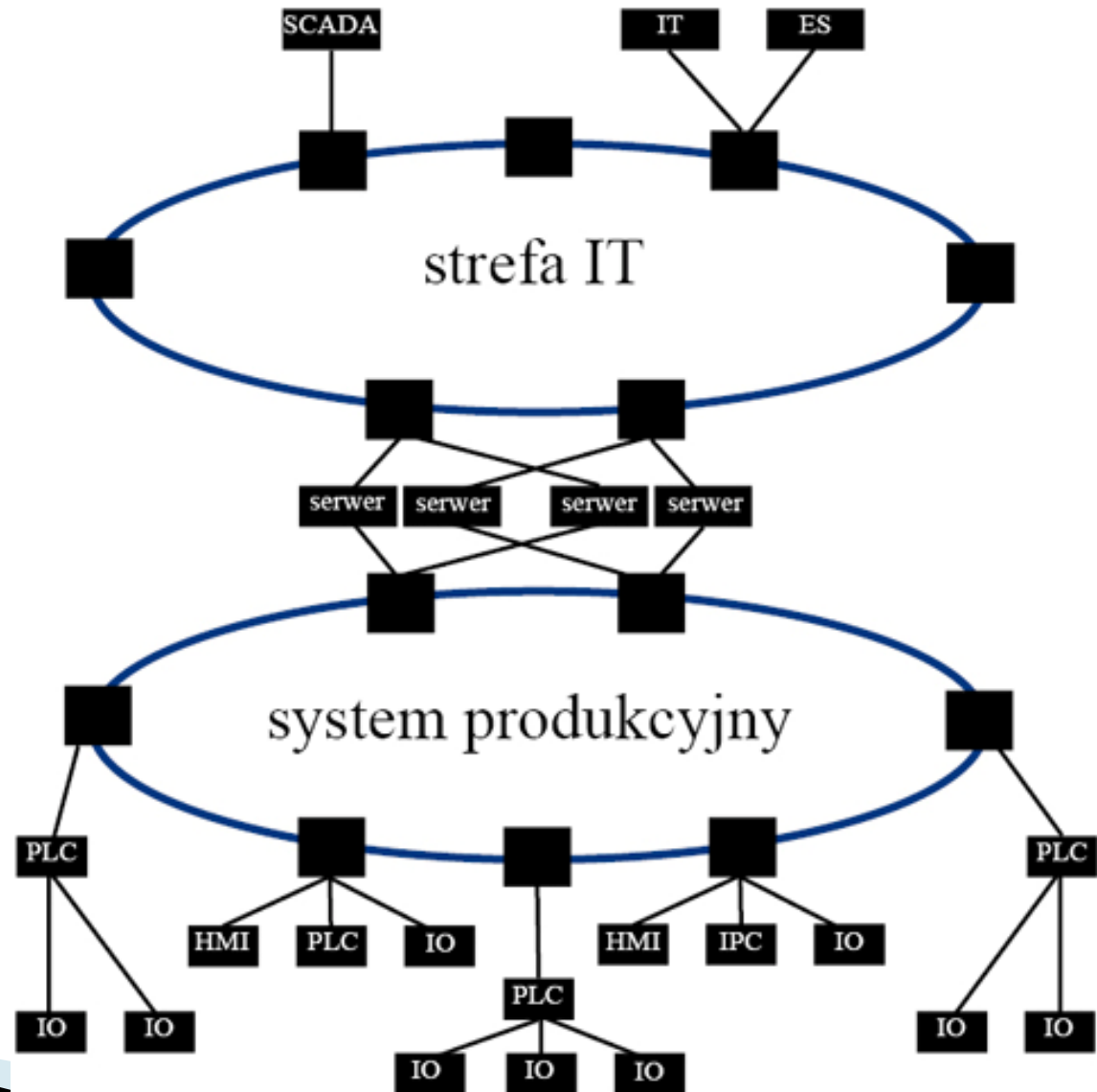
Komputerowe sterowanie w systemach...

Przykładowa
struktura
sieci Profibus



Komputerowe sterowanie w systemach...

Przykładowa
struktura
sieci Profinet



Komputerowe sterowanie w systemach...

Profinet – opis, własności

PROFINET na poziomie warstwy fizycznej bazuje na sieci Ethernet.

W sieci tej do jednego kabla mogą być dołączone tylko dwie stacje (połączenie punkt-punkt) np. sterownik i urządzenie IO.

Przełączniki sieciowe – umożliwiają konstrukcje sieci o praktycznie dowolnej strukturze (linia, drzewo oraz pierścień).

Stosując urządzenia z wbudowanym przełącznikiem możliwe jest uzyskanie topologii liniowej bez konieczności stosowania dodatkowych przełączników.

Wymiana informacji pomiędzy dwoma urządzeniami odbywa się za pomocą 2 par przewodów, co umożliwia wymieniać informacje w dwóch kierunkach (nadawać i odbierać).

W przypadku sieci Ethernet wykorzystywanej do komunikacji sterownika z urządzeniami peryferyjnymi (IO), można określić niezależne klastry .

Komputerowe sterowanie w systemach...

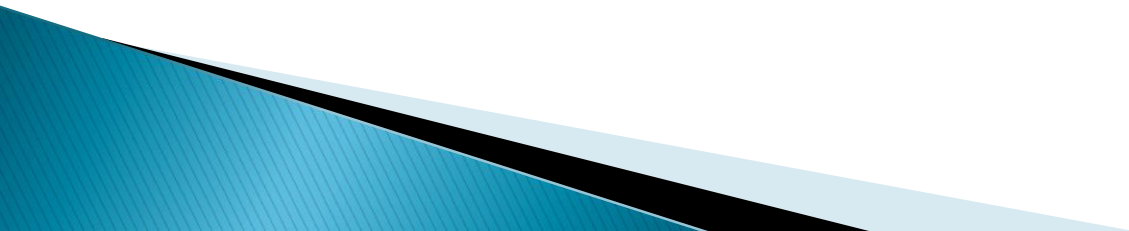
Profinet – opis, własności

Tworzenie połączeń nadmiarowych (redundancji) jest realizowane w oparciu o odpowiednie przełączniki sieciowe. Dozwolona w tym wypadku topologia sieci jest zdeterminowana przez protokół dezaktywacji/aktywacji nadmiarowych połączeń.

- topologia pierścieniowa – przełączniki wykorzystują mechanizm menadżera redundancji do dezaktywacji/aktywacji nadmiarowych połączeń – protokół MRP (Media Redundancy Protocol)
- dowolna topologia sieci – przełączniki wykorzystują protokół STP/RSTP (Spanning Tree Protocol / Rapid Spanning Tree Protocol) do zarządzania połączeniami nadmiarowymi.

Na poziomie łączącym poszczególne sterowniki (PLC), komputery przemysłowe (IPC), serwery danych, sieć PROFINET posiada najczęściej strukturę pierścieniową - najkrótsze czasy rekonfiguracji w przypadku przerwania linii czy uszkodzenie przełącznika

Projektowanie systemów



Projektowanie systemów

Elastyczne Systemy Produkcyjne

- ▶ **System produkcyjny (techniczny)** to system, w którym przepływ materiałów i energii, ich transformacja oraz procesy regulacyjne są zintegrowane w sposób zapewniający automatyczną i ciągłą realizację zadań produkcyjnych opartą na sterowaniu komputerowym.
- ▶ **Elastyczny Systemie Produkcyjnym (ESP)** należy do klasy komputerowo zintegrowanych systemów wytwarzania, stanowiącym kolejne, po elastycznych systemach obróbki mechanicznej, bardziej złożone zastosowanie koncepcji elastycznej automatyzacji procesów produkcyjnych.
- ▶ **Elastyczny System Montażowy (ESM) (Flexible Assembly System)** – zespół sterowanych numerycznie stanowisk montażowych, zintegrowany przez zautomatyzowany transport i magazynowanie oraz wspólne sterowanie komputerowe, przeznaczony do jednoczesnego montażu wielu różnych wyrobów (często w krótkich seriach – przezbrajanie = zwiększenie elastyczności)

Projektowanie systemów

Elastyczne Systemy Produkcyjne - zastosowanie środków elastycznej automatyzacji produkcji - sterowanie komputerowe, duża elastyczność (wielostronność zastosowania), łatwość przezbrajania.

