Dr inż. Przemysław Oborski
Politechnika Warszawska

SYSTEMY STEROWANIA WYTWARZANIEM – WYMAGANIA PRZY ZRÓŻNICOWANYM STOPNIU AUTOMATYZACJI

Kilkanaście lat temu opracowano koncepcję Komputerowo Zintegrowanego Wytwarzania – CIM oraz związaną z tym koncepcję Elastycznych Systemów Wytwarzania - FMS. Jednak obecnie okazuje się, że zastosowanie systemów informatycznych w wytwarzaniu nie jest tak powszechne jak kiedyś planowano. W artykule przedstawiono wymagania stawiane systemom sterowania wytwarzaniem.

SHOP FLOOR CONTROL - REQUIREMENTS FOR MANUFACTURING SYSTEMS WITH VARIOUS LEVEL OF AUTOMATION

Abstract. Several years ago the idea of Computer Integrated Manufacturing – CIM and the idea of Flexible Manufacturing Systems – FMS were proposed. However since now the ideas haven't been implemented as widely as it was planned. The article presents requirements for Shop Floor Control systems for manufacturing systems.

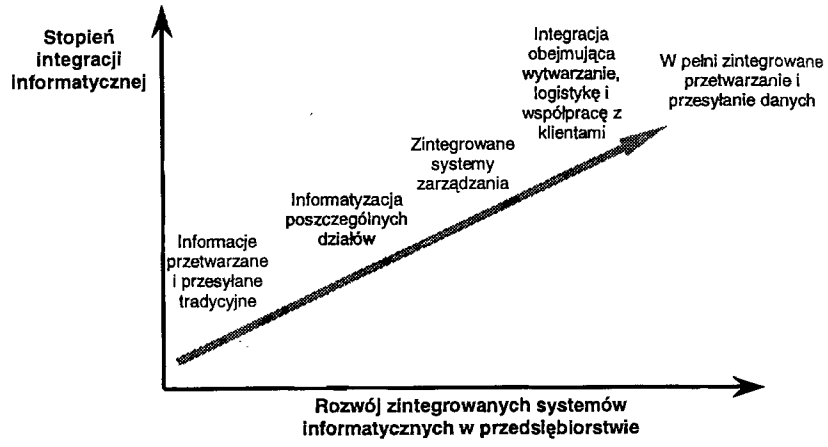
1. WPROWADZENIE

Odpowiednio wdrożone systemy informatyczne pozwalają na znaczną redukcję kosztów oraz na szybsze i lepsze jakościowo oferowanie klientom usług i wyrobów. Pozwalają one również na przesyłanie dużych ilości danych związanych, miedzy innymi z rozwojem systemów CAD/CAM oraz wirtualnego modelowania wyrobów i elementów systemów wytwarzania [1]. Coraz większe znaczenie ma również integracja przepływu informacji pomiędzy kooperującymi firmami oraz firmami współpracującymi przy realizacji określonych projektów w formie tak zwanych przedsiębiorstw wirtualnych [2]. Ważną rzeczą jest integracja przepływu informacji w firmach o małej i średniej wielkości. W warunkach coraz większej konkurencji firmy te, ze względu na swoją specyfikę oraz z reguły niewielkie możliwości finansowe znajdują się w znacznie gorszej sytuacji niż wielkie międzynarodowe koncerny [3].

Istotne jest aby integracja informatyczna obejmowała również przepływ i przetwarzanie danych na poziomie systemu wytwarzania, który w firmach produkcyjnych jest podstawowym elementem umożliwiającym istnienie firmy. Niestety większość obecnych na rynku systemów informatycznych, łącznie z systemami MRP II i ERP nie pozwala na rzeczywiste zintegrowanie przepływu informacji w systemie wytwarzania. Obecne trendy w rozwoju organizacji systemów wytwarzania wymagają jednocześnie wsparcia ze strony odpowiednio zbudowanych systemów sterowania, umożliwiających przesyłanie informacji, w tym informacji sterujących bezpośrednio do pracowników liniowych.

