

KONCEPCJA KONFIGUROWALNEGO MODUŁU PROGRAMOWEGO DLA ROZPROSZONEGO ŚRODOWISKA SYMULACJI ESM

W pracy przedstawiono koncepcję programu komputerowego, który ma być podstawowym, konfigurowalnym modułem rozproszonego środowiska symulacji ESM w oparciu o zmodyfikowane Sieci Petriego. Opracowany program umożliwi wygenerowanie, konfigurację i modyfikację modeli obiektów ESM na podstawie specyfikacji ich działania oraz umożliwi przeprowadzenie symulacji działania pojedynczego obiektu.

A CONCEPTION OF A CONFIGURABLE SOFTWARE MODULE FOR DISTRIBUTED ENVIRONMENT OF FAS SYMULATION

The paper presents an idea of the computer program which is the basic, configurable module of a distributed environment for FAS simulation. As the modelling language modified Petri Nets are used. The program enables automatic model creation of FAS components, configuration and modification of the model. The program has the capability of single FAS component simulation.

1. WPROWADZENIE

Prowadzone w ostatnich latach prace z zakresu organizacji i sterowania produkcją koncentrują się wokół zagadnień związanych z ograniczeniem wielkości serii produkowanych wyrobów przy zachowaniu kosztów, a tym samym cen produktów, możliwie zbliżonych do tych osiągniętych w produkcji wielkoseryjnej i masowej. W tej dziedzinie rozwijane i implementowane są techniki takie jak Produkcja Oszczędna (Lean Production) czy Szybkie Wytwarzanie (Agile Manufacturing) [6]. Metodą zorientowaną na organizację produkcji dla dużego rynku uwzględniającą potrzeby indywidualnych klientów jest Zindywidualizowana Produkcja Masowa (Mass Customization) [7]. W podejściu tym klienci biorą udział w definiowaniu, konfigurowaniu i modyfikacjach indywidualnych rozwiązań produktów. Wymaga to przygotowania odpowiednich systemów informatycznych umożliwiających klientom definiowanie zapotrzebowania i specyfikowania produktów. Konieczne jest również stosowanie oprogramowania do symulacji i sterowania produkcją, umożliwiającego przetwarzanie określonych przez klientów specyfikacji.

Postępująca złożoność Elastycznych Systemów Wytwarzania (ESW) i Elastycznych Systemów Montażowych (ESM) oraz rozwój dostępnych rozwiązań informatycznych, zarówno sprzętowych jak i programowych, motywują rozwój modułowych i konfigurowalnych systemów symulacji działania i sterowania produkcją. Od kilku lat w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Krakowskiej

realizowane są prace dotyczące modelowania, symulacji i sterowania ESW przy pomocy zmodyfikowanych Sieci Petriego – Kolorowych Obiektowo Obserwowalnych Sieci Petriego (COPN) [9]. Prowadzono również prace z zakresu rozproszonego sterowania ESW [8]. Prowadzone obecnie prace dotyczą zastosowania COPN w modelowaniu i symulacji ESM. Wprowadzono modyfikacje definicji COPN mające na celu uzyskanie przejrzystego i intuicyjnego opisu operacji montażu w modelu [3,4] oraz zaproponowano zasady tworzenia modeli wybranych części ESM (stanowisk montażowych, środków transportu, magazynów buforowych) [5]. Dla celów weryfikacji opracowań teoretycznych zbudowane zostanie rozproszone środowisko symulacji działania ESM w oparciu o COPN. Podstawowym komponentem tego środowiska jest konfigurowalny moduł programowy. W niniejszej pracy przedstawione zostaną założenia, możliwości konfiguracji oraz zasada działania takiego modułu programowego.