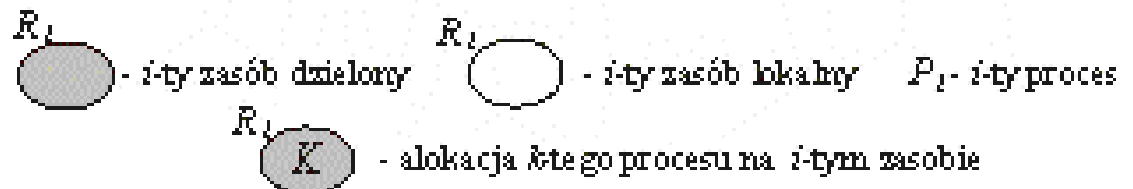
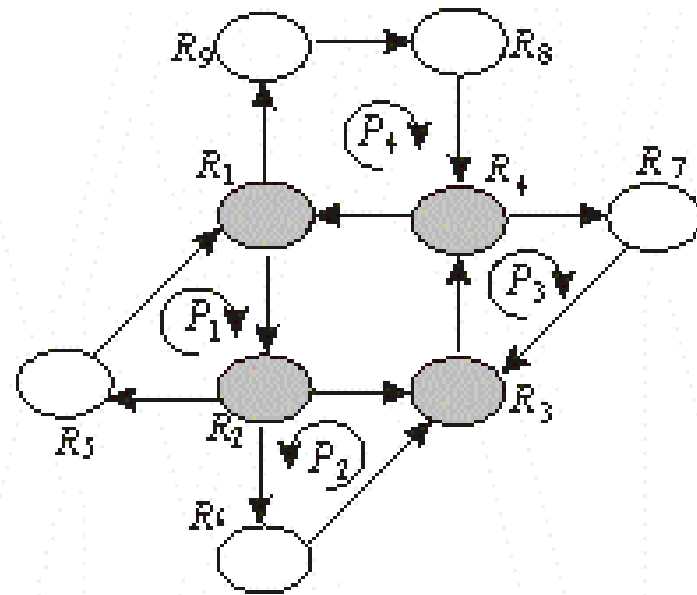
Wszystkie procesy składowe systemu produkcji (komputerowe planowanie, przygotowanie produkcji, proces obróbki itp.) są zintegrowane w jeden potok informacji - komputerowa integracja procesu wytwarzania (CIM - Computer Integrated Manufacturing).

Geneza: wytwarzanie dużego asortymentu wyrobów, przy jednoczesnym minimalizowaniu jego kosztów jest możliwe dzięki:

- ✓ zwiększenie elastyczności produkcji,
- ✓ podniesienie wydajności produkcji – optymalizacja technologii obróbki oraz czasu wykonania
- ✓ zmniejszenie kosztów wytwarzania – np. zmniejszenie nisko wykwalifikowanych pracowników

Projektowanie systemów

Zamknięty cykl żądań zasobowych tworzą zasoby R_1, R_2, R_3 i R_4 wraz z procesami P_1, P_2, P_3 i P_4 . Łatwo zauważyć, że reguły sterowania prowadzące do następującego stanu: proces P_1 wykonuje operacje na zasobie R_1 oraz procesy P_2, P_3 i P_4 wykonują operacje odpowiednio na zasobach R_2, R_3 i R_4 , który jest stanem blokady. Procesy blokują dostęp do przydzielonych im zasobów w oczekiwaniu na zwolnienie zasobów występujących w ich marszrucie.



Projektowanie systemów

Bankier - problem blokady – częściowych przepływów

Rozważmy problem przydziału przez bankiera pożyczek trzem klientom. Bankier dysponujący kapitałem 20 jednostek. Klienci A, B i C zgłaszają swoje potrzeby w wysokości odpowiednio 16, 6 i 18 jednostek.

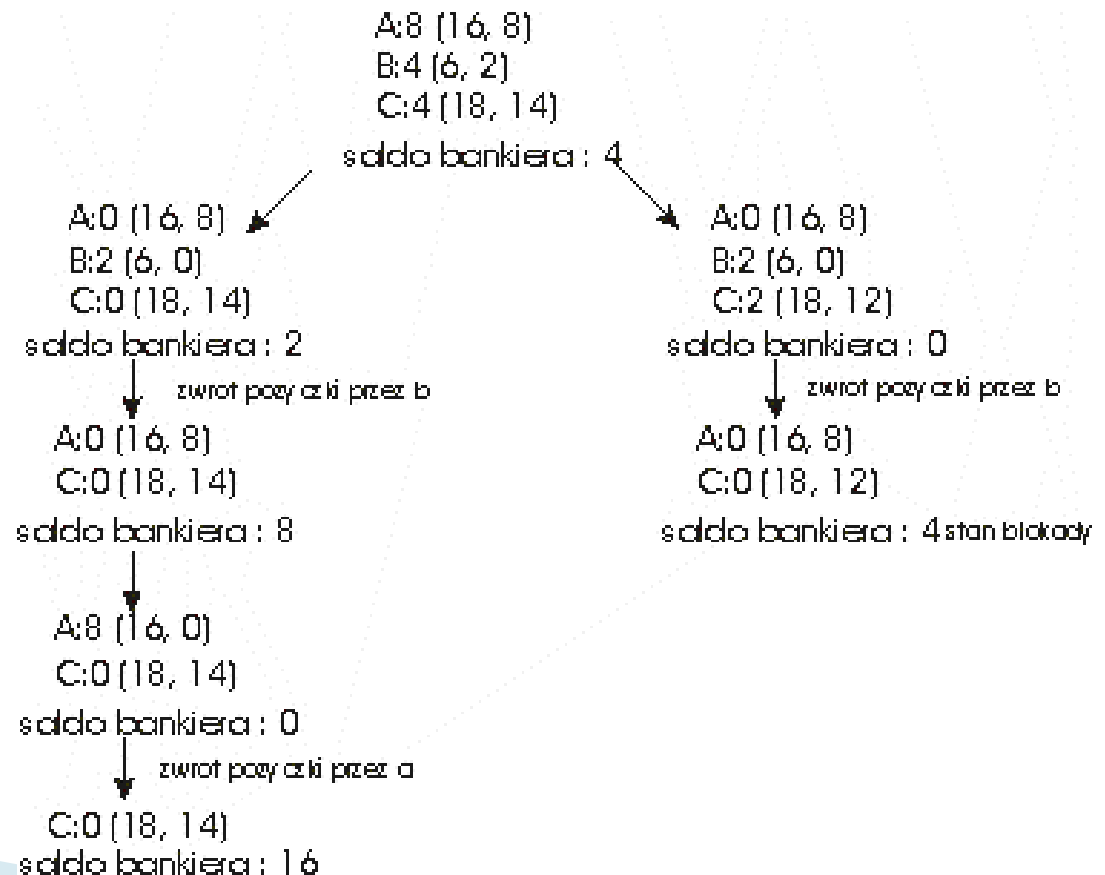
Przyjmując, że pożyczka udzielona każdemu z klientów zwracana jest bankierowi dopiero w momencie zaspokojenia potrzeby klienta (tzn. wówczas, gdy pożyczka klienta A pokrywa jego potrzeby), należy wyznaczyć algorytm przydziału kolejnych pożyczek, tzn. wielkość i kolejność ich udzielania.

Przypadek, w którym bankier udziela kolejnych pożyczek w wysokościach zgłaszanych przez klientów limitów jest trywialny i gwarantuje brak blokady w programie. Natomiast w przypadku wariantu rozwiązania, w którym bankier decyduje się udzielić limitowanych pożyczek (tzn. mniejszych od zgłaszanych przez klientów) wszystkim swoim klientom może dojść do blokady.

Projektowanie systemów

Bankier - problem blokady – częściowych przepływów cd.

Założmy, że bankier udzielił następujących pożyczek częściowo zaspokajających potrzeby klientów w sposób pokazany na poniższym rysunku .



Elastyczne Systemy Produkcyjne...

Elastyczne Systemy Produkcyjne - zastosowanie środków elastycznej automatyzacji produkcji - sterowanie komputerowe, duża elastyczność (wielostronność zastosowania), łatwość przezbrajania.

Wszystkie procesy składowe systemu produkcji (komputerowe planowanie, przygotowanie produkcji, proces obróbki itp.) są zintegrowane w jeden potok informacji - komputerowa integracja procesu wytwarzania (CIM - Computer Integrated Manufacturing).

Geneza: wytwarzanie dużego asortymentu wyrobów, przy jednoczesnym minimalizowaniu jego kosztów jest możliwe dzięki:

- ✓ zwiększenie elastyczności produkcji,
- ✓ podniesienie wydajności produkcji – optymalizacja technologii obróbki oraz czasu wykonania
- ✓ zmniejszenie kosztów wytwarzania – np. zmniejszenie nisko wykwalifikowanych pracowników

Elastyczne Systemy Produkcyjne...

Elastyczność jest rozumiana jako:

- ✓ wszechstronność, tzn. zdolność systemu produkcyjnego do realizacji zmiennych w czasie zadań produkcyjnych,
- ✓ możliwość rozszerzenia ilościowego systemu (przestrzeń robocza),
- ✓ możliwość wykonania operacji innej od zaplanowanej w początkowych projekcie w danej komórce produkcyjnej,
- ✓ możliwość usprawnienia (zwiększenia) magazynowanie,
- ✓ możliwość zmian (konfiguracji) transportu produktów.

Te możliwości wynikają z:

- ✓ elastyczności układów sterowania,
- ✓ elastyczności urządzeń pomocniczych: podajniki, magazyny wej/wyj, manipulatory, urządzenia kontrolno pomiarowe,
- ✓ elastyczności organizacyjnej – układ sterowania komputerowego.

Elastyczne Systemy Produkcyjne...

Rodzaje elastycznych systemy montażowych

Stacja montażowa – składa się z pojedynczego robota wraz z magazynem narzędzi, podajników części, buforów wej i wyj.

