

prof. dr hab. inż. Tadeusz Mikulczyński  
dr inż. Rafał Więclawek  
Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji  
Politechniki Wrocławskiej

## **MODELOWANIE I PROGRAMOWANIE METODĄ GRAFPOL WYBRANYCH PROCEDUR ALGORYTMÓW PROCESÓW DYSKRETNÝCH**

*Zaprezentowano zastosowanie metody Grafpol do modelowania dyskretnych procesów produkcyjnych i programowania programowalnych sterowników logicznych PLC. Opisano reguły realizacji procedur algorytmów sterowania. Na wybranych przykładach wykazano, że metodą Grafpol można modelować i programować dowolnie złożone procedury – sekwencyjne, czasowe, współbieżne oraz mieszane – algorytmów dyskretnych procesów produkcyjnych.*

### **MODELLING AND PROGRAMMING OF SELECTED ALGORITHM PROCEDURES OF DISCRETE PROCESSES WITH GRAFPOL METHOD**

*The paper presents the Grafpol method of modelling discrete manufacturing processes and programming PLCs (Programmable Logic Controllers). It has been proved that the Grafpol method can be used for modelling and programming of freely complex algorithms of discrete manufacturing processes: sequential, time-related, concurrent and mixed procedures.*

#### **1. WSTĘP**

W Laboratorium Podstaw Automatykacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej opracowano nową metodę Grafpol modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC [1,2,3]

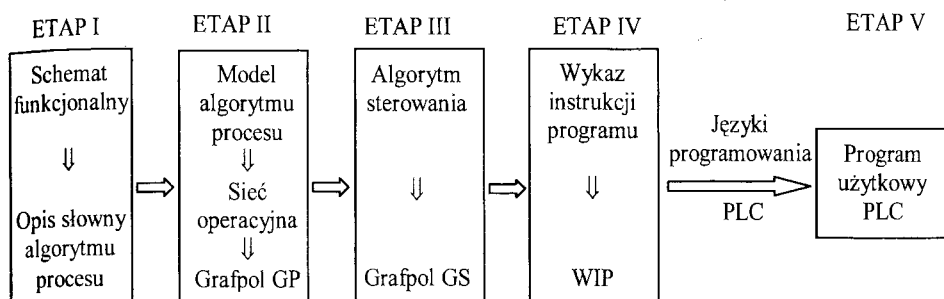
Sieć Grafpol GP (algorytm procesu) przedstawia w sposób graficzny, kolejność wykonywania etapów elementarnych procesu oraz podane, w postaci analitycznej, logiczne warunki ich realizacji.

Do syntezy sieci Grafpol GP podstawę stanowi sieć operacyjna, która przedstawia w sposób graficzny: kolejność wykonywania etapów elementarnych oraz warunki ich realizacji.

Sieć Grafpol GS (algorytm sterowania) otrzymuje się w wyniku transformacji sieci Grafpol GP i przedstawia ona zewnętrzne sygnały (WE i WY) sterownika PLC. Algorytm sterowania stanowi podstawę do wyznaczenia Wykazu Instrukcji Programu (WIP), które musi wykonać sterownik PLC, aby przebieg sterowania procesem był zgodny z założonym algorytmem jego realizacji.

WIP jest przedstawiany w postaci zbioru zdań logicznych, w którym podstawową formą zdaniową jest zdanie warunkowe „Jeśli ..., to ...”. WIP, po uwzględnieniu pamięci, stanowi podstawę do zapisu programu użytkowego (np. w języku LD, ST, itd.) sterownika PLC.

Procedurę modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC zilustrowano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat procedury modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC

## 2. MODELOWANIE SIECIĄ GRAFPOL PROCEDUR ALGORYTMÓW STEROWANIA

Algorytmy dyskretnych procesów produkcyjnych, a w ślad za nimi algorytmy sterowania, mogą zawierać następujące typy procedur:

- sekwencyjne, w których realizacja poszczególnych etapów elementarnych wymaga zachowania ściśle określonej kolejności,
- czasowe, w których wykonanie poszczególnych etapów elementarnych określa upływ zadanego czasu ich realizacji,
- współbieżne (równoległe), w których są jednocześnie realizowane procedury sekwencyjne, czasowe lub sekwencyjno – czasowe,
- mieszane, zawierające procedury sekwencyjne, współbieżne, czasowe i sekwencyjno – czasowe.

