

prof. dr hab. inż. Jerzy Marek Honczarenko
 mgr inż. Jacek Góralski
 Politechnika Warszawska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

METODA WIELOAGENTOWA – ALGORYTMY STEROWANIA PRODUKCJĄ

Przedmiotem referatu jest metoda wieloagentowa w zastosowaniu do sterowania produkcją. W pierwszej części podano ogólną charakterystykę środowiska systemu sterowania bazującego na metodzie wieloagentowej oraz definicję agenta. W drugiej części przedstawione zostały algorytmy wykonawcze, obrazujące działanie poszczególnych agentów: systemowego, wykonawczego i koordynującego. Zaprojektowane algorytmy będą zastosowane do sterowania miniaturowym elastycznym systemem wytwarzania znajdującym się w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie.

MULTI-AGENT METHOD – INNOVATIVE ALGORITHMS OF STEERING THE PRODUCTION

The object of the first part of the report is a characteristic of the work environment of the system based on multi-agent control method and the agent definition. Second part contains executive algorithms, including following particular group of agents: system, executive, coordinative. Designed algorithms are used as controlling methods in Miniature Flexible Production System based in The West Pomeranian University of Technology in Szczecin.

1. WSTĘP

Jedną z dominujących cech w społecznego wytwarzania jest jego automatyzacja. W ciągu ostatniego trzydziestolecia eksponowanym przykładem zautomatyzowanych, dyskretnych systemów wytwarzania są elastyczne systemy wytwarzania – ESW [4]. Równocześnie od wielu lat prowadzone są badania, mające na celu stworzenie podsystemu sterowania, który podejmowałby decyzje, wnioskował i starał się przypominać działanie człowieka. Działanie tego rodzaju będzie wymagało dokonywania częstych wyborów między różnymi opcjami, rozwiązywania konfliktów oraz zapobiegania kolizjom w zależności od środków realizacji wybranych zagadnień.

Ostatnia dekada nakreśliła trend decentralizacji architektury sterowania, mający przewagę funkcjonalną nad klasyczną, scentralizowaną strukturą sterowania. Zaletami przemawiającymi na korzyść zdecentralizowanego rozproszonego systemu sterowania są m.in.: prosta rekonfiguracja i adaptacja nowych elementów systemu, przejrzystość programowa wynikająca z modułowości, autonomiczność jednostek oraz duża odporność na awarie, a także umiejętność współdziałania autonomicznych jednostek w celu realizacji zadania. Struktura budowy systemu sterowania bazującego na metodzie wieloagentowej w znakomity sposób odpowiada wymogom współczesnych systemów produkcyjnych.

2. AGENT I JEGO ŚRODOWISKO

Trzy dekady badań nad systemami wieloagentowymi nie przyniosły jednoznacznego zdefiniowania pojęcia agenta. W pionierskich publikacjach autorzy tej gałęzi badań, takich jak: S. Bussmann, H. Van Dyke Parunak czy J. Odell, pojęcie agenta przedstawione zostało w sposób opisowy [3, 5, 6, 7].

W artykule agenta zdefiniowano jako program komputerowy, który w swoim funkcjonowaniu stara się działać jak człowiek. Agent powinien charakteryzować się następującymi cechami [2]:

- **autonomia** — agent może działać samodzielnie bez udziału człowieka oraz innych agentów, a także ma zdolność kontrolowania swoich działań i swojego stanu
- **zdolność do zachowań społecznych** – możliwość współdziałania z innymi agentami, oraz z ludźmi, zdolność do samoorganizacji, łączenia się w grupy itp.
- **reaktywność** – postrzeganie zmian zachodzących w otaczającym agenta środowisku i reagowanie w odpowiednim czasie na te zmiany
- **proaktywność** – podejmowanie inicjatywy w celu dokonania zmian w otaczającym środowisku.

