

mgr inż. Wojciech Ulatowski  
Zakład Automatyki i Urządzeń Pomiarowych AREX  
prof. dr hab. inż. Andrzej Masłowski  
Politechnika Warszawska  
PIAP Warszawa

## **MODELOWANIE DZIAŁAŃ OPERATORA W STEROWANIU WIELOAGENTOWYM PODSYSTEMEM TRANSPORTOWYM W SYSTEMIE WYTWARZANIA**

*Przedstawiono strukturę podsystemu transportowego mogącego wydajnie współpracować z systemami wytwarzania nowej generacji, a także z już istniejącymi. Opisano zasady interakcji pojazdów transportowych współpracujących ze sobą w ramach jednego systemu. W artykule przedstawiono również sposób modelowania działań człowieka-operatora nadzorującego pracę podsystemu transportowego w systemie wytwarzania.*

### **MODELING OF SUPERVISOR'S ACTION IN CONTROL OF MULTI-AGENTS TRANSPORT SUBSYSTEM IN A MANUFACTURING SYSTEM**

*The architecture of a transport subsystem, which can work efficiently both in the newest and existing manufacturing systems as well as rules of cooperation and coordination vehicles are presented. The article also presents the ways of modelling the action of a human-operator, who supervises the actions of transport subsystem.*

#### **1. WPROWADZENIE**

Zagadnienia związane ze sterowaniem wytwarzaniem, czy ogólniej z systemami sterowania, są przedmiotem badań [2, 7, 8, 9, 13] w ośrodkach akademickich oraz badawczych przemysłowych całego świata. Problem udoskonalenia znanych i szeroko stosowanych systemów sterowania wytwarzaniem, czy też chęć stworzenia całkiem nowej ich klasy, poparte są rosnącymi wymaganiami klientów, którzy oczekują produktów o jak najwyższej jakości oraz najniższej cenie. Cykl wyprodukowania produktu skraca się coraz bardziej, w wyniku czego nowe systemy muszą posiadać właściwości, których obecnie stosowane nie mają.

Wynikiem tych prac jest między innymi opracowanie i coraz częstsze próby fizycznej implementacji struktury zdecentralizowanej opartej na wzajemnych interakcjach pomiędzy agentami wchodzącymi w skład systemu sterowania [20]. Systemy

wieloagentowe MAS (ang. *Multi-Agent System*) oparte są na uniwersalnej technologii tworzenia oprogramowania, które umożliwia modelowanie oraz implementację indywidualnych oraz społecznych zachowań agenta w systemie.

Pojęcie *systemy sterowania wytwarzaniem* jest bardzo szerokie i obejmuje wiele dziedzin nauki. Niniejszy artykuł podejmuje tematykę dotyczącą tylko jednego elementu składowego systemu wytwarzania, a mianowicie podsystemu przepływu materiałów. Podsystem transportowy jest tu wybrany jako przykładowy, aby pokazać nowe podejście do zagadnienia modelowania systemów sterowania wytwarzaniem. Nie ma żadnych przeszkód, aby przedstawione rozważania teoretyczne oraz symulacyjne odnieść do innego podsystemu bądź do całego systemu produkcyjnego.

Podsystem transportowy został wybrany ze względu na jego specyficzną i znaczącą rolę w systemie wytwarzania. Ma on decydujący wpływ na konfiguracje systemów wytwarzania, a warunkiem bezobsługowej pracy większości tych systemów jest zapewnienie zapasu części i narzędzi oraz automatyzacja przemieszczenia przedmiotów między stanowiskami i miejscami składowania.