2. ZAŁOŻENIA WSTĘPNE

Na podstawie przeprowadzonej analizy przyjęto następujące założenia dotyczące opracowania programu:

A. Moduł programowy reprezentuje działanie jednego obiektu systemu ESM. Termin obiekt systemu oznacza wyodrębnioną część systemu wykonującą wybrany fragment całości procesu realizowanego w systemie, działającą w sposób cykliczny. W pracy używany będzie również termin obiekty przepływające – to obiekty podlegające działaniu obiektów systemu (montowane części i zespoły). Ogólny schemat działania obiektu systemu to:

- przejście zbioru obiektów przepływających od poprzedzającego, według marszrut technologicznej, obiektu stałego,
- przetwarzanie przyjętych obiektów (realizacja transportu, operacji montażu, itp.),
- przekazanie zbioru obiektów przepływających do następnego, według marszrut technologicznej, obiektu systemu.

Dla wybranych obiektów systemu przedstawiony powyżej cykl pracy może być ograniczony (np. magazyny, magazyny buforowe nie realizują przetwarzania). W pracy rozważane są następujące podstawowe typy obiektów systemu: stanowiska montażowe, środki transportu, magazyny/magazyny buforowe.

B. Model działania obiektu systemu zapisany jest w języku COPN. Model ten opisuje zmiany stanów obiektów przepływających, przetwarzanych przez dany obiekt systemu.

C. Moduł umożliwia wygenerowanie modelu COPN na podstawie ogólnej specyfikacji działania obiektu systemu oraz edycję graficznego obrazu modelu.

D. Moduł pozwala na konfigurację podstawowych parametrów modelu (wartości funkcji wagi, liczby wersji obiektów przepływających poszczególnych typów, liczby znaczników reprezentujących dostępne obiekty przepływające).

E. Moduł umożliwia modyfikację modelu obiektu systemu konieczną w przypadku rozszerzenia zakresu realizowanych przez obiekt zadań (przejście przez obiekt zadań realizowanych wcześniej przez inny obiekt lub wprowadzenie do systemu dodatkowych zadań). Wiąże się to z dodaniem do modelu dodatkowych cykli pracy przejście –

przetwarzanie – przekazanie. Możliwe jest również ograniczenie realizowanych przez obiekt zadań, co wiąże się z usunięciem (zablokowaniem możliwości wykonania) wybranych cykli pracy.

F. Moduł posiada zaimplementowany algorytm przetwarzania modelu COPN. Przekształcanie modelu odzwierciedla zmiany stanów obiektu systemu i obiektów przepływających zachodzące w trakcie pracy obiektu stałego.

G. Moduł posiada zaimplementowane protokoły komunikacyjne umożliwiające połączenie zbioru modułów, reprezentujących działanie pojedynczych obiektów systemu, w zintegrowane środowisko reprezentujące działanie całego ESM. Zaimplementowane funkcje komunikacyjne umożliwiają wymianę informacji niezbędną dla realizacji przekazywania pomiędzy modułami obiektów przepływających.

H. Moduł archiwizuje informacje o zdarzeniach rozpoczęcia/kończenia czynności realizowanych przez obiekty systemu dla celów analizy działania systemu.

3. CHARAKTERYSTYKA MODUŁU PROGRAMOWEGO

3.1 Generowanie modelu COPN na podstawie specyfikacji działania obiektu systemu

Dane niezbędne do wygenerowania modelu zawierają:

- dane identyfikujące model (nazwa oraz unikalny identyfikator),
- opis działania obiektu systemu oraz obiektów przepływających.

Opis obiektu (systemu lub przepływającego) zawiera:

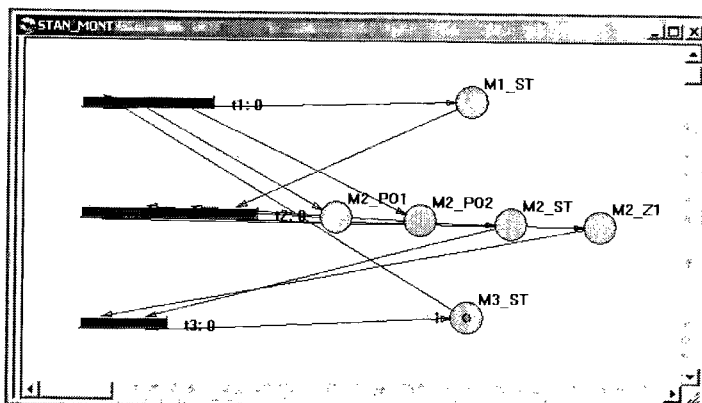
- informacje o obiekcie: nazwa, liczba typów obiektu, pojemność (dla obiektów stałych) lub wymagana pojemność (dla obiektów przepływających),
- definicje czynności, w realizacji których obiekt bierze udział; opis każdej czynności zawiera: identyfikator i nazwę czynności, liczbę obiektów biorących udział w czynności, typ czynności (określa, czy w wyniku wykonania czynności obiekt jest przejmowany/przekazywany przez model modułu), dla czynności przejścia/przekazania dane identyfikujące model, z którego obiekt jest przejmowany lub do którego jest przekazywany, dla czynności montażowych specyfikacja montowanego zespołu,
- kolejność realizacji czynności przez obiekt.

