Badanie procesu samokonfiguracji systemu sterowania wytwarzaniem

Jerzy Zając, Kamila Norys

Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji, Politechnika Krakowska

Streszczenie: W pracy omówiono trzyetapową procedurę modelowania dyskretnych systemów produkcyjnych. Na jej podstawie zaproponowano koncepcję samokonfiguracji systemów sterowania wytwarzaniem. Koncepcja ta umożliwi budowanie rozproszonych systemów sterowania wytwarzaniem działających zgodnie z zasadą włącz i produkuj. Wymaga to zastosowania jednolitych, konfigurowalnych, inteligentnych agentów. Do badania procesu samokonfiguracji użyto oprogramowania symulacyjnego Arena firmy Rockwell Automation.

Słowa kluczowe: rozproszone sterowanie, systemy wieloagentowe, samokonfiguracja

1. Wprowadzenie

Pierwsze dziesięciolecie XXI wieku to okres intensywnych poszukiwań nowych koncepcji i paradygmatów wytwarzania [4, 7]. Globalna konkurencja oraz pojawianie się nowych technologii powodują zmianę rynku z rynku producenta na rynek konsumenta, wymuszając odejście od produkcji masowej na rzecz produkcji zindywidualizowanej. Postęp technologiczny, obejmujący sterowanie urządzeniami przemysłowymi, przejawiający się dostępnością coraz tańszych rozwiązań oferujących coraz większe możliwości, a także rozwój przewodowych i bezprzewodowych technologii komunikacyjnych oraz umacnianie się standardów internetowych na wszystkich poziomach decyzyjnych w przedsiębiorstwach produkcyjnych, otwierają nowe możliwości w zakresie projektowania i wdrażania technologii rozproszonych. Powszechne stosowanie rozwiązań modułowych zarówno w budowie maszyn i urządzeń, jak i w budowie systemów wytwórczych umożliwia budowę rekonfigurowalnych systemów wytwarzania. Wymaga to jednak zbudowania odpowiedniego systemu sterowania. Technologią informatyczną, której zastosowanie w systemie sterowania rokuje obecnie największe nadzieje, jest technologia inteligentnych agentów [3, 5, 8]. Podstawowe cechy agenta to inteligencja (w sensie autonomii decyzyjnej), zdolność do współpracy z innymi agentami oraz możliwości komunikacyjne. Podejście agentowe odpowiada więc bezpośrednio potrzebom stawianym przez rozproszone rekonfigurowalne systemy sterowania wytwarzaniem. Obejmuje to m.in. kwestie samokonfiguracji oraz samoorganizacji tych systemów. Realizacja procesu samokonfiguracji systemu sterowania wymaga właściwej dyskretyzacji systemu wytwarzania oraz zbudowania środowiska symulacyjnego [6], w którym będzie można przeprowadzać eksperymenty weryfikujące opracowywane koncepcje samokonfiguracji.

2. Dyskretyzacja systemu wytwarzania – pierwszy krok do samokreowania systemu sterowania wytwarzaniem

Sterowanie dyskretnymi zautomatyzowanymi systemami wytwarzania jest zagadnieniem złożonym. Proces sterowania takimi systemami obejmuje dwa powiązane ze sobą i realizowane współbieżnie procesy: proces sterowania urządzeniami wytwórczymi oraz proces sterowania wytwarzaniem. Złożoność zagadnienia powoduje, że proces sterowania wytwarzaniem wymaga przygotowania modelu rozpatrywanego systemu wytwarzania. Proces modelowania może być realizowany w trzech następujących po sobie etapach [1, 2].