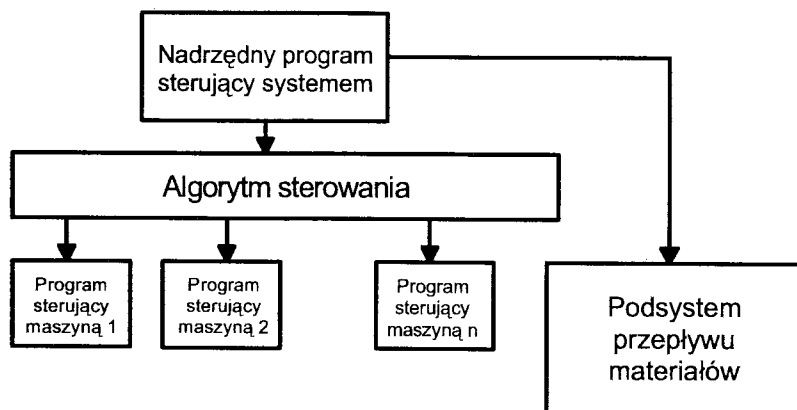
## 2. ARCHITEKTURA WIELOAGENTOWEGO PODSYSTEMU TRANSPORTOWEGO

Zadanie sterowania podsystemem transportowym można sformułować następująco: jest to planowanie zamówień i przydzielanie ich agentom transportowym tak, aby minimalizować koszty, które zależą od czasu, odległości i znaczenia zadania [1].

W systemie nadrzędną rolę pełni *Nadrzędny Program Sterujący Systemem (NPSS)*, zlecający zadania i nadzorujący poprawną pracę wszystkich maszyn wchodzących w skład systemu wytwórczego. Jest on odpowiedzialny za prawidłowy przebieg procesu produkcji, tzn. otrzymywanie zleceń produkcyjnych, dostawy materiałów, możliwości produkcyjne systemu, zależności czasowe, wymianę narzędzi oraz tworzenie harmonogramu procesu produkcji. Nadrzędny program sterujący nie generuje zadań dla podsystemu przepływu materiałów, ani tym bardziej dla poszczególnych pojazdów, a jedynie przesyła do podsystemu harmonogram produkcji. Za dostarczanie półproduktów oraz dobieranie produktów finalnych w pełni odpowiedzialny jest podsystem przepływu materiałów oraz podsystem transportowy. Nadrzędny system sterujący wytwarzaniem generuje harmonogram produkcji i przesyła do modułu odpowiedzialnego za algorytm sterowania maszyną informacje, które produkty, w jakiej kolejności i na której z maszyn mają zostać obrabione (opis półproduktów potrzebnych do obróbki oraz produktu finalnego, a także czas i rodzaj obróbki). Są to tzw. marszruty technologiczne. Informacje te docierają również do podsystemu transportowego, który odpowiedzialny jest za dostarczanie i odbiór poszczególnych elementów. Podsystem ten posiada również informacje o aktualnym stanie każdej z maszyn, a także stan magazynów lokalnych oraz magazynu głównego.

Podsystem transportowy na podstawie danych wejściowych określa kolejność zadań do wykonania oraz zależności czasowe pomiędzy nimi. Podczas trwania obróbki elementu przez maszynę otrzymuje on informację alarmową, gdy proces ten nie przebiega zgodnie z planem, np. obróbka elementu została niespodziewanie przerwana, czas obróbki został wydłużony itp. Dane te są podstawą do wprowadzenia niezbędnych zmian w sterowaniu pojazdami w momencie wystąpienia zakłóceń.

Schemat blokowy podsystemu transportowego przedstawiono na rysunku 1.