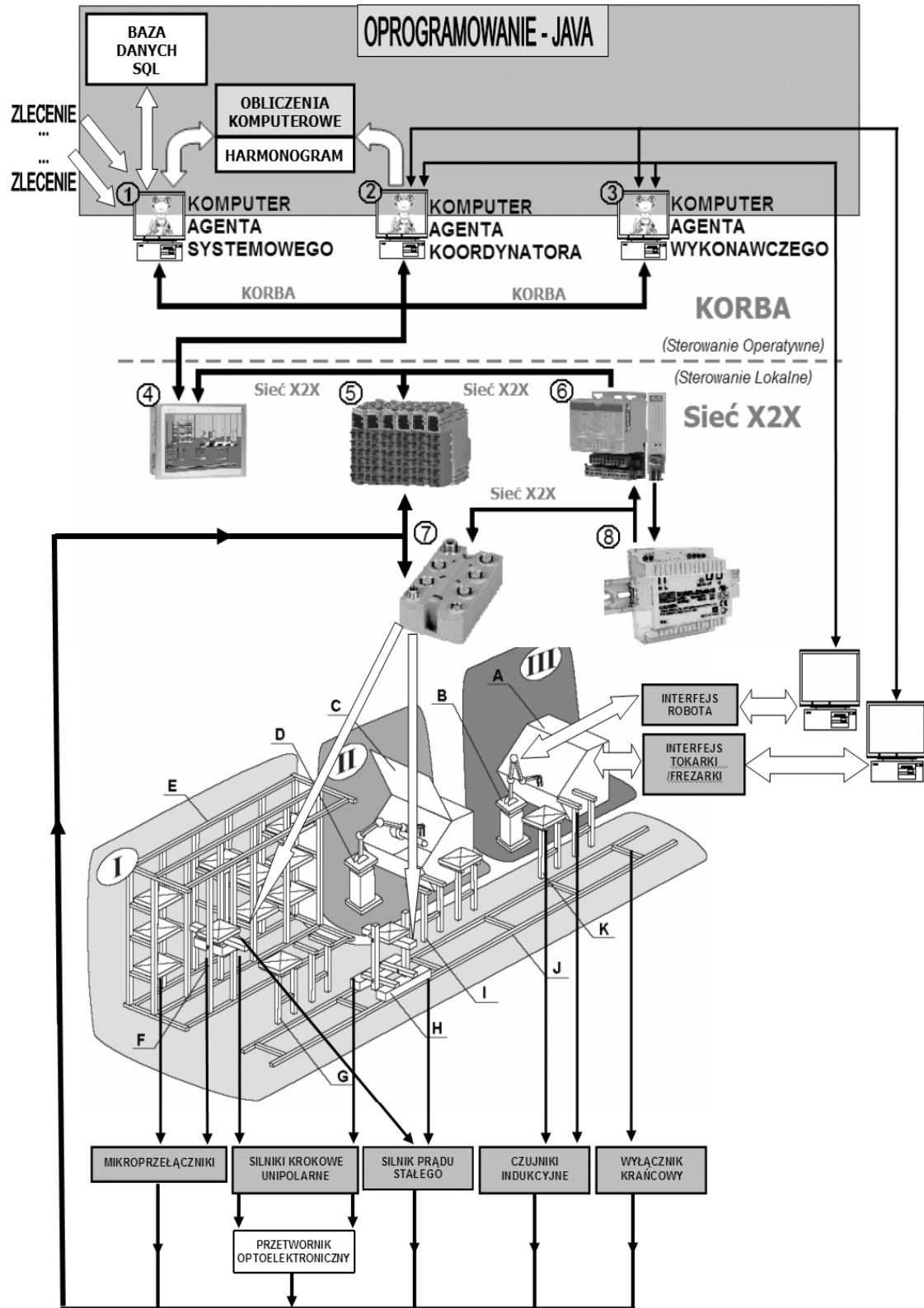
Autonomia agenta jest sprawą kluczową, jednak nie jest niezbędna do jego funkcjonowania. Uściślając agent nie jest całkowicie niezależny od obiektów, czynników zewnętrznych, jednakże jego warstwa decyzyjna opiera się na nich.

Do poprawnego działania systemu wieloagentowego niezbędne jest środowisko, otoczenie, które będzie miejscem jego pracy. Bez środowiska agent jest bezużyteczny, nie ma sensu istnienia. Otoczenie określa warunki, w jakich dana jednostka (agent lub inny obiekt) może istnieć i funkcjonować. Środowisko definiuje wygląd przestrzeni pracy agenta.