Reguły realizacji wybranych procedur zamieszczono w tabelicy 1. Podano tam zapis algorytmów procesów sieciami: operacyjną i Grafpol GP, natomiast zapis algorytmów sterowania siecią Grafpol GS,

Tablica 1. Reguły realizacji procedur algorytmów sterowania

Nr	Przykład	Reguła
1		<p><i>Realizacja etapu (kroku) w procedurze sekwencyjnej</i></p> <p>Przykład</p> <p>Przejsięcie od realizacji etapu E4 (kroku S4) do etapu E5 (kroku S5) następuje tylko wtedy, gdy etap E4 (krok S4) jest aktywny i warunek <math>f = 1</math>.</p>
2		<p><i>Współbieżne rozpoczęcie realizacji procedur sekwencyjnych</i></p> <p>Współbieżne rozpoczęcie realizacji procedur sekwencyjnych określa tranzycja rysowana podwójną linią.</p> <p>Przykład</p> <p>Przejsięcie od realizacji etapu E2 (kroku S2) do etapów E3, E4,... (kroków S3, S4...) następuje wtedy, gdy etap E2 (krok S2) jest aktywny i warunek <math>f = 1</math>. Po równoczesnej aktywacji etapów E3, E4,... (kroków S3, S4...) każda sekwencja jest realizowana niezależnie od pozostałych.</p>
3		<p><i>Współbieżne zakończenie realizacji procedur sekwencyjnych</i></p> <p>Współbieżne zakończenie wykonywania procedur sekwencyjnych określa tranzycja oznaczona podwójną linią.</p> <p>Przykład</p> <p>Przejsięcie od realizacji etapów E4, E5,... (kroków S4, S5...) do etapu E8 (kroku S8) następuje wtedy, gdy E4, E5,... (kroki S4, S5,...) są aktywne i warunek <math>f=1</math>.</p>

c.d. Tablicy 1

<p>4</p>		<p><i>Realizacja etapu (kroku) czasowego w procedurze sekwencyjnej</i></p> <p>Zakończenie realizacji określonego etapu (kroku) określa upływ zadanego czasu</p> <p>Przykład</p> <p>Przejsie od etapu E1 (kroku S1) do etapu E2 (kroku S2) następuje wtedy, gdy etap E1 (krok S1) jest aktywny i jest spełniony warunek <math>\geq T1</math></p>
<p>5</p>		<p><i>Cykliczna realizacja procedury sekwencyjnej</i></p> <p>Cykliczna realizacja procedury sekwencyjnej jest reprezentowana przez gałąź powracającą do początkowego kroku tej procedury.</p> <p>Przykład</p> <p>Przejsie od realizacji etapu E3 (kroku S3) do etapu E4 (kroku S4) następuje wtedy, gdy etap E3 (krok S3) jest aktywny i warunek <math>W5=1</math> i warunek <math>W4=0</math>.</p>

### 3. PRZYKŁADY MODELOWANIA I PROGRAMOWANIA WYBRANYCH PROCEDUR METODĄ GRAFPOL

Zastosowanie metody Grafpol do modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników PLC zostanie zilustrowane na przykładzie modelowania i programowania wybranych procedur realizowanych przez napędy pneumatyczne.