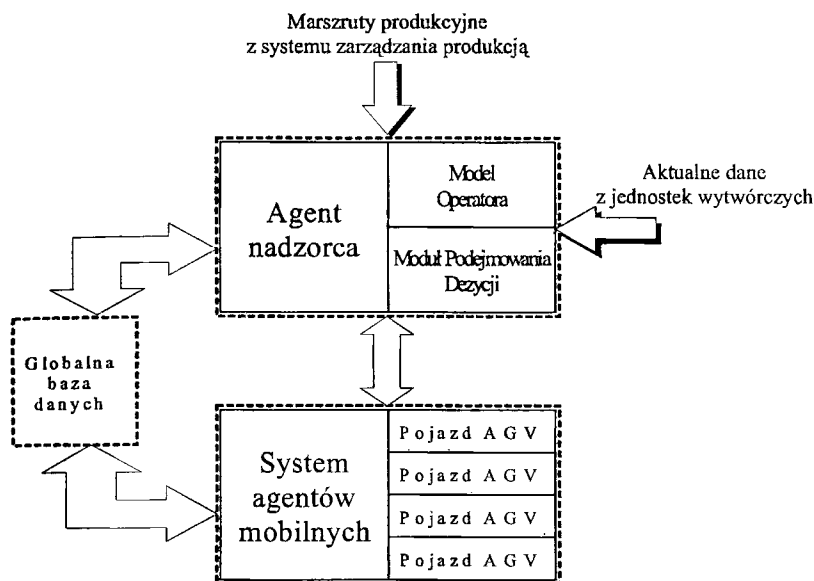


Rys. 1 Schemat blokowy podsystemu transportowego

Proponowane rozwiązanie łączy strukturę hierarchiczną z rozproszoną strukturą wieloagentową. Oznacza to, że w podsystemie występuje moduł decyzyjny, który wydaje polecenia innym elementom składowym systemu. Elementem tym jest *Nadzorca*, w skład którego wchodzi – *Model Operatora* oraz *Moduł Podejmowania Decyzji (MPD)*. W tym miejscu należy podkreślić, że *Nadzorca* jest również agentem posiadającym wszystkie jego właściwości. Moduł ten przekazuje poszczególnym agentom mobilnym zadania do wykonania, jednak za ich realizację odpowiedzialni są oni sami. Aby zadanie zostało wykonane poprawnie agenci mobilni dokonują interakcji pomiędzy sobą. *Model operatora* kontroluje, czy wykonywanie zadania przebiega prawidłowo, a także ingeruje w sytuacjach niepożądanych. Gdy proces wytwarzania przebiega zgodnie z planem, wówczas model operatora nie ingeruje w sterowanie, MPD sam generuje zadania dla agentów mobilnych. Ingerencja modelu operatora następuje w momencie wystąpienia awarii lub innej sytuacji kryzysowej, albo też gdy model przewiduje wystąpienie takiej sytuacji.

W podsystemie transportowym działającym w ramach systemu wytwarzania można wyróżnić dwa poziomy planowania zadań: poziom wyższy, zajmujący się przydzieleniem zadań poszczególnym pojazdom wchodzącym w skład podsystemu oraz poziom niższy, odpowiedzialny za realizację zleconych zadań. Pierwszy poziom, zwany *planowaniem strategicznym*, realizowany jest w module *Nadzorca* na podstawie danych z *NPSS* oraz informacji z poszczególnych maszyn (centrów obróbkowych). Na tym poziomie planowane są zadania do wykonania. Wyniki tego planowania w postaci zadania do wykonania zostają przesłane do pojazdu transportowego. Jednostka sterująca pojazdem realizuje *planowanie taktyczne*, a więc planowanie wykonania zadania realizowane jest przez indywidualnego agenta mobilnego.

Na rysunku 2 przedstawiono architekturę wieloagentowego podsystemu transportowego nadzorowanego przez model człowieka-operatora.



Rys. 2 Architektura podsystemu transportowego.

Proponowana architektura podsystemu transportowego składa się z następujących modułów:

#### Agent nadzorca

##### *model Człowieka-Operatora:*

- nadzoruje poprawne wykonanie zadań przez wszystkie pojazdy transportowe;
- ocenia jakość planowania strategicznego i dokonuje korekt;
- przewiduje i zapobiega występowaniu sytuacji kryzysowych;
- rozwiązuje impasy w przypadku, gdy wzorce interakcja pomiędzy pojazdami zawiodą.

##### *moduł Podejmowania Decyzji*

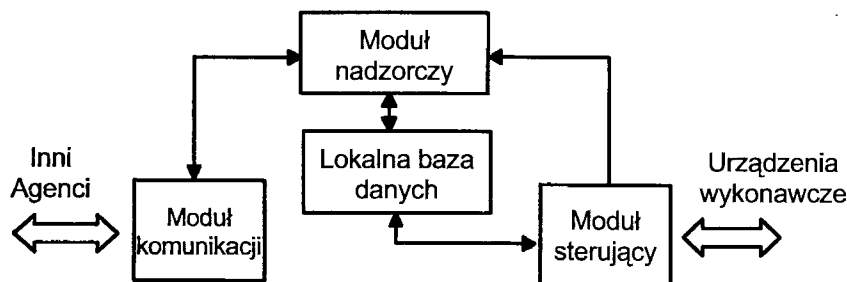
- planuje zadania do wykonania oraz przydziela je poszczególnym pojazdom wchodzącym w skład podsystemu (*planowanie strategiczne*);
- komunikuje się z systemem zarządzania produkcją w celu pobrania danych wejściowych (m.in. marszrut).