2. SYSTEMY STEROWANIA WYTWARZANIEM

W firmach produkcyjnych system wytwarzania jest z reguły najważniejszym elementem przedsiębiorstwa. Bez niego nie mają racji bytu pozostałe części, pełniące zazwyczaj role usługowe wobec wytwarzania. Jednak jak wynika z przeprowadzonych badań w większości zakładów w tym w szczególności w małych i średniej wielkości zakładach produkcyjnych nie stosuje się żadnych systemów informatycznych usprawniających przepływ i zarządzanie informacją [3]. W dużych zakładach, jeżeli istnieją takie systemy to najczęściej spełniają one rolę informacyjną, bądź w przypadku produkcji masowej są to bardzo sztywne systemy sterowania zautomatyzowanymi liniami i gniazdami produkcyjnymi. Jednak nawet w tym przypadku rzadko są one w pełni zintegrowane z systemami zarządzania zakładem (rys. 1).

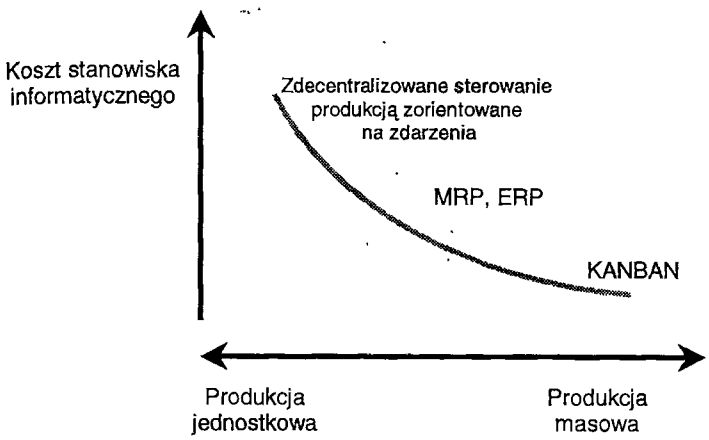


Rys. 1. Kolejne stopnie integracji informatycznej przedsiębiorstwa [4]

Sytuacja taka jest wynikiem braku odpowiedniego oprogramowania spełniającego wymagania elastyczności i otwartości na zmiany konfiguracyjne, oraz odpornego na zakłócenia. Jednocześnie obecne trendy w organizacji produkcji wynikające z wdrażania programów poprawy produktywności prowadzą do spłaszczania hierarchii organizacyjnej oraz związanego z tym przekazywania kompetencji decyzyjnych bezpośrednio do pracowników liniowych. W takiej sytuacji zastosowanie systemu sterowania pozwalającego na dostarczanie informacji w tym również informacji sterujących, bezpośrednio na linię produkcyjną oraz monitorujących pracę systemu wytwarzania jest szczególnie istotne.

Systemy informatyczne powszechnie nazywane zintegrowanymi nie pozwalają na rzeczywistą integrację przepływu informacji na poziomie systemu wytwarzania. Systemy typu MRP II i ERP pozwalają jedynie na wystawianie zleceń produkcyjnych na określone maszyny oraz na bardzo uproszczone planowanie. Nie dają one możliwości śledzenia procesu produkcyjnego, monitorowania awarii oraz przepływu produkcji na warsztacie. Sytuacja ta jest spowodowana brakiem niedrogich i prostych w użyciu systemów pozwalających na integrację przepływu informacji pomiędzy maszynami, urządzeniami technologicznymi, operatorami, a tak zwanymi zintegrowanymi systemami

nologicznymi, operatorami, a tak zwanymi zintegrowanymi systemami informatycznymi wspierającymi zarządzanie produkcją. System sterowania produkcją powinien pozwolić na integrację stanowisk wytwórczych o zróżnicowanym stopniu automatyzacji, pozwalając jednocześnie zachować jak największą elastyczność integrowanego systemu. Istotne jest również danie możliwości stosowania różnych algorytmów sterowania umożliwiających skuteczną walkę z zakłóceniami przy jednoczesnym jak najbardziej optymalnym obciążeniu maszyn i urządzeń.