Elastyczny Gniazdo Montażowe zawiera pojedynczą stację montażową z jednym lub dwoma współpracującymi ze sobą robotami. W ogólnej rzadziej spotykanej konfiguracji może być złożone z kilku stacji montażowych oraz systemu transportu i buforowania wyrobów.

Elastyczna Linia Montażowa – zbiór stacji montażowych zaalokowanych w określonym porządku, w którym ruch wyrobów odbywa się jednokierunkowo. Pracuje podobnie jak automatyczna linia montażowa, różni się od niej zdolnością do częstych i szybkich przebrojeń.

Elastyczne Systemy Produkcyjne...

Rodzaje elastycznych systemy montażowych cd.

Elastyczna Sieć Montażowa – zbiór kilku wzajemnie powiązanych linii , gniazd, stacji montażowych - najbardziej złożony typ ESP

Struktury systemów

Struktura systemu – zależy od reguł powiązań zbioru zależnych elementów składowych systemu

Konfiguracje systemów :

1. szeregową
2. równoległą
3. szeregowo- równoległą



Elastyczne Systemy Produkcyjne...

Cykl produkcyjny określa czas od rozpoczęcia podstawowego procesu produkcyjnego (wytwórczego) do momentu jego zakończenia.

Cykl składa się z:

czasu trwania operacji procesu produkcyjnego a w tym:

- ✓operacje technologiczne (procesy pracy i procesy naturalne) wraz z czasem czynności przygotowawczo-zakończeniowych,
- ✓składowe,
- ✓transport,
- ✓kontrole,

czasu przerw w procesie produkcyjnym w postaci:

- ✓przerw organizacyjno-technicznych,
- ✓przerw międzymianowych,
- ✓czasu wolnego od pracy,
- ✓przerw nieplanowanych.

Elastyczne Systemy Produkcyjne...

1. **przebieg szeregowy (kolejny)** – polega na tym, że wszystkie produkty są obrabiane na jednym stanowisku i następnie wyroby są transportowane na kolejne stanowisko
2. **przebieg równoległy** – charakteryzuje się tym że pojedyncze sztuki wyrobu transportowane są na kolejne stanowiska natychmiast po ich obróbce na poprzednim stanowisku

Zalety i wady poszczególnych sposobów organizacji przebiegu produkcji:

1. przebieg szeregowy (kolejny)

- ✓ stanowiska wykonujące aktualną obróbkę pracują bez przerw
- ✓ kolejne stanowiska mają przestoje wynikające z oczekiwania na partię co powoduje znaczne wydłużenie czasu obróbki partii
- ✓ składowanie obrobionych wyrobów na stanowisku roboczym do czasu ukończenia obróbki całej partii zwiększa zapasy produkcji

Uwaga: wąskie gardła – gdy elementy składowe posiadają różną wydajność

Elastyczne Systemy Produkcyjne...

2. przebieg równoległy

- ✓ bez przerw pracuje stanowisko o najdłuższym czasie trwania operacji
- ✓ skrócenie czasu obróbki całej partii
- ✓ zmniejszenie zapasów produkcji w toku
- ✓ większe korzyści osiąga się synchronizując pracę stanowisk roboczych
znaczące skrócenie dróg i czasu transportu

Uwaga: możliwość blokady

3. przebieg szeregowo równoległy

- ✓ skrócenie czasu wytworzenia produktu w porównaniu do czasu przetwarzania w szeregowej strukturze systemu
- ✓ zapewnia ciągłą pracę stanowisk przy produkcji w wyniku zastosowania odpowiednich algorytmów szeregowania.

Elastyczne Systemy Produkcyjne...

2. przebieg równoległy

- ✓ bez przerw pracuje stanowisko o najdłuższym czasie trwania operacji
- ✓ skrócenie czasu obróbki całej partii
- ✓ zmniejszenie zapasów produkcji w toku
- ✓ większe korzyści osiąga się synchronizując pracę stanowisk roboczych
znaczące skrócenie dróg i czasu transportu

Uwaga: możliwość blokady

3. przebieg szeregowo równoległy

- ✓ skrócenie czasu wytworzenia produktu w porównaniu do czasu przetwarzania w szeregowej strukturze systemu
- ✓ zapewnia ciągłą pracę stanowisk przy produkcji w wyniku zastosowania odpowiednich algorytmów szeregowania.

Harmonogramowanie zadań

Harmonogramowanie, zwane również zagadnieniem kolejnościowym, należy do najważniejszych zadań planowania działalności produkcyjnej.

Celem harmonogramowania jest ustalenie takiej kolejności wykonania prac, dla której całkowity czas trwania ich realizacji jest najkrótszy.

Sformułowanie zadania harmonogramowania:

W danej komórce produkcyjnej składającej się z m maszyn (stanowisk roboczych) realizowany jest proces produkcyjny n różnych wyrobów. Poszczególne wyroby są przesyłane między stanowiskami w tej samej określonej kolejności. Znane są czasy jednostkowe wykonania poszczególnych operacji każdego wyrobu na poszczególnych maszynach.

Cel: *Należy wyznaczyć taką kolejność wykonania zadań, aby cykl produkcyjny jest minimalny.*

Harmonogramowanie zadań

Dla ilustracji przedstawionego zagadnienia rozważmy element produkcyjny złożony z 3 maszyn. System produkuje 2 różne typy produktów. Oba produkty są wytwarzane na maszynie 1, a następnie na maszynie 2 i 3. Czasy wykonania poszczególnych operacji obróbkowych przedstawia macierz czasów operacji T .

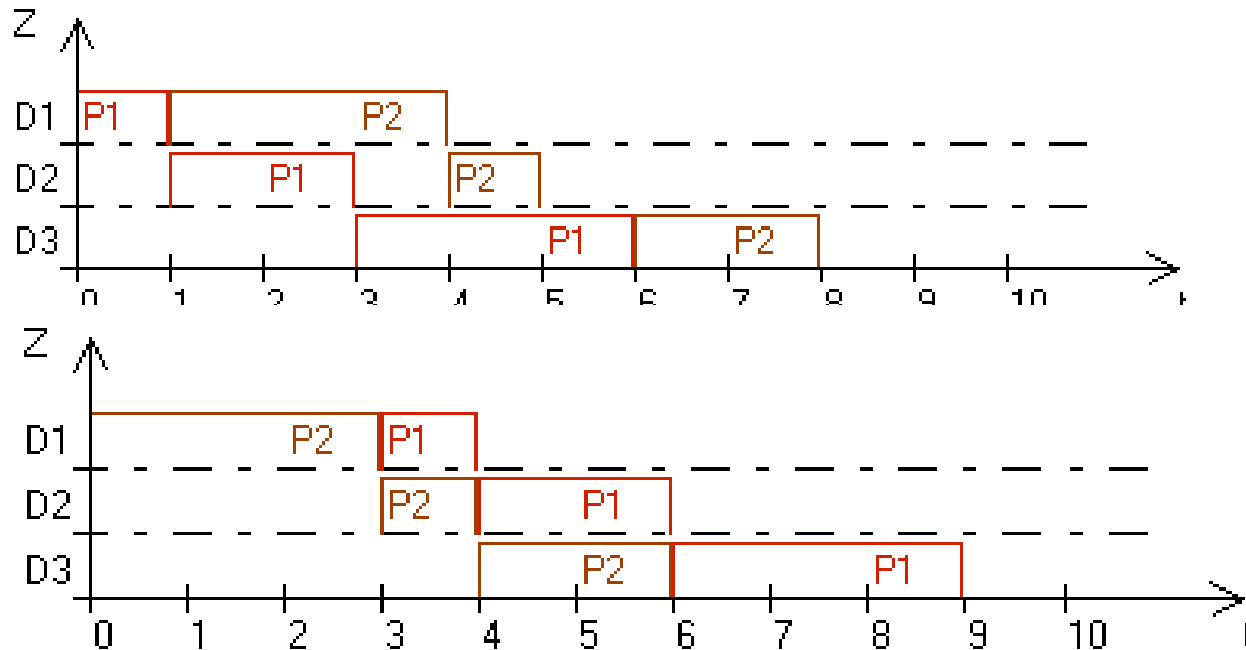
$$T = \begin{bmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} \\ t_{2,1} & t_{2,2} \\ t_{3,1} & t_{3,2} \end{bmatrix}; \quad T = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 2 & 1 \\ 3 & 2 \end{bmatrix}$$

gdzie: t_{ij} - czas potrzebny na obróbkę j -tego typu produktu na i -tej maszynie $i \in \{1, \dots, m\}$, $j \in \{1, \dots, n\}$.

Harmonogramowanie zadań

Możliwe kolejności uszeregowania zadań związanych z wykonaniem dwóch wyrobów przedstawiono na poniższym rysunku:

D1,D2,D3 -maszyny (zasoby dzielone)



Harmonogramowanie pracy 3 maszyn przy różnych sekwencjach wykonania produktów.

Harmonogramowanie zadań

Z przedstawionych diagramów Gantta, ilustrujących wszystkie dopuszczalne przebiegi rozważanego procesu, wynika, że najkorzystniejszą kolejnością wykonania operacji jest kolejność, w której operacje wykonania operacji obróbki pierwszego detalu wyprzedzają operacje związane z wykonaniem drugiego wyrobu.

