

dr hab. inż. Jerzy Zając, Prof. PK
mgr inż. Grzegorz Chwajot
mgr inż. Tomasz Więk
mgr inż. Jarosław Zych
Politechnika Krakowska

MODERNIZACJA SYSTEMU STEROWANIA CENTRUM PRODUKCYJNEGO TOR

W referacie przedstawiono modernizację systemu sterowania Centrum Produkcyjnego TOR znajdującego się w laboratorium Zakładu Zautomatyzowanych Systemów Produkcyjnych Politechniki Krakowskiej. Omówiono część sprzętową systemu, w skład której wchodzi układy sterowania CNC i PLC oraz sieć przemysłowa Profinet, a także część programową zbudowaną w oparciu o technologię agentową.

MODERNIZATION OF CONTROL SYSTEM FOR TOR PRODUCTION CENTER

The paper presents modernization of control system for TOR Production Center situated in Laboratory of Automated Production Systems Division of Cracow University of Technology. Hardware part of the system consists of CNC and PLC controllers integrated by using Profinet an Industrial Ethernet network. Software part of the system is developed using agents technology.

1. WPROWADZENIE

Istnieją dwie zasadnicze grupy czynników wpływających na rozwój współczesnych systemów wytwarzania: techniczne i organizacyjne. Wśród czynników technicznych szczególną uwagę należy zwrócić na dwa aspekty, tj.: wprowadzanie nowych technologii wytwarzania oraz zastosowanie najnowszych osiągnięć informatyki i automatyki przemysłowej. Ten drugi aspekt odgrywa dzisiaj dominującą rolę w procesie rozwoju systemów wytwarzania. Biorąc pod uwagę kwestie organizacyjne należy stwierdzić, że jednym z najistotniejszych czynników, budzącym od wielu lat zainteresowanie teoretyków i praktyków wytwarzania, jest problem decentralizacji decyzji w systemach wytwarzania. Konserwatyzm wytwórców, przejawiający się przywiązaniem do scentralizowanych i zhierarchizowanych struktur systemów wytwarzania oraz niepełna dojrzałość rozwiązań rozproszonych, skutkująca brakiem standardów powodują, że mamy w tym zakresie do czynienia z rozmięciem się teorii i praktyki. Sukces pilotowych rozwiązań systemów zdecentralizowanych w firmie DaimlerChrysler AG [1][2] pozwala jednak mieć nadzieję, że rozwiązania takie odgrywać będą istotną rolę już w pierwszych dekadach XXI wieku, a postęp techniczny umożliwi ich ewolucję w kierunku samoorganizujących się, inteligentnych systemów wytwarzania.

Wprowadzenie w przemyśle nowych generacji zdecentralizowanych systemów wytwarzania jest niezbędne, gdyż stosowane obecnie systemy, zbudowane w oparciu o technologię CIM, nie spełniają wymagań współczesnego klienta co do produkcji różnorodnej asortymentowo i realizowanej na żądanie. Wiek XXI jest wiekiem nowych wyzwań, w którym wszechobecna konkurencja o zasięgu światowym wymusza budowę systemów wytwórczych charakteryzujących się nie tylko elastycznością jaką posiadają Elastyczne Systemy Wytwarzania, ale i zdolnością do rekonfiguracji [6] w zależności od zapotrzebowania klientów na określone produkty.