W tabeli 1 przedstawiono przykład opisu stanowiska montażowego S_M, które realizuje montaż zespołu Z1. Montowany zespół składa się z dwóch elementów PO1 oraz trzech elementów PO2. Montowane elementy przejmowane są z magazynu buforowego wejściowego (model BUFOR1), zmontowany zespół przekazywany jest do magazynu buforowego wyjściowego (model BUFOR2).

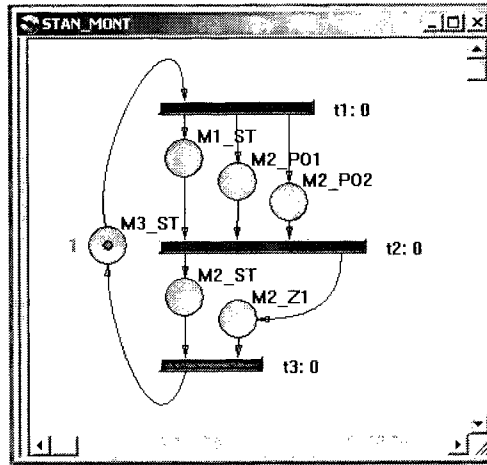
Opracowano algorytm, który na podstawie opisu działania obiektu systemu oraz przyjętej interpretacji elementów modelu COPN (miejsc, przejść, funkcji wagi) [1] generuje model COPN. Algorytm ten został opracowany na bazie algorytmu generowania modeli COPN systemów wytwarzania przedstawionego w pracy [2]. Automatycznie wygenerowany obraz modelu przedstawia rysunek 1. Po przeprowadzeniu manualnej edycji otrzymano model przedstawiony na rysunku 2.

Tabela 1. Przykład opisu działania stanowiska montażowego

Opis		Przykład zapisu
Nazwa i identyfikator modelu		Name=STAN_MONT Guid=7e9ddeca-5767-11cf-be-ab-00-aa-00-6c-36-02
Obiekt PO1	Dane obiektu	<PO1>[3];1
	Definicja czynności	-t1:st_pobierz;[BUFOR1;t2];IN;2 -t2:st_montuj;[Z1=2*PO1+3*PO2];;2
	Kolejność czynności	(t1,t2)
Obiekt PO2	Dane obiektu	<PO2>[4];1
	Definicja czynności	-t1:st_pobierz;[BUFOR1;t2];IN;3 -t2:st_montuj;[Z1=2*PO1+3*PO2];;3
	Kolejność czynności	(t1,t2)
Obiekt S_M	Dane obiektu	<S_M>[1];5
	Definicja czynności	-t1:st_pobierz;[BUFOR1;t2];;1 -t2:st_montuj;[Z1=2*PO1+3*PO2];;1 -t3:st_wydaj;[BUFOR2;t1];;1
	Kolejność czynności	(t1,t2) (t2,t3) (t3,t1)
Obiekt Z1	Dane obiektu	<Z1>[0];5
	Definicja czynności	-t2:st_montuj;[Z1=2*PO1+3*PO2];;1 -t3:st_wydaj;[BUFOR2;t1];OUT;1
	Kolejność czynności	(t2,t3)



Rysunek 1. Model COPN stanowiska montażowego wygenerowany przez program



Rysunek 2. Model COPN stanowiska montażowego po przeprowadzeniu edycji

3.2 Modyfikacja modeli obiektów systemu

Modyfikacja modeli COPN obejmuje dodanie lub usunięcie elementów modelu definiujących jeden cykl pracy obiektu systemu. Poniżej przedstawiono typowe cykle pracy obiektów ESM.