W pierwszym etapie następuje dyskretyzacja systemu wytwarzania, polegająca na wyspecyfikowaniu zbioru obiektów elementarnych, które ten system tworzą oraz zbioru czynności elementarnych, realizowanych przez te obiekty. Dyskretyzacja systemu wytwarzania jest arbitralnym (stosownym do potrzeb) postępowaniem, którego wynikiem są dwa skończone zbiory: zbiór elementów systemu realizujących proces produkcyjny oraz zbiór czynności elementarnych, wykonywanych (zazwyczaj wielokrotnie) sekwencyjnie lub współbieżnie, które ten proces tworzą. Wyodrębnianie elementów przebiega zazwyczaj w sposób naturalny, według urządzeń, maszyn i modułów konstrukcyjnych. Stąd zbiór elementów zwykle tworzą: obrabiarki, automatyczne pojazdy mobilne, roboty, manipulatory, magazyny itd. Dyskretyzacja na tym „poziomie" ma wiele zalet. W szczególności dotyczy to opracowywania modeli systemów wytwarzania przeznaczonych do sterowania operatywnego. W przypadku sterowania operatywnego taki sposób dyskretyzacji systemu wytwarzania prowadzi zazwyczaj do przyjmowania czynności elementarnych realizowanych przez obiekty wytwórcze, jako czynności wykorzystywanych przez projektujących procesy wytwórcze technologów. Wyodrębniając czynności elementarne należy mieć na względzie nie tylko szczegółowość reprezentacji funkcji urządzeń systemu w jego modelu, ale także to, w jaki sposób i za pomocą jakich sterowników urządzenia są (lub będą) sterowane. Jest to ważne, gdyż do tych sterowników będą kierowane polecenia wykonywania czynności elementarnych i muszą one potrafić je zrealizować. Stąd, rozważając proces dyskretyzacji, należy jednocześnie zwrócić uwagę na problematykę praktycznej realizacji poszczególnych czynności elementarnych. W systemach wytwarzania elementami odpowiedzialnymi za re-

alizację czynności są układy sterowania CNC, RC czy PLC poszczególnych obiektów wytwórczych. Jako wynik stosowania założeń etapu pierwszego otrzymuje się jednoznacznie określony skład systemu, na którym będzie można budować jego strukturę.

W etapie drugim, na bazie przyjętych zbiorów obiektów i czynności elementarnych, określa się reguły współdziałania elementów systemu, umożliwiające jego bezkolizyjne działanie. Najogólniej rzecz biorąc chodzi tutaj o powiązanie elementów z czynnościami elementarnymi, w których one uczestniczą. Określa się sposób działania poszczególnych elementów, przez podanie dopuszczalnej kolejności wykonywanych przez nie czynności. Przyjmuje się konieczny skład elementów dla wykonania danej czynności. Inaczej rzecz ujmując, są tutaj formułowane zasady (reguły) możliwej współpracy elementów przy wspólnej realizacji poszczególnych czynności elementarnych. W praktyce, aby wykonać daną czynność elementarną (realizowaną przez pojedynczy obiekt lub grupę obiektów) niezbędne jest wykonanie przez układy sterowania urządzeń wytwórczych określonej (dla danej czynności) sekwencji akcji elementarnych. Pojawia się więc problem współdziałania, zarówno na poziomie urządzeń (obiektów) wytwórczych, jak i na poziomie układów sterowania tych urządzeń. Zastosowanie właściwej metody modelowania prowadzi do wyznaczenia czynności możliwych do realizacji i zapewnia bezkolizyjne działanie systemu.

Etap trzeci dotyczy wyboru czynności do realizacji i należy go przeprowadzić w taki sposób, aby nie dopuścić do wystąpienia blokad (zastojów) oraz zapewnić efektywne sterowanie z punktu widzenia przyjętych kryteriów oceny pracy systemu wytwarzania.

Aby uruchomić system sterowania wytwarzaniem należy opracować odpowiedni model systemu wytwarzania i zaimplementować go w kodzie komputerowym. Budowanie modelu systemu wytwarzania, a co za tym idzie opracowywanie systemu sterowania wytwarzaniem realizować można na dwa sposoby: odgórny (ang. *top-down approach*) i oddolny (ang. *bottom-up approach*). Odgórny sposób podejścia do modelowania systemów wytwarzania jest charakterystyczny dla tradycyjnych architektur ich systemów sterowania, tj. scentralizowanej i hierarchicznej. Nowoczesne architektury systemów sterowania wytwarzaniem rozproszona i hybrydowa preferują podejście oddolne. To podejście umożliwia wprowadzenie samokonfiguracji systemu sterowania wytwarzaniem.