Nowoczesne rekonfigurowalne systemy wytwarzania charakteryzuje wzrost znaczenia przygotowywania, przetwarzania i przechowywania informacji w stosunku do tradycyjnych dedykowanych systemów wytwarzania. Za kwestię wymiany informacji w systemie wytwarzania odpowiedzialny jest jego podsystem sterowania. Współczesne trendy określają nowoczesny podsystem sterowania wytwarzaniem [8] jako system o strukturze zdecentralizowanej, posiadający zdolność do samokonfiguracji i rekonfiguracji. Taki podsystem sterowania zapewnić musi odpowiednią solidność systemu wytwarzania, czyli zdolność do racjonalnego działania w przypadku wystąpienia zakłóceń spowodowanych m.in. awariami. Można zatem powiedzieć, że wymagania stawiane współczesnym systemom wytwarzania związane są w znacznym stopniu z jego odpornością na występowanie zakłóceń. Elementy tworzące podsystem sterowania podzielić można na sprzętowe, takie jak: komputery przemysłowe, układy sterowania CNC, sterowniki PLC i sieciowy osprzęt komunikacyjny oraz elementy programowe, takie jak: systemy sterowania operatywnego, SCADA czy MES.



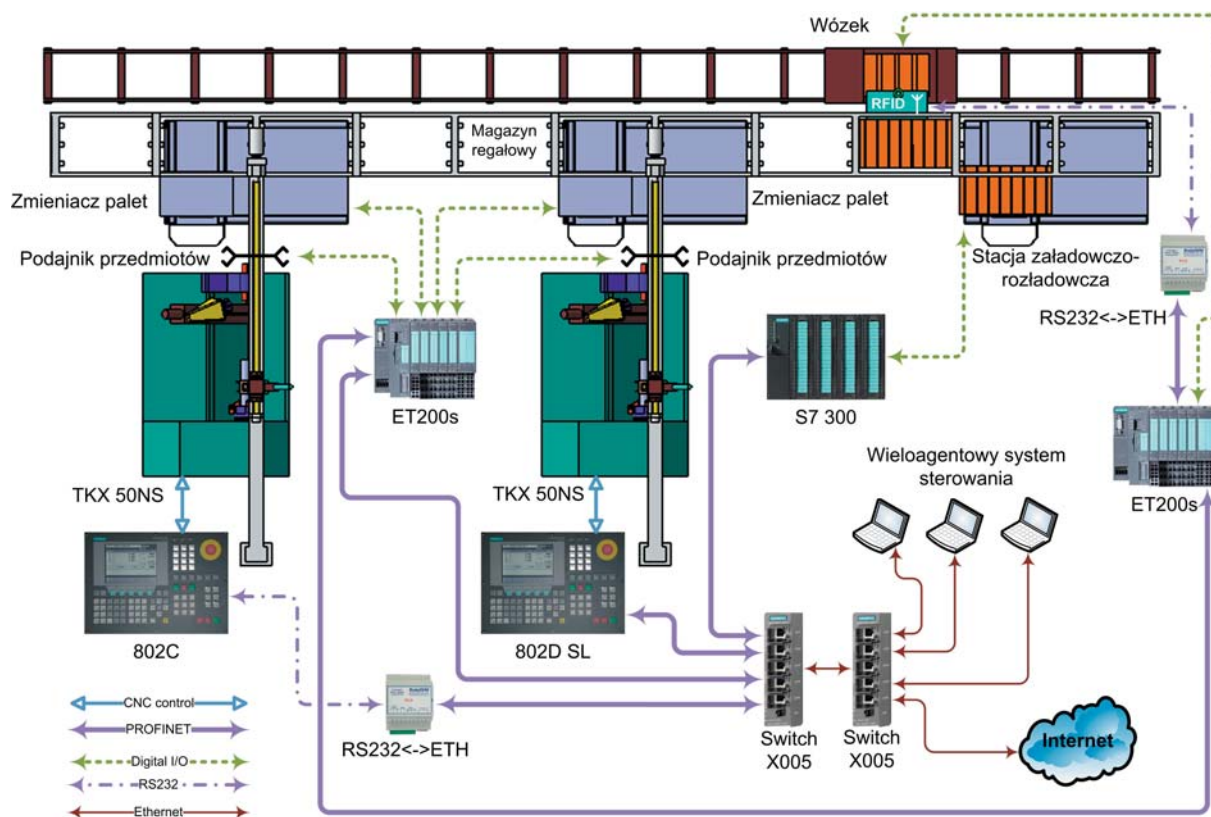
Fot. 1. Centrum Produkcyjne TOR

Zauważalne obniżanie cen sprzętu automatyki przemysłowej przy jednoczesnym zwiększaniu jego funkcjonalności pozwala na stosowanie nowych rozwiązań w systemach wytwarzania oraz ułatwia modernizację istniejących systemów dzięki obniżeniu kosztów wdrożenia. Podejmując się budowy nowego lub modernizacji istniejącego systemu wytwarzania należy wziąć pod uwagę problem standardów zwłaszcza w zakresie wymiany informacji. We współczesnych zautomatyzowanych systemach wytwarzania wymiana informacji napotyka bowiem często na barierę wynikającą z heterogeniczności stosowanych rozwiązań.