Rys. 2. Koszt pojedynczego stanowiska informatycznego w zależności od rodzaju produkcji [5]

Bardzo istotnym czynnikiem szczególnie dla małych firm jest koszt systemu sterowania wytwarzaniem tym bardziej, iż obecnie muszą być one budowane na zamówienie. Koszt takiego systemu jest dużo wyższy dla produkcji jednostkowej lub mało seryjnej niż dla produkcji masowej (Rys. 2). Przy czym właśnie produkcja mało seryjna i jednostkowa jest najczęściej realizowana przez niewielkie firmy. Dodatkowo firmy takie z reguły nie posiadają znacznych zasobów finansowych i organizacyjnych. System informatyczny przeznaczony do wspomagania sterowania produkcją w tym również produkcją w małym systemie wytwarzania musi spełniać kilka dodatkowych warunków. Przede wszystkim powinien wyróżniać się nie skomplikowaną obsługą oraz posiadać budowę modularną pozwalającą na łatwe konfigurowanie i rekonfigurowanie systemu. Szczególnie ważne jest uwzględnienie operatorów maszyn i urządzeń technologicznych w procesie decyzyjnym [6]. Taka zdecentralizowana struktura zarządzania jest coraz częściej stosowana w systemach wytwarzania, jednak dotychczas nie powstało odpowiednie oprogramowanie wspierające tego rodzaju organizację pracy [7].

3. SYSTEMY WYTWARZANIA O ZRÓŻNICOWANEJ AUTOMATYZACJI

Wytwarzanie obejmuje wszystkie czynności bezpośrednio związane z przeprowadzaniem obróbki lub montażu wyrobu. W skład podsystemu wytwarzania wchodzą maszyny i urządzenia technologiczne oraz stanowiska robocze, realizujące określone metody wytwarzania takie jak: kształtowanie, obróbka ubytkowa i plastyczna itp.

Rys. 3. Produkcja i wywarzanie.

Do zadań podsystemu wytwarzania wchodzą również funkcje pomocnicze: usuwanie odpadów, mycie czy kontrola techniczna [8]. System wytwarzania wchodzi w skład systemu produkcyjnego, który dodatkowo zawiera podsystemy realizujące transport, magazynowanie, planowanie czy gospodarkę magazynową itp. (Rys. 3).

Specyfika oraz bardzo wysoki stopień złożoności systemów wytwarzania decyduje o unikalności każdego systemu. Jedną z cech różniących systemy wytwarzania jest stopień automatyzacji systemu oraz jego elementów składowych. Możemy wyróżnić systemy o wysokim stopniu automatyzacji - zaliczają się do nich całkowicie zautomatyzowane FMS-y oraz zautomatyzowane linie produkcyjne. Drugą grupą są systemy nie zautomatyzowane. Jednak najliczniejsza grupa systemów wytwarzania charakteryzuje się zróżnicowanym stopniem automatyzacji. W systemach tych obok w pełni zautomatyzowanych gniazd znajdują się maszyny sterowane numerycznie oraz maszyny sterowane ręcznie. Najczęściej również transport jest nie zautomatyzowany, z wyjątkiem pojedynczych gniazd obróbkowych. Tego rodzaju systemy wymagają integracji informatycznej, jednak klasyczne modele systemów sterowania opracowane na potrzeby całkowicie zautomatyzowanych systemów wytwarzania nie znajdują tu zastosowania.

Bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na organizację systemów wytwarzania są coraz powszechniej wdrażane programy poprawy produktywności. Poprawa produktywności firm produkcyjnych powinna być ukierunkowana na trzy rodzaje działań:

- eliminacja strat
- poprawa jakości
- zwiększenie elastyczności.