Realizacja:  $EZ6^+ \Rightarrow S3^+$

Sygnalizacja:  $WP6=1$

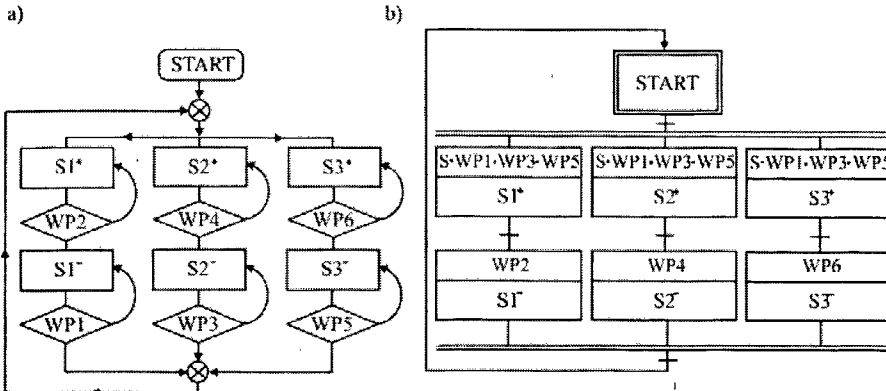
Etap E6: \* Wsuw siłownika  $S3^*$

Realizacja:  $EZ5^+ \Rightarrow S3^-$

Sygnalizacja:  $WP5=1$

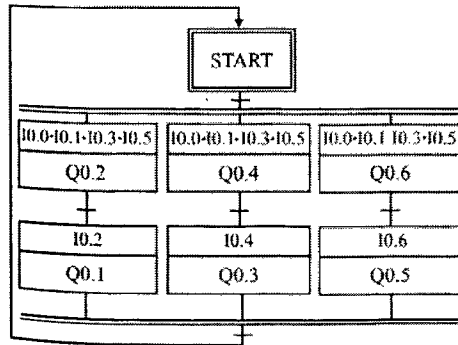
Proces jest realizowany cyklicznie, tzn. po zakończeniu realizacji etapów E2 i E4 i E6 następuje rozpoczęcie realizacji etapów: E1 i E3 i E5.

Model algorytmu pracy napędów pneumatycznych-sieć operacyjną -pokazano na rys. 3a, natomiast sieć Grafpol GP na rys. 3b.



Rys. 3. Model algorytmu pracy trzech podzespołów napędowych: sieć operacyjna (a), sieć Grafpol GP (b)

Po odwzorowaniu zbioru etapów elementarnych zbiorem zmiennych wyjściowych układu sterowania -uzyska się algorytm sterowania -sieć Grafpol GS - którą zamieszczono na rys. 4.

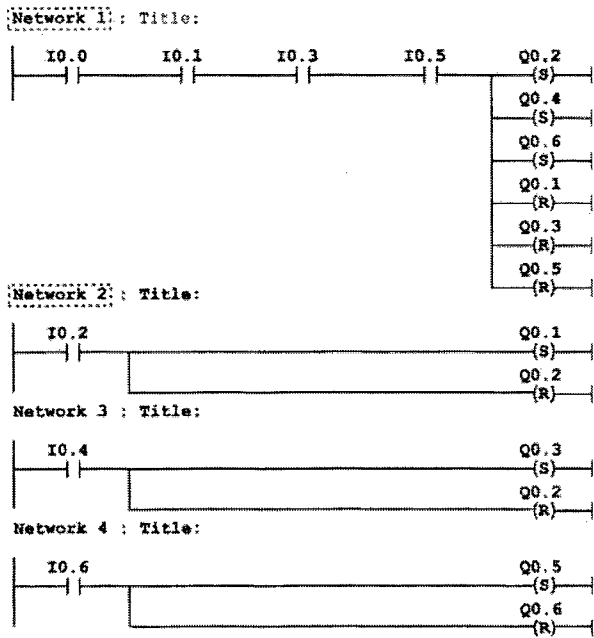


#### WIP

1. Jeśli  $I0.0 \cdot I0.1 \cdot I0.3 \cdot I0.5 = 1$ ,  
to  $Q0.2(S)$  i  $Q0.4(S)$  i  $Q0.6(S)$  i  
i  $Q0.1(R)$  i  $Q0.3(R)$  i  $Q0.5(R)$
2. Jeśli  $I0.2 = 1$ , to  $Q0.2(R)$  i  $Q0.1(S)$
3. Jeśli  $I0.4 = 1$ , to  $Q0.4(R)$  i  $Q0.3(S)$
4. Jeśli  $I0.6 = 1$ , to  $Q0.6(R)$  i  $Q0.5(S)$

Rys. 4. Algorytm sterowania - sieć Grafpol GS - oraz WIP sterujący pracą trzech pneumatycznych zespołów napędowych

Program napisany w języku LAD sterujący pracą napędów pneumatycznych, zamieszczono na rys. 5.



Rys.5. Program sterowania pracą napędów pneumatycznych, napisany w języku LAD

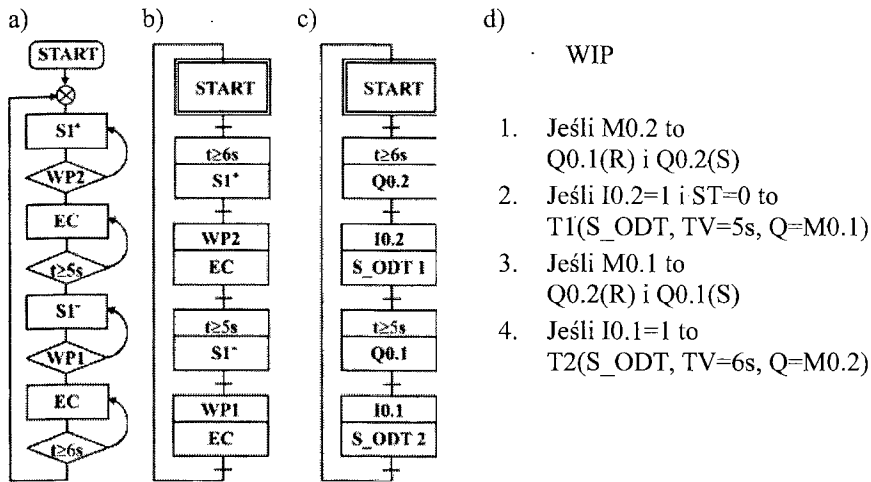
**3.2. Modelowanie i programowanie procedur czasowych**