W niniejszej pracy została przedstawiona modernizacja Centrum Produkcyjnego TOR (CP TOR). Centrum to zostało zbudowane w CBKO w końcu lat siedemdziesiątych XX wieku. Przez okres kilku lat znajdowało się w przemyśle, po czym zostało przekazane do Politechniki Krakowskiej. Aktualnie CP TOR znajduje się w Laboratorium Zakładu Zautomatyzowanych Systemów Produkcyjnych PK. Podstawowym celem jego modernizacji jest zbudowanie otwartego, rozproszonego systemu sterowania wykorzystującego standardy komunikacyjne Ethernet oraz TCP/IP.

2. SYSTEM STEROWANIA – CZĘŚĆ SPRZĘTOWA

W skład Centrum Produkcyjnego TOR (fot. 1) wchodzi: dwudziestomiejscowy *magazyn regalowy*, w którym znajdują się palety zawierające produkowane przedmioty; *wózek szynowy* przemieszczający palety pomiędzy poszczególnymi stacjami centrum; *stacja załadowczo-rozładowcza* służąca do załadunku półfabrykatów na palety oraz rozładunku gotowych przedmiotów z palet; dwumiejscowy *zmiennic palet* wykorzystywany do pobierania z wózka palety z półfabrykatami i oddawania na wózek palety z gotowymi przedmiotami; podajnik przedmiotów wyposażony w dwa niezależne chwytaki umożliwiające ładowanie i rozładowanie obrabiarki oraz dwie tokarki TKX50NS.



Rys.1. System sterowania CP TOR

Piętnaście lat temu rozpoczęto pierwszą modernizację systemu sterowania CP TOR [3][5] wyposażonego oryginalnie w układy sterowania NUMS. Do sterowania urządzeniami zastosowano sterowniki CNC i PLC firmy SIEMENS oraz sieć przemysłową SINEC L2 tej samej firmy. Była to pierwsza instalacja tej sieci w Polsce. Przyjęto scentralizowaną architekturę systemu sterowania i opracowano oprogramowanie systemu sterowania [7] oparte na oryginalnej koncepcji tzw. modelu macierzowego [4][5]. System spełniał swoją rolę

z sukcesem przez okres blisko dziesięciu lat stanowiąc „wizytówkę” Katedry Systemów Wytwarzania. Dynamiczny rozwój technologii informacyjnych pozwalający na budowanie otwartych systemów sterowania oraz trendy wskazujące na rosnącą rolę sterowania rozproszonego spowodowały konieczność podjęcia w roku 2006 działań w kierunku modernizacji systemu sterowania CP TOR. Dodatkowym argumentem za jego modernizacją była awaria układu sterowania CNC jednej z obrabiarek.

