

## **WYTWARZANIE A INFORMATYKA**

Po wprowadzeniu, w którym scharakteryzowano wytwarzanie jako wynik wzajemnego oddziaływania materii, energii i informacji, przedstawiono tendencje rozwojowe w systemach wytwarzania, gdy głównym czynnikiem zmian stała się informatyka. Opisano istotę komputerowo zintegrowanego wytwarzania, analizując jego modele i składniki. W dalszej części opisano Laboratorium Systemów Produkcyjnych Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji, a na jego tle prace badawcze odnoszące się do stosowania informatyki w wytwarzaniu.

### **1. WPROWADZENIE**

Według Raportu Biura Polityki Naukowej i Technicznej Stanów Zjednoczonych [1], wytwarzanie należy do sześciu dziedzin istotnych dla rozwoju gospodarki i bezpieczeństwa kraju. Od poziomu procesów wytwarzania zależy zarówno wzrost ilościowy, jak i jakościowy, produkowanych wyrobów.

Postęp w metodach wytwarzania zawsze stanowił punkty zwrotne na drodze do wzrostu poziomu życia ludności danego kraju, obszaru czy państw. Łatwo też zauważyć, że wszystkie te kraje, w których techniki wytwarzania osiągały wysoki poziom, należały i należą do przodujących, a poziom cywilizacyjny stale tam rośnie.

Sytuacja Polski, ale także innych krajów postkomunistycznych, mających ambicje należenia do krajów uprzemysłowionych, jest szczególnie trudna i skomplikowana. Z jednej strony musimy nadrobić wieloletnie opóźnienia i zaniedbania w gospodarce, z drugiej zaś, dążąc do integracji z gospodarką europejską, musimy się podporządkować tzw. globalnej konkurencji. Ten proces nadrobienia zaniedbań, restrukturyzacji, czy swego rodzaju odnowy, wymaga nie tylko technicznego rozwoju, ale głównie nowego organizacyjnego ujęcia całego procesu wytwarzania. Rozważając problemy produkcji jakiegokolwiek wyrobu musimy brać pod uwagę iż każdy system wytwórczy działa w określonym otoczeniu. W najogólniejszym przypadku otoczenie systemu produkcyjnego można przedstawić jak na rys.1 [2]. Mimo bardzo szybko postępującej globalizacji rynku, warunki w jakich działają poszczególne przedsiębiorstwa różnią się jeszcze dość istotnie. Obok kapitału, informacji i całej techniki, istotną rolę odgrywają problemy polityczne, socjologiczne, kulturowe itd., bardzo jeszcze zróżnicowane w obecnej Europie, nie mówiąc już o świecie. Sposoby wytwarzania zależą ponadto coraz bardziej od szybko rozwijającej się świadomości ekologicznej.

Bez zbytnej przesady można też twierdzić, że już teraz żyjemy w ogólnoswiatowym systemie produkcyjnym, który zmierza ku temu, by rosła ilość dóbr była produkowana przez malejącą liczbę producentów. Walka z bezrobociem stała się też w wielu krajach uprzemysłowionych bardzo palącym problemem i stanowi ważny czynnik wpływający na gospodarczą działalność. Coraz częściej zdarza się bowiem, że konieczne decyzje gospodarcze stoją w sprzeczności ze społecznymi i socjologicznymi żądaniami dużej części społeczeństw.

Z technicznego punktu widzenia w każdym wytwarzaniu występuje wzajemne oddziaływanie trzech głównych i niezbędnych czynników: materiału, energii i informacji. Czynniki te odgrywały w różnych okresach historycznych różną rolę. Pierwotnie i najdłużej o postępie w wytwarzaniu, a w istocie o rozwoju ludzkości, decydował materiał z którego wykonywano broń oraz przedmioty niezbędne do życia. Natomiast źródła energii, mięśnie ludzi i zwierząt, czy stosunkowo marginalne wykorzystanie źródeł naturalnych, jak siła wody czy wiatru, bardzo długo nie ulegały zmianie. Dopiero bowiem wynalazek maszyny parowej, a następnie elektryczności, zrewolucjonizowały proces wytwarzania. W czasach nam już współczesnych komputer dokonał skokowej zmiany w informacji, trzecim czynnikiem decydującym o procesie wytwarzania. We współczesnych systemach wytwarzania właśnie technika informacyjna jest głównym źródłem zmian i postępu w procesie produkcyjnym we wszystkich jego fazach. Śledząc obecny rozwój techniki wytwarzania, czy ogólniej produkcji można zauważyć, iż zależy on dziś w znacznie mniejszym stopniu od klasycznie pojmowanej mechaniki, a znacznie bardziej od współdziałania i kompozycji różnorodnych, przede wszystkim nowych, technologii. Postęp powstaje, używając przyjętego w informatyce pojęcia, na tzw. interfejsach (łączach, sprzęgach) między techniką wytwarzania, techniką informatyczną, elektrotechniką, mikroelektroniką, techniką procesową, materiałoznawstwem ale, także energetyką i biotechniką.