3. STEROWANIE BAZUJĄCE NA METODZIE WIELOAGENTOWEJ NA PRZYKŁADZIE MINIATUROWEGO ELASTYCZNEGO SYSTEMU WYTWARZANIA (MESW)

3.1. Konfiguracja i koncepcja podsystemu sterowania MESW metodą agentową

Obiektem sterowanym z wykorzystaniem metody wieloagentowej jest miniaturowy system [1] zbudowany zgodnie z założeniami rzeczywistych systemów obróbkowych stosowanych w przemyśle o strukturze funkcjonalnej takiej jak rzeczywiste systemy przemysłowe. Zawiera obrabiarki, urządzenia magazynowe, transportowe i manipulacyjne, stosowane i powiązane ze sobą jak w rzeczywistych systemach przemysłowych. System odzwierciedla zachodzące w rzeczywistości różne procesy obróbki i przepływ przedmiotów oraz umożliwia przeprowadzenie doświadczeń weryfikacji różnych metod planowania, harmonogramowania i sterowania produkcji. Dzięki modułowej budowie MESW pozwala na swobodną rozbudowę, modyfikację oraz integrowanie każdego urządzenia systemu z resztą układu. Stąd też w systemie zastosowano 3 podsystemy składowe: podsystem magazynowo - transportowy (I), podsystem technologiczny tokarski (II) i frezarski (III) co przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Projekt koncepcyjny sterowania MESW metodą wieloagentową

Za realizację harmonogramu, na poziomie sterowania lokalnego odpowiedzialny jest układ działający w oparciu o sieć X2X. Jednostką kontrolującą tą sieć jest sterownik PLC PP220 (4), należący do grupy produktów, które integrują sterownik z panelem operatorskim, dzięki temu po zainstalowaniu odpowiedniego oprogramowania wizualizacyjno-kontrolującego może pełnić funkcję modułu HMI (*ang. Human Machine Interface*). Aplikacja modułu HMI pozwala operatorowi na bezpośredni dostęp do aktualnego stanu pracy maszyn. Operator w zależności od posiadanych uprawnień jest w stanie diagnozować i kontrolować system, prowadzić karty pracy poszczególnych maszyn, otrzymywać zgłoszenia alarmowe, posiadać wgląd w raporty przebiegów procesów produkcyjnych.

Topologia sprzętowa warstwy sterowania lokalnego MESW obejmuje: (5) moduły komunikacyjne X2X oraz I/O, (6) moduł sterowania silnikami DC wraz z kontrolerem magistrali X2X, moduł sterujący silnikami krokowymi (7), zasilacz impulsowy DR-60-24 MeanWell (8).

Wyposażenie sprzętowe MESW dopełniają m.in. urządzenia średniego pakietu danych: enkodery i czytnik kodów paskowych oraz urządzenia jednobitowe: mikroprzełączniki, czujniki indukcyjne, elektrozawory, wyłączniki krańcowe.

3.2. Topologia programowa systemu sterowania MESW w oparciu o metodę wieloagentową

Opierając się na przedstawionej definicji agenta, jako aplikacji komputerowej, wykazującej cechy inteligentnego funkcjonowania człowieka - agenta można przedstawić jako software wyróżniający się zdolnościami do podejmowania decyzji w oparciu o własną wiedzę oraz informacje uzyskane z otaczającego go środowiska oraz uczenie się.

Grupy agentów reprezentowane przez programy wykonawcze, zaimplementowane w komputerach klasy PC (1), (2), (3), wchodzące ze sobą w interakcje za pomocą protokołów komunikacyjnych, mają za zadanie wysterowanie systemem dyskretnych procesów technologicznych. Znajdujące się w programach wykonawczych, algorytmy sterujące muszą uwzględniać nie tylko właściwości sterowanego procesu, ale także sposób działania wykorzystywanych w nim maszyn technologicznych i urządzeń sterujących ich pracą. Ponadto powinny uwzględniać przewidywalny sposób działania osób obsługujących proces, niejednokrotnie ich pomyłki i przyzwyczajenia. Bezpieczne sterowanie procesem technologicznym wymaga również wspomaganie algorytmu sterowania odpowiednimi rozwiązaniami sprzętowymi układu sterowania (np.: strefy bezpieczeństwa, wyłączniki awaryjne, kurtyny optyczne), jak również należycie przeszkolonej kadry operatorskiej.

4. ALGORYTMY DZIAŁANIA POSZCZEGÓLNYCH GRUP AGENTÓW

Przedmiotem opracowań i badań niniejszego referatu jest stworzenie algorytmów sterowania dyskretnymi procesami technologicznym. Przyjmuje się, iż dyskretny proces technologiczny to taki, w którym informacja wykorzystywana przez urządzenie sterujące jego przebiegiem jest zbiorem wyłącznie zmiennych dwunastawnych.

Stworzone algorytmy sterujące procesami dyskretnymi, muszą uwzględniać nie tylko właściwości sterowanego procesu, ale tak że sposób działania wykorzystywanych w nim maszyn technologicznych i urządzeń sterujących ich pracą. Ponadto powinny uwzględniać przewidywalny sposób działania osób obsługujących proces, niejednokrotnie ich pomyłki i przyzwyczajenia. Bezpieczne sterowanie procesem technologicznym wymaga również wspomaganie algorytmu sterowania odpowiednimi rozwiązaniami sprzętowymi układu sterowania (np.: strefy bezpieczeństwa, wyłączniki, kurtyny optyczne), jak również należycie przeszkolonej kadry operatorskiej.

