

ZAJĄC Jerzy<sup>1</sup>  
NORYS Kamila<sup>1</sup>

## Samokonfiguracja wieloagentowego systemu sterowania jako narzędzie integracji podsystemów wytwarzania i transportu

System sterowania,  
samokonfiguracja,  
model symulacyjny

### Streszczenie

W pracy przedstawiono procedurę samokonfiguracji wieloagentowego systemu sterowania umożliwiającą integrację podsystemu wytwarzania z podsystemem transportu międzyoperacyjnego złożonym z automatycznie sterowanych pojazdów. Wykorzystując oprogramowanie Arena do symulacji procesów dyskretnych, omówiono na prostym przykładzie, sposób budowy modelu symulacyjnego pozwalającego na badanie procesu samokonfiguracji oraz docelowo sterowanie systemem produkcyjnym.

### SELF-CONFIGURATION OF MULTI-AGENT CONTROL SYSTEM AS A TOOL FOR INTEGRATION OF MANUFACTURING AND TRANSPORT SUBSYSTEMS

#### Abstract

The paper presents an idea of self-configuration of a multi-agent control system integrating manufacturing subsystem with automated guided vehicles transportation subsystem used for work-in-process movement in a production system. Using Arena a discrete event simulation software, on a simple example, the concept of self-configuration of a distributed production control system is presented. Such a simulation model may be applied for examining self-configuration process and ultimately control of production system.

#### 1. WSTĘP

Jednym z istotnych podsystemów współczesnych zautomatyzowanych systemów produkcyjnych jest podsystem transportowy. W przedsiębiorstwach produkcyjnych charakteryzujących się wysokim stopniem automatyzacji podsystemy te budowane są coraz częściej w oparciu o zbiór automatycznie sterowanych pojazdów (ang. *Automated Guided Vehicles* – AGV). Dotyczy to w pewnym stopniu również przemysłu polskiego, a biorąc pod uwagę tendencję spadkową cen urządzeń automatyki przemysłowej, urządzeń nawigacyjnych oraz komputerów należy się spodziewać zwiększenia zainteresowania polskiego przemysłu tą technologią. Z punktu widzenia działalności naukowo-badawczej problematyka projektowania i sterowania podsystemami transportowymi budzi znaczące zainteresowanie, choć można zauważyć, że ze względów komercyjnych nie są publikowane szczegóły rozwiązań technicznych. Prace koncentrują się na [5]: rozmieszczaniu dróg transportowych, harmonogramowaniu zadań transportowych, wyznaczaniu tras, dla AGV, rozwiązywaniu konfliktów w trakcie realizacji procesów współbieżnych (kolizje, blokady), pozycjonowaniu wózków oczekujących na przydzielenie zadania transportowego, wyznaczaniu niezbędnej liczby automatycznie sterowanych pojazdów do realizacji określonych zadań czy też zarządzaniu problematyką ładowania akumulatorów.

Problem harmonogramowania zadań transportowych traktowany jest w literaturze często, jako zadanie samodzielne, jednak biorąc pod uwagę rolę podsystemu transportowego w systemie produkcyjnym harmonogramowanie zadań transportowych należy ściśle zintegrować z harmonogramowaniem zadań realizowanych przez podsystem wytwarzania. Podsystem transportowy, jako nieprzynoszący wartości dodanej, jest bowiem podsystemem usługowym dla podsystemu wytwarzania. Niezbędna jest, więc ścisła integracja systemu sterowania wytwarzaniem z systemem sterowania zadaniami transportowymi.

Tendencje rozwojowe współczesnych systemów sterowania produkcją wskazują na rosnący udział technologii rozproszonych. W wyniku prowadzonych dotychczas prac powstało wiele koncepcji nowoczesnych, rozproszonych systemów sterowania [7]. Większość z nich wykorzystuje informatyczne technologie agentowe MAS (ang. *Multi-Agent Systems*). Podstawową jednostką systemu MAS jest agent (reprezentowany zazwyczaj przez program komputerowy) cechujący się określonymi właściwościami, takimi jak autonomia, zdolność do zachowań społecznych, reaktywność, czyli zdolność reagowania na zmiany w otaczającym środowisku i proaktywność przejawiająca się w możliwościach inicjowania takich zmian. Na bazie technologii agentowych zostało opracowanych wiele różnych rozwiązań takich jak WEST [1], AARIA [6], METAMORPH [4], PROSA [8], ADACOR [2] czy też opracowany w Politechnice Krakowskiej AIM [9][10]. Rozwój systemu AIM koncentruje się aktualnie na jego integracji z podsystemem transportowym zbudowanym z automatycznie sterowanych pojazdów [12], budowie AGV [11], zagadnieniom

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Tel: +48 12 374-32-43, Fax: +48 12 374-32-02, E-mail: zajac@mech.pk.edu.pl, kamila.norys@gmail.com

samokonfiguracji systemów sterowania [13] oraz problematyce wyznaczania bezkolizyjnych i bezblokadowych tras dla pojazdów [3].

Istotną cechą rozproszonych systemów sterowania jest ich otwartość na możliwość realizacji procesów samokonfiguracji, rekonfiguracji czy też nawet samoorganizacji. Aby system sterowania mógł dysponować taką funkcjonalnością niezbędne jest zastosowanie technologii włącz i produkuj (ang. *plug and produce*), która jest odpowiednikiem znanej z systemów komputerowych technologii włącz i działaj (ang. *plug and play*). W pracy omówiono problem samokonfiguracji systemu sterowania produkcją integrującego problematykę sterowania podsystemem wytwarzaniem oraz sterowania podsystemem transportowym.

## 2. SAMOKONFIGURACJA SYSTEMU STEROWANIA. BADANIE TEGO PROCESU PRZY WYKORZYSTANIU ŚRODOWISKA SYMULACYJNEGO ARENA

### 2.1 Sformułowanie problemu

Konsekwencją „podległości” podsystemu transportowego jest to, że rozwiązanie problemu harmonogramowania zadań transportowych wymaga zsynchronizowania go z procedurą podejmowania decyzji o uruchamianiu czynności wytwórczych zaimplementowaną w podsystemie sterowania wytwarzaniem.