Złożoność obliczeniowa.

Liczba wszystkich możliwych wariantów kolejności wykonania n wyrobów, w rozważanej odmianie organizacji produkcji jest określona przez liczbę wszystkich permutacji zbioru n elementów tzn. przez $n!$ W praktyce występują sytuacje, gdy liczba samych tylko wyrobów, nie licząc wchodzących w jej skład detali, może dochodzić do 20, natomiast liczba stanowisk roboczych do 60. Poszukiwanie rozwiązania optymalnego drogą przeglądu zupełnego nie znajduje praktycznego uzasadnienia .

Harmonogramowanie zadań

Z przedstawionych diagramów Gantta, ilustrujących wszystkie dopuszczalne przebiegi rozważanego procesu, wynika, że najkorzystniejszą kolejnością wykonania operacji jest kolejność, w której operacje wykonania operacji obróbki pierwszego detalu wyprzedzają operacje związane z wykonaniem drugiego wyrobu.

Złożoność obliczeniowa.

Liczba wszystkich możliwych wariantów kolejności wykonania n wyrobów, w rozważanej odmianie organizacji produkcji jest określona przez liczbę wszystkich permutacji zbioru n elementów tzn. przez $n!$ W praktyce występują sytuacje, gdy liczba samych tylko wyrobów, nie licząc wchodzących w jej skład detali, może dochodzić do 20, natomiast liczba stanowisk roboczych do 60. Poszukiwanie rozwiązania optymalnego drogą przeglądu zupełnego nie znajduje praktycznego uzasadnienia .

Z uwagi na **NP-trudną złożoność** występujących w praktyce zagadnień harmonogramowania, rozwiązywane są one przy pomocy **metod heurystycznych**.

Harmonogramowanie zadań

Uwaga: zarówno metody dokładne jak i przybliżone są realizowane dla określonych specyfikacji rozważanej klasy zadań kolejnościowych, tzn. klasy dla której efektywność stosowanych metod jest największa.

Wszystkie zagadnienia kolejnościowe mogą być przedstawione za pomocą następującego symbolicznego zapisu.

$$\alpha|\beta|\gamma,\Gamma|\sigma$$

α - liczba zadań(wyrobów, przedmiotów, procesów),

β - liczba maszyn (zasobów),

γ - typ zagadnienia,

Γ - informacja określająca istnienie dodatkowych założeń i ograniczeń,

σ - postać funkcji celu.

Harmonogramowanie zadań

Symbol typu zagadnienia określa wariant organizacji produkcji realizowany w danym systemie.

W praktyce wyróżnia się następujące, cztery typy zagadnień:

zagadnienie taśmowe (ang. flow shop), oznaczane symbolem **F** każde zadanie (wyrób) w procesie swojego wykonania przemieszczane jest w systemie produkcyjnym wzdłuż tej samej marszruty technologicznej obejmującej wszystkie maszyny (zasoby) systemu,

permutacyjne zagadnienie taśmowe (ang. permutation flow shop), oznaczane symbolem **P**, w którym oprócz założeń specyfikujących zagadnienie **F**, przyjmuje się, że kolejność (permutacja) wykonywania zadań jest taka sama na wszystkich maszynach,

Harmonogramowanie zadań

zagadnienie gniazdowe (ang. job shop), oznaczane symbolem **G**, w którym różne zadania mogą być wykonywane według różnych marszrut technologicznych, tzn. o różnej liczbie i różnej kolejności występowania maszyn,

zagadnienie z równoległymi maszynami (ang. parallel shop), oznaczane symbolem **T**, w którym każde zadanie może być wykonywane na dokładnie jednej z kilku równoległych maszyn (długości marszrut technologicznych dla wszystkich wyrobów są równe 1).

Uwaga: W każdej z wymienionych klas zagadnień przyjmuje się, że wykonywanie zadania na danej maszynie nie może być przerywane każda maszyna wykonuje nie więcej niż jedno zadanie w danej chwili.

Harmonogramowanie zadań

Informacja określająca istnienie dodatkowych założeń i ograniczeń może obejmować, m.in.:

1. istnienie relacji wyrażającej wymagania porządku wykonywania zadań, stosowanym oznaczeniem jest symbol \angle ,
2. różne, niezerowe dopuszczalne terminy rozpoczęcia wykonywania zadań, stosowane oznaczenie $r_i \geq 0$,
3. różne, niezerowe czasy przebywania zadań w systemie od momentu wykonania zadania do opuszczenia systemu, stosowane oznaczenie $g_i \geq 0$.

Postać funkcji celu charakteryzuje kryterium rozwiązania zagadnienia kolejnościowego.

Do częściej spotykanych kryteriów należą m.in.:

1. czas wykonania wszystkich zadań,
2. średni czas zakończenia zadań
3. maksymalna nieterminowość wykonania zadań, opóźnienie wykonania wszystkich zadań.

Harmonogramowanie zadań

Wymienione funkcje celu są związane z czasami zakończenia wykonywania zadań. W wielu sytuacjach praktycznych stosowane są również kryteria związane z wykorzystaniem maszyn (np. wskaźnik wykorzystania maszyn, czas przestoju wszystkich maszyn itd.) lub procesem wykonywania zadań (np. średnia liczba zadań wykonywanych, oczekujących na wykonanie lub ukończonych w zadanym przedziale czasowym).

Współczynnik wykorzystania zasobów dzielonych (ζ)- zdefiniowany jest jako średnia arytmetyczna współczynników wykorzystania zasobów dzielonych układu:

$$\zeta = \frac{\zeta_1 + \zeta_2 + \dots + \zeta_k}{k}$$

k - liczba zasobów dzielonych

ζ_j - współczynnik wykorzystania j -tego zasobu dzielonego

Harmonogramowanie zadań

Współczynnik wykorzystania zasobów dzielonych może przyjmować wartości z przedziału $[0,1]$. Maksymalną wartość osiąga w sytuacji, w której każdy z zasobów dzielonych jest zasobem krytycznym (czyli w czasie symulacji jest ciągle wykorzystywany przez procesy).

Współczynnik wykorzystania j -tego zasobu dzielonego (ζ_j) definiowany jest jako stosunek czasu, w którym zasób dzielony był wykorzystywany przez procesy do całkowitego czasu symulacji.

$$\zeta_j = \frac{\sum_{i \in I_j} n_i \cdot t_{ij}}{T}$$

T - całkowity czas symulacji

n_i - liczba wykonania sekcji krytycznych przez i -ty proces w okresie T

t_{ij} - czas wykonania operacji na j -tym zasobie dzielonym przez i -ty proces

I - zbiór procesów wykorzystujących j -ty zasób

Harmonogramowanie zadań

Współczynnik sprawności (η) - rozumiany jest jako stosunek sumy czasów pracy poszczególnych procesów do czasu będącego iloczynem liczby procesów i całkowitego czasu symulacji

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n \cdot T}$$

n - liczba procesów (zadań)

t_i - całkowity czas pracy i -tego zasobu

T - całkowity czas symulacji

Maksymalną wartość (równą 1) współczynnik osiąga, gdy w czasie całej symulacji wszystkie procesy są procesami krytycznymi tzn. proces, który w okresie T wykonuje się bez wstrzymania.

Harmonogramowanie zadań

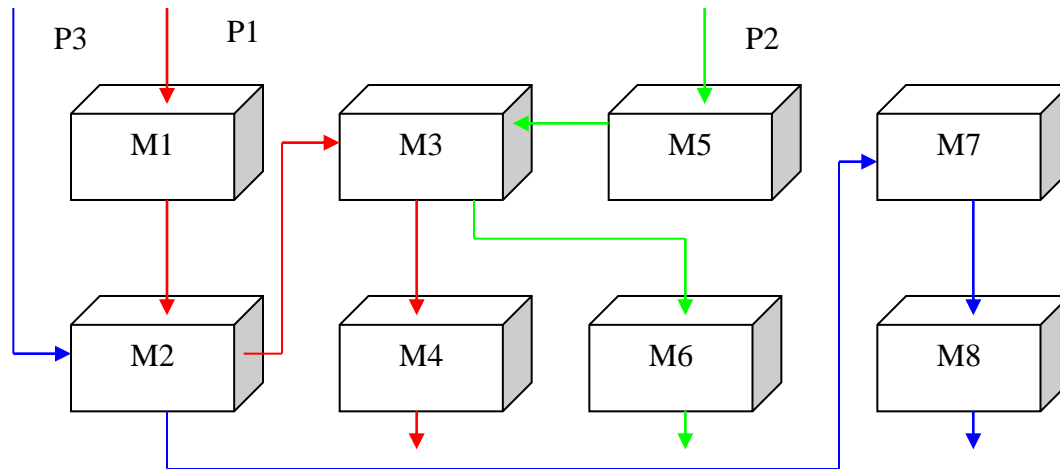
Przykład określenia wskaźników wykorzystania zasobów i sprawności procesów.