4.1. Agent systemowy

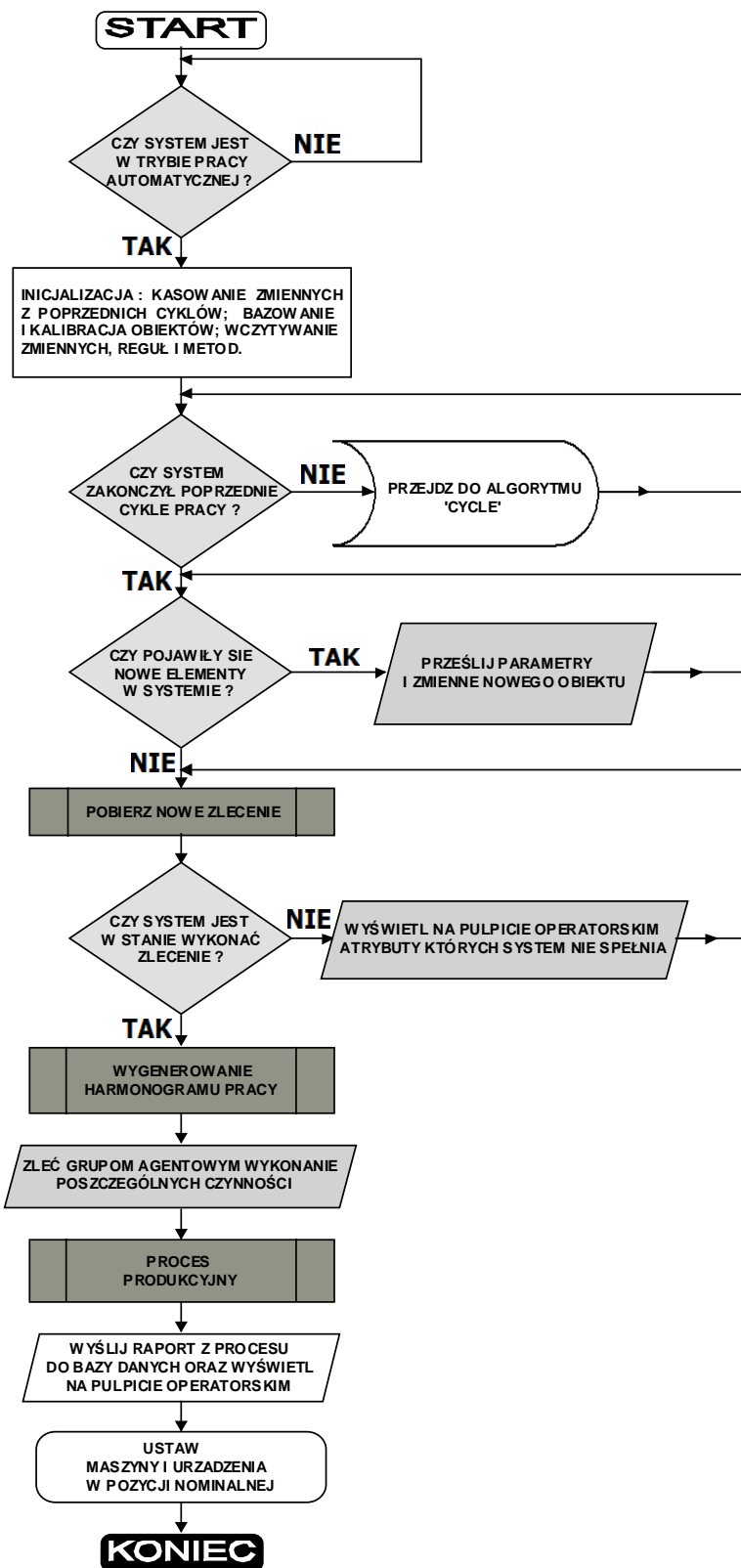
Przedstawiony na rys. 2 algorytm działania Agent Systemowego (AS) obrazuje programowy przebieg oraz monitorowanie poszczególnych procesów odbywających się w systemie. Oznacza to, że agent systemowy jest swego rodzaju administratorem systemowym, posiadającym najwyższy priorytet w systemie [8]. Czynnikiem niezbędnym do aktywacji agenta systemowego jest praca systemu w trybie automatycznym, pozwalającym na wprowadzenie praw i reguł algorytmu do systemu.