Rozważany problem transportowy można zdefiniować następująco: istnieje zbiór automatycznie sterowanych pojazdów  $M$  oraz zbiór zadań transportowych  $T$ . Zadanie transportowe  $t(A, B)_i$  należy rozumieć, jako zlecenie dostarczenia obiektu będącego przedmiotem procesu produkcyjnego (przedmiot obrabiany, paleta z półfabrykatami, gotowy produkt itp.) z punktu początkowego  $A$  do punktu docelowego  $B$ . Dodatkowo istnieje zbiór ścieżek (tras) jedno – lub dwukierunkowych  $S(A, B)$  łączących każde dwa punkty  $A - B$ , stanowiące punkt startowy i docelowy automatycznie sterowanego pojazdu. Poszczególne zadania  $t(A, B)_i \in T$  mogą być realizowane za pomocą dostępnego pojazdu  $m_k \in M$  wykorzystując jedną ze ścieżek  $s(A, B)_k \in S(A, B)$ . Zadania w podsystemie transportowym mogą być realizowane współbieżnie. Uwzględniając fakt losowości zleceń transportowych generowanych przez system sterowania produkcją, a wynikających z potrzeb podsystemu wytwarzania oraz z usługowości podsystemu transportowego, nie jest uzasadnione formułowanie modelu optymalizacyjnego wyizolowanego problemu transportowego. W celu zapewnienia efektywności jego działania należy jednak optymalizować realizację poszczególnych zadań transportowych. Problem optymalizacyjny polega tu na takim wyborze wózka mobilnego, jego ścieżki oraz terminu rozpoczęcia jazdy, aby przy przyjętych założeniach uzyskać najbardziej korzystne rozwiązanie z uwagi na zastosowane kryteria oceny. W literaturze spotykane są różne kryteria oceny, z których najważniejsze to:

- czas, w jakim zadanie zostanie zrealizowane,
- długość drogi, której przebycie jest wymagane w celu zrealizowania zadania,
- koszt realizacji zadania transportowego.

Ograniczeniami, które należy uwzględnić podejmując się rozwiązania postawionego problemu są: niedopuszczenie do powstania kolizji automatycznie sterowanych pojazdów oraz uniknięcie możliwości wprowadzenia systemu transportowego w stan blokady.

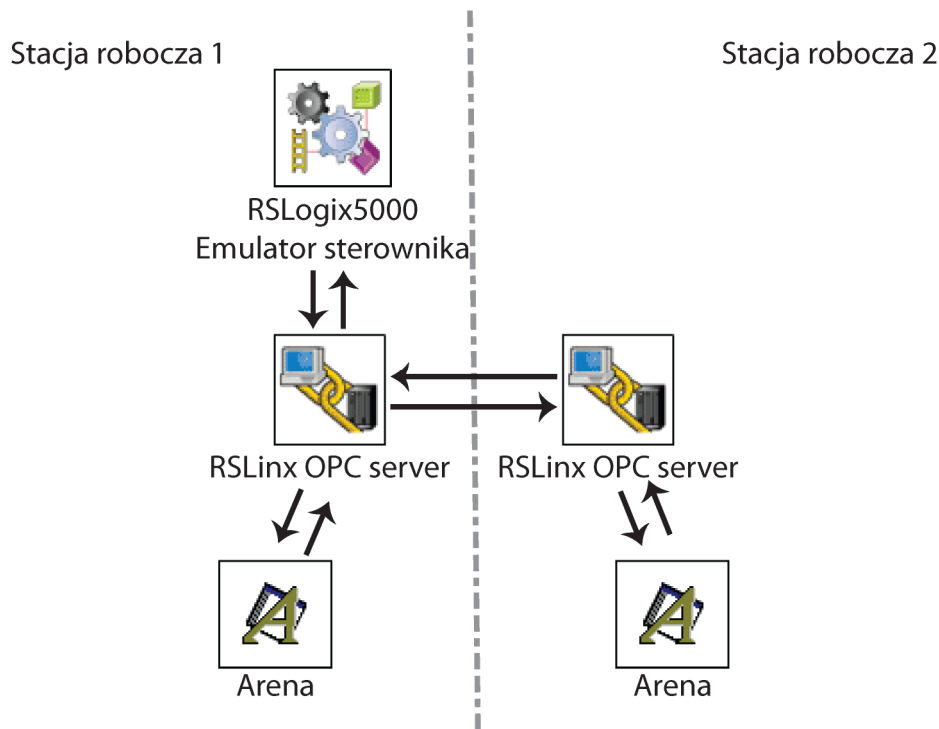
Aby podsystem transportowy mógł efektywnie realizować swoje zadania oraz miał zdolność do samokonfiguracji i rekonfiguracji w zależności od zmian wynikających z wymagań rynku, a zachodzących w podsystemie wytwarzania, niezbędne jest zapewnienie odpowiedniego współdziałania elementów tworzących system produkcyjny. Zapewnienie możliwości fizycznej współpracy urządzeń wytwórczych i transportowych jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym dla samokonfiguracji systemu sterowania. Aby proces ten mógł być zrealizowany, należy zdefiniować „wspólny język”, dzięki któremu urządzenia wytwórcze będą mogły w sposób jednoznaczny zaprezentować swoje możliwości wytwórcze i transportowe, zdolność do współpracy itp. Wymaga to zdefiniowania odpowiednich protokołów przekazywania informacji oraz środowiska symulacyjnego, w którym koncepcja samokonfiguracji systemu sterowania będzie testowana.

W dalszej części artykułu omówione zostaną zagadnienia związane z przygotowaniem testowego środowiska rozproszonego, przedstawiona będzie analiza zagadnienia samokonfiguracji rozproszonego systemu sterowania oraz omówiony zostanie testowy model symulacyjny.

### 2.2 Rozproszone środowisko symulacyjne

Aktualny stan badania procesu samokonfiguracji rozproszonego systemu sterowania zakłada zbudowanie prostego modelu imitującego działania rzeczywistego systemu produkcyjnego w środowisku rozproszonym. Jako narzędzie, które posłuży do realizacji założonych celów wybrano program symulacyjny Arena firmy Rockwell Software.