Decydującym i przełomowym momentem było wynalezienie w 1947 roku w MIT (Massachusetts Institute of Technology) sterowania numerycznego. Po raz pierwszy połączono bowiem technologię hardware'ową z software'ową w jednej jednostce sterującej. Ogromne osiągnięcie sterowania numerycznego polega także na tym, że można wytwarzać skomplikowane części w małych ilościach. Sprawia to, że system wytwarzania uzyskuje bardzo dużą elastyczność.

Rzeczywisty rozwój mikroelektroniki umożliwił budowę komputerów o dużej mocy obliczeniowej, które zastosowane w procesie produkcyjnym stały się dziś nieodzownym zespołem programowalnej automatyzacji wytwarzania. Jednakże zaprojektowanie odpowiedniego systemu komputerowego i oprogramowania dla określonego procesu wytwarzania oraz jego wdrożenie nie jest sprawą łatwą i wymaga specjalnej, rozległej wiedzy o charakterze interdyscyplinarnym. Aby komputer mógł sterować procesem wytwarzania trzeba maszyny produkcyjne wyposażać w odpowiednie interfejsy, a człowieka w odpowiednie narzędzia umożliwiające mu komunikację z komputerem i procesem wytwarzania. W tym celu rozwinięto takie technologie jak: graficzne przetwarzanie danych, przetwarzanie obrazu, budowę i implementację baz danych i banków wiedzy, techniki modelowania i symulacji, ale także nadzorowanie i diagnostykę.

Te tak zwane bazowe technologie mają dość krótki żywot i dlatego niekiedy trudno ocenić ich znaczenie, a także je właściwie zastosować. Rozpoczęte aplikacje są bowiem prześcigane przez rozwój nowych technologii, tak iż jeszcze przed pełnym wdrożeniem muszą być one uzupełnione i przerabiane.

Rola komputera w racjonalizacji całego przedsiębiorstwa produkcyjnego jest bardzo duża. Wraz z zastosowaniem komputera zmienia się bardzo często struktura organizacyjna fabryki, gdyż szereg funkcji kierowniczych i administracyjnych ulega drastycznej zmianie i redukcji. Komputery pojawiły się w przemyśle w latach 60-tych. W latach 70-tych komputeryzacja stała się warunkiem koniecznym prowadzenia dużych przedsięwzięć przemysłowych, a w latach 80-tych komputerowo zintegrowane wytwarzanie (CIM) stało się celem wielu prac i dążeń.

Jak przebiegać będzie zastosowanie komputerów w systemach wytwarzania jest trudne do oceny. Zależy bowiem od bardzo wielu czynników. Ważną rolę odegra tu rozwój samej techniki komputerowej, ale nie mniej ważną funkcję będzie spełniać wydajna współpraca specjalistów z technik wytwarzania z wieloma specjalistami z innych dyscyplin, nie tylko inżynierskich.

W opracowaniu tym, po omówieniu ogólnych trendów rozwojowych systemów wytwarzania, będą pokazane wybrane przykłady zastosowania techniki komputerowej w całym procesie powstawania i wytwarzania wyrobu. Przykłady te zaczerpnięto z najnowszej literatury, ale także z prac prowadzonych w Zakładzie Obrabiarek i Automatykacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej.

## 2. TENDENCJE ROZWOJOWE W SYSTEMACH WYTWARZANIA

Trendy rozwojowe w wytwarzaniu zależą w znacznej mierze od żądań stawianych przez rynek i zmierzają do wzrostu wydajności, skracania czasu upływającego od koncepcji wyrobu do jego wyprodukowania, zmniejszania kosztów produkcji oraz poprawy jakości wyrobu.