Opis słowny algorytmu procesu jest następujący:

- Etap E1: \* Wsuw siłownika S1\*
- Realizacja:  $EZ2^+ \Rightarrow S1^+$
- Sygnalizacja:  $WP2=1$
- Etap E2: \* Etap czasowy \*
- Realizacja: Czasomierz T1
- Sygnalizacja: Upływ czasu  $t \geq T1$  ( $T1=5s$ )
- Etap E3: \* Wsuw siłownika S1 \*
- Realizacja:  $EZ1^+ \Rightarrow S1^-$
- Sygnalizacja:  $WP1=1$
- Etap E4: \* Etap czasowy \*
- Realizacja: Czasomierz T2
- Sygnalizacja: Upływ czasu  $t \geq T2$  ( $T2=6s$ )
- Proces jest realizowany cyklicznie.

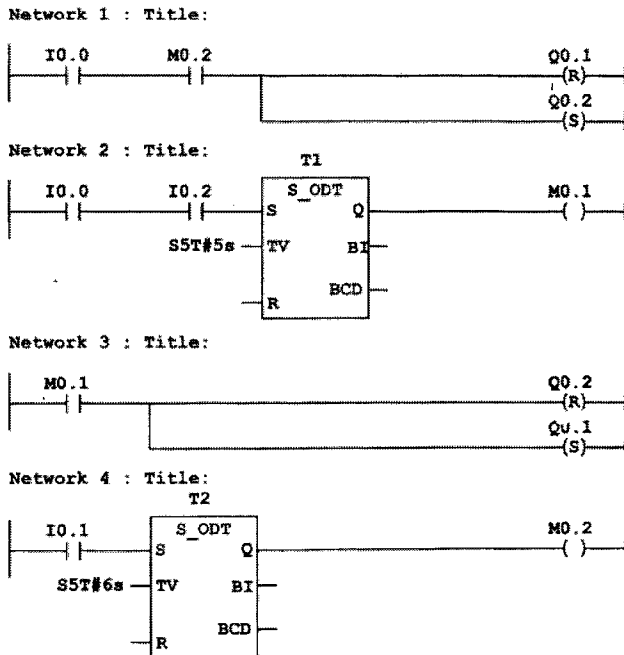
Model algorytmu pracy napędu S1-sieć operacyjną -pokazano na rys. 6a, natomiast sieć Grafpol GP na rys. 6b.

Po odwzorowaniu zbioru etapów elementarnych zbiorem zmiennych wyjściowych układu sterowania uzyska się algorytm sterowania –sieć Grafpol GS – którą zamieszczono na rys. 6c.



Rys. 6. Model algorytmu pracy napędu S1: sieć operacyjjna (a), sieć Grafpol GP (b), sieć Grafpol GS (c) oraz WIP sterującego pracą napędu S1 (d)

Program napisany w języku LAD, sterujący pracą napędu S1 zamieszczono na rys. 7.



Rys. 7. Program sterujący pracą napędu S1, napisany w języku LAD

### 3.3. Modelowanie i programowanie cyklicznej realizacji procedur sekwencyjnych

Opis słowny algorytmu procesu jest następujący:

Etap E1: \* Wysuw siłownika S2\*



Realizacja:  $EZ4^+ \Rightarrow S2^+$

Sygnalizacja:  $WP4=1$

Etap E2: \* Wsuw siłownika  $S1^*$

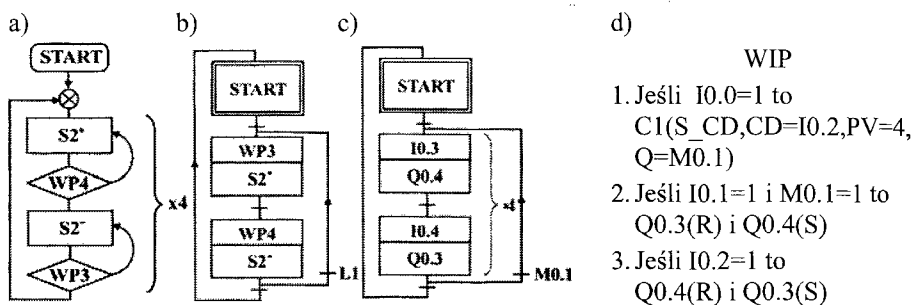
Realizacja:  $EZ3^+ \Rightarrow S2^-$

Sygnalizacja:  $WP3=1$

Etapy: E1, E2 powinny być zrealizowane 4-krotnie.

Model algorytmu pracy napędu S2-sieć operacyjną -pokazano na rys. 8a, natomiast sieć Grafpol GP na rys. 8b.

Po odwzorowaniu zbioru etapów elementarnych zbiorem zmiennych wyjściowych układu sterowania uzyska się algorytm sterowania –sieć Grafpol GS – którą zamieszczono na rys. 8c



Rys. 8. Model algorytmu pracy napędu S2: sieć operacyjna (a), sieć Grafpol GP (b), sieć Grafpol GS (c) oraz WIP sterującego pracą napędu S2 (d)

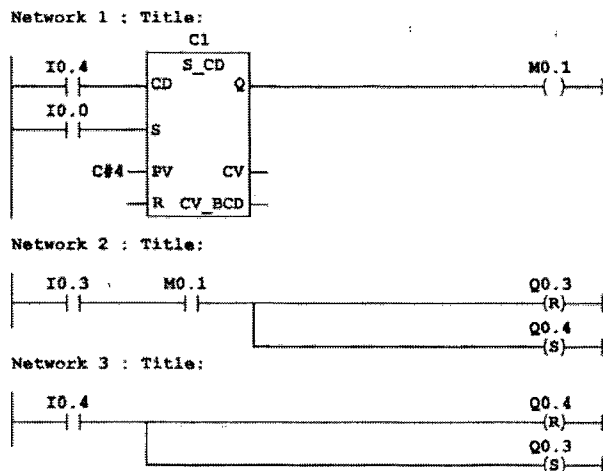
Program napisany w języku LAD, sterujący pracą napędu S2, zamieszczono na rys.9.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Zaprezentowano metodę Grafpol modelowania dyskretnych procesów produkcyjnych i programowania sterowników PLC. Teoretyczne podstawy metody Grafpol stanowi formalizm sieci działań stosowanych do modelowania algorytmów programów komputerowych. Wprowadzone do sieci działań nowe elementy (węzły operacji logicznych) oraz modyfikacje umożliwiły opracowanie uniwersalnego formalizmu modelowania algorytmów dyskretnych procesów produkcyjnych. Stanowi to o dużej zalecie sieci operacyjnej. Elementy sieci operacyjnej umożliwiają bowiem zapis etapów elementarnych procesów dyskretnych i dowolnie złożonych funkcji logicznych, określających warunki logiczne realizacji etapów elementarnych.

W metodzie Grafpol do reprezentacji algorytmów: procesu i sterowania przyjęto sieć, która przedstawia wymienione algorytmy w sposób graficzny oraz reprezentuje warunki logiczne realizacji etapów elementarnych w sposób analityczny. Sieć Grafpol jest wyznaczana na podstawie sieci operacyjnej.

Metoda Grafpol pozwala na modelowanie dowolnie złożonych procedur algorytmów procesów dyskretnych, np. sekwencyjnych, czasowych, współbieżnych oraz mieszanym, a zatem może być stosowana do automatyzacji nowoczesnych systemów wytwórczych.



Rys. 9. Program sterujący pracą napędu S2, napisany w języku LAD

## LITERATURA

- [1] T. Mikulczyński, R. Więclawek: *Zastosowanie metody Grafpol do programowania sterowników PLC*. Pomiary Autom. Robot. 2000, R. 4, nr 10
- [2] T. Mikulczyński, Z. Samsonowicz, R. Więclawek, R. Wikiera: *Zastosowanie metod MTS i Grafpol do programowania sterowników PLC na przykładzie wybranego procesu technologicznego*. Konferencja Automation '97, T.2, Warszawa 1997
- [3] T. Mikulczyński, R. Więclawek: *Zastosowanie metody Grafpol do syntezy układów sterowania napędami pneumatycznymi*. Hydraul. Pneum. 2002, R. 22, nr 3