Eliminacja strat ma na celu ograniczenie kosztów związanych ze zbyt dużą ilością prac w toku (WIP), zbyt wysokimi stanami magazynowymi, awariami maszyn, złym wykorzystaniem pracowników, wykonywaniem niepotrzebnej pracy, nieuzasadnionym transportem.

Poprawa jakości ma na celu spełnienie oczekiwań klientów, a tym samym zwiększenie sprzedaży, ograniczenie kosztów braków i napraw wyrobów, lepsze wykorzystanie systemu wytwarzania poprzez eliminację prac związanych z usuwaniem błędów jakościowych.

Zwiększenie elastyczności ma na celu łatwiejsze dostosowywanie się do wymagań rynku, produkcję wyrobów zgodnie ze specyfikacją klienta, produkcję krótkich serii wyrobów, lub nawet produkcję jednostkową wyrobów wytwarzanych dotychczas masowo, zmniejszenie wielkości WIP oraz stanów magazynowych dzięki produkcji małych serii bezpośrednio na zapotrzebowanie klienta.

Wdrażanie programów poprawy produktywności wiąże się z istotnymi zmianami w organizacji produkcji. W miejsce organizacji hierarchicznej powstaje organizacja o spłaszczonej strukturze opierająca się na grupach dysponujących znaczną autonomią decyzyjną [9]. Sytuacja taka jest wynikiem ograniczania liczby pracowników nie zwiększających bezpośrednio wartości produktu, czyli mistrzów, brygadzistów, kontrolerów jakości itp.. Jednocześnie chcąc zaangażować pracowników liniowych w proces doskonalenia produkcji przekazuje się im uprawnienia decyzyjne będące do tej pory w gestii średniego personelu kierowniczego. Sytuacja taka wymaga nowego podejścia do systemów informatycznych stosowanych na produkcji, które powinny wspierać pracowników liniowych oraz monitorować proces produkcji. Jednocześnie nie mogą one ograniczać elastyczności systemu wytwarzania, umożliwiając łatwe zmiany konfiguracyjne mające na celu dostosowanie się do aktualnych wymagań klientów.

4. WPŁYW ORGANIZACJI NA SYSTEMY INFORMATYCZNE

Organizacja systemów produkcyjnych pod naciskiem warunków zewnętrznych jakimi są zmieniające się wymagania klientów, pracowników oraz coraz silniejsza konkurencja przechodzi powolną ewolucję od systemów bazujących na hierarchicznie powiązanych komórkach organizacyjnych, do znacznie luźniej powiązanych struktur poziomych nazywanych grupami. Ewolucja ta spowodowana również wymogiem coraz większej elastyczności wpływa na wymagania stawiane systemom informatycznym. Systemy informatyczne muszą obecnie spełniać dodatkowe zadania wynikające z organizacji grupowej. Organizacja bazująca na grupach posiadających duży stopień autonomii wymaga dostarczania informacji bezpośrednio na linię produkcyjną. Poszczególni operatorzy sami podejmują decyzje jakie informacje mogą im być potrzebne. Z drugiej strony przy większej autonomii, również dotyczącej decyzji bezpośrednio wpływających na realizację zleceń coraz większej wagi nabiera monitorowanie systemu wytwarzania. Bardzo istotne jest wsparcie procesu decyzyjnego w warunkach gdy grupy dysponują jedynie ograniczonymi informacjami oraz intuicyjnie dążą do realizacji własnych funkcji celu.

Współczesne systemy wytwarzania muszą charakteryzować się coraz większą elastycznością określaną jako możliwość realizacji różnych zleceń. Bardzo istotne jest w tym przypadku zapewnienie wysokiej elastyczności systemów informatycznych. Dotyczy to zarówno elastyczności funkcjonalnej, polegającej na dostosowywaniu funkcji realizo-

wanych przez system do aktualnych wymagań, jak również elastyczności konfiguracyjnej polegającej na umożliwieniu modyfikowania systemu on-line bez konieczności wyłączania go z działania.