Na rys 1. przedstawiono schemat Centrum Produkcyjnego TOR wraz ze sprzętowymi elementami jego układu sterowania. W skład układu sterowania wchodzi trzy zasadnicze elementy:

- Sinumerik 802D sl pro - jest to najsilniejsza obecnie jednostka z serii układów sterowania 802 firmy Siemens. Wykorzystywana jest w wielu różnych maszynach, w tym popularnych obrabiarkach takich jak: tokarki, szlifierki czy frezarki. W systemie TOR sterownik ten został zastosowany do sterowania pierwszą tokarką TKX 50NS. Zastosowanie układu 802D wymagało modernizacji jednostek napędowych osi poprzez wymianę analogowych napędów firmy Gettys na cyfrowe SINAMICS firmy Siemens. Komunikacja układu sterowania z jednostkami napędowymi osi odbywa się poprzez łącza DRIVE-CLiQ. Układ może pracować w konfiguracji *cztery osie oraz wrzeczono* lub *trzy osie oraz dwa wrzecziona*. Posiada wbudowane łącze Ethernet, które wykorzystywane jest do komunikacji ze światem zewnętrznym. Może ono służyć do uruchomienia programu sprzęgającego PLC, przegrywania programów technologicznych, jak również do zdalnej diagnostyki maszyny z wykorzystaniem aplikacji RCS802.
- Sinumerik 802C - to jedno z najprostszych oferowanych obecnie obrabiarkowych układów sterowania firmy Siemens. Posiada możliwość podłączenia trzech osi sterowanych numerycznie oraz wrzecziona. Pozwala na tanią modernizację obrabiarek wyposażonych w serwonapędy analogowe. W systemie TOR układ ten ma sterować drugą tokarką TKX50NS. W przypadku tej tokarki zdecydowano się zachować stare napędy firmy Porter co wiązało się z koniecznością wymiany resolwerów na przetworniki obrotowo-impulsowe. Biorąc pod uwagę otwartość systemu sterowania, istotną słabością układu 802C jest brak interfejsu sieciowego w standardzie Ethernet. Jediną możliwością komunikacji z zewnętrznym środowiskiem komputerowym zapewnia interfejs RS-232C. Na etapie uruchomienia obrabiarki służy on głównie do wgrywania i debugowania programu PLC. Natomiast w trakcie pracy obrabiarki wykorzystywany jest do wgrywania programów technologicznych znajdujących się na zewnętrznych nośnikach lub generowanych w czasie rzeczywistym przez programy CAD/CAM. Aby zapewnić integrację ze środowiskiem komunikacyjnym systemu sterowania zastosowano konwerter umożliwiający dwukierunkową zamianę sygnału w standardach RS 232C i Ethernet.
- SIMATIC S7-300, CPU 314 – to modułowy sterownik PLC firmy Siemens o średniej wydajności. Jego zasadnicze cele w systemie TOR dotyczą sterowania podajnikami palet, podajnikami przedmiotów, wózkiem, a ponadto obsługą magazynu regałowego. Ze względu na dość rozległy obszar, na którym znajdują się sterowane elementy, zastosowano system rozproszonych wejść-wyjść. Pozwoliło to na uniknięcie prowadzenia długich wiązek kabli i umożliwiło wykorzystanie jednego sterownika PLC. Zadanie to zostało zrealizowane poprzez zastosowanie dwóch modułów rozproszonych wejść-wyjść ET 200S oraz modułu CP 343-1 zainstalowanego w kasecie jednostki centralnej sterownika. Moduły te komunikują się przez Ethernet przemysłowy w standardzie PROFINET IO. Dodatkowo moduł CP 343-1 udostępnia oprogramowanie serwera WWW, co pozwala na zdalną diagnostykę systemu z dowolnego miejsca w Internecie.

Komunikacja pomiędzy sterownikami i światem zewnętrznym odbywa się poprzez switch SIMATIC SCALANCE X005. Pozwala on na przesyłanie zarówno informacji czasu rzeczywistego (PROFINET IO) jak i znanych z sieci lokalnych komunikatów TCP/IP. Ramki w sieci PROFINET IO mają wyższy priorytet i są przesyłane w pierwszej kolejności. Dzięki temu komunikacja z użyciem protokołów internetowych nie zakłóca komunikacji działającej w trybie czasu rzeczywistego.