Do realizacji tych celów zbudowano rozproszone, wirtualne środowisko, w którym pojedyncze instancje oprogramowania Arena zostają uruchomione na oddzielnych komputerach (rys. 1). Działające w obrębie tych instancji moduły, pełniąc rolę agentów reprezentujących w warstwie logicznej układu sterowania, poszczególne elementy systemu produkcyjnego. W prezentowanej konfiguracji uruchomione zostaną dwa takie środowiska. Aby zapewnić komunikację, na obydwu stacjach będzie działało dodatkowo oprogramowanie komunikacyjne RSLinx, udostępniające serwer wymiany danych OPC, a na pierwszej stacji roboczej uruchomiony zostanie symulator sterownika PLC RSLogix 5000. Poszczególne instancje Areny będą komunikować się z sobą wymieniając dane za pomocą specjalnych zmiennych, tagów serwera OPC hostowanych przez symulator sterownika.



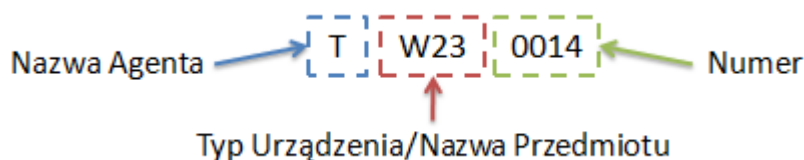
Rys. 1. Schemat komunikacji pomiędzy instancjami Areny

Poszczególne moduły opracowane w programie Arena pełnić będą role różnych agentów zarządzających określonymi elementami systemu produkcyjnego. Aby były one łatwo rozróżnialne wprowadzony został system kodów identyfikacyjnych (tab. 1). Kod identyfikacyjny jest elementem mającym jednoznacznie identyfikować agenta. Jest to parametr unikalny dla każdej uruchomionej instancji. Jego składnia (rys. 2) pozwala na określenie takich danych jak: nazwa agenta, typu urządzenia/przedmiotu oraz jego numer. Ostatni parametr pozwala identyfikować urządzenia/przedmioty zwielokrotnione np.: numer AGV określonego typu czy też numer przedmiotu określonego typu.

Tab. 1. Nazwy agentów

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

Agent zasobowy odpowiada w systemie sterowania za działanie takich elementów systemu wytwarzania jak: urządzenia obróbkowe, urządzenia pomiarowe, roboty czy magazyny. Agent zasobowy posiada pełną wiedzę o funkcjonalności obiektu przez siebie reprezentowanego, czyli o czynnościach, w których bierze on udział oraz innych obiektach niezbędnych do realizacji tych czynności. Dzięki temu może na bieżąco decydować m. in. o możliwości współpracy z innymi agentami. Kilka współpracujących agentów zasobowych może sterować np. gniazdem obróbkowym.



Rys. 2. Kod identyfikacyjny agenta

Agent transportowy odpowiedzialny jest w systemie sterowania za automatycznie sterowane pojazdy. Dzięki działaniu tych agentów możliwa jest budowa systemów produkcyjnych złożonych z odległych od siebie gniazd czy też podsystemów wytwórczych. W odróżnieniu od agentów zasobowych, poza podstawowymi informacjami o realizowanych czynnościach, posiada on dodatkowe informacje wynikające ze specyfiki realizacji zadań transportowych. Agent transportowy odpowiedzialny jest przemieszczanie przedmiotów w systemie, przez co konieczne jest dla niego posiadanie w swojej pamięci adresów tych agentów zasobowych, z którymi może bezpośrednio współdziałać oraz możliwych dróg dojazdu. Znalezienie się agenta zasobowego na takiej liście, czyli oznaczenie go, jako stacja, oznacza, że sterowany

automatycznie pojazd może przemieścić się na stanowisko urządzenia reprezentowanego przez tego agenta i zostanie tam obsłużony.

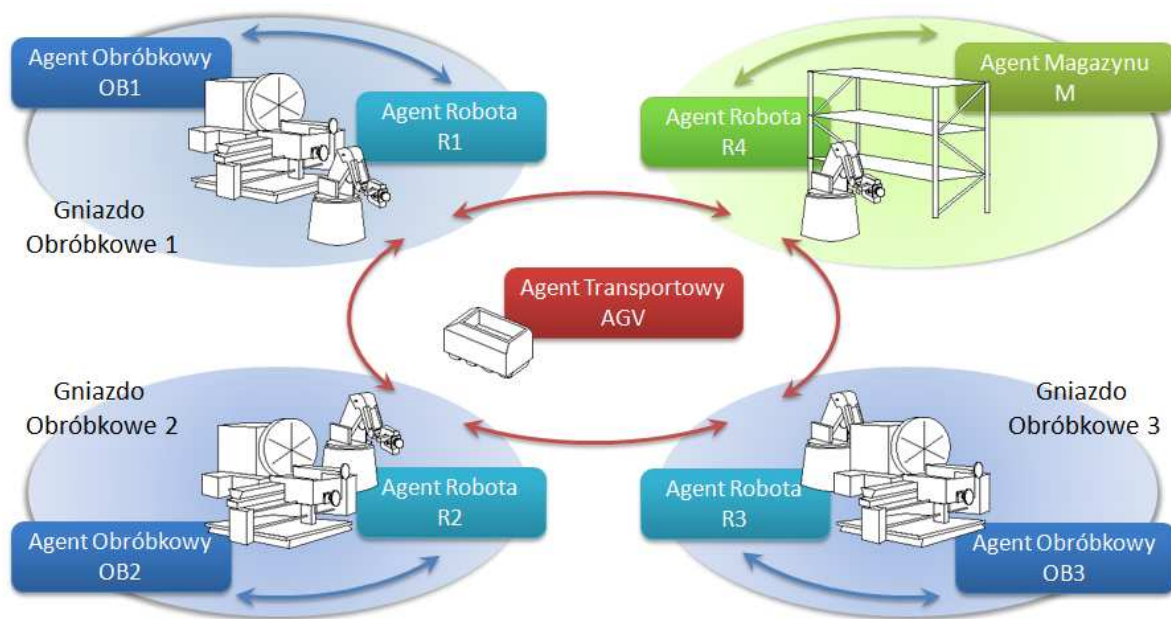
Biorąc pod uwagę zasadniczy cel niniejszej pracy, jakim jest opis procedury samokonfiguracji wieloagentowego systemu sterowania przyjęto, że na tym etapie pojedynczy agent transportowy danego typu może reprezentować więcej niż jeden automatycznie sterowany pojazd danego typu. W trakcie późniejszej realizacji procesu produkcyjnego wykorzystane będzie można dowolny z dostępnych pojazdów AGV określonego typu.