#### Agenci mobilni

- planują ciąg sterowań w celu zrealizowania zleconych przez nadzorcę zadań (*planowanie taktyczne*);
- planują ścieżkę;
- odpowiadają za własne sterowanie oraz ruch;
- wykrywają przeszkody;
- wchodzą w interakcje z innymi agentami.

## 2.1. Pojazd transportowy

Obecnie działanie nowoczesnych podsystemów transportowych opiera się głównie na *automatycznie sterowanych pojazdach (AGV)* [17, 18, 19], pozwalających transportować elementy składowe, półprodukty oraz narzędzia lub odpady. Zasięg działania danego pojazdu AGV oraz jego przeznaczenie wynikają z typu konkretnego pojazdu. AGV (Automated Guided Vehicle) są to pojazdy kierowane nie przez kierowców, lecz przez układ sterowania. Są one pojazdami inteligentnymi, wyposażonymi w elektroniczne środki do kontroli oraz zarządzania ruchem (rys. 3). Inteligencja AGV polega na umiejętności poruszania się w nieznanym otoczeniu. Układ sterowania zbiera sygnały z czujników zainstalowanych na pokładzie pojazdu oraz generuje ciąg kolejnych zadań, które pojazd musi wykonać, aby misja zakończyła się sukcesem.



Rys. 3 Schemat blokowy pojazdu transportowego.

## 2.2. Współpraca pomiędzy pojazdami transportowymi

W proponowanej architekturze podsystemu transportowego współpraca pomiędzy wszystkimi agentami wchodzącymi w jego skład realizowana jest za pomocą następujących reguł [2]:

- koordynacja zorientowana na cel – poszczególni agenci muszą osiągnąć narzucony im przez nadzorcę cel;
- ślaba koordynacja – pojazdy wzajemnie na siebie nie oddziałują w celu wykonania zadania, każdy pojazd wykonuje rozkazy nadzorcy, a współpraca pomiędzy pojazdami jest incydentalna;
- koordynacja przez organizacje – oznacza to, że relacje pomiędzy agentami jest predefiniowana, rola każdego z agentów jest jednoznaczna;
- organizacja mieszana – w proponowanym rozwiązaniu można wyróżnić zarówno poziom, w którym organizacja jest zdecentralizowana, jak i scentralizowana. Pierwszy z nich jest to poziom wykonawczy oparty na autonomicznych pojazdach AGV, które są wszystkie sobie równe i żaden z nich nie ma dodatkowych uprawnień. Drugi poziom to poziom nadzorcy i pojazdów AGV, w którym istnieje wyraźny lider, jakim jest nadzorca; wydaje on polecenia do pojazdów AGV dotyczące ich zadań w systemie;
- planowanie mieszane – planowanie w omawianym podsystemie jest dwuetapowe, najpierw ściśle scentralizowane, kiedy nadzorca planuje zadania dla grupy agentów,

a następnie – w celu realizacji zaplanowanych zadań – rozproszone, kiedy każdy z pojazdów indywidualnie planuje realizację przydzielonego mu zadania;

- komunikacja bezpośrednia i tablicowa – w zależności od rodzaju danych, część z nich ulokowana jest w tablicy globalnej bazy danych dostępnej wszystkim agentom wchodzącym w skład podsystemu, a część danych wymieniana jest za pomocą komunikatów bezpośrednio pomiędzy dwoma agentami.