Dany jest system o następujących marszrutach technologicznych:

Marszruta 1: P1= M1, M2, M3, M4

Marszruta 2: P2= M5, M3, M6

Marszruta 3: P3= M2, M7, M8



Harmonogramowanie zadań

Czasy realizacji poszczególnych zadań (procesów):

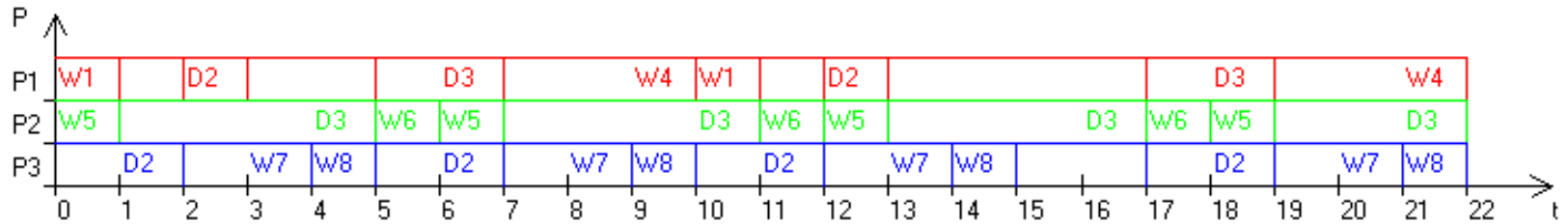
P1		P2		P3	
Zasoby	Czasy	Zasoby	Czasy	Zasoby	Czasy
Zasób nr 1	1	Zasób nr 5	1	Zasób nr 2	2
Zasób nr 2	1	Zasób nr 3	4	Zasób nr 7	2
Zasób nr 3	2	Zasób nr 6	1	Zasób nr 8	1
Zasób nr 4	3	-	-	-	-

Przyjmujemy, że pojemność każdego z zasobów dzielonych wynosi 1.

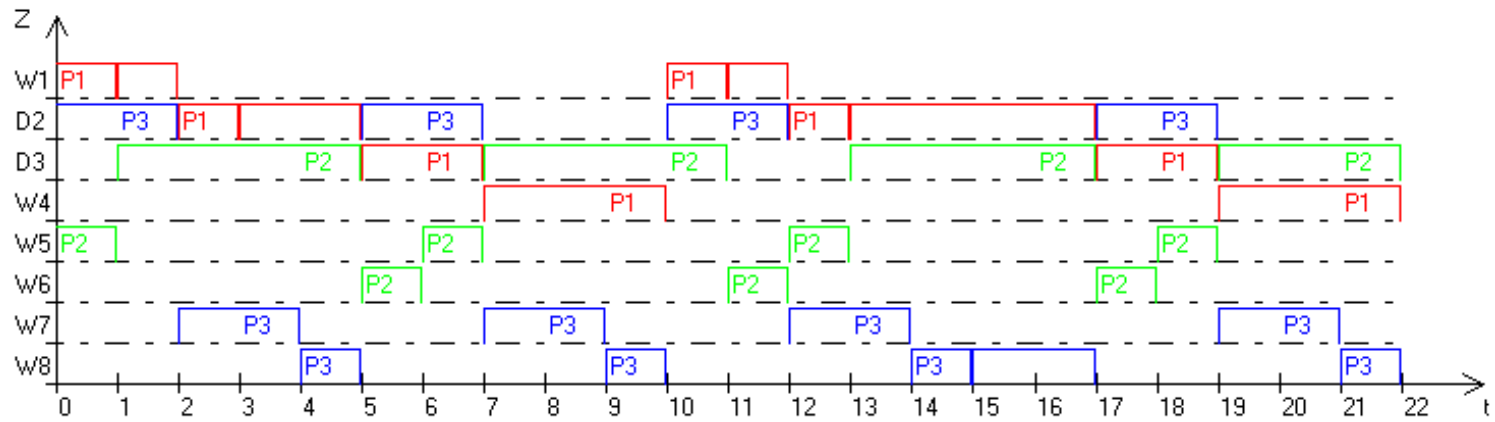
Poniżej zostały przedstawione wyniki w postaci diagramów Gantta, czasów pracy i oczekiwania poszczególnych procesów, czasów wykorzystania i oczekiwania poszczególnych zasobów.

Harmonogramowanie zadań

Diagramy Ganta: realizacji zadań oraz wykorzystania zasobów (maszyn)



- W_i - proces pracuje na zasobie własnym
- proces zajmuje wcześniejszy zasób ale nie
- D_i - proces pracuje na zasobie dzielnym



Harmonogramowanie zadań

Wyniki

<u>Procesy:</u>	<u>Czas pracy</u>	<u>Czas oczekiwania</u>
Proces 1	14	8
Proces 2	22	0
Proces 3	20	2

<u>Zasoby:</u>	<u>Czas wykorzystania</u>	<u>Czas oczekiwania</u>
Zasob (W) 1	2	20
Zasob (D) 2	10	12
Zasob (D) 3	19	3
Zasob (W) 4	6	16
Zasob (W) 5	4	18
Zasob (W) 6	3	19
Zasob (W) 7	8	14
Zasob (W) 8	4	18

Wskaźniki efektywności:

Współczynnik wykorzystania zasobów dzielonych = 0,66;

Współczynnik sprawności = 0,85

Algorytmy szeregowania zadań

Charakterystyczną cechą większości znanych metod szeregowania jest badanie przestrzeni permutacyjnych i wyszukiwanie z nich permutacji optymalnych.

Większość zadań optymalizacyjnych ma **NP - zupełny** charakter (tzn. czas niezbędny do ich rozwiązania rośnie wykładniczo ze wzrostem złożoności zadań np. liczby zmiennych), co w praktyce silnie ogranicza stosowanie metod prowadzących do rozwiązań optymalnych.

Spośród stosowanych w praktyce metod budowy harmonogramów wyróżnia się ich dwa zasadnicze rodzaje, oparte odpowiednio na

1. metodach analitycznych
2. metodach heurystycznych.

Algorytmy szeregowania zadań

Metody analityczne

Metody analityczne, przyjmujące na ogół bardzo silne założenia upraszczające, umożliwiają poszukiwanie rozwiązań optymalnych. Praktyczne zastosowanie tych metod ogranicza się jednak do prostych systemów, w których produkcja nie odbywa się w warunkach dynamicznej i przypadkowej zmienności zasobów produkcyjnych.

Metody dokładne

Algorytm Johnsona

Algorytm Johnsona dotyczy problemu szeregowania n zadań na **2** maszynach, gdy wszystkie zadania przechodzą przez te same maszyny w tej samej kolejności tak aby uzyskać maksimum funkcji celu (minimalny czas ukończenia wszystkich zadań). Dane są czasy wykonania poszczególnych zadań na poszczególnych maszynach.

Algorytmy szeregowania zadań

Zadanie i	Czas wykonania	
	t_{ia}	t_{ib}
1	t_{1a}	t_{1b}
2	t_{2a}	t_{2b}

krok 1

Wybierz $\min\{t_{ia}, t_{ib} \mid i, j = 1 \dots n\}$, n -zadań. W przypadku, gdy rozwiązaniem jest zbiór, ostatecznego wyboru dokonaj arbitralnie.

krok 2

Jeżeli t_{ia} to $(1) = i$. Jeżeli t_{ib} to $(n) = j$. (n - konieczność uporządkowania)

krok 3

Usuń wybrane zadanie i powtórz kroki 1 i 2.

Algorytmy szeregowania zadań

Heurystyki Algorytm Johnsona

1. Należy dążyć do tego, aby stanowisko „pierwsze” pracowało bez przerwy podczas, gdy stanowisko „drugie” może wykonywać prace lub nie, w zależności od tego czy wyrób przybędzie do niego ze stanowiska „pierwszego”.
2. W ogólnym przypadku wskazane jest rozpoczynanie realizacji zadania produkcyjnego od obróbki tych wyrobów, które odznaczają się najmniejszymi czasami wykonania na stanowisku „pierwszym”, natomiast kończenie tymi, którym odpowiadają najmniejsze czasy wykonania na stanowisku „drugim”.
3. Kolejność zadań wynika z kolejności wzrastających czasów t_{ia} w pierwszej grupie oraz malejących wartości czasów t_{ib} w grupie drugiej.

Algorytmy szeregowania zadań

Rozszerzony algorytm Johnsona

Stosuje się go dla trzech stanowisk pracy i gdy spełniony jest następujący warunek

$$\min(t_{ia}) \geq \max(t_{ib}); \quad i = \{1, 2, \dots, m\}$$

Lub

$$\min(t_{ic}) \geq \max(t_{ib}); \quad i = \{1, 2, \dots, m\}$$

Algorytm:

krok 1

Zsumuj czasy wykonania operacji technologicznych a i b oraz b i c (tzn. wyznacz $t_{ia}+t_{ib}$ oraz $t_{ib}+t_{ic}$)

krok 2

Dokonaj podziału na dwie grupy

$t_{ia} + t_{ib} \leq t_{ib} + t_{ic}$	-	pierwsza grupa
$t_{ia} + t_{ib} > t_{ib} + t_{ic}$	-	druga grupa

Algorytmy szeregowania zadań

krok 3

Uszereguj w sposób analogiczny do wyjściowego wersji algorytmu standardowego

Metoda Graficzna

Dotyczy zagadnień kolejnościowych z dwoma zadaniami i m maszynami.