Aby umożliwić realizację procesu samokonfiguracji konieczne jest wprowadzenia agenta koordynatora, który pełnił będzie rolę „książki adresowej”. Książka ta umożliwi nowym, pojawiającym się w intranecie agentom, na dostęp do adresów innych agentów zarejestrowanych już w systemie. Agent koordynator jest zawsze inicjalizowany, jako pierwszy i jego adres jest znany wszystkim „potencjalnym” agentom w systemie. Rolę koordynatora w opracowanej koncepcji pełni symulator sterownika RSLogix 5000.

Agent przedmiotowy jest ostatnim typem agenta wchodzącym w skład systemu sterowania. Reprezentuje on wszystkie przedmioty danego typu oraz posiada wiedzę o procesie wytwarzania „swojego” typu przedmiotu, czyli informacje dotyczące czynności elementarnych, jakie należy wykonać, aby go wyprodukować. Informacje te zawierają również dane dotyczące maszyn i urządzeń niezbędnych do realizacji poszczególnych czynności. Dla danego przedmiotu może istnieć wiele różnych marszrut jego wykonania. Z punktu widzenia systemu sterowania ważna jest rola, jaką pełnią poszczególne agenty w realizacji czynności elementarnych. Mogą one pełnić rolę obiektu wejściowego – na którym znajduje się przedmiot przed rozpoczęciem wykonywaniem czynności, obiektu wyjściowego – na którym znajduje się przedmiot po zakończeniu wykonywania czynności oraz obiektu pomocniczego – dodatkowego obiektu niezbędnego do realizacji czynności.

Czynności elementarne oznaczane będą dalej w sposób uproszczony, przyjmując, że dla każdej czynności występuje jedno urządzenie wejściowe i jedno wyjściowe. Wprowadzona została następująca notacja: *Nazwa Przedmiotu: Nazwa Urządzenia Wejściowego* → *Nazwa Urządzenia Wyjściowego; Lista Urządzeń Pomocniczych*. Dla przykładu zapis P: M → OB; R oznacza czynność, w której robot R pobiera z magazynu M przedmiot P i przenosi go na obrabiarkę OB. Zapis postaci P: OB → OB oznacza obróbkę przedmiotu na obrabiarce OB.

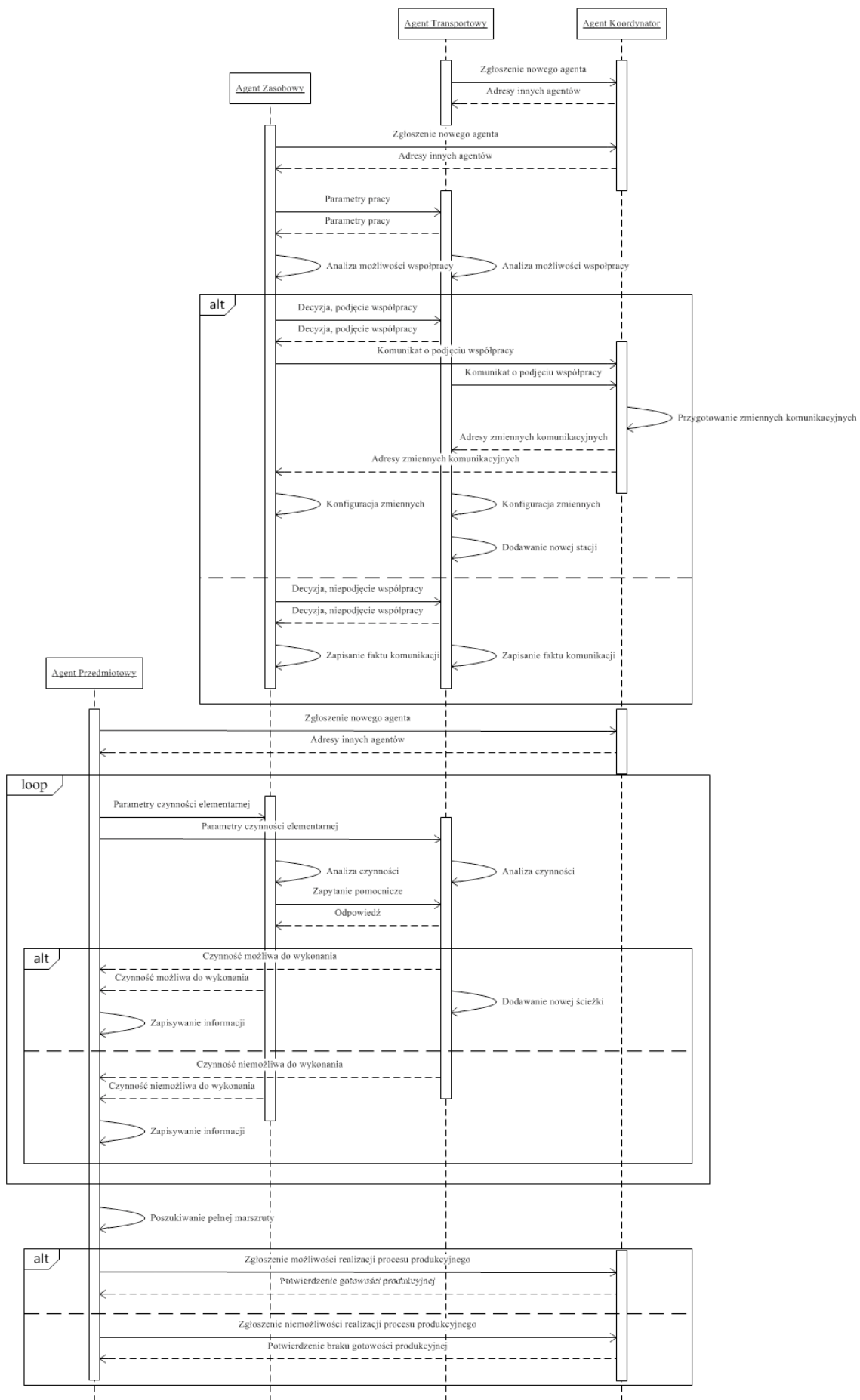
Modelem użytym do realizacji testów będzie tu system produkcyjny, przedstawiony na rysunku 3, zbudowany z zespołu trzech gniazd obróbkowych, w których skład wchodzi robot, obrabiarka oraz magazyn, a także zespołu automatycznie sterowanych pojazdów odpowiadających za realizację transportu przedmiotów pomiędzy poszczególnymi gniazdami. Przyjęto, że w systemie tym wytwarzany będzie jeden typ przedmiotu – P1, a proces technologiczny dopuszcza realizację jednej z dwóch dostępnych marszrut.