Struktura modelu przedstawionego na rysunku 2 jest strukturą typową dla modeli stanowisk montażowych. Stanowisko w jednym cyklu pracy wykonuje trzy czynności:

- pobranie zbioru elementów do montażu z magazynu buforowego (czynność reprezentowana w modelu przez przejście t1),
- wykonanie operacji montażu, w wyniku której zbiór elementów „przekształcany” jest w zmontowany zespół (czynność reprezentowana w modelu przez przejście t2),
- przekazanie zmontowanego zespołu do magazynu buforowego (czynność reprezentowana w modelu przez przejście t3).

W ogólnym przypadku zadanie pobrania elementów do montażu może być wykonane jako sekwencja czynności (np. w przypadku pobierania elementów z różnych magazynów buforowych).

Na rysunku 3 przedstawiono typowe struktury modeli środków transportu oraz magazynów buforowych.

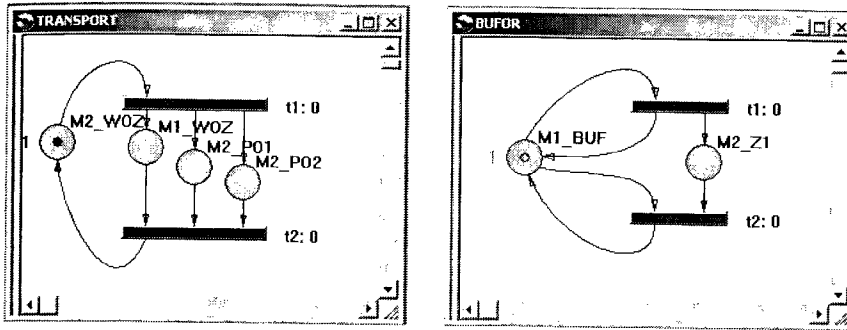
Jeden cykl pracy środka transportu to wykonanie dwóch czynności:

- pobranie zbioru transportowanych elementów (czynność reprezentowana w modelu przez przejście t1),
- transport i przekazanie zbioru elementów (czynność reprezentowana w modelu przez przejście t2).

Czynności wykonywane przez magazyn to:

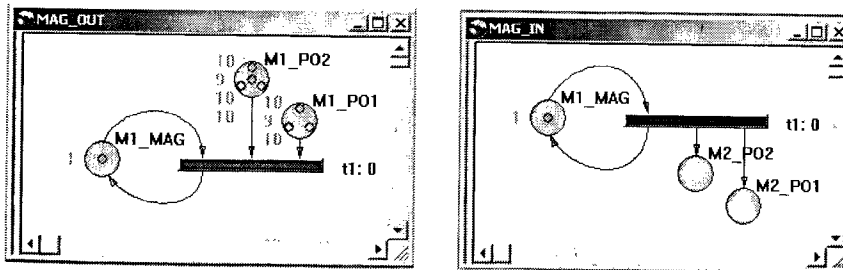
- czynności przyjmowania elementów do magazynowania (przejście t1),
- czynności wydawania magazynowanych elementów (przejście t2).

Jednak w przypadku magazynów kolejność realizacji tych czynności nie jest ustalona tak jak dla środków transportu. Po wykonaniu czynności przyjęcia magazyn może wykonać czynność wydania lub (jeżeli posiada wolne miejsce) może ponownie wykonać czynność przyjęcia.



Rysunek 3. Modele COPN środków transportu i magazynów buforowych

Rysunek 4 przedstawia modele magazynów realizujących odpowiednio tylko czynność przekazania i przejęcia.