### 3. NADZOROWANIE DZIAŁAŃ PODSYSTEMU TRANSPORTOWEGO

Wyniki badań prowadzone w wielu jednostkach badawczych na całym świecie dowodzą, że w procesie podejmowania decyzji w podsystemie transportowym czy szerzej w systemie sterowania wytwarzaniem musi występować człowiek jako jednostka radząca sobie w sytuacjach nadzwyczajnych [11]. Rola człowieka w systemach sterowania jest więc istotna i wysoce odpowiedzialna. Daje się zauważyć tendencje do pełnej automatyzacji wytwarzania, tak aby produkcja przebiegała bez udziału człowieka. Udział człowieka w procesach wytwórczych przynosi jednak bardzo wiele korzyści i znacznie go usprawnia. Próbą rozwiązania tego problemu jest zamodelowanie człowieka-operatora. W proponowanym rozwiązaniu zamodelowaniu podlegają procesy myślowe, które zachodzą w mózgu operatora podczas podejmowania ważnych decyzji lub w sytuacjach kryzysowych.

Model człowieka-operatora nie jest i nigdy nie powinien być idealnym odzwierciedleniem rzeczywistego operatora. Głównym powodem jest występowanie tu, obok zalet, również sporej liczby wad. Do głównych wad, których modelowanie wydaje się zbędne, a wręcz niewskazane można zaliczyć opóźnienie kontroli, czas reakcji, zmęczenie, zaangażowanie, warunki pracy, motywacja itp. Nie wydaje się koniecznym modelowanie wad operatora, które mogą wpływać negatywnie na sterowanie procesem. Nadzorca jest więc w przedstawianym przypadku modułem łączącym zalety systemów zautomatyzowanych, których wady koryguje model operatora z zaletami operatora ludzkiego, którego ujemne cechy korygowane są przez system sterowania.

#### 3.1. Podejmowanie decyzji przez człowieka

Wynikiem badań nad umysłem ludzkim, podejmowanych w ramach filozofii kognitywnej [4, 5, 10, 15], jest stwierdzenie, że człowiek podejmuje działanie nie tylko na podstawie bodźca z zewnątrz lecz również w wyniku istnienia określonych reprezentacji w jego umyśle. Zarówno reprezentacje, jak i bodźce mogą być przyczyną uaktywnienia procesów na dwóch poziomach:

- poziomie poznawczym – podstawowym zadaniem umysłu jest przewidywanie zdarzeń w zmiennym horyzoncie czasowym i podejmowanie decyzji z uwzględnieniem potencjalnych skutków; jest to poziom zachowań świadomych, gdzie funkcje regulacyjne opierają się na percepcji bodźców wzrokowych i procesach werbalno-myślowych;
- poziomie behawioralnym – reakcje sterujące generowane są na podstawie sygnałów spostrzeganych, lecz nie rozpoznawanych (podświadomych); poziom ten zapewnia reaktywność i pewną stałość wiedzy operatora.

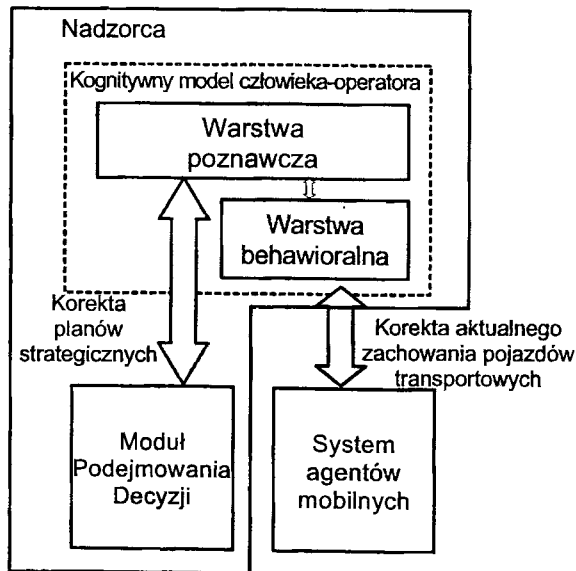
Człowiek do podejmowania decyzji wykorzystuje dwa rodzaje pamięci:

- pamięć krótkotrwała – zwaną pamięcią roboczą, zwierającą informacje dotyczące sytuacji bieżącej lub konkretnego zagadnienia;
- pamięć długotrwała – zawierającą tzw. informacje produkcyjne, czyli zbiory reguł typu sytuacja-akcja.