Rys. 3. Schemat testowego systemu wytwarzania

### 2.3 Samokonfiguracja systemu sterowania

Proponowana konfiguracja środowiska roboczego nakłada na projektanta pewne ograniczenia, w związku z tym przyjęto, że agenty transportowe reprezentujące automatycznie sterowane pojazdy uruchamiane będą na drugiej stacji roboczej, podczas gdy agenty wykonawcze reprezentujące pozostałe elementy systemu produkcyjnego uruchamiane będą na pierwszej stacji.



Rys. 4. Diagram sekwencji przedstawiający proces samokonfiguracji

Pojawienie się w systemie nowego agenta, nazywanego dalej agentem A, reprezentującego jeden z elementów systemu wytwarzania, rozpoczyna proces samokonfiguracji przedstawiony na rysunku 4. Po inicjalizacji agenta A w systemie, wysyła on do koordynatora swój unikalny kod identyfikacyjny oraz adres sieciowy. Efektem tej informacji jest dodanie przez koordynatora do swojej wewnętrznej tablicy nowego wpisu zawierającego otrzymane właśnie dane, oraz odesłanie jej dotychczasowej zawartości do agenta A. Ten krótki proces kończy wstępną inicjalizację agenta. Następnym krokiem jest zbudowanie połączeń międzyagentowych. Posiadając tablice adresów wszystkich agentów zarejestrowanych aktualnie w systemie, agent A nawiązuje z nimi komunikację. Do agenta nazwanego dalej adresatem wysyłana jest ze strony agenta A informacja zawierająca jego adres, kod identyfikacyjny oraz parametry określające możliwości współdziałania odpowiadającego mu urządzeniu, z urządzeniem, za działanie, którego odpowiada adresat. W reakcji na takie wywołanie adresat odsyła swoje parametry. Uwzględniając otrzymane informacje oraz własne parametry operacyjne, agenty podejmują decyzję dotyczącą możliwości współpracy podczas realizacji czynności elementarnych tworzących procesy wytwórcze. Jeżeli wynik takiego dialogu jest pozytywny, agenty przechodzą do trzeciego i ostatniego etapu samokonfiguracji. Do koordynatora wysyłana jest prośba o przygotowanie parametrów komunikacji. Jeżeli otrzyma on taką wiadomość od agenta A i adresata, wykonuje operacje związane z połączeniem obu agentów. Koordynator inicjalizuje grupę zmiennych służącą do wymiany danych między agentami, a adresy tych zmiennych odsyła zarówno do agenta A jak i adresata. W wypadku, gdy nie ma możliwości współpracy obu agentów, zachowują one w swojej pamięci fakt zaistniałej komunikacji, ale nie podejmują żadnych dalszych działań.

Rozpatrując zgłoszenie się nowego agenta transportowego, nazwanego dalej agentem AGV, założono, że w procesie samokonfiguracji będzie brał udział tylko jeden reprezentant poszczególnych typów AGV. Po jego konfiguracji wszystkie pozostałe sterowane automatycznie pojazdy danego typu będą miały te same parametry robocze. Samokonfiguracja tego typu agentów przebiega podobnie do rozpatrywanych wcześniej operacji wykonywanych dla agentów zasobowych. Jedyną różnicą, jest dodatkowa czynność, jaką agent AGV wykona podczas inicjalizacji współpracy z innym agentem. Jeśli oba obiekty będą współpracować ze sobą na dalszych etapach produkcyjnych, w tablicy stacji agenta AGV pojawi się wpis dodający nową stację. W przyjętym modelu wszystkie stacje będą znajdować się przy agentach urządzeń pomocniczych, czyli przy agentach robotów, gdyż odpowiadają one za urządzenia, które mogą obsługiwać sterowany automatyczny pojazd.