Po odtworzeniu stanu systemu przed awarią, unieruchomienia, następuje dokończenie cyklu i przejście do przyjęcia następnego zlecenia. Jeżeli natomiast nie jest to możliwe, AS wysyła komunikat do operatora, w którym proponuje bieg startowy, kalibrację (*ang. reference run*), po którym można przejść do etapu, w którym poprzedni cykl został przerwany. Działania tego typu wymagają nadzoru operatorskiego lub niejednokrotnie interwencji specjalisty, ponieważ mogą one doprowadzić do szeregu defektów lub awarii maszyn i urządzeń zatrzymanych w czasie cyklu produkcyjnego (wierćło w materiale, obciążone urządzenie transportowe).

Przyczyny przerwania cykli produkcyjnych są różne, od zaburzeń w dostarczaniu energii elektrycznej, poprzez nieprawidłowości programu sterującego, awarie maszyn i urządzeń, na błędach ludzkich kończąc. Czynnikiem w pewnym stopniu zapobiegającym powstawaniu części z przedstawionych sytuacji jest: stworzenie biblioteki w Bazy Danych, w której będą wpisywane wszelkiego rodzaju przerwania produkcyjne - ich przyczyny i skutki, doświadczenia operatorskie, zabezpieczenia sprzętowe, monitorowanie prac systemowych. Przykładem może być zmniejszenie zbyt dużej prędkości przesuwu wózka transportowego, czego następstwem był upadek elementu wielkogabarytowego podczas jego transportu. Zabezpieczenia tego typu mogą być wykonywane w różny sposób: poprzez ogranicznik i elektroniczne, monitorowanie pracy lub obsługę operatorską.

Po sprawdzeniu poprzedniego stanu systemu, następuje zapytanie o powstanie ewentualnego rozszerzenia systemu. *Czy pojawiły się nowe elementy systemu?* Jeżeli tak, to AS w celu rozpoczęcia współpracy z nowym obiektem, musi uzyskać pakiet informacyjny na jego temat, który będzie zawierał: informacje o protokole komunikacyjnym, przeznaczenie obiektu, dane techniczne wraz z efektywnością pracy. Konieczne jest również nadanie zmiennej, za pośrednictwem której obiekt będzie współpracował z resztą systemu.

Po przeprowadzeniu inicjalizacji nowych elementów systemowych, AS „jest gotowy do pracy” - przechodzi do pobrania zleceń produkcyjnych. Podlegają one analizie pod względem zdolności systemowych, zasobów magazynowych, czy opcjonalnie,



Rys. 2. Algorytm działania agenta systemowego

pracochłonności i opłacalności produkcji. Wywoływana jest procedura „nauki z przeszłości” (*ang. learning from history*), polegająca na wyszukaniu w Bazach Danych procesów produkcyjnych, obróbkowych zbliżonych technologicznie oraz powtarzalnych z tymi, które zostały aktualnie zlecone. W przypadku ich odnalezienia, następuje odtworzenie i analiza historii przebiegu wykonania.

AS podejmuje decyzję wykonania danego zlecenia, jeżeli podczas jego analizy nie zostały wykazane większe odstępstwa od specyfikacji technologicznej, zdolności systemu lub braków magazynowych. Jeżeli natomiast stwierdzono niezgodności z wytycznymi systemu zostaje to za komunikowane czynnikowi zwierzchniemu - człowiekowi. Przykładowymi parametrami niewydolności systemu względem określonego zlecenia jest:

- *brak ilościowy/rodzajowy materiału w magazynie/systemie*
- *zbyt krótki termin wykonania (ang. death line)*
- *braki narzędziowe i maszynowe*
- *zbyt wysoka klasa jakości otrzymanego produktu żądana przez zleceniodawcę.*

Jeżeli atrybuty systemowe, spełniają wymagania postawione przez pobrane zlecenie produkcyjne, agent systemowy przechodzi do zlecenia agentom wytwórczym, poszczególnych zadań składających się na ogół procesu produkcyjnego.