W systemie TOR do gromadzenia informacji o zawartości palet wykorzystano technologię RFID. W tym celu zamontowano na wózku moduł RFID MOBY-E firmy SIEMENS, a na paletach umieszczono tagi MDS E600.

3. SYSTEM STEROWANIA – CZĘŚĆ PROGRAMOWA

Zasadniczym celem modernizacji oprogramowania systemu sterowania CP TOR jest wdrożenie rozwiązania implementującego rozproszoną architekturę tego systemu. Podejście takie pozwala na decentralizację procesów decyzyjnych, co w konsekwencji umożliwia zwiększenie odporności systemu na zakłócenia. Zaproponowane rozwiązanie uwzględnia ponadto mechanizmy pozwalające na samokonfigurację systemu oraz jego rekonfigurację, co ma szczególne znaczenie w świetle możliwości realizowania losowo pojawiających się zleceń produkcyjnych, potencjalnych awarii lub ewentualnych zmian w strukturze systemu.

Koncepcję budowy oprogramowania rozproszonego systemu sterowania zapewniającego spełnienie przedstawionych powyżej wymagań oparto na technologii agentowej. Zasadniczą rolę w znajdującym się aktualnie na etapie opracowywania systemie sterowania AIM (*Agents Integrated Manufacturing*) [10] pełnią uniwersalne, rekonfigurowalne moduły programowe zwane *agentami wykonawczymi*. Ich zadaniem jest reprezentowanie wchodzących w skład systemu wytwarzania zasobów wytwórczych takich jak: maszyny, środki transportu i manipulacji, magazyny, urządzenia kontrolno-pomiarowe itp. Agenty te charakteryzują się następującymi właściwościami:

- posiadają autonomię decyzyjną związaną ze zbiorem czynności elementarnych realizowanych przez ich zasoby wytwórcze,
- dysponują wiedzą o powiązaniach z innymi agentami wytwórczymi współuczestniczącymi w realizacji poszczególnych czynności,
- kontrolują przepływ przedmiotów wytwarzanych przez reprezentowane zasoby wytwórcze.

Rolą każdego z *agentów wykonawczych* jest logiczna reprezentacja przypisanego mu zasobu wytwórczego. W jej ramach *agent wykonawczy* dokonuje analizy warunków koniecznych realizacji poszczególnych czynności, sprawdza zagrożenie wynikające z możliwości wystąpienia kolizji lub blokady (zastoju) oraz podejmuje decyzje samodzielnie lub współdziała w procesie podejmowania decyzji z innymi agentami.

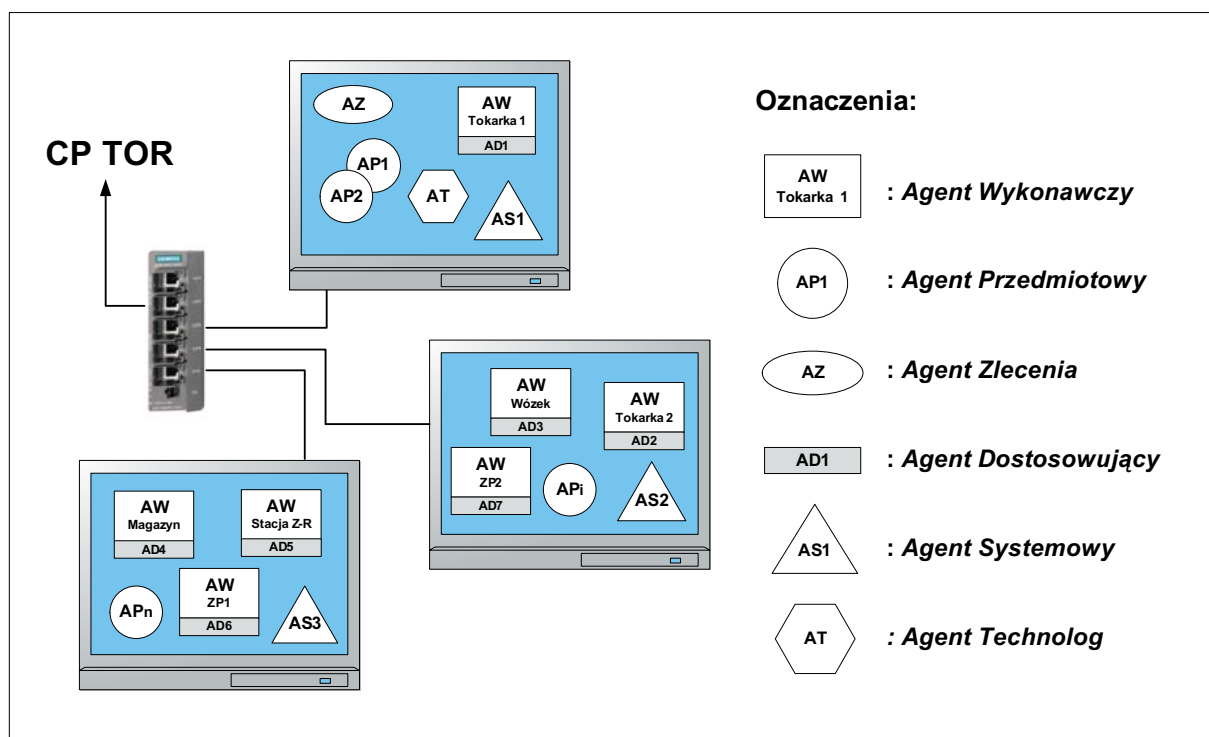
Z poszczególnymi zasobami wytwórczymi oraz reprezentującymi je *agentami wykonawczymi* ściśle powiązane są tzw. *agenty dostosowujące*. Agenty te jako jedyne w rozważanym systemie sterowania nie posiadają w zakresie swojego typu cechy uniwersalności w takim znaczeniu, że już na etapach projektowania i późniejszej implementacji (nie zaś dopiero w chwili konfiguracji) dedykowane są konkretnym zasobom wytwórczym i ich agentom wykonawczym. Ich rolą jest pośredniczenie pomiędzy warstwą logiczną oprogramowania (*agentami wykonawczymi*) a sterownikami konkretnych urządzeń.

W procesy decyzyjne zachodzące w systemie sterowania poza *agentami wykonawczymi* zaangażowane są także agenty reprezentujące wytwarzane w systemie przedmioty, tzw.

agenty przedmiotowe. W zależności od przyjętego algorytmu, mogą one brać czynny bądź bierny udział w procesie podejmowania decyzji. Ich rolą jest także m.in. rejestrowanie zmian i stanów pośrednich, jakie przyjmują reprezentowane przez nie przedmioty w trakcie procesu wytwórczego. Z *agentami przedmiotowymi* blisko związane są *agenty zleceń*, które reprezentują poszczególne zamówienia. Każdy z *agentów zleceń* posiada komplet informacji dotyczących parametrów technicznych oczekiwanych produktów, procesów wytwórczych wymaganych do ich zrealizowania, żadanego czasu realizacji, kosztów itp.

Szczególną rolę w systemie AIM odgrywa *agent technolog*, którego zadaniem jest opracowywanie i modyfikacja procesów technologicznych dla przyjmowanych zamówień. Ostatnią grupę agentów tworzą tzw. *agenty systemowe*, których działania dotyczą administracji i monitorowania aktualnego stanu systemu, rejestracji agentów itp.

Centrum Produkcyjne TOR jest środowiskiem testowym dla opracowywanego systemu sterowania AIM. Rys. 2 przedstawia wieloagentową strukturę systemu sterowania CP TOR.



Rys. 2. Wieloagentowy system sterowania CP TOR

Jedną z zasadniczych kwestii związanych z rozproszonym charakterem opracowywanego systemu sterowania jest zapewnienie wydajnych i niezawodnych mechanizmów wymiany informacji pomiędzy poszczególnymi agentami wchodzącymi w skład systemu. Istotne jest także stworzenie mechanizmów komunikacyjnych w oparciu o otwarte i szeroko stosowane standardy pozwalające na bezproblemową wymianę informacji niezależnie od wykorzystanego języka programowania, platformy systemowej czy sprzętowej. Obserwując współczesny rozwój Internetu, jego dynamikę i zakres, a także biorąc pod uwagę duży udział otwartych standardów w rozwiązaniach, na których bazują mechanizmy internetowe, technologie internetowe wydają się stanowić korzystną bazę do rozwoju mechanizmów komunikacyjnych dla potrzeb rozproszonego sterowania produkcją. Dlatego też w implementacji systemu AIM wykorzystano jedną z technologii internetowych - technologię Web services [9].

4. PODSUMOWANIE

Na współczesnym otwartym rynku konsumenta trendy biznesowe stanowią istotną inspirację rozwoju systemów produkcyjnych, a zwłaszcza systemów sterowania produkcją. Systemy te powinny się charakteryzować otwartością dzięki wykorzystaniu szeroko akceptowanych standardów, jak i odpornością na zakłócenia oraz zdolnością do rekonfiguracji, które wynikać mogą np. z konieczności wprowadzenia zmian w profilu produkcji. W referacie pokazano, że uzyskanie takich cech systemu produkcyjnego jest możliwe nie tylko w przypadku jego budowy „od zera”, ale także w przypadku modernizacji istniejącego rozwiązania. Wariant modernizacyjny wiąże się jednak zazwyczaj z koniecznością wprowadzenia zmian w części sprzętowej systemu sterowania, co ma na celu uzyskanie możliwości wykorzystania standardów komunikacyjnych, jakimi są obecnie technologie internetowe.

5. LITERATURA

- [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] BUSSMANN S., SCHILD K., An Agent-based Approach to the Control of Flexible Production Systems. Proc. of 8th Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2001), Antibes Juan-les-pins 2001, s. 169-174.
- [3] CHMIEL J., CYKLIS J., PIERZCHAŁA W., ZYCH J., Weryfikacja stosowalności macierzowego modelu ESP do sterowania systemem w czasie rzeczywistym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice 1994.
- [4] CYKLIS J., Matrix simulation of FMS. Proc. of Unmanned Manufacturing Conf. Kecskemet, 1985, s. 413-431.
- [5] CYKLIS J., PIERZCHAŁA W., Modelowanie procesów dyskretnych w elastycznych systemach produkcyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, z. 77, nr 3, Kraków 1995.
- [6] KOREN Y., HEISEL U., JOVANE F., MORIWAKI T., PRITCHOW G., ULSOY G., VAN BRUSSEL H., Reconfigurable Manufacturing Systems. Annals of the CIRP 1999, Vol. 48, No. 2, s. 527 - 540.
- [7] PIERZCHAŁA W., Sterowanie zautomatyzowanym systemem wytwarzania. Pomiary Automatyka Robotyka, 10/2001, s. 28-30.
- [8] ZAJĄC J., Rozproszone sterowanie zautomatyzowanymi systemami wytwarzania. Monografia 288, Seria Mechanika. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.
- [9] ZAJĄC J., CHWAJOŁ G., Integracja informacji w systemach sterowania wytwarzaniem. Materiały z konferencji AUTOMATION'2005. PIAP, Warszawa 2005, s. 96-105.
- [10] ZAJĄC J., CHWAJOŁ G., KMIĘCIK A., Integracja projektowania procesów i sterowania produkcją w zautomatyzowanych systemach wytwarzania. Pomiary Automatyka Robotyka, 2/2007.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy 2394/T02/2006/31 pt. „Zintegrowany system projektowania procesów i sterowania produkcją”.