W procesie samokonfiguracji biorą także udział agenty przedmiotowe. Tak jak w przypadku poprzednio analizowanych agentów, agent przedmiotowy, zwany dalej agentem P1, rozpoczyna tę procedurę od zgłoszenia się do koordynatora. Otrzymuje w efekcie listę istniejących w systemie agentów zasobowych i transportowych. Następnie inicjalizowany jest etap konfiguracji procesu wytwarzania. Korzystając z posiadanej w pamięci listy czynności elementarnych, agent P1 analizuje każdą z nich, nawiązując kontakt z agentami urządzeń mających brać udział w jej realizacji. Analizując ciąg czynności elementarnych w modelu testowym (tab. 2) zaczynający się od P1: M → AGV; R4, agent przedmiotowy skontaktuje się z agentem magazynu (M), transportowym (AGV) oraz agentem robota (R4) podając im szczegóły operacji. Każdy z tych agentów, analizując własne dane oraz komunikując się z współuczestnikami zadania, zwraca do agenta P1 swoją gotowość realizacji rozpatrywanej czynności elementarnej. Następnie agent P1 analizuje kolejne czynności P1: AGV → AGV oraz P1: AGV → OB1; R1. Agent AGV uczestniczący w wszystkich tych operacjach analizuje je, sprawdzając czy agent obiektu pomocniczego (odpowiedniego robota), niezbędnego do realizacji czynności elementarnej należy do jego listy stacji. Dla AGV konieczna jest analiza pełnego łańcucha transportowego, czyli trzech następujących po sobie czynności: pobrania, transportu i oddania przedmiotu. Wynika to z specyfiki podsystemu transportowego. Podczas analizy pierwszego zadania, agent AGV sprawdza tylko czy R4 jest stacją, która może go obsłużyć i taka informacja jest wystarczająca, aby zwrócić do agenta P1 informacje o pozytywnym rozpatrzeniu zagadnienia. Gdy analizowana jest czynność trzecia, poza sprawdzeniem stanu stacji, agent AGV weryfikuje także swoje poprzednie decyzje dotyczące aktualnie rozpatrywanego łańcucha transportowego. Analiza ostatniej czynności da pozytywny rezultat tylko, jeśli obie poprzedzające ją czynności są realizowalne. W takiej sytuacji agent AGV wykona dodatkową operację tworzenia nowego połączenia transportowego pomiędzy stacjami analizowanego procesu i dodania go do listy ścieżek. Agent P1 powtarza to działanie dla każdej czynności elementarnej wchodzącej w skład danego procesu. Po zweryfikowaniu każdej z nich, agent P1 analizuje wszystkie możliwe marszruty wykonania przedmiotu i jeśli znajdzie, choć jedną pełną drogę wysyła do koordynatora informację, że proces, który reprezentuje jest możliwy do realizacji, co oznacza, że system został skonfigurowany.

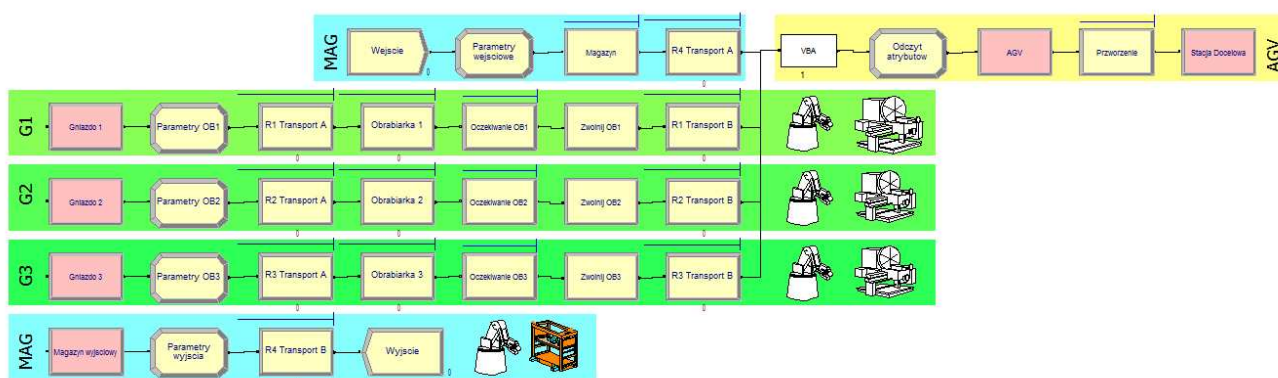
Tab. 2. Czynności elementarne dla testowego systemu wytwarzania

Czynność elementarna	Opis
Marszruta 1	
P1: M → AGV; R4	Robot R4 przenosi przedmiot P1 z magazynu M na AGV
P1: AGV → AGV	Transport przedmiotu P1
P1: AGV → OB1; R1	Robot R1 przenosi przedmiot P1 z AGV na obrabiarkę OB1
P1: OB1 → OB1	Obróbka na obrabiarce OB1
P1: OB1 → AGV; R1	Robot R1 przenosi przedmiot P1 z obrabiarki OB1 na AGV
P1: AGV → AGV	Transport przedmiotu P1
P1: AGV → OB2; R2	Robot R2 przenosi przedmiot P1 z AGV na obrabiarkę OB2
P1: OB2 → OB2	Obróbka na obrabiarce OB2
P1: OB2 → AGV; R2	Robot R2 przenosi przedmiot P1 z obrabiarki OB2 na AGV
P1: AGV → AGV	Transport przedmiotu P1
P1: AGV → M; R4	Robot R4 przenosi przedmiot P1 z AGV do magazynu M
Marszruta 2	
P1: M → AGV; R4	Robot R4 przenosi przedmiot P1 z magazynu M na AGV
P1: AGV → AGV	Transport przedmiotu P1
P1: AGV → OB3; R3	Robot R3 przenosi przedmiot P1 z AGV na obrabiarkę OB3
P1: OB3 → OB3	Obróbka na obrabiarce OB3
P1: OB3 → AGV; R3	Robot R3 przenosi przedmiot P1 z obrabiarki OB3 na AGV
P1: AGV → AGV	Transport przedmiotu P1
P1: AGV → M; R4	Robot R4 przenosi przedmiot P1 z AGV do magazynu M

### 2.4 Budowa testowego modelu symulacyjnego

Wygląd modelu symulacyjnego jest ściśle związany z logiką działania programu Arena. Jedynymi elementami, które mogą zmieniać swoje wartości są tutaj zmienne (Variables). Nie można przekazywać pomiędzy poszczególnymi instancjami faktycznych jednostek symulowanych (Entiti), a jedynie poprzez zmienne podawać chwilowe wartości ich parametrów. W związku z tym, każdy model musi być wyposażony w elementy wprowadzające i wyprowadzające jednostki z systemu. Narzędziem wspomagającym wymianę danych jest Visual Basic for Application (VBA). Bloki zawierające procedury napisane w tym języku pozwalają na skomplikowane przeliczanie wartości zmiennych w czasie rzeczywistym.

Budowa poszczególnych modeli ma odpowiadać, w warstwie logicznej, działaniu agentów i być dostosowana do wymagań, jakie stawia systemowi procedura jego samokonfiguracji. Ponadto, należy uwzględnić konieczność samokreowania niektórych fragmentów systemu w czasie jego pracy.