Postępujący proces produkcyjny jest pod stałą kontrolą agenta systemowego dbającego o poprawność i płynność jego przebiegu oraz przestrzeganie zdolności przerobowych poszczególnych obiektów. Po wykonaniu wszystkich czynności składowych procesu - zakończeniu marszrut technologicznych, agent systemowy tworzy raport przebiegu ogółu procesów, który będzie zawierał następujące informacje:

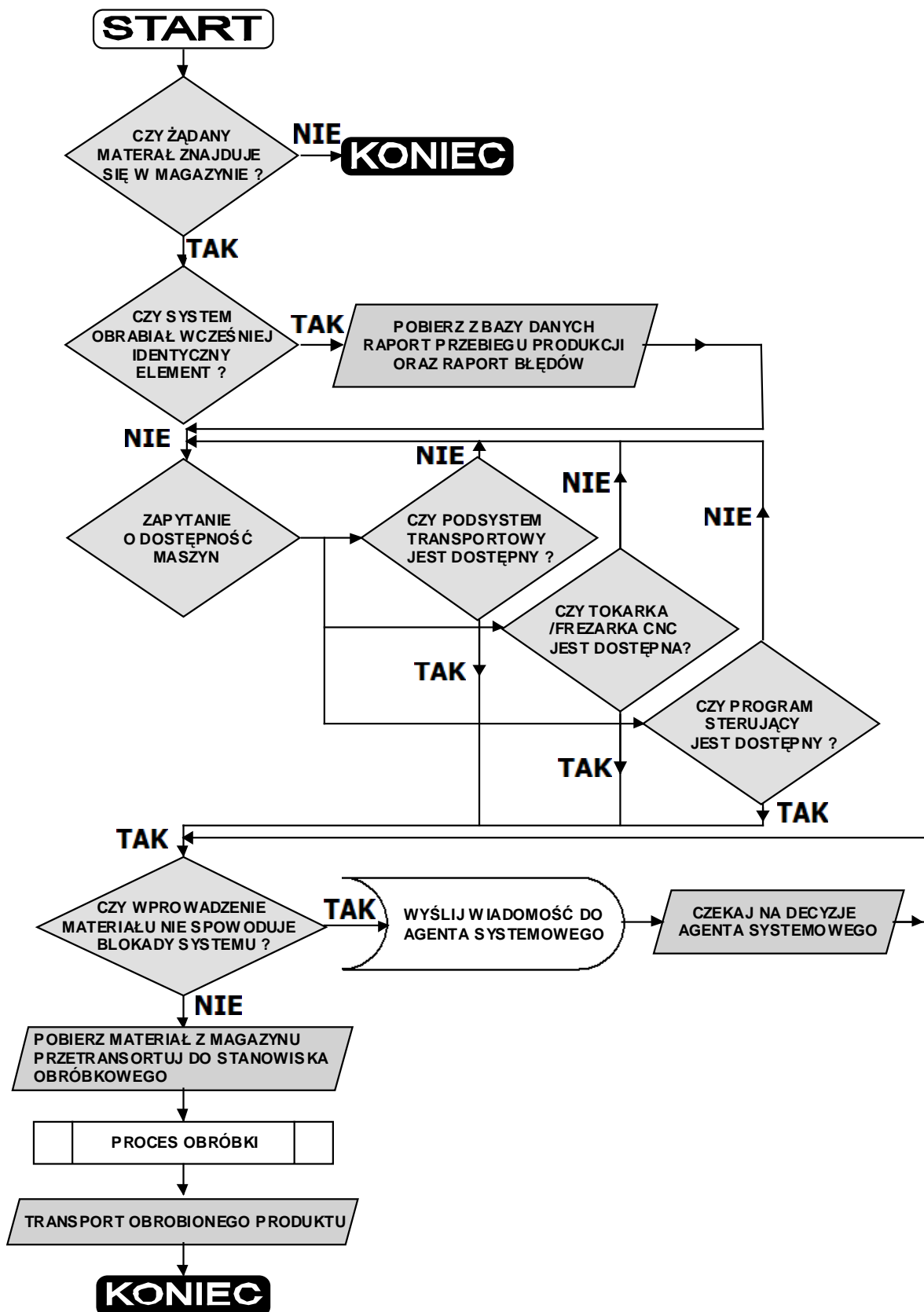
- a) czas przebiegu oraz ilość obróbnego materiału, pozwalając na wyznaczenie współczynnika pracochłonności
- b) długość i przyczyny przestoju systemowych
- c) raport błędów
- d) aktualizacja kart pracy maszyn i urządzeń
- e) ewentualne uwagi operatorskie.

Raport przebiegu pracy systemu zawierający powyższe informacje zostaje przesłany do Bazy Danych, gdzie jest zapisany pod nazwą zlecenia oraz otrzymanych produktów końcowych. Dzięki archiwizacji takich informacji, system jest w stanie każdorazowo odtwarzać je przy otrzymaniu nowych zleceń, co w bezpośredni i bezpieczny sposób dostarcza funkcjonalnych zasobów wiedzy - procedura nauki z przeszłości.