Cele te ulegały w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat istotnym zmianom, co dobrze widać na rys.2 [2]. Obok bardzo ważnej wydajności i ceny, czyli kosztów produkcji, z czasem dochodziły inne wymagania natury jakościowej, elastyczności produkcji, szybkości ukazywania się wyrobu na rynku, czy wreszcie zdolności przedsiębiorstwa do permanentnej innowacji. W wyniku wzrostu wymagań rynku oraz zaostrzającej się konkurencji procesy wytwarzania stają się coraz bardziej kompleksowe i skomplikowane, co wywołuje wzrost liczby informacji, które są wykorzystywane i przetwarzane w procesie.

Jak dalece trendy w wytwarzaniu ulegają stałym zmianom łatwo dostrzec porównując ich przewartościowanie, które miało miejsce w ostatnich 10-ciu latach (rys.3) [3]. Jeszcze w latach 80-tych zakładano iż pełna automatyzacja produkcji, by nie rzecz bezzałogowe wydziały, to bliska przyszłość, a orientacja na technikę była dominującym poglądem. Już jednak na początku lat 90-tych nastąpiło bardzo duże przewartościowanie podejścia do kształtowania procesu wytwarzania. Zdecydowanym ośrodkiem zainteresowania stał się ponownie człowiek. Okazało się bowiem, że wydajność zależy w dużej mierze od kwalifikacji i motywacji załogi. Dlatego też problem ogólnej edukacji, oraz specjalistyczne szkolenie o charakterze ustawicznym, są tak ważne z gospodarczego punktu widzenia. Współczesne przedsiębiorstwo produkcyjne jest przedsięwzięciem organizacyjno-inżynierskim o bardzo dużej kompleksowości, złożoności procesów i działań w nim zachodzących. Podejście takie przedstawiono w formie schematu na rys.4 [4]. Po lewej stronie są przedstawione w ogromnym uproszczeniu działania organizacyjne, związane z przyjęciem zamówienia i jego nadzorem, aż do pełnej realizacji. Centralne miejsce zajmuje baza danych, która zawiera niezbędne dane związane z przebiegiem zlecenia, rozwojem i konstrukcją wyrobu oraz tzw. technologicznym know-how. Po prawej stronie rysunku pokazane są funkcje związane z projektowaniem i wykonawstwem wyrobu. Wymagane tu jest ścisłe informatyczne powiązanie między projektantami wyrobu a jego wytwórcami, tak by wyrób mógł być produkowany w sposób opłacalny dla przedsiębiorstwa, miał nie wygórowaną cenę i znajdował nabywców. Jasno zakropkowany obszar, obejmujący całe przedsiębiorstwo, to działania logistyczne związane z przepływem informacji, półwyrobów, narzędzi itd. Natomiast ciemniejszy obszar symbolizuje aktywności związane z zapewnieniem jakości, które muszą być prowadzone w czasie całego procesu powstawania oraz produkcji wyrobu. Przepływ informacji w tak zorganizowanym przedsiębiorstwie produkcyjnym odpowiada w konsekwencji komputerowo zintegrowanemu wytwarzaniu CIM (Computer Integrated Manufacturing). Jednak już na wstępie omawiania problematyki komputerowo zintegrowanego wytwarzania trzeba zauważyć, że CIM nie jest żadną nową technologią albo gotowym do zakupu produktem sprzętowym lub programowym. CIM jest raczej filozofią funkcjonowania przedsiębiorstwa produkcyjnego, z możliwie daleko zaawansowaną integracją wszystkich przepływów informacji wewnątrz tego przedsiębiorstwa. Pojęcie CIM-u zmienia jednak swoją zawartość wraz z postępem technik wytwarzania, ale także, a może nawet głównie z postępem technik informatycznych. Jednakże elastyczne wytwarzanie, wykorzystujące w pełni stale rozwijające się narzędzia informatyczne,

dostosowujące się do szybko zmieniających się warunków zewnętrznych, jest z całą pewnością przyszłościowym sposobem produkowania.