Podczas rozwiązywania problemów przez człowieka, do pamięci krótkotrwałej dodane zostają określone akcje, powstałe w wyniku jej uaktywnienia się na skutek zaistnienia danej sytuacji. Rozumowanie polega więc na wnioskowaniu o nowych sytuacjach na podstawie znanych.

### 3.2. Oddziaływanie modelu operatora na podsystem transportowy

Człowiek-operator nadzorujący pracę podsystemu transportowego w celu zdobycia wiedzy na temat otaczającego go świata dokonuje monitorowania, diagnozowania, sterowania oraz prognozowania [6, 12, 16]. Wszystkie te formy aktywności występują zarówno na poziomie poznawczym jak i behawioralnym. Sposób ich aktywności oraz wpływ na podjęcie decyzji znacznie się od siebie różnią. Drugim ważnym spostrzeżeniem jest, że operator podczas pracy wykonuje ciąg predefiniowanych zadań o strukturze hierarchicznej. Oznacza to, że operator w złożonym środowisku realizuje zadania w sposób zdeterminowany. Wartości zmiennych wejściowych i wyjściowych są wstępnie określone, co pozwala na przyjęcie pewnego z góry określonego sposobu działania. Podczas wystąpienia sytuacji awaryjnej ludzki mózg z reguły nie przeprowadza logicznej dedukcji lecz przeszukuje dostępne modele postępowania. Dopiero, gdy rozwiązanie nie zostanie znalezione, wówczas uaktywniane są procesy logicznych wywodów. Na rysunku 4 przedstawiono propozycję oddziaływania modelu operatora nadzorującego pracę podsystemu transportowego na ów system.

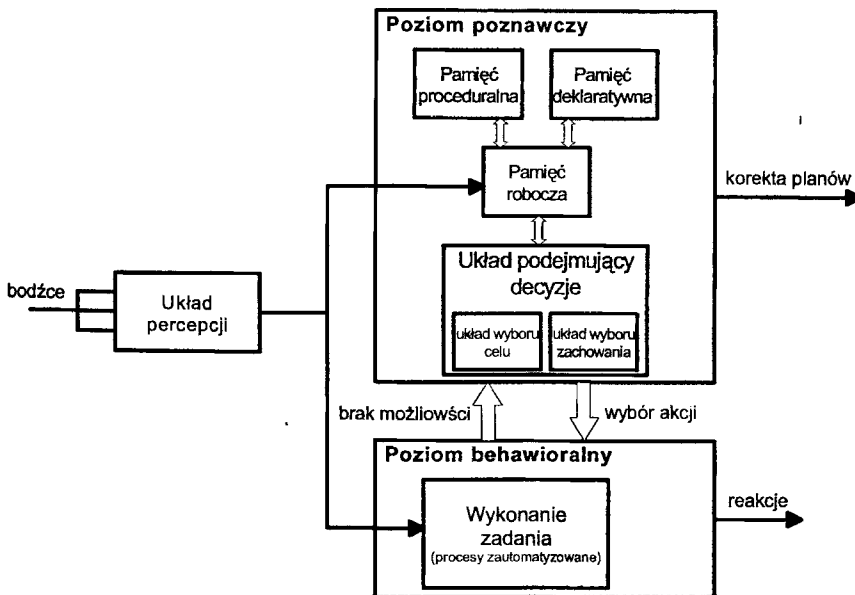


Rys. 4 Oddziaływanie modelu operatora na podsystem transportowy.

Warstwa behawioralna kognitywnego modelu człowieka-operatora dokonuje korekty aktualnego zachowania się poszczególnych pojazdów transportowych w momencie wystąpienia sytuacji awaryjnej lub niebezpiecznej. Jeżeli jednak uaktywnienie działań na poziomie behawioralnym nie daje spodziewanych efektów, wówczas odpowiednie zdarzenie przesyłane jest do warstwy poznawczej. W warstwie tej zachodzi szersza analiza problemu, w wyniku czego uaktywniona jest wiedza dziedzinowa i heurystyczna, na podstawie której dokonywany jest wybór właściwego operatora i generowana adekwatna do zachowania akcja.