4.2. Agenty wykonawcze

Agenty wykonawcze (AW) są to grupy agentów realizują zbiór czynności elementarnych na poziomie podsystemów i obiektów technologicznych (obróbkowych, transportowych, magazynowych). Innymi słowy agenty wykonawcze odpowiedzialne są za poprawny przebieg czynności technologicznych takich jak: obróbka, transport, montaż, celem których jest osiągnięcie gotowego produktu.

Na rys. 3 przedstawiono algorytm, w którym wykonywany jest zestaw czynności niezbędnych do otrzymania produktu wytworzonego przez współpracujących ze sobą agentów wykonawczych. Współpraca ta odbywa się za pośrednictwem agentów



Rys. 3. Algorytm działania agenta wykonawczego

koordynatorów. W omawianym systemie można wyróżnić następujące podsystemy technologiczne:

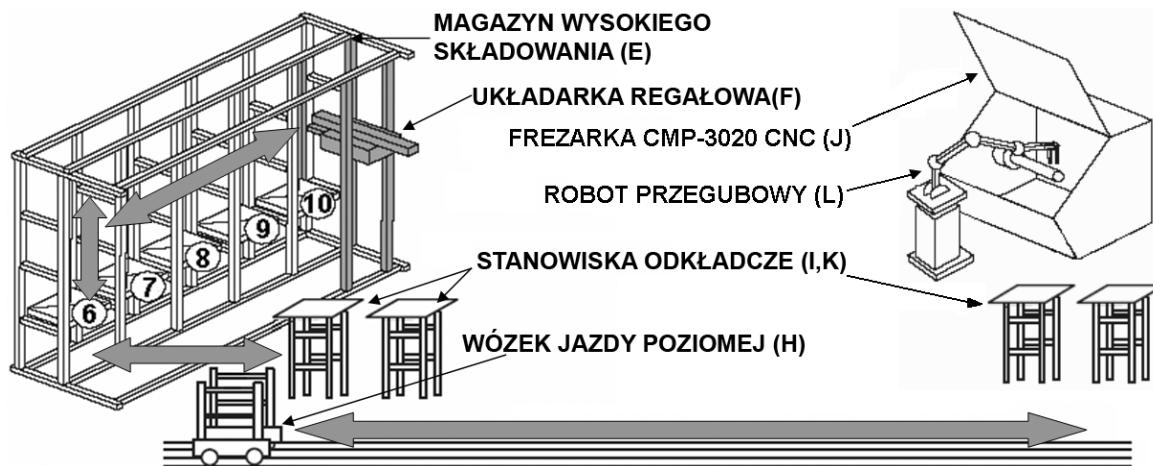
- magazynowy (magazyn materiałowy - bufor wejściowy i magazyn produktów – bufor wyjściowy)
- transportowy (robot bramowy, suwnica natorowa)
- obróbkowy (tokarka, frezarka, centrum obróbkowe CNC)
- kontrola jakości (sondy, człowiek).

4.3. Agenty koordynujące

Zadaniem tej grupy agentów jest koordynacja prac realizacji czynności na poziomie akcji elementarnych sterowania lokalnego. Pełnią one rolę pośrednika między agentami wytwórczymi, jak i programem sterującym pracą poszczególnych urządzeń technologicznych a urządzeniami wchodzącymi w skład systemu produkcyjnego (obrabiarki, roboty, wózki transportowe itp.).

Przykładem ilustrującym pracę agenta koordynującego (rys. 4) jest przetransportowanie przygotówki do frezarki sterowanej numerycznie. Podsystemami technologicznymi biorącymi udział w tym procesie będą:

- A) Podsystem technologiczny frezarski (J,L):
- a1) robot o strukturze przegubowej pełniący funkcję manipulatora (L)
 - a2) frezarka CMP-3020 CNC (J)
- B) Podsystem magazynowo-transportowy (E,F,I,K,H):
- b1) magazyn regałowy wysokiego składowania (E),
 - b2) układarka regałowa (F)
 - b3) aktywny wózek transportu poziomego (H).



Rys. 4. Środowisko pracy agentów koordynujących

W celu pobrania odpowiedniej palety z magazynu (E), agent koordynator musi doprowadzić do interakcji agentów reprezentujących b1) magazyn regałowy wysokiego składowania (E) oraz b2) układarkę regałową (F). Dla agenta koordynatora działającego w oparciu o protokoły komunikacyjno-transmisyjne, efektem końcowym, w przypadku tej interakcji, jest dostarczenie palety z materiałem na stanowisko odkładcze magazynu (I), po czym wystawienie sygnału „flagi” informującej o pojawieniu się palety na wyjściu bufora materiałowego. Następnym krokiem w tym procesie jest odpowiednio

skoordynowanie pracy: b3) aktywnego wózka transportu poziomego (H) z A) podsystemem technologiczny frezarskim (J,L), efektem czego jest transport palety materiałowej do frezarki.