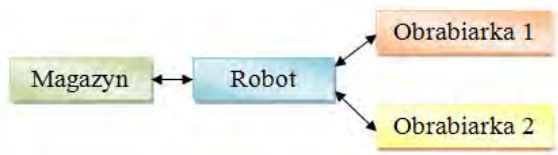
Aktualne trendy rozwojowe systemów sterowania wytwarzaniem wskazują na wykorzystanie technologii rozproszonych, zwłaszcza agentowych. W ostatnich kilkunastu latach powstało wiele rozwiązań wykorzystujących te technologie do budowy oprogramowania systemu sterowania. Przyjęcie takiego podejścia i dyskretyzacja systemu wytwarzania na poziomie maszyn i urządzeń umożliwia zmierzenie się z problemem samokonfiguracji systemu sterowania. Można sobie wyobrazić zbiór inteligentnych urządzeń wytwórczych, wyposażonych w otwarte, konfigurowalne, komputerowe układy sterowania, które – wykorzystując wspólną magistralę komunikacyjną – tworzą system sterowania wytwarzaniem według technologii „włącz i produkuj" (ang. *Plug and Produce*). Tego typu technologia, określana mianem włącz i działaj (ang. *Plug and Play*), wykorzystywana jest z powodzeniem od wielu lat w procesie konfigurowania komputerów osobistych. Konwergencja komputera i układu sterowania urządzeń wytwórczych otwiera nowe możliwości we wprowadzaniu inteligencji do tych urządzeń. W przedsiębiorstwie zajmującym się wytwarzaniem wyrobów można będzie tworzyć różne rekonfigurowalne systemy wytwórcze, w zależności od wymagań rynku. Zapewnienie fizycznej możliwości współpracy urządzeń wytwórczych jest warunkiem koniecznym ale niewystarczającym do samokonfiguracji systemu sterowania wytwarzaniem. Aby proces ten mógł być zrealizowany, należy zdefiniować „wspólny język", dzięki któremu urządzenia wytwórcze będą mogły w sposób jednoznaczny zaprezentować swoje możliwości wytwórcze, zdolność do współpracy itp. Wymaga to zdefiniowania odpowiednich protokołów przekazywania informacji oraz środowiska symulacyjnego, w którym koncepcja samokonfiguracji systemu sterowania będzie testowana.

3. Wykorzystanie systemu ARENA do badania procesów samokonfiguracji systemów sterowania wytwarzaniem

3.1. Środowisko symulacyjne Arena

Na bieżącym etapie realizacji zadania samokonfiguracji systemu sterowania wytwarzaniem skoncentrowano się na zbudowaniu rozproszonego środowiska symulacyjnego, które docelowo służyło będzie do weryfikacji różnych koncepcji. Narzędziem wybranym do przygotowania modelu jest program Arena firmy Rockwell Automation.

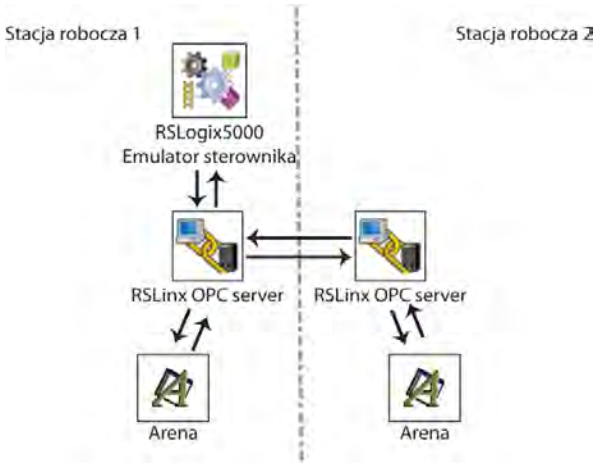
Jako wstępny model testowy, dla którego zbudowane zostanie środowisko symulacyjne, wybrano prosty system obróbkowy złożony z jednego magazynu, robota i dwóch stanowisk obróbkowych (rys. 1). Dla uproszczenia opisu przyjęto, że w systemie wytwarzany jest jeden typ przedmiotu. Czynności elementarne tworzące jego proces wytwarzania przedstawiono w tab. 3.