5. WYMAGANIA STAWIANE SYSTEMOM STEROWANIA WYTWARZNIEM

Podstawowym zadaniem sterowania nadrzędnego jest ułatwienie zarządzania produkcją, tak aby umożliwić spełnienie głównych celów stawianych przed systemem wytwarzania. Celami tymi są: wyprodukowanie na czas wyrobów o odpowiedniej jakości, przy jak najniższych kosztach. Aby spełnić to zadanie system sterowania musi:

- wspomagać zarządzanie zamówieniami
- wspomagać planowanie obróbki i obciążenia maszyn
- ułatwiać kontrolę przepływu przedmiotów i narzędzi w trakcie obróbki
- wspierać bieżącą kontrolę jakości obrabianych przedmiotów oraz rejestrować historię obróbki dla poszczególnych części i zamówień
- informować o awariach oraz monitorować stan maszyn i procesu obróbkowego
- wspierać prace konserwacyjno naprawcze maszyn i urządzeń technologicznych
- gromadzić niezbędne dane i udostępniać je właściwym osobom

System sterowania powinien również zapewnić integrację informatyczną wszystkich stanowisk wytwórczych i działów przedsiębiorstwa takich jak dział zamówień, konstrukcji czy technologii [10]. Postulat ten dotyczy szczególnie małych firm, gdyż w dużych zakładach częściowa integracja jest realizowana przez pakiety oprogramowania typu MRP/ERP, niedostępne dla małych i średnich zakładów obróbkowych. Jednak nawet w tym przypadku, integracja jest tylko częściowa i z reguły nie obejmuje systemu wytwarzania [11]. Bardzo ważną rzeczą jest także zapewnienie integracji pomiędzy wszystkimi systemami informatycznymi pracującymi na poziomie sytemu wytwarzania, jak na przykład systemy narzędziowe czy magazynowe, systemy sterowania transportem, systemy sterowania pracą w pełni zautomatyzowanych gniazd obróbkowych i montażowych.

Dodatkowo system informatyczny wspierający sterowanie produkcją, w tym w szczególności system przeznaczony dla małych i średnich przedsiębiorstw musi być niezbyt kosztowny, prosty w obsłudze, elastyczny oraz powinien umożliwiać łatwe rekonfigurowanie.

6. ZADANIA I STRUTURA SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH

Systemy informatyczne stanowią podklasą systemów informacyjnych, realizowaną w oparciu o systemy komputerowe. Systemy informatyczne stosowane do realizacji integracji przepływu informacji w systemach wytwarzania mogą pełnić różną rolę: od systemów jedynie informacyjnych po systemy tylko sterujące. Wydaje się, że systemy informatyczne stosowane w systemach wytwarzania można podzielić pod kątem funkcjonalności na następujące rodzaje [12]:

- Systemy informacyjne – mające za zadanie jedynie przekazywanie informacji do poziomu systemu wytwarzania. Informacje podbierane przez pracowników mogą, ale nie muszą być wykorzystywane do podejmowania decyzji sterujących. O tym jakie informacje i kiedy zostaną pobrane decyduje człowiek na poziomie linii produkcyjnej.
- Systemy informacyjno-monitorujące – ich zadaniem jest tak jak systemów informacyjnych przekazywanie informacji do poziomu produkcji, dodatkowo umożliwiają one monitorowanie pracy maszyn, gniazd czy całego systemu wytwarzania. Monitorowanie może być realizowane bez pośrednictwa człowieka lub za pośrednictwem człowieka.
- Systemy informacyjno-sterujące – w porównaniu do poprzednich, oprócz funkcji informacyjnej i monitorującej umożliwiają dodatkowo realizację sterowania, czyli przekazują decyzje. Decyzje sterujące mogą być realizowane bez udziału człowieka oraz za pośrednictwem człowieka. Dotyczą one działania maszyn, gniazd, czy całych systemów wytwarzania.
- Systemy monitorujące - umożliwiają jedynie przekazywanie informacji z systemu wytwarzania informujących o jego aktualnym stanie. Monitorowanie może być realizowane za pośrednictwem człowieka lub bez jego pośrednictwa.
- Systemy sterujące – umożliwiają monitorowanie i sterowanie maszynami, gniazdami lub systemami wytwarzania, monitorowanie może być realizowane bez pośrednictwa człowieka lub za jego pośrednictwem. Decyzje sterujące również mogą być realizowane za pośrednictwem człowieka lub bez jego pośrednictwa.