Rysunek 4. Model COPN magazynu przekazującego i przejmującego elementy

Dodanie nowego cyklu pracy obiektu systemu wymaga wprowadzenia następujących informacji:

- Jakie obiekty przepływające, w jakiej liczbie oraz z jakiego modułu będą przejmowane w definiowanym cyklu. Informacje te definiuje relacja wejścia:

$$WE_j: \text{MODUŁ} \rightarrow \{(OB_i, L_j(OB_i))\} \text{ dla } i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

Powyższy zapis oznacza, że w wyniku wykonania jednej czynności zbiory obiektów identyfikowanych przez nazwy OB_i w liczbie określonej przez $L_j(OB_i)$ są przejmowane z modułu o nazwie MODUŁ. Dla obiektów nie przejmowanych od innych modułów w relacji wejścia MODUŁ jest nazwą bieżącego modułu.

- Jakie obiekty przepływające, w jakiej liczbie oraz do jakiego modułu będą przekazywane w definiowanym cyklu. Informacje te definiuje relacja wyjścia:

$$WY_j: \{(OB_i, L_j(OB_i))\} \rightarrow \text{MODUŁ} \text{ dla } i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

Powyższy zapis oznacza, że w wyniku wykonania jednej czynności zbiory obiektów identyfikowanych przez nazwy OB_i w liczbie określonej przez $L_j(OB_i)$ są przekazywane

do modułu o nazwie MODUŁ. Dla obiektów nie przekazywanych do innych modułów w relacji wyjścia MODUŁ jest nazwą bieżącego modułu.

- Specyfikacji montowanego zespołu (dla stanowisk montażowych)

$$Z = \sum_k a_k * OB_k \quad (3)$$

W skład zespołu o nazwie Z wchodzi a_k sztuk obiektów o nazwie OB_k .

Zasady tworzenia nowego cyklu pracy dla modułu stanowiska montażowego ST.

- tworzone jest przejście t_M reprezentujące operację montażu,

- dla każdej relacji wejściowej WE_j tworzone jest jedno przejście t_{WE_j} , dla każdego obiektu OB_i należącego do relacji WE_j tworzone jest miejsce s_{OB_i} reprezentujące stan tego obiektu po przejściu przez moduł, tworzone są łuki $a(t_{WE_j}, s_{OB_i})$ łączące przejście t_{WE_j} z każdym z miejsc s_{OB_i} , wartości funkcji wagi dla utworzonych łuków wynoszą odpowiednio $L_j(OB_i)$, tworzone są łuki $a(s_{OB_i}, t_M)$ łączące każde z miejsc s_{OB_i} z przejściem t_M , wartości funkcji wagi dla utworzonych łuków wynoszą odpowiednio $L_j(OB_i)$,

- dla relacji wyjściowej WY tworzone jest przejście t_{WY} , dla obiektu OB należącego do relacji WY tworzone jest miejsce s_{OB} reprezentujące stan tego obiektu (zmontowanego zespołu) po wykonaniu operacji montażu, tworzony jest łuk $a(t_M, s_{OB})$ łączący przejście t_M z miejscem s_{OB} , wartość funkcji wagi łuku wynosi $L(OB)$, tworzony jest łuk $a(s_{OB}, t_{WY})$ łączący miejsce s_{OB} z przejściem t_{WY} , wartość funkcji wagi dla łuku wynosi $L(OB)$,

- dla każdego przejścia t_{WE_j} tworzone jest miejsce s_{ST_j} reprezentujące stan stanowiska po wykonaniu czynności przejścia (przejście t_{WE_j}), dla $j=1, 2, \dots, m$ tworzone są łuki $a(t_{WE_j}, s_{ST_j})$, dla $j=1, 2, \dots, m-1$ tworzone są łuki $a(s_{ST_j}, t_{WE_{j+1}})$, tworzony jest łuk $a(s_{ST_m}, t_M)$, tworzone jest miejsce $s_{ST_{m+1}}$ reprezentujące stan stanowiska po wykonaniu operacji montażu, tworzone są łuki: $a(t_M, s_{ST_{m+1}})$ oraz $a(s_{ST_{m+1}}, t_{WY})$ oraz tworzony jest łuk łączący miejsce s_{ST_0} (reprezentujące stan stanowiska „gotowe do rozpoczęcia cyklu”) z przejściem t_{WE_1} oraz łuk łączący przejście t_{WY} z miejscem s_{ST_0} , wagi łuków utworzonych w tym punkcie wynoszą 1.