Rys. 1. Schemat testowego systemu wytwarzania
Fig. 1. A shematic diagram of the test production system

Zbudowane zostało rozproszone środowisko komputerowe, w którym poszczególne instancje Areny zostały uruchomione na oddzielnych komputerach. W ramach tych instancji działać będą moduły pełniące role agentów reprezentujących, w warstwie logicznej systemu sterowania, poszczególne elementy zdyskretyzowanego systemu wytwarzania. W prezentowanej konfiguracji środowisko to jest uruchomione na dwóch stacjach roboczych. Aby zapewnić komunikację między uruchomionymi instancjami Areny, na każdym z komputerów działa oprogramowanie sieciowe RSLinx Clasic, udostępniające serwer OPC, oraz symulator sterownika PLC RSLogix 5000 hostowany na

stacji pierwszej (rys. 2). Kolejne moduły wymieniają informacje, korzystając z przygotowanych do tego celu zmiennych (tagów serwera OPC), tworzonych i obsługiwanych przez sterownik.

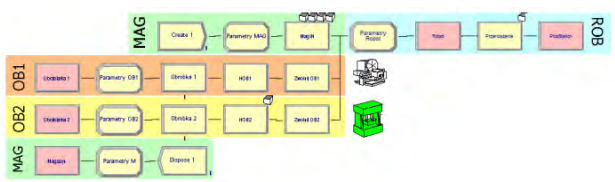


Rys. 2. Schemat komunikacji między instancjami Areny
Fig. 2. A schematic diagram of communication between the instances of the Arena

3.2. Budowa modelu symulacyjnego

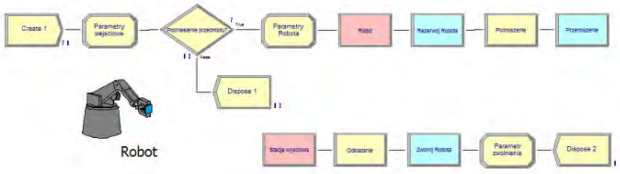
W proponowanym środowisku symulacyjnym przyjęto, że na pierwszej stacji roboczej uruchamiane będą agenty stacji obróbkowych oraz magazynu, natomiast na drugiej stacji roboczej agent robota.

Budowa modelu jest ściśle powiązana z logiką działania programu symulacyjnego. Pozwala on wymieniać jedynie zmienne (Variables), dlatego wszystkie parametry wewnętrzne, które są istotne dla logiki działania systemu sterowania należy przenieść na odpowiadające im zmienne np. za pomocą kodu Visual Basic for Applications (VBA). Nie można także przekazać między instancjami Areny jednostki (Entity), a jedynie jej chwilowe parametry. Każda osobna instancja wymaga bloków wprowadzających i wyprowadzających jednostki z modelu.



Rys. 3. Model uruchomiony stacji roboczej nr 1
Fig. 3. A model running on a workstation No. 1

Na rys. 3 przedstawiony jest układ bloków symulujących agenty magazynu i obrabiarek. Fragment oznaczony jako robot (ROB) można interpretować jako miejsce, w którym przedmiot oczekuje na decyzje modułu robota i jest transportowany. W modelu zastosowany został system stacji (Station). Wyznaczają one miejsca, w które można przemieścić przedmiot. Przedmiot, po wprowadzeniu do sytemu. oczekuje na stan pozwalający na wykonanie pierwszej czynności elementarnej, sygnalizują go wartości zmiennych StanOB1 (tab. 1) oraz StanROB. Przejście do fragmentu systemu oznaczonego jako ROB powoduje wysłanie komendy Uwolnij i wejście w fazę oczekiwania na odpowiedź od agenta robota. Po pomyślnym transporcie sygnalizowanym zmienną Uwolnij2 przedmiot przekazany jest do odpowiedniego stanowiska, gdzie wykonywany jest proces wytwarzania. Następnie cały mechanizm jest powtarzany, aż do momentu gdy przedmiot zostanie przekazany do magazynu i tym samym wyprowadzony z systemu.