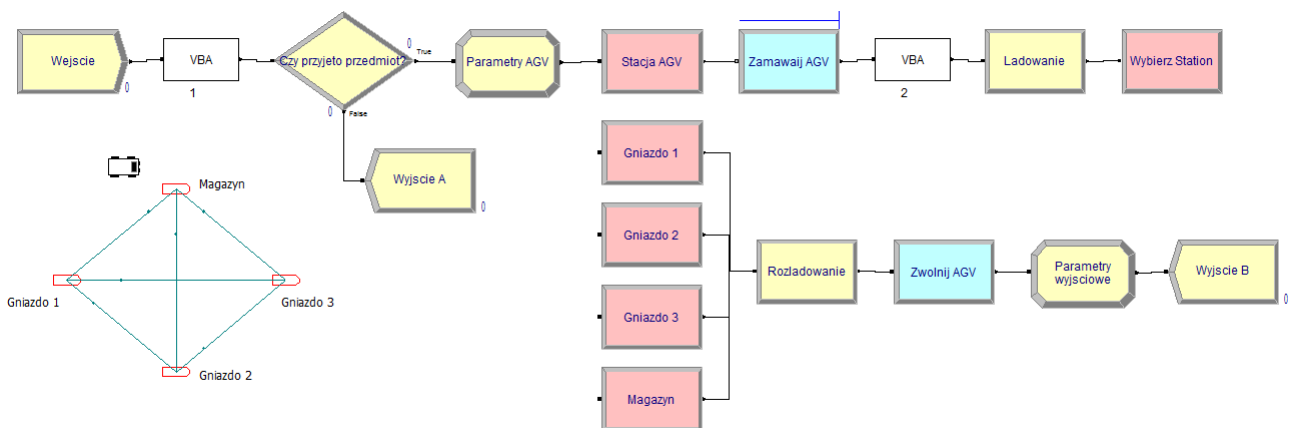
Rys. 5. Model stanowiska pierwszego (magazyn i gniazda obróbkowe)

Przedstawiony na rysunku 5 model reprezentuje magazyn i trzy gniazda obróbkowe. W warstwie logicznej będzie on odpowiadał za działanie agentów zasobowych, takich jak agenci magazynu, poszczególnych robotów i obrabiarek zgrupowanych w gniazda obróbkowe. Bloki fragmentu modelu oznaczonego, jako AGV odpowiadają za przetrzymanie przedmiotu w czasie, gdy działa moduł transportujący. Ponadto określają one wstępne parametry przekazywane do AGV oraz odbierają informacje zwrotne dotyczące punktu, do którego przedmiot został przetransportowany. Aby proces ten przebiegał efektywnie sterowany automatycznie pojazd będzie poruszał się pomiędzy wyznaczonymi miejscami w systemie. Do sygnalizacji takich punktów wykorzystano moduł stacji (Station). Każda z nich składa się z bloku wyznaczającego początek stacji, a dla AGV określająca miejsce możliwe dla niego do podjazdu, oraz bloków decyzyjnych urządzeń znajdujących się w danym punkcie. Na analizowany system składają się trzy gniazda obróbkowe, wyznaczone przez trzy stacje, w których skład wchodzi obrabiarka oraz robot przenoszący przedmiot pomiędzy AGV a obrabiarką. System na bieżąco weryfikuje statusy zmiennych (tabela 3) odpowiadających za gniazda robocze (stg1, stg2, stg3)

oraz pobiera zmienną *stwow* sygnalizującą aktualny stan automatycznie sterowanego pojazdu. Po wprowadzeniu do systemu przedmiot oczekuje na zaistnienie sytuacji pozwalającej mu na przejście do pierwszej czynności elementarnej. Sygnalizuje to zmienna *przewo* (przedmiot na sterowany automatycznie pojazd). Przekazanie elementu dalej skutkuje uruchomieniem operacji w module AGV. Po poprawnie wykonanym transporcie przedmiot jest „zwracany” do modułu zawierającego magazyn i gniazda poprzez zmianę stanu zmiennej *zwtr* (zwolnienie z automatycznie sterowanego pojazdu). W zależności od decyzji podjętej przez moduł transportujący przedmiot przekazywany jest do odpowiedniej stacji w systemie. Operacja jest powtarzana do momentu wyprowadzenia jednostki z systemu.

Tab. 3. Wykaz zmiennych przekazywanych pomiędzy instancjami w testowym modelu wytwarzania

Zmienna	Opis
stwow	Stan agenta transportującego
stg1	Stan gniazda 1 (robot 1 + obrabiarka 1)
stg2	Stan gniazda 2 (robot 2 + obrabiarka 2)
stg3	Stan gniazda 3 (robot 3 + obrabiarka 3)
zwtr	Zwolnienie przedmiotu z transportera
przewoz	Przekazanie przedmiotu na wózek
etap	Etap procesu, określający stan zaawansowania procesu wytwarzania przedmiotu
pics	Identyfikator stacji, do której przedmiot jest przewieziony



Rys. 6. Model stanowiska drugiego (sterowany automatycznie pojazd)

Model reprezentujący sterowany automatycznie pojazd przedstawiony jest na rysunku 6. Realizuje on logikę działania agenta transportowego. Element ten nie operuje jednostkami przedmiotu zainicjalizowanymi w modelu magazynu i gniazd, a jedynie posiada ich chwilowe wartości. Elementy są tu inicjalizowane cyklicznie i w zależności od informacji przekazywanych z modułu pierwszego są od razu usuwane z systemu lub przekazywane do dalszych bloków decyzyjnych. Operacja ta jest równoznaczna z przyjęciem jednostki na sterowany automatycznie pojazd i sygnalizowana zmianą stanu zmiennej *przewoz*. Po przejściu do dalszych bloków systemu agent transportujący pobiera informacje dotyczące parametrów jednostki, jaka jest obsługiwana przez sterowany automatycznie pojazd, a w szczególności zmienną *etap*. Element ten został wprowadzony do opisu przedmiotu, aby w łatwy sposób identyfikować, na jakim etapie produkcyjnym znajduje się dana jednostka. Zmienna ta przyjmuje wartości całkowite (tab. 4), a modyfikować jej wartość mogą moduły zawierające bloki odpowiadające za agenty zasobowe. Mając do dyspozycji tę daną oraz statusy wszystkich gniazd obróbkowych, agent transportowy określa, do której stacji w systemie ma zostać przekazana jednostka. Dalsze bloki odpowiedzialne są za operacje: obsługi procesu transportu, czyli rezerwacja odpowiedniego sterowanego automatycznie pojazdu; operacje ładowania, transportu i rozładowania przedmiotu; oraz zwolnienie jednostki przewożącej. Przy tym ostatnim kroku agent transportowy sygnalizuje gotowość przekazania przedmiotu do dalszych etapów produkcyjnych w modelu magazynu i gniazd sygnalizując to zmianą stanu zmiennej *zwtr* oraz zwraca identyfikator wybranej stacji, gniazda obróbkowego, poprzez zmienną *pics*.