Bardzo istotnym czynnikiem mającym wpływ na użyteczność systemów informatycznych jest struktura ich budowy oraz w systemach sterowania sposób podejmowania decyzji. Wdaje się iż najlepszymi określeniami są tu:

- struktura informatyczna – określająca miejsce przetwarzania informacji i danych,
- struktura decyzyjna – określająca miejsce podejmowania decyzji.

Systemy informacyjne, informacyjno-monitorujące, informacyjno-sterujące oraz sterujące i monitorujące zgodnie z zaproponowanym podziałem ze względu na strukturę informatyczną można podzielić na:

- Scentralizowane – dane są przetwarzane w jednym miejscu, są to systemy typu klient-serwer
- Rozproszone – pozwalające na rozproszone przetwarzanie danych

Z kolei systemy, w których podejmowane są decyzje, czyli systemy sterujące i informacyjno-sterujące można podzielić ze względu na strukturę decyzyjną, czyli na miejsce i sposób podejmowania decyzji na:

- Scentralizowane
- Zdecentralizowane

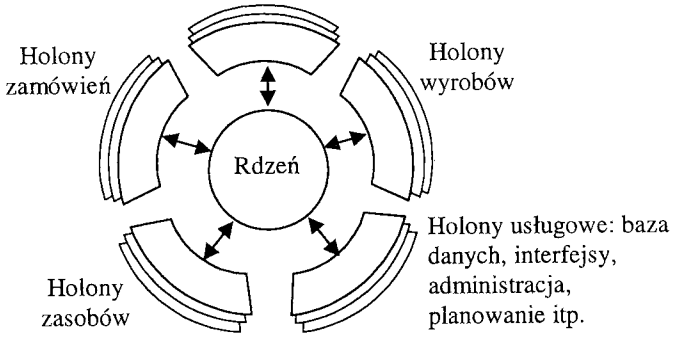
Systemy scentralizowane dodatkowo dzielą się na systemy:

- Z pojedynczą jednostkę decyzyjną
- hierarchiczne scentralizowane

Systemy zdecentralizowane można z kolei podzielić na:

- hierarchiczne zdecentralizowane
- heterarchiczne

Specjalną klasę stanowią systemy zbudowane na platformie wieloagentowej. W zależności od budowy mogą one być wyłącznie systemami informacyjnymi – bez podejmowania decyzji. Na platformie tej można również budować systemy sterowania podejmujące decyzje. Wówczas można je zaliczyć do zcentralizowanych lub zdecentralizowanych. Z kolei systemy wieloagentowe zdecentralizowane mogą być budowane jako hierachiczne zdecentralizowane lub heterarchiczne. Na platformie wieloagentowej można również budować systemy z „inteligentnymi" agentami – można je określać wówczas mianem systemów holonicznych [13].



Rys. 3. Struktura wielagentowego sterowania wytwarzaniem [Oborski,01]

Przykładem systemu bazującego na platformie wieloagentowej jest system sterowania wytwarzaniem budowany w Instytucie Technologii Maszyn Politechniki Warszawskiej. System ten bazuje na rdzeniu komunikacyjnym oraz na specjalizowanych modułach-agentach realizujących funkcjonalność systemu. W oparciu o budowaną platformę planuje się zbudować system holoniczny, w którym poszczególne agenty-holony będą wyposażone w algorytmy „inteligentne" pozwalające realizować zadania produkcyjne w kooperacji z innymi holonami [13].