Rys. 4. Model uruchomiony na stacji roboczej nr 2
Fig. 4. A model running on a workstation No. 2

Na rys. 4 przedstawiono moduł decyzyjny robota. Rozpoczyna go blok tworzący jednostki. Arena inicjuje je w każdym kroku symulacji i w zależności od stanu zmiennej Uwolnij, są one automatycznie usuwane z modelu lub przekazywane dalej do ciągu bloków decyzyjnych robota. Dokonują się tu operacje rezerwacji i zwalniania medium transportującego, dodawania czasów pobierania, odkładania i przenoszenia oraz wyboru stacji, do której przedmiot zostanie przekazany. Po przejściu całego procesu moduł zwraca do pierwszej instancji informacje o pomyślnym przetransportowaniu przedmiotu (zmienna Uwolnij2) wraz z numerem stacji (zmienna Stacja), do której przedmiot ma być przesunięty.

Tab.1. Zmienne wykorzystywane w systemie testowym
Tab. 1. Variables used in the test system

Nazwa	Opis
StanOB1	Zwraca stan zasobu obrabiarka 1
StanOB2	Zwraca stan zasobu obrabiarka 2
StanROB	Zwraca stan zasobu robot
Stacja	Przenosi informacje o wybranej stacji
Uwolnij	Sygnalizuje przekazanie przedmiotu na robota
Uwolnij2	Sygnalizuje przekazanie przedmiotu na obrabiarkę

3.3. Samokonfiguracja systemu sterowania

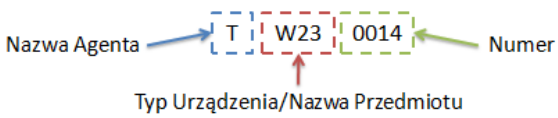
Aby móc sprawnie realizować proces samokonfiguracji, niezbędne jest wprowadzenie do systemu sterowania agenta pełniącego rolę „książki adresowej", umożliwiającej agentom w systemie sterowania dostęp do adresów innych agentów należących do systemu. Tę rolę pełnił będzie Agent Koordynator. Jest on uruchamiany jako pierwszy,

a jego adres w systemie jest znany wszystkim pozostałym agentom. Każdy agent po uruchomieniu rejestruje swoją obecność u Koordynatora przekazując mu swój identyfikator i adres. Oznacza to, że Koordynator dysponuje listą adresów wszystkich istniejących już w systemie agentów wraz z ich identyfikatorami i adresami sieciowymi. Odpowiada on za obsługę takich zdarzeń, jak zgłoszenie się nowego agenta, usuwanie elementów z sieci czy też wymianę danych między istniejącymi instancjami. W systemie testowym obiektem, który działa jako Koordynator, jest symulator Sterownika RSLogix 5000.

Tab. 2. Nazwy Agentów
Tab. 2. The names of Agents

Typ	Pełna nazwa
M	Agent magazynowy
T	Agent transportowy
O	Agent obróbkowy
P	Agent przedmiotowy
I	Agent inspekcyjny

Kod identyfikacyjny ma charakteryzować agenta. Jest on unikalny dla każdej uruchomionej instancji. Jego budowa pozwala zidentyfikować podstawowe parametry agenta, takie jak nazwa, typ urządzenia/przedmiotu, które reprezentuje oraz numer – ważny w przypadku urządzeń zwielokrotnionych.