Funkcjonowanie przedsiębiorstwa według tych zasad jest związane z tworzeniem lub pozyskiwaniem, przepływem, gromadzeniem, przetwarzaniem i udostępnianiem informacji. Wymaga to zastosowania odpowiednich systemów informacyjnych i komunikacyjnych, bowiem liczba informacji, niezbędnych do zaprojektowania, uruchomienia i zarządzania produkcją, jest bardzo duża i wzajemnie powiązana.

Jak to już wspomniano, koncepcje komputerowo zintegrowanej produkcji (CIM) znajdują się obecnie, choć w sposób wyspowy, w fazie testowania i w najbliższych 10-cio leciach będą najpewniej szeroko zastosowane w przemyśle. Dotychczasowe udane zastosowania wskazują bowiem na dużą opłacalność ich wdrożenia do praktyki. Według Nabolda [5] następuje w wyniku zastosowania techniki CIM-owskiej obniżenie kosztów opracowywania koncepcji i projektu wyrobu o 15 do 30%, zredukowanie czasów przepływu wytwarzanych części przez działy produkcyjne o 30 do 60%, wzrost wydajności produkcji o 40 do 70%, poprawa jakości, przez zmniejszenie braków, o 20 do 50%, a także, co jest ważne z punktu widzenia funkcjonalności wyrobu i kosztocłonności jego produkcji, do zwielokrotnienia liczby analizowanych wariantów konstrukcyjnych.

Zaprojektowanie czy zorganizowanie komputerowo zintegrowanego systemu wytwarzania (CIM) jest jednak procesem trudnym i długotrwałym. Potrzebna jest przy tym nie tylko duża wiedza fachowa, ale także duże doświadczenie i znajomość różnych systemów wytwarzania. Dla projektantów, zarówno konstruktorów jak i technologów określonych produktów, byłoby bardzo wygodnie gdyby istniał uogólniony model CIM-owski, składający się z bloków umożliwiających zaprojektowanie systemu dla wytwarzania konkretnego produktu. Opracowanie takiego uogólnionego modelu jest jednak rzeczą bardzo trudną. Ponadto model taki byłby wtedy bardzo abstrakcyjny, gdyby uwzględniał tak różnorodne przemysły, jak samolotowy, samochodowy, aparatury procesowej, maszyn wytwórczych, czy wreszcie bardziej odległy przemysł tekstylny i inne. Mimo tych trudności są podejmowane próby zbudowania takiego uogólnionego modelu, zawierającego wiele różnorodnych opcji. Taki model byłby dla użytkownika swego rodzaju narzędziem, przy pomocy którego mógłby on odnaleźć swoją własną strategię wytwarzania.

Model CIM-owski powinien być tak skonstruowany, by zawierał wszystkie funkcje niezbędne do osiągnięcia celów przedsiębiorstwa. W niektórych zastosowaniach wystarcza, gdy model zawiera tylko wewnętrzne funkcje przedsiębiorstwa. Natomiast w innych aplikacjach model powinien zawierać również takie funkcje zewnętrzne jak np. zaopatrzenie i współpracę z poddostawcami. Bardzo szczegółowy model mógłby nawet obejmować rynek, obowiązujące uregulowania prawne, źródła finansowania itd.

Omówienie i przytoczone w tym opracowaniu modele CIM-owskie zostały opracowane przez różnych autorów, z punktu widzenia różnorodnych funkcji i aktywności przedsiębiorstwa. Ich przedstawianie ma na celu pokazanie jak skomplikowany, wielowątkowy i kompleksowy jest cały proces powstawania i wytwarzania wyrobu. Przy tej okazji warto też sobie uświadomić iż tylko wówczas, gdy systemami wytwarzania będą zajmować się najlepsze i interdyscyplinarne zespoły inżynierskie o dużej wiedzy i doświadczeniu praktycznym, można liczyć na istotne osiągnięcia gospodarcze.

Na rysunku 4 pokazano model CIM-owski przedsiębiorstwa z punktu widzenia dwóch głównych strumieni informacji. Jeden, przechodzący z lewa na prawo, jest zorientowany na realizację zlecenia, drugi zaś, prowadzący z góry ku dołowi, ma charakter techniczny i jest zorientowany na powstanie wyrobu.

Wraz z wprowadzeniem komputera do obszaru planowania i sterowania produkcją wprowadzono szereg dziś powszechnie znanych i używanych terminów, które symbolizują składniki