Warstwa poznawcza wykorzystując zdolność do adaptacji oraz specyficzny rodzaj antycypacji jest w stanie wpływać na wyniki planów strategicznych generowanych przez Moduł Podejmowania Decyzji. Warstwa ta przewiduje przyszłe stany otoczenia, dzięki czemu ma możliwość wykrycia takich, w których zachowanie się warstwy behawioralnej może być nieefektywne lub takich, które mogą być sprzeczne lub nieefektywne w wyniku wygenerowania planów strategicznych.

Na rysunku 5 przedstawiono hipotetyczny model umysłu ludzkiego odpowiedzialny za nadzorowanie podsystemu transportowego w systemie wytwarzania.



Rys. 5 Hipotetyczny model umysłu ludzkiego.

#### 4. SYMULACJA KOMPUTEROWA

Przedstawione powyżej rozważania teoretyczne są obecnie modelowane i odpowiednio weryfikowane, w celu przyjęcia najlepszej struktury i sposobu przedstawienia w systemie wytwarzania człowieka-operatora. Wstępne wyniki badań symulacyjnych zostaną przedstawione w trakcie prezentacji. Ponieważ dostępne programy symulacyjne, takie jak Soar, ACT\* czy też Arena [14] lub Simul 8 umożliwiają przeprowadzenie tylko częściowych badań, skupiając się na zagadnieniach, które one



obsługują, została wybrana platforma programowa JAVA [3, 14]. Rozwiązanie to umożliwi, w dalszym horyzoncie czasowym przeprowadzenie badań bez obaw o ograniczenia platform programowych. Problem dotyczy głównie symulowania zachowań człowieka, gdyż programy wykorzystywane do tego celu są w wersji skompilowanej i o ustalonych liniach wejściowych oraz wyjściowych. Język JAVA zawiera elementy programowania zdarzeniowego i współbieżnego co jest istotną zaletą w naszych pracach, ponieważ człowiek również podejmuje decyzje wielowątkowo. Poza tym jest językiem bardzo bezpiecznym i interpretowanym, nie zaś kompilowanym, dzięki czemu jest odseparowany od wszystkich poziomów sprzętowo-programowych.

## 5. PODSUMOWANIE

Wydaje się, że połączenie istniejących systemów wytwarzania, również ze zróżnicowaną automatyzacją, z niezależnym podsystemem transportowym jest rozwiązaniem o efekcie synergicznym. Istniejący system wytwarzania można łatwo, nie ingerując w jego dotychczasową strukturę, wyposażyć w nowoczesny podsystem transportowy, który podniesie stopień automatyzacji systemu wytwarzania, a co za tym idzie również jego efektywność. Zastosowanie systemu wieloagentowego pozwala na dokonywanie wszelkich zmian – taki podsystem transportowy staje się bardziej elastyczny i nadający się do zastosowania w wielu aplikacjach czy też w wielu różnych kombinacjach połączeń maszyn i podsystemu wchodzącego w skład większego systemu produkcyjnego. W rozwiązaniach tradycyjnych, w których stosowane są sztywne połączenia pomiędzy centrami obróbkowymi, wszelkie zamiany marszrut technologicznych wymagają zmian w podsystemie przepływu materiałów. W proponowanym rozwiązaniu Nadzorca dopasowuje się natychmiast do nowych wymagań i bez dokonywania żadnych zmian w systemie pojazdy AGV mogą wykonywać nowe zadania.

Należy również wziąć pod uwagę ustawienie maszyn w hali produkcyjnej, co ma olbrzymi wpływ na szybkość i efektywność procesu wytwarzania. Podczas projektowania tradycyjnego systemu wytwórczego należy uwzględnić usytuowanie jednostek wytwórczych względem siebie. W proponowanym rozwiązaniu, w którym transport zapewniony jest przez grupę kooperujących ze sobą agentów, rozstaw maszyn nie jest już aż tak istotny i ma mniejszy wpływ na efektywność produkcji.