Algorytm:

krok 1

Układ współrzędnych XY oznacza się współrzędnymi odpowiadającymi zadaniami. (Np. oś X będzie odpowiadała realizacji zadania nr 1.) Na osi zadania 1 odkłada się odcinki odpowiadające operacjom zadań (analogiczne postępowanie dotyczy zadania 2). Wspólne miejsce układu OXY - wyznaczone przez odcinki osi skojarzone z tymi maszynami - wyznaczają prostokątne obszary wzbronione.

Algorytmy szeregowania zadań

krok 2

Wielkość prostokąta określa czasy wykonania poszczególnych zadań. Należy zatem wyznaczyć łamaną o kształcie najbardziej zbliżonym do przekątnej. Odcinki równoległe do osi OX oznaczają, że w tym czasie tylko zadanie 1 jest realizowane (w przeciwnym wypadku, tylko zadanie 2). Odcinek nachylony pod kątem 45° oznacza, że w tym czasie realizowane są obydwa zadania

Algorytmy szeregowania zadań

Metody przybliżone

Algorytm Gupty

Dotyczy zagadnień kolejnościowych z m maszynami i n wyrobami. Poszczególne zadania są jednak przesyłane między stanowiskami w tej samej, określonej kolejności.

Opis metody:

Dla każdego wyrobu oblicz wskaźnik f_j wg poniższego wzoru:

$$f_i = \frac{A}{\min_{i=1, m-1} (t_{i,j} + t_{i+1,j})}$$

gdzie:

$t_{i,j}$ - czas potrzebny na obróbkę j -tego wyrobu na i -tej maszynie,
 $i=\{1, 2, \dots, m\}$, $j=\{1, 2, \dots, n\}$.

Obliczone w ten sposób wskaźniki f_j ustawione w ciągu niemalejącym wyznaczają poszukiwaną kolejność wykonywania zadań

$$f_{j_1} \leq f_{j_2} \leq \dots \leq f_{j_n}.$$

Algorytmy szeregowania zadań

Metody heurystyczne

Ta grupa metod harmonogramowania procesów jest oparta na wykorzystaniu heurystycznych reguł decyzyjnych, tzw. reguł priorytetu.

Reguły te stanowią bądź uogólnienie doświadczeń dyspozytora zdobytych w toku wieloletniej pracy zawodowej, bądź też stanowią uogólnienie serii eksperymentów symulacyjnych.

Omawiane podejście umożliwia uwzględnienie rzeczywistych struktur i ograniczeń procesów wytwarzania, pozwalając w efekcie na wybór, zgodnie z ustalonym zbiorem reguł priorytetowania zadań i zasobów, odpowiednich strategii sterowania optymalizujących poszczególne aspekty zachowania systemu produkcyjnego.

Algorytmy szeregowania zadań

Przyjmując istnienie zbioru dopuszczalnych harmonogramów, zadanych w postaci algorytmicznej, tzn. zbioru procedur sterowania $A(r)$, $r \in R$, opartych na wspólnym modelu procesu technologicznego (lecz różniących się zaimplementowaną regułą priorytetu r), oraz istnienie wartości kryterium jakości harmonogramowania $Q(A(r))$, problem wyboru reguł ekstremalizujących wartość kryterium sprowadza się do zadania

$$\{Q(A(r)) \mid r \in R\}$$

gdzie R - rozważany zbiór reguł priorytetu.

Algorytmy szeregowania zadań

Przez pojęcie reguły priorytetu rozumiana jest funkcja, która każdej operacji oczekującej na wykonanie w kolejce (zbiorniku operacji należących do różnych zadań) przyporządkowuje wielkość zwaną wskaźnikiem priorytetu i wybiera operację z minimalną (lub maksymalną) wartością tego wskaźnika determinując tym samym pierwszeństwo wykonania tej operacji.

Definicję reguły priorytetu można zapisać następująco:

$$P_{ij}(t) = \{z_{ij}(t) \mid (i, j) \in U(t)\}$$

gdzie:

- $P_{ij}(t)$ - wskaźnik priorytetu operacji j zadania i mającej priorytet w chwili t ,
- $z_{i,j}(t)$ - wskaźnik priorytetu j -tej operacji i -tego zadania w chwili t ,
- $U(t)$ - zbiór operacji oczekujących w kolejce przed danym stanowiskiem w chwili t .

Algorytmy szeregowania zadań

W ogólnym przypadku reguły priorytetu mogą być funkcjami zależnymi od czasu (tzw. dynamicznymi regułami priorytetu), tzn. regułami, w których wskaźniki priorytetu tych reguł zmieniają wartości w miarę upływu czasu.

Reguły priorytetu w sterowaniu przepływem produkcji mogą być stosowane wszędzie tam, gdzie tworzą się kolejki przedmiotów i należy podjąć decyzję ustalającą pierwszeństwo jednego z elementów kolejki.

W podejściu takim przyjmuje się, że optymalną kolejność wykonywania operacji technologicznych, a zatem uzyskanie określonych efektów pracy systemu produkcyjnego, można osiągnąć w wyniku zastosowania właściwie dobranej reguły priorytetu. Wybór reguł może być związany z różnymi celami, jak np. przyspieszeniem wykonywania pewnych wyrobów, skróceniem cykli produkcyjnych wyrobów, zwiększeniem terminowości wykonania wyrobów itp.

Algorytmy szeregowania zadań

Wiele reguł priorytetowania przebiegu procesu produkcyjnego. W większości przypadków podawane są jednak tylko werbalne opisy ich działania, nie pozwalające na przeprowadzenie ich jednoznacznej, formalnej rekonstrukcji.

Reguła priorytetu dla najkrótszego czasu operacji, porządkująca operacje w kolejce według rosnących czasów operacji.

$$P_{ij}(t) = \{z_{ij}(t) \mid z_{ij}(t) = t_{i,j} \& (i, j) \in U(t)\}$$

$t_{i,j}$ - czas j -tej operacji i -tego zadania liczony jako iloczyn jednostkowy czasu operacji t_j i wielkości partii produkcyjnej p_i ;

$P_{ij}(t)$ - wskaźnik priorytetu operacji j zadania i mającej priorytet w chwili t ;

$z_{ij}(t)$ - wskaźnik priorytetu j -tej operacji i -tego zadania w chwili t ;

$U(t)$ - zbiór operacji oczekujących w kolejce przed danym stanowiskiem w chwili t .

Algorytmy szeregowania zadań

Reguła priorytetu dla minimalnego dynamicznego zapasu czasu zadania - metoda wydłużająca cykle produkcyjne zadań:

$$P_{ij}(t) = \{z_{ij}(t) \mid z_{ij}(t) = d_i - t - \sum_{l=j}^{g_i} t_{il}\}$$

d_i - dyrektywny termin zakończenia zadania;

g_i - liczba operacji zadania;

$t_{i,j}$ - czas j -tej operacji i -tego zadania liczony jako iloczyn jednostkowy czasu operacji t_j i wielkości partii produkcyjnej p ;

$P_{ij}(t)$ - wskaźnik priorytetu operacji j zadania i mającej priorytet w chwili t ;

$z_{i,j}(t)$ - wskaźnik priorytetu j -tej operacji i -tego zadania w chwili t ;

Algorytmy optymalizacji w zintegrowanych komputerowo systemach produkcyjnych

Algorytmy optymalizacji

Algorytmy optymalizacji dla problemów projektowania i równoważenia obciążeń w systemach produkcyjnych montażowych:

- ✓ dla różnych konfiguracji (struktur),
- ✓ dla różnych kryteriów optymalności

Problem równoważenia obciążeń maszyn w systemach produkcyjnych montażowych polega na takim wyznaczeniu rozdziału części składowych pomiędzy stacje montażowe i przydziału do nich operacji montażowych, dla którego obciążenia wszystkich stacji(maszyn) są zbliżone.

Uwaga: zróżnicowanie obciążeń maszyn = wąskie gardła

Inne kryterium optymalizacji obciążeń - **minimum przemieszczeń montowanych wyrobów** pomiędzy stacjami (maszynami).

Algorytmy optymalizacji

Modele optymalizacji

Modele z pojedynczymi marszrutami montażu – każda operacja jest przydzielana do tylko jednej maszyny:

- ✓ jednokierunkowy przepływ wyrobów bez powrotów do odwiedzanych stacji
- ✓ przepływ wyrobów z możliwością wielokrotnego odwiedzania stacji (maszyn)

Modele z wieloma marszrutami montażu – dopuszcza się przydział tej samej operacji do wielu maszyn:

- ✓ modele z maszynami równoległymi - jednokierunkowy przepływ wyrobów bez powrotów do odwiedzanych stacji
- ✓ modele dla ogólnych ESM między innymi – z maszynami równoległymi - przepływ wyrobów z możliwością wielokrotnego odwiedzania stacji (maszyn)

Modele optymalizacji konfiguracji systemu z jednoczesnym równoważeniem obciążeń stacji (maszyn) dla ustalonego asortymentu montowanych wyrobów.