Proces ten polegać będzie na sprawdzeniu dostępności, a co za tym idzie przeciwdziałaniu blokady systemu w przypadku obłożenia stanowiska obróbczego poprzez inne zlecenia. W innym przypadku paleta zostaje dostarczona do A) podsystemu technologicznego frezarskiego.

Agent koordynator jest również odpowiedzialny za przeprowadzenie interakcji pomiędzy a1) robotem o strukturze przegubowej pełniący funkcję manipulatora (L) a a2) frezarką CMP-3020 CNC (J), czego wynikiem będzie umieszczenie przygotówki na frezarce.

Zaprezentowany przykład, jak i większość działań agenta koordynatora bazuje na narzędziach pochodzących z poziomu sterowania lokalnego:

maszyny i urządzenia – roboty, autonomiczne stacje obróbcze;

urządzenia średniego pakietu danych – serwonapędy, enkodery, sondy;

urządzenia jednobitowe – łączniki krańcowe, elektrozawory, czujniki;

Sygnaly wysyłane z tych obiektów informują o: gotowości do pracy obiektu, zakończeniu odbytego procesu, obecności materiału lub elementu, aktualnej pozycji obiektu. Dzięki rejestrowaniu sygnałów agent koordynator jest w stanie monitorować przebieg nawet najbardziej złożonych interakcji międzyagentowych w poszczególnych procesach. W przypadku pojawienia się jakichkolwiek defektów lub awarii, przyczyna może być podana z dokładnością do bitu informacyjnego, np.: osłona frezarki nie zamyka się, brak palety na stanowisku odkładczym przy frezarce, itp.

5. PODSUMOWANIE

Algorytmy wykonawcze poszczególnych grup agentowych stanowią warstwę decyzyjną obiektu. Zaprojektowane zostały w oparciu o zasady funkcjonowania sztucznej inteligencji, tj.: percepcja i oddziaływanie na środowisko pracy, rozwiązywanie problemów oraz uczenie się. Dzięki implementacji algorytmów na rzeczywistym obiekcie (MESW), badający jest w stanie zweryfikować poprawność działania lub zmodyfikować w celu uprawnienia pracy.

Nad obiektem będącym przedmiotem analiz (MESW), prowadzone są stale badania i doświadczenia, obejmujące zastosowanie różnych sposobów sterowania: klasycznej, logiki rozmytej, opartej na wiedzy eksperta czy algorytmy FIFO lub LIFO. Fakt ten pozwala na przeprowadzenie porównania ww. metod z metodą bazującą o systemy wielo-agentowe.

LITERATURA

- [1] Berliński A. i inni: *Laboratorium z robotyki i automatyzacji produkcji w Zakładzie Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania Politechniki Szczecińskiej*. PAR Pomiary-Automatyka-Robotyka Nr 9/2005, s.10 – 16.
- [2] Botti V., Carrascosa C., Julian V., Soler J.: *Modeling Agents in Hard Real-Time Environments*. Proc. of the MAAMAW'99, volume 1647 of LNAI, Springer-Verlag, 1999, pp. 63-76.

- [3] Bussmann S.: *Agent-Oriented Programming of Manufacturing Control Tasks*. In Proc. of the 3rd Int. Conf. on Multi-agent Systems (ICMAS'98), Paris, France, 1998, pp. 57-63.
- [4] Honczarenko J.: *Elastyczna automatyzacja wytwarzania – Obrabiarki i systemy obróbkowe*. WNT Warszawa 2000.
- [5] Odell, J., Parunak H.V.D., and Bernhard B.: *Extending UML for Agents*. Proc. of the Agent-Oriented Information Systems Workshop at the 17th National Conference on Artificial Intelligence, Gerd Wagner, Austin, TX, pp. 3-17, 2000.
- [6] Parunak H.V.D. *Go to the Ant*. Engineering Principles from natural agents systems. Multi-Agent Systems, 1999.
- [7] Parunak H.V.D.: *Characterizing the Manufacturing Scheduling Problem*. Journal of Manufacturing Systems 10:3, 241-259.
- [8] Zając J.: *Rozproszone sterowanie zautomatyzowanymi systemami wytwarzania*. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Monografia 288, ser. Mechanika, 2003.