Rys. 5. Proponowany kod typu agenta
Fig. 5. The proposed code of the agent type

Pojawienie się w sieci nowego agenta nazywanego dalej agentem A i reprezentującego jeden z elementów systemu wytwarzania, rozpoczyna procedurę samokonfiguracji systemu sterowania. Agent A rozpoczyna swoje działanie od przesłania do Koordynatora swojego kodu identyfikacyjnego wraz ze swoim adresem sieciowym. Oba te parametry dodawane są przez Koordynatora do tablicy zawierającej dane wszystkich agentów tworzących system. W odpowiedzi Koordynator przesyła do agenta A kody identyfikacyjne oraz adresy sieciowe wszystkich pozostałych zarejestrowanych już w systemie agentów. Kończy to etap uruchamiania agenta. Kolejnym krokiem jest inicjalizacja niezbędnych połączeń międzyagentowych. Agent A, mając już niezbędne informacje, wysyła kolejno do każdego agenta z listy adresów (zwanego dalej Adresatem) wiadomość zawierającą swój kod identyfikacyjny i parametry określające możliwości współdziałania odpowiadającego mu urządzenia, z urządzeniem, za działanie którego odpowiada Adresat. Adresat otrzymując wiadomość od agenta A zapisuje przesłane parametry w pamięci i odsyła swoje dane. Następnie oba agenty analizują, na podstawie dostępnych informacji, czy mogą ze sobą współpracować w procesie wytwarzania. Jeżeli obie strony dojdą do pozytywnej konkluzji przechodzą do dalszego ciągu procesu samokonfiguracji. Jeżeli nie, pozostawiają w pamięci fakt zaistniałej komunikacji nie podejmując dalszych działań. Dalszy ciąg procesu samokonfiguracji rozpoczyna wysłanie do Koordynatora monitu o przygotowanie zestawienia niezbędnych zmiennych służących wymianie informacji. Czynność tę wykonuje zarówno agent A jak i Adresat. Po otrzymaniu potwierdzeń od każdej ze stron Koordynator wykonuje operacje związane z połączeniem obydwóch agentów i odsyła do każdego z nich adresy zmiennych, które posłużą do ich indywidualnej komunikacji. Zarówno agent A, jak i Adresat będą pobierały za ich pomocą wartość zmiennych.

W procesie samokonfiguracji biorą udział również agenty przedmiotowe. Procedura zgłoszenia nowego agenta przedmiotowego (zwanego dalej Agentem P) rozpoczyna się podobnie, jak w przypadku agentów zasobowych. Tak jak agent A, komunikuje się on z Koordynatorem i ten przekazuje mu kody identyfikacyjne i adresy sieciowe agentów zasobowych. Następnie inicjalizowany jest etap konfiguracji procesu wytwarzania. Agent P posiadając w swojej pamięci listę wszystkich czynności elementarnych dla procesu, który reprezentuje (tab. 3.), weryfikuje je z punku widzenia możliwości ich realizacji w systemie. Rozważając czynność pierwszą, czyli P1: M → OB1: R, czyli czynność pobrania przedmiotu P1 z magazynu M na obrabiarkę OB1 za pomocą robota R, agent P nawiąże połączenie z agentem magazynu (M), robota (R) i obrabiarki 1 (OB1) podając im szczegóły operacji i weryfikując możliwość jej wykonania. Adresaci dokonują u siebie weryfikacji własnych możliwości i zwracają Agentowi P swój status. Na podstawie otrzymanych informacji Agent P ocenia realizowalność danej czynności elementarnej. Proces ten jest powtarzany dla wszystkich czynności niezbędnych do wykonania przedmiotu P1. Po zweryfikowaniu każdej z nich agent P analizuje wszystkie możliwe marszruty wykonania przedmiotu. Jeśli odnajdzie możliwość realizacji choć jednej pełnej marszruty, to wysyła do Koordynatora informację, że proces, który reprezentuje jest gotowy do realizacji.

Tab. 3. Tabela czynności elementarnych dla systemu testowego
Tab. 3. The table of elementary activities for the test system

Czynność elementarna	Agent M	Agent OB1	Agent OB2	Agent R
P1: M → OB1: R	Yes	Yes	–	Yes
P1: OB1 → OB2: R	–	Yes	Yes	Yes
P1: OB2 → M: R	Yes	–	Yes	Yes

4. Podsumowanie

Zaproponowana koncepcja samokonfiguracji systemu sterowania stawia wysokie wymagania zastosowanemu środowisku symulacyjnemu. Jednak, wykorzystując możliwo-

ści komunikacyjne Areny oraz VBA, można przenieść same procedury decyzji poza prostą logikę modeli, dzięki czemu w krótkim czasie można przeprowadzić badania dotyczące bardzo zróżnicowanej konfiguracji systemu, jak i jego reakcji na szybko zmieniające się parametry.