Algorytmy optymalizacji

Opis systemu Elastycznego Systemu Montażowego

M stacji (maszyn)

$$i \in I = \{1, 2, \dots, M\}$$

połączonych przez zautomatyzowany system transportu materiałów.

W różnych typów wyrobów

$$k \in K = \{1, 2, \dots, W\}$$

Wyprodukowanie wszystkich typów wyrobów realizuje N różnych operacji montażowych:

$$j \in J = \{1, 2, \dots, N\}$$

które odpowiada montażowi N różnych typów części składowych.

Dla każdego wyrobu k znany jest podzbiór $J_k \subset J$ wymaganych operacji wraz z kolejnością ich wykonania.

Algorytmy optymalizacji

Opis systemu Elastycznego Systemu Montażowego cd.

Kolejność określona jest przez parę R_k par $(j,r) \in J_k$ rozpoczęcie r po zakończeniu j

Operację j może wykonać dowolna maszyna (stacja) $i \in I_j$ z podzbioru $I_j \subset I$ typów stacji przystosowanych do jej wykonania.

Czas wykonania operacji j dla wyrobu k oznaczmy p_{jk} – gdy czas jest zależny od stacji przez p_{ijk}

Każda z M stacji może składać się jednej lub kilku maszyn (i-ta stacja składa się $m_i \geq 1$ jednakowych maszyn pracujących równolegle oraz urządzeń pomocniczych takich, jak zmieniacze palet, podajniki części składowych, magazynki chwytaków)

Każda maszyna stacji i dysponuje ograniczoną liczbą podajników b_i

Czas transportu od stacji i do stacji l oznaczamy przez q_{il}

Algorytmy optymalizacji

Proces montażu:

- ✓ część bazowa montowanego produktu przebiega przez daną marszrutę technologiczną,
- ✓ paleta wraz z częścią jest transportowana przez wózki AGV, do kolejnych stacji, gdzie do części bazowej montuje się kolejne elementy składowe.
- ✓ po zamontowaniu elementów produkt opuszcza system

Rozwiązania dopuszczalne każdego problemu optymalizującego muszą spełniać cztery warunki:

- ✓ zapotrzebowanie na typ produktu musi być zaspokojone
- ✓ Liczba operacji przydzielonych do każdej stacji nie może przekroczyć liczby podajników części
- ✓ dla ESM operacje muszą być przydzielane do stacji tak, aby zachować ograniczenia kolejnościowe montażu bez powrotów do stacji
- ✓ montowane wyroby muszą być montowane na stacjach do których przydzielono wymagane typy części

Algorytmy optymalizacji

Model M1 – równoważenie obciążeń stacji i minimalizacji przepływów między stacjami w ESM

Minimalizacja funkcji celu

$$F_{\max} = \lambda C_{\max} + (1 - \lambda) \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^W d_k y_{ik}$$

C_{\max} - długość cyklu montażowego

M - liczba stacji M_{\max} – liczba stacji do których przydzielono zadania

W - liczba typów (rodzajów) wyrobów

λ - współczynnik wagi $0 \leq \lambda \leq 1$

d_k - zapotrzebowanie na wyrób typu k

$y_{ik} = 1$ jeżeli wyrób k przechodzi przez stację i ; inaczej $y_{ik} = 0$

k – typ montowanego wyrobu ($k = 1, 2, \dots, W$)

Algorytmy optymalizacji

przy ograniczeniu

$$\sum_{i=1}^W \sum_{j \in J_k} d_k p_{jk} x_{ij} \leq C_{\max} \quad i \in I$$

które wyznacza obciążenie C_{\max} stacji będącej wąskim gardłem
 $x_{ij} = 1$ jeżeli operację j przydzielono do stacji i ; inaczej $x_{ij} = 0$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1; \quad j \in J$$

ograniczenie zapewnia przydział części każdego typu do tylko jednej stacji

$$\sum_{i=1}^N i x_{ij} \leq b_i; \quad i \in I$$

b_i - przestrzeń robocza stacji i ogranicza liczbę podajników przy każdej stacji

Algorytmy optymalizacji

Model M1 – równoważenie obciążeń stacji i minimalizacji przepływów między stacjami w ESM

$$\sum_{i=1}^M ix_{ij} \leq \sum_{i=1}^M ix_{ir}; \quad (j, r) \in R$$

ograniczenie zapewnia kolejność montażu części składowych bez powracaniu do stacji wcześniejszych, tzn. jeżeli część typu r przydzielono do stacji i , to część typu j , powinny być przydzielone do stacji o numerze nie większym niż i .

$$y_{ik} \geq x_{ij}; \quad i \in I, k \in K, j \in J_k$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; \quad i \in I, j \in J \quad y_{ik} \in \{0,1\}; \quad i \in I, k \in K$$

ograniczenie zapewnia, że dla każdego typu wyrobu, marszruta przechodzi przez te stacje, do których przydzielono wymagane typy części.

Algorytmy optymalizacji

Model M2 – równoważenie obciążeń stacji i przepływów międzystadialnych (miedzy stacjami w ESM) z maszynami równoległymi

Minimalizacja funkcji celu F_{max} , która reprezentuje sumę czasów montażu i przemieszczeń wyrobów do stacji będącej wąskim gardłem w systemie, gdzie λ - współczynnik wagi $0 \leq \lambda \leq 1$

przy ograniczeniach

$$\lambda \sum_{k=1}^W \sum_{j \in J_k} d_k p_{jk} x_{ij} / m_i + (1 - \lambda) \sum_{k=1}^W d_k y_{ik} \leq F_{max}; \quad i \in I$$

C_{max} - długość cyklu montażowego

M - liczba stacji M_{max} – liczba stacji do których przydzielono zadania

W - liczba typów (rodzajów) wyrobów

λ - współczynnik wagi $0 \leq \lambda \leq 1$

d_k - zapotrzebowanie na wyrób typu k

$y_{ik} = 1$ jeżeli wyrób k przechodzi przez stację i ; inaczej $y_{ik} = 0$

k – typ montowanego wyrobu ($k = 1, 2, \dots, W$)

Algorytmy optymalizacji

Model M2 cd.

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1; \quad j \in J$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \leq m_i b_i; \quad i \in I$$

liczba różnych typów produktów (części)
przydzielonych do jednej stacji nie przekroczy liczby
wszystkich podajników tej stacji.

$$x_{ij} \leq \sum_{j=1}^N x_{i-1j} / m_{i-1i}; \quad i = 2, 3, \dots, M, j \in J$$

żadna operacja nie może
być przydzielona do stacji i
wtedy i tylko wtedy gdy

do każdej maszyny stacji $(i-1)$ nie zostanie przydzielona co najmniej jedna operacja.

Algorytmy optymalizacji

Model M2 cd.

$$\sum_{i=1}^M ix_{ij} \leq \sum_{i=1}^M ix_{ir}; \quad (j, r) \in R$$

to ograniczenie zapewnia, że jeżeli część typu r przydzielono do stacji i , to część typu j , które należy zamontować przed r powinny być przydzielone do stacji o numerze nie większym niż i .

$$y_{ik} \geq x_{ij}; \quad i \in I, k \in K, j \in J_k$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; \quad i \in I, j \in J \qquad y_{ik} \in \{0,1\}; \quad i \in I, k \in K$$

ograniczenie to zapewnia, że dla każdego typu wyrobu, wybór marszruty przechodzącej przez te stacje, do których przydzielono wymagane typy części.

Algorytmy optymalizacji

Model M3 – równoważenie łączonego czasu montażu i transportu w ogólnym ESM

Minimalizacja funkcji celu F_{\max} przy ograniczeniach

$$\lambda \sum_{k=1}^W \sum_{j \in J_k} d_k p_{jk} x_{ij} + (1 - \lambda) \sum_{k=1}^W \sum_{l \neq i} \sum_{j \in J_k} d_k q_{li} Y_{lijk} \leq F_{\max}; \quad i \in I$$

Funkcja celu F_{\max} reprezentuje sumę ważoną czasów montażu i transportu wyznaczonych dla stacji będącej wąskim gardłem w systemie i określonej przez powyższą formułę.

Pierwszy składnik reprezentuje obciążenie stacji – drugi łączny czas transportu

d_k zapotrzebowanie na wyrób typu k

$y_{ik} = 1$ jeżeli wyrób k przechodzi przez stację i ; inaczej $y_{ik} = 0$

p_{jk} czas wykonywania operacji j dla wyrobu typu k

$x_{ij} = 1$ jeżeli operację j przydzielono do maszyny i ; inaczej $x_{ij} = 0$

q_{li} czas transportu wyrobu od stacji i do stacji l

$Y_{lijk} = 1$ jeżeli wyrób typu k po wykonaniu operacji j przemieszcza się od stacji i do stacji l , w przeciwnym przypadku $Y_{lijk} = 0$

Algorytmy optymalizacji

Model M3 cd.