Na rysunku 5 pokazano model stacji montażowej przedstawiony na rysunku 2 z naniesionym dodatkowym cyklem pracy wygenerowanym według powyższego algorytmu.

Dodatkowy cykl pracy zdefiniowany jest następująco:

- dotyczy montażu zespołu Z2; w skład montowanego zespołu wchodzi 3 sztuki przedmiotu PO3, 2 sztuki przedmiotu PO4 oraz jedna sztuka przedmiotu PO5,

$$Z2 = 3 * PO3 + 2 * PO4 + 1 * PO5$$

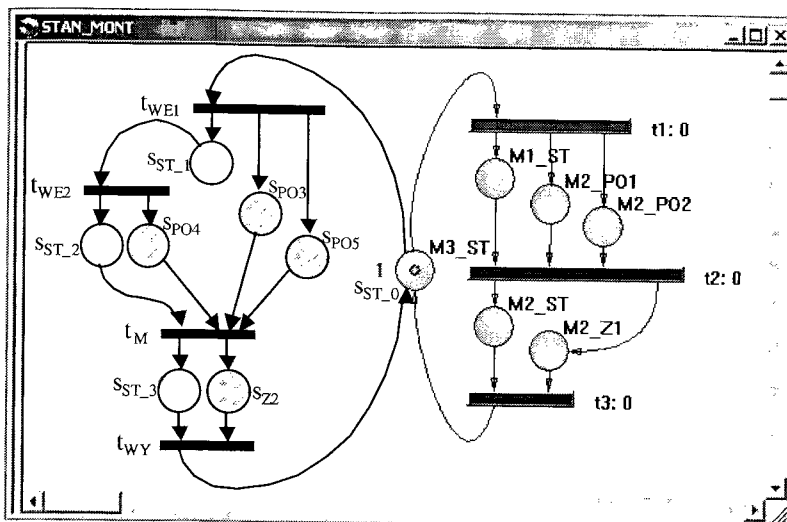
- przedmioty PO3 oraz PO5 pobierane są z magazynu buforowego BUFOR3, przedmioty PO4 pobierane są z magazynu buforowego BUROR4,

$$BUFOR3 \rightarrow \{(PO3, 3) (PO5, 1)\}$$

$$BUROR4 \rightarrow \{(PO4, 2)\}$$

- zmontowany zespół Z2 przekazywany jest do magazynu buforowego BUFOR5,

$$\{(Z2, 1)\} \rightarrow BUFOR5$$



Rysunek 5. Ilustracja modyfikacji modelu COPN stanowiska montażowego

3.3 Symulacja działania obiektu – przekształcanie modelu COPN

Zbudowany model COPN obiektu stałego ESM opisuje możliwości zmiany jego stanów. Symulacja działania obiektu realizowana jest przez przetwarzanie modelu. Z przyjętej interpretacji elementów modelu COPN wynikają zasady przekształcania modelu. Wykonaniu czynności przez obiekt (odpaleniu przejścia reprezentującego tę czynność) towarzyszy w modelu przemieszczenie znaczników reprezentujących obiekty biorące udział w czynności z miejsc wejściowych do wyjściowych przejścia. Powyższa zasada nie dotyczy operacji montażu. Wykonanie operacji montażu powoduje „przekształcenie” zbioru montowanych elementów w zmontowany zespół. W programie komputerowym odpaleniu przejścia t_M reprezentującego operację montażu towarzyszy przekształcenie, zgodnie ze specyfikacją zespołu (3), znaczników reprezentujących montowane elementy z miejsc wejściowych przejścia t_M w znacznik reprezentujący zmontowany zespół w miejscu wyjściowym przejścia t_M . Odpalenie przejścia t_2 w modelu przedstawionym na rysunku 2 spowoduje przekształcenie dwóch znaczników reprezentujących elementy PO1, w miejscu M2_PO1, oraz 3 znaczników reprezentujących elementy PO2, w miejscu M2_PO2, w jeden znacznik reprezentujący zespół Z1 w miejscu M2_Z1. Przekształcenie to realizowane jest zgodnie ze specyfikacją zespołu Z1 określoną dla przejścia t_2 w tabeli 1.