Stosowanie w systemach wytwarzania pojazdów AGV poprawia elastyczność i niezawodność całego systemu, szczególnie w przypadkach pojazdów poruszających się bez linii prowadzącej. Podsystemy transportowe obsługiwane przez pojazdy AGV umożliwiają łatwiejsze organizowanie, rozszerzanie, odnawianie i modyfikowanie trasy przejazdu. O wiele łatwiejszym jest włączanie, wyłączanie oraz zmiana stanowisk obróbczych lub innych jednostek technologicznych systemu. Wśród wad stosowania pojazdów AGV najistotniejszą jest potrzeba zwiększenia powierzchni technologicznych, związanych z zabudową i oprzyrządowaniem dróg transportowych.

Zamodelowanie działań człowieka-operatora nadzorującego pracę podsystemu transportowego wydaje się rozwiązaniem ciekawym i, co najważniejsze, bardzo obiecującym na przyszłość. Próby ograniczenia roli człowieka w procesie podejmowania decyzji w systemach wytwarzania, jako elementu generującego

największą liczbę błędów, może zaowocować opracowaniem całkowicie nowych koncepcji projektowania systemów wytwarzania z udziałem człowieka. Równolegle prowadzone prace nad umysłem ludzkim (nauki kognitywne) oraz sposobem wykorzystania go w inżynierii produkcji mogą w przyszłości dostarczyć rozwiązań wielu dziś nie rozwiązywalnych problemów.

## 6. LITERATURA

1. Aronson L., der Krogt R., Witteveen C., Zutt J., *Automated Transport Planning using Agents*, Delft University of Technology, 2002.
2. Alami R., Fleury S., Herrb M., Ingrand F., Robert F., *Multi Robot Cooperation in the Martha Project*, LAAS/CNRS 1998.
3. Barteczko K., *Java od podstaw do technologii*, cz. I i II, MIKOM, Warszawa 2004.
4. Chuderski A., *Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji w badaniach nad umysłem*, <http://kognitywistyka.prv.pl>, 1999.
5. Duch W., *Fizyka umysłu*, materiały XXXVI Zjazdu Fizyków Polskich – Toruń 2001 – wykłady plenarne.
6. Dixon K., Dolan J., Huang W., Paredis Ch., Khosla P., *A Real and Virtual Environment for Multiple Mobile Robot Systems*, IEEE/RJS International Conference on Robotics and Systems (IROS '99), 1999.
7. Honczarenko J., *Elastyczna automatyzacja wytwarzania*, WNT, Warszawa 2000.
8. Honczarenko J., Sosnowski M., *Sterowanie przepływem palet w badawczym elastycznym systemie wytwarzania*, AUTOMATION 2004, Warszawa.
9. Ulatowski W., Masłowski A.: *AGVs Motion Planning and Control*, IMEKO TC-17 Measurement and Control in Robotics, Madrid, Spain, 2003, s. 155-160.
10. Kołodziejczyk P., *Implikacje behawioryzmu w badaniach nad sztuczną inteligencją*, <http://kognitywistyka.prv.pl>, 2000;
11. McDonald M.J., *Active Research Topics in Human Machine Interfaces*, Sandia National Laboratories, Sandia Report 2003.
12. Nakamura A., Ota J., Arai T., *Human-Supervised Multiple Mobile Robot System*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 18, no.5, 2002.
13. Masłowski A.: *AGVs Motion Planning and Control in Manufacturing Systems*, APE'04, Warszawa 2004.
14. <http://www.javelin-tech.com/plm/products/arena.htm>.
15. Pfeifer R., Scheier C., *Understanding intelligence*, Massachusetts Institute of Technology Press, 2000.
16. Sofge D., Trafton G., Cassimatis N., *Human-Robot Collaboration and Cognition with an Autonomus Mobile Robot*, Navy Center for Applied Research in Artificial Intelligence Press, 2003.
17. Ulatowski W., Masłowski A.: *Pojazdy sterowane automatycznie*, PAR 10/2003, s. 28-31.
18. Ulatowski W.: *Planowanie trajektorii ruchu automatycznie sterowanych pojazdów*, PAR 12/2003, s. 16-19.
19. Ulatowski W.: *Sterowanie ruchem automatycznie sterowanych pojazdów*, PAR 1/2004, s. 18-21.
20. Zajac J., *Rozproszone sterowanie zautomatyzowanymi systemami wytwarzania*, WPK, Kraków 2003.