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1; \quad j \in J$$

$$\sum_{i=1}^N i x_{ij} \leq m_i b_i; \quad i \in I$$

liczba różnych typów produktów (części) przydzielonych do jednej stacji nie przekroczy liczby wszystkich podajników tej stacji.

$$x_{ij} \leq \sum_{j=1}^N x_{i-1j} / m_{i-1i}; \quad i = 2, 3, \dots, M, j \in J$$

żadna operacja nie może być przydzielona do stacji i dopóty, dopóki do każdej maszyny stacji $(i-1)$ nie zostanie przydzielona co najmniej jedna operacja.

$$x_{ij} + x_{lr} - Y_{ijk} \leq 1, \quad k \in K; i, l \in I; i \neq l; (j, r) \in R_k$$

$$-x_{ij} - x_{lr} + 2Y_{ijk} \leq 0, \quad k \in K; i, l \in I; i \neq l; (j, r) \in R_k$$

ograniczenia te zapewniają wybór dla każdego wyrobu marszruty przechodzącej przez te stacje, do których przydzielono kolejno montowane części.

Algorytmy optymalizacji

Model M4 – równoważenie obciążeń stacji dla montażu z alternatywnymi marszrutami

Zminimalizować funkcję celu C_{\max} przy ograniczeniach

$$\sum_{i=1}^W \sum_{j \in J_k} p_{jk} z_{ijk} \leq C_{\max} \quad i \in I$$

p_{ik} czas wykonywania operacji j dla wyrobu typu k

$z_{ijk} = 1$ liczba wyrobów typu k przydzielonych do stacji i w celu wykonania operacji j

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} \geq 1; \quad j \in J \qquad \sum_{i=1}^N x_{ij} \leq b_i; \quad i \in I$$

Warunek zapewnia przydział części każdego typu do co najmniej jednej stacji, drugi warunek zapewnia ograniczoną liczbę podajników części przy każdej stacji.

$x_{ij} = 1$ jeżeli operację j przydzielono do maszyny i ; inaczej $x_{ik} = 0$

Algorytmy optymalizacji

$$x_{ij} \leq \sum_{i=1}^M x_{lr} \quad i \in I, (j, r) \in R \quad x_{lr} \leq \sum_{i=1}^l x_{ij} \quad l \in I, (j, r) \in R$$

Powyższe ograniczenia zapewniają taki wielokrotny przydział części składowych do stacji, dla którego montaż każdego typu wyrobu może odbywać się bez powracania do stacji raz odwiedzanych.

$x_{ij} = 1$ jeżeli operację j przydzielono do stacji i ; inaczej $x_{ij} = 0$

$$\sum_{i=1}^M z_{ijk} = d_k; \quad k \in K, j \in J_k$$

Powyższy warunek zapewnia wykonanie wymaganej liczby wszystkich typów wyrobów.

$$x_{ij} \leq \sum_{\{k:j \in J_k\}} z_{ijk} \leq \left(\sum_{\{k:j \in J_k\}} d_k \right) x_{ij}; \quad i \in I, j \in J$$

zapewnia, że dla każdego typu wyrobu zapewniają wybór zbioru marszrut przechodzących przez te stacje, do których przydzielono odpowiednie typy części.

Algorytmy optymalizacji

Model M5 – optymalizacja konfiguracji i obciążeń elastycznej linii montażowej

Równoważenie obciążenia maszyn z jednoczesną minimalizacją liczby stacji lub liczby maszyn w systemie.

Wariant 1. Pojedyncze maszyny

$$\lambda C_{\max} + (1 - \lambda)M_{\max}$$

C_{\max} - długość cyklu montażowego, M_{\max} – liczba stacji do których przydzielono zadania, przy ograniczeniach

$$\sum_{i=1}^W \sum_{j \in J_k} p_{jk} x_{ij} \leq C_{\max} \quad i \in I$$

Ograniczenie to zapewnia, że obciążenie każdej stacji nie przekroczy długości cyklu montażowego C_{\max}

W liczba typów (rodzajów) wyrobów

λ współczynnik wagi $0 \leq \lambda \leq 1$

p_{jk} czas wykonywania operacji j dla wyrobu typu k

$x_{ij} = 1$ jeżeli operację j przydzielono do maszyny i ; inaczej $x_{ik} = 0$

Algorytmy optymalizacji

Model M5 cd.

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1; \quad j \in J \quad \sum_{i=1}^N x_{ij} \leq b_i; \quad i \in I$$

$$\sum_{i=1}^M ix_{ij} \leq \sum_{i=1}^M ix_{ir}; \quad (j, r) \in R$$

to ograniczenie zapewnia kolejność montażu części składowych w jednokierunkowym systemie przepływowym bez powracaniu do stacji wcześniejszych, tzn. jeżeli część typu r przydzielono do stacji i , to część typu j , które należy zamontować przed r powinny być przydzielone do stacji o numerze nie większym niż i .

$$ix_{ij} \leq M_{\max} \quad i \in I, j \in J$$

ten warunek wyznacza numer ostatniej stacji, do której przydzielono części.

$$ix_{ij} = \{0,1\} \quad i \in I, j \in J$$

$$x_{ij} = 1 \quad \text{jeżeli operację } j \text{ przydzielono do maszyny } i; \text{ inaczej } x_{ik} = 0$$

Algorytmy optymalizacji

Model M5 cd.

Dla ustalonej długości cyklu C_{\max} minimalna liczba stacji M_{\max} spełnia następujące nierówności

$$\sum_{i=1}^W \sum_{j \in J_k} p_{jk} / C_{\max} \leq M_{\max} \leq N, \quad N \leq \sum_{i=1}^{M_{\max}} b_i < N + b_{M_{\max}}$$

p_{ik} czas wykonywania operacji j dla wyrobu typu k

Algorytmy optymalizacji

Model M6 – optymalizacja konfiguracji i obciążeń elastycznej linii montażowej

Wariant 2. Maszyny równoległe $\lambda C_{\max} + (1 - \lambda) \sum_{i=1}^M m_{i \max}$

$M_{i \max}$ liczba maszyn przy stacji i , do których przydzielono operacje

przy ograniczeniach $\sum_{i=1}^W \sum_{j \in J_k} p_{jk} X_{ihj} \leq C_{\max} \quad i \in I, h = 1, 2, \dots, m_i$

$X_{ihj} = 1$ jeżeli operację j przydzielono do maszyny h stacji i , w przeciwnym przypadku $X_{ihj} = 0$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1; \quad j \in J \quad \sum_{i=1}^N x_{ij} \leq m_i b_i; \quad i \in I$$

Algorytmy optymalizacji

Model M6 cd.

Poniższy warunek dopuszcza przydział części do każdej następnej stacji pod warunkiem wykorzystania wszystkich równoległych maszyn z poprzedniej stacji

$$m_{i \max} / m_i \leq m_{i-1 \max} / m_{i-1}, \quad i = 2, 3, \dots, M$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; \quad i \in I, j \in J$$

$$X_{ihj} \in \{0, 1\}; \quad i \in I, j \in J, h = 1, 2, \dots, m_i$$

W przypadku minimalizacji wyłącznie długości cyklu montażowego C_{\max} ($\lambda=1$) należy usunąć (pomiąć) warunki (ograniczenia) zawierające zmienne $m_{i \max}$.

$X_{ihj} = 1$ jeżeli operację j przydzielono do maszyny h stacji i , w przeciwnym przypadku $X_{ihj} = 0$

Algorytmy optymalizacji

Stosując środowisko programowania z ograniczeniami, całkowitoliczbowego możemy w tym środowisku zaimplementować prezentowane ograniczenia. Oto przykładowe wyniki dla modelu 6 i 7 [3]

Optymalizacja konfiguracji i obciążeń elastycznej linii montażowej. Linia nie może zawierać więcej niż 5 stacji, każda dysponuje 5 podajnikami części.

Model (var, con)	λ	C_{max} x	m_i max	Przydziały operacji				
				Stacja1	Stacja2	Stacja3	Stacja4	Stacja5
M5 (76,1 23)	0	30	3	1-5	6-10	11-15	-	-
	0,5	20	5	1-2	3,4,5,6	7,8,11,12	9,10,13	14,15
	1	20	5	1,2,3,4	5,6,7,1 2	8,11	9,10,13	14,15
M6 (231, 367)	0	30	3	1-10	11-15	-	-	-
	0,5	14	8	1,2,3,4	5,7,8	6,9,10,12	11,13,14 ,15	-
	1	12	9	1-5	2,3,4,5, 6	7,8,11,12	9,10,13	14,15

Literatura

1. Burns A., Wellings A.: *Concurrent and real time programming in ADA* , 2005-Cambridge University Press - 2007
2. Kwaśniewski J.: *Programowalne sterowniki przemysłowe w systemach sterowania*. Wyd. własne. Kraków 1999
2. Legierski T. i inni: *Programowanie sterowników PLC*. Gliwice 1997.
3. Sawik T.: *Planowanie i sterowanie produkcji w elastycznych systemach montażowych*. WNT, Warszawa 1996.
4. Sawik T.: *Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych*. WNT, Warszawa 1992.
5. Sawik T.: *Badania operacyjne dla inżynierów zarządzania*. AGH, Kraków 1998.