4. PODSUMOWANIE

W pierwszej części pracy wyspecyfikowano wymagania dla programu komputerowego, który ma umożliwiać wygenerowanie, konfigurację oraz modyfikacje modeli COPN dla obiektów ESM: stanowisk montażowych, środków transportu i magazynów buforowych. Opracowany algorytm generuje model COPN na podstawie specyfikacji realizowanych przez obiekt zadań. Przykład takiej specyfikacji dla stanowiska montażowego,

realizującego jedną operację montażu, oraz wygenerowany na jej podstawie model COPN przedstawiono w podrozdziale 3.1. Zasady rozbudowy modelu stanowiska montażowego przez dodanie dodatkowego cyklu pracy oraz ilustrację działania zaproponowanego algorytmu opisano w podrozdziale 3.2. W podrozdziale 3.3 przedstawiono zmodyfikowane zasady przetwarzania modelu.

W pracy [10] przedstawiono ogólne zasady integracji modeli COPN reprezentujących poszczególne obiekty stałe systemu: czynności przekazanie-przejęcie reprezentowane są w różnych modelach przez różne przejścia. Integracja modeli realizowana jest przez łączenie odpowiednich przejść. Dalsze prace będą obejmować opracowanie i implementację protokołów wymiany informacji pomiędzy modułami niezbędnych do integracji poszczególnych modułów w rozproszone środowisko symulacji działania ESM. Kolejnym krokiem będzie modyfikacja definicji modelu COPN oraz rozbudowa programu o możliwość wprowadzania do modelu specyfikacji produktów (wyboru spośród dostępnych opcji) oraz symulacji działania systemu realizującego zdefiniowane zamówienia.

5. LITERATURA

1. Cyklis J., Słota A.: *Obiektowo-obszernowalna sieć Petriego w zastosowaniu do modelowania elastycznych systemów wytwarzania*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Automatyka z. 124, Gliwice 1998.
2. Cyklis J., Słota A.: *Procedure of model building for discrete manufacturing systems with the use of COPN*. CIM2003, Wisła, 26 – 28 maj.
3. Cyklis J., Zajac J., Słota A.: *Modelling of Assembly systems by means of Coloured Object Observable Petri Net*. New ways in manufacturing technologies 2004, Presov, Słowacja, 17 – 18 czerwiec 2004.
4. Cyklis J., Zajac J., Słota A.: *Description of Flexible Assembly systems by means of Coloured Object Observable Petri Net*. Annals of DAAAM 2005 & Proceedings of the 16th International DAAAM Symposium, 19-22 October, Opatia 2005.
5. Cyklis J., Zajac J., Słota A.: *Modelling componets of Flexible assembly systems by means of Coloured Object Observable Petri Nets*. 6th International Carpatian Control Conference ICC2005, Miskolc-Lillafured, Hungary, 24 – 27 May 2005.
6. Kovach J., Stringfellow P., Turner J., Rae Cho B.: *The House of Competitiveness: The Marriage of Agile Manufacturing, Design for Six Sigma and Lean Manufacturing with Quality Consideration*. Journal of Industrial Technology, Vol. 21, No. 3.
7. Quiao G., McLean C., Riddick F.: *Simulation system modeling for mass customization manufacturing*. Proceedings of 2002 Winter Simulation Conference.
8. Zajac J.: *Rozproszone sterowanie zautomatyzowanymi systemami wytwarzania*. Monografia 288, Seria Mechanika, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.
9. Słota A.: *Zastosowanie Obiektowo Obserwowalnych Sieci Petriego w modelowaniu zautomatyzowanych systemów produkcyjnych*. Praca Doktorska. Kraków 2003.
10. Słota A.: *Petri Net model of Flexible Assembly Systems for distributed control*. Advances in Manufacturing Science and Technology, Vol. 29, no. 4, 2005.