Zaproponowane środowisko stawia przed autorami szereg nowych zadań, którym należy sprostać. Prowadzone są także poszukiwania lepszego rozwiązania komunikacyjnego pozostawiającego po stronie sterownika tylko funkcje, które są dla niego dedykowane, a role administratora przenoszące na oprogramowanie dedykowane do tego celu.

Bibliografia

1. Cyklis J., Pierzchała W., Zając J.: *Centralne i rozproszone sterowanie zautomatyzowanym systemem wytwarzania*. „Inżynieria Maszyn" Vol. 5 No. 1-2, 2000, 193–205.
2. Cyklis J., Zając J., Słota A.: *Models of manufacturing system for simulation and control*. "Journal of Manufacturing Engineering", 2004, 10–15.
3. Jennings N.R., Bussmann S.: *Agent-based Control Systems: Why are they suited to engineering complex systems*? "IEEE Control Systems Magazine", Vol. 23, No. 3, June 2003, 61–73.
4. Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritchow G., Ulsoy G., Van Brussel, H.: *Reconfigurable Manufacturing Systems*. "Annals of the CIRP", Vol. 48, No. 2, 1999, 527–540.
5. Shen W., Hao Q., Yoon H.J., Norrie D.H.: *Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review*. "Advanced Engineering Informatics", Vol. 20, 2006, 415–431.
6. Słota A., Małopolski W.: *Integration of simulation software Arena with FMS control system*. "International Journal of Simulation Modelling IJSIMM", Vol. 6, No. 3, September 2007, ISSN 1726-4529, 165–172.
7. Wiendahl H.-H.: *Changeability in Production Planning and Control: A Framework for Designing a Changeable Software Tool*, IFIP/TC5/WG5.7: Advances in Production Management Systems/CDROM: Modeling and Implementing the Integrated Enterprise, Rockville, USA, 18.–21.09.2005.
8. Zajac J., Chwajol G.: *Towards Agent-Based Manufacturing Systems*. Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium, Austria, 2008, 1541–1542.

Examining the process of manufacturing control system self-configuration

Abstract: The paper describes the modelling process of a discrete manufacturing system as a three-stage procedure. It also presents the self-configuration procedure for distributed manufacturing control system. It will allow for the construction of the plug and produce distributed manufacturing control system, which require the integration of unified, easy to reconfigure, intelligent and cooperative agents. Arena Simulation Environment (Rockwell Automation) is used for examining the procedure.

Keywords: distributed control, multiagent systems, self-configuration

prof. nzw. dr hab. inż. Jerzy Zając

Pracuje na stanowisku profesora Politechniki Krakowskiej na Wydziale Mechanicznym. Jest kierownikiem Zakładu Zautomatyzowanych Systemów Produkcyjnych w Instytucie Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji. Pełni funkcję zastępcy dyrektora Instytutu. Jest opiekunem kierunku Automatyka i Robotyka. Jego zainteresowania badawcze koncentrują się na zagadnieniach modelowania i integracji informacji w systemach produkcyjnych, a także automatyzacji i sterowania systemami produkcyjnymi.

e-mail: zajac@mech.pk.edu.pl

mgr inż. Kamila Norys

Ukończone studia magisterskie na Politechnice Krakowskiej, Wydział Mechaniczny, kierunek: Automatyka i Robotyka, specjalność: Multimedia w systemach przemysłowych. Obecnie uczestniczka stadium doktoranckiego na Politechnice Krakowskiej, Wydział Mechaniczny, kierunek; Mechanika budowa i eksploatacja maszyn.

e-mail: kamila.norys@gmail.com