Tab. 4. Wartości zmiennej *etap* dla różnych etapów produkcyjnych

Wartość liczbowa zmiennej <i>etap</i> :	Opis	Możliwe stacje do przekazania
10	Przedmiot pobrany z magazynu	Gniazdo 1, Gniazdo 3
8	Przedmiot po obróbce na OB1	Gniazdo 2
5	Przedmiot po obróbce na OB2	Magazyn
3	Przedmiot po obróbce na OB3	Magazyn



### 3. WNIOSKI

Dynamika zmian, jakim muszą sprostać współczesne systemy produkcyjne wymusza stosowanie rozwiązań rozproszonych w aspekcie sterowania tymi systemami. Pełna integracja podsystemu transportowego z logiką działania podsystemu wytwarzania, a w związku z tym, jego aktywny udział w procesach samokonfiguracji, pozwala na dostosowanie systemu sterowania do określonych warunków produkcyjnych. W aktualnej wersji systemu nie była rozpatrywana fizyczna współpraca urządzeń, a jedynie logiczna, wynikająca z czynności elementarnych.

Jedną z cech rozproszonych systemów sterowania jest ich względna łatwość dostosowywania się do zmian zachodzących w środowisku. Warto zauważyć, że przy tak przyjętej koncepcji sterowania oraz możliwości, jakie niesie za sobą wykorzystanie programu Arena wspieranego przez VBA, można przenieść samą procedurę decyzyjną poza prostą logikę modeli. Umożliwia to przeprowadzenie w krótkim czasie badań dotyczących bardzo zróżnicowanej konfiguracji systemu oraz jego reakcji na często i szybko zmieniające się parametry.

Prowadzone są także badania mające na uwadze przeniesienie roli koordynatora ze sterownika RSLogix 5000 na oprogramowanie serwerowe dostosowane do takich celów, pozostawiając po stronie tego pierwszego tylko czynności, do jakich jest dedykowany. Zaproponowane rozwiązanie zakłada znaczną integrację podsystemu transportowego z systemem produkcyjnym. Dzięki temu możliwe jest dla agentów AGV szybsze reagowanie na zaistniałe sytuacje oraz dobieranie lepszych parametrów realizacji poszczególnych zadań transportowych dzięki uwzględnieniu kryteriów ekonomicznych i czasowych.

Na dalszym etapie badań podjęta zostanie próba wprowadzenia do logiki agenta AGV algorytmów pozwalających mu na przewidywanie zapotrzebowania na usługi transportowe, które umożliwią wysyłanie sterowanych automatycznie pojazdów do stacji, poprzedzając pojawienie się zamówienia na taki transport ich strony. Może to pozwolić na minimalizację czasu oczekiwania na transporter, a w związku z tym, globalną redukcję kosztów i czasów produkcji.

### 4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bussmann S., Schild K.: *Self-Organizing Manufacturing Control: An Industrial Application of Agent Technology*. Proc. of the 4th Int. Conf. on Multi-Agent Systems. Boston 2000, s. 87-94.
- [2] Leitão, P., Restivo, F.: *Implementation of a Holonic Control System in a Flexible Manufacturing System*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part C: Applications and Reviews, vol. 38, issue 5, Sept. 2008, s. 699-709.
- [3] Małopolski W.: *Metoda wyznaczania dowolnych tras przejazdu obiektów systemu transportowego w środowisku symulacyjnym Arena*. Pomiary Automatyka Robotyka, Nr 2, Warszawa, 2011, s. 364-373.
- [4] Maturana F., Shen W., Norrie D.H.: *MetaMorph: An Adaptive Agent-Based Architecture for Intelligent Manufacturing*. International Journal of Production Research, 37(10), 1999, s. 2159-2174.
- [5] Qiu L., Hsu W-J., Huang S-Y., Wang H.: *Scheduling and routing algorithms for AGVs: a survey*. International Journal of Production Research. 2002, vol. 40, no. 3, s. 745-760.
- [6] Parunak H.V.D., Baker A. D., Clark S. J.: *The AARIA Agent Architecture: From Manufacturing Requirements to Agent-Based System Design*. Integrated Computer-Aided Engineering, Vol. 8, No. 1, 2001.
- [7] 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, pp. 415-431.
- [8] Van Brussel H., Wyns J., Valckenaers P., Bongaerts L., Peeters P.: *Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA*. Computers In Industry, Issue on Intelligent Manufacturing Systems, Vol. 37 No. 3, 1998, s. 255-276.
- [9] Zajac J.: *Rozproszone sterowanie zautomatyzowanymi systemami wytwarzania*. Monografia 288, Seria Mechanika. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.
- [10] Zajac J., Chwajol G.: *Towards Agent-Based Manufacturing Systems*. Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium, Austria, 2008, s. 1541-1542.
- [11] Zajac J., Krupa K., Słota A., Więk T.: *Autonomiczna platforma mobilna do realizacji transportu międzyoperacyjnego – projekt wstępny*. Logistyka, nr. 6, 2010, s. 3779-3788.
- [12] Zajac J., Chwajol G.: *Koncepcja integracji rozproszonego systemu sterowania produkcją AIM z podsystemem transportu międzyoperacyjnego zbudowanym z autonomicznych robotów mobilnych*. Pomiary Automatyka Robotyka, Nr 2, Warszawa, 2011, s. 392-401.
- [13] Zajac J., Norys K.: *Badanie procesu samokonfiguracji systemu sterowania wytwarzaniem*. Pomiary Automatyka Robotyka, Nr 2, Warszawa, 2012.