7. PODSUMOWANIE

Współczesne systemy wytwarzania ewoluują w stronę organizacji bazujących na coraz bardziej autonomicznych grupach, szczególnie istotny jest wymóg wysokiej elastyczności. Sytuacja taka narzuca bardzo znaczne wymagania systemom informatycznym wykorzystywanym w systemach wytwarzania. W miarę rozwoju organizacji bazujących na grupach będzie rosła rola systemów informacyjnych oraz informacyjno-monitorujących. Już obecnie systemy informatyczne są budowane w środowisku rozproszonym, również podejmowanie decyzji będzie prawdopodobnie dążyło w kierunku większej decentralizacji, w celu zwiększenia odporności systemów na zakłócenia. Bardzo dynamiczny w ostatnich latach rozwój badań nad systemami wieloagentowymi wiąże się z ich bardzo dobrym dopasowaniem do wymagań współczesnej organizacji wytwarzania. Umożliwia-

ją one budowę rozproszonych systemów informatycznych, konfigurowanych w zależności od potrzeb użytkowników, umożliwiają również implementację różnych algorytmów działania, od hierarchicznych po heterarchiczne. W oparciu o nie można również budować systemy holoniczne.

8. LITERATURA

[1] Soliman F., Clegg S. "Critical success factors for integration of CAD/CAM systems with ERP systems", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 21 No. 5/6 2001, pp.609-629.

[2] Nissen M. "Beyond electronic disintermediation through multi-agent systems", Logistic Information Management, Volume 14, Number 4, 2001, pp. 256-275.

[3] Marri H.B., Gunasekaran A., Grieve J. "An Investigation into the Implementation of Computer Integrated Manufacturing in Small and Medium Enterprises" The International Journal of Advanced Manufacturing Technology; 14: 935-942; Springer-Verlag Londyn 1998.

[4] Oborski P. „Integracja przepływu informacji w systemie wytwarzania", Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, WNT Warszawa 2002, Tom II, s. 217-226.

[5] Warnecke H.J. "The Fractal Company – A revolution in Corporate Culture" , Springer-Verlag 1993.

[6] Mikler J., Hadeby H., Kjellberg A., Sohlenius G. „Towards Profitable Persistent Manufacturing. Human Factors in Overcoming Disturbances in Production Systems", Proceedings of the CIRP V International Conference on Monitoring and Automatic Supervision in Manufacturing – AC'98, Miedzeszyn, koło Warszawy, 20-21 sierpień 1998, s.5-15.

[7] Oborski P. "Needs of Small and Medium Enterprises for Computer Shop Floor Control with Involvement of Machine Operators" Preprints of the INCO COPERNICUS - DYCOMANS 2 Workshop, Techniques for Supervisory Management Systems, Bled, Słowenia, 12-14 maj 1999, s. 167-174.

[8] Santarek K., Strzelczak S, „Elastyczne systemy produkcyjne", WNT, Warszawa 1989.

[9] Oborski P. „Social-technical aspects in modern manufacturing", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 22, No. 11&12, 2003, p. 848-854.

[10] Waldner J.B. "CIM Principles of Computer-integrated Manufacturing", John Wiley & Sons Ltd. Chichester 1992.

[11] Gunasekaran A., Thevarajah K. "Implications of Computer-Integrated Manufacturing in Small and Medium Enterprises: An Empirical Investigation", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology; 15: 251-260; Springer-Verlag Londyn 1999.

[12] Oborski P. „Wpływ organizacji produkcji na systemy sterowania wytwarzaniem", Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, WNT Warszawa 2004, Tom II, s. 218-225.

[13] Oborski P., Szafarczyk M.: Organisation and Control at the Basic Manufacturing Level with Human-Computer Integration, Advances in Manufacturing Science and Technology, Vol. 25, No. 1, 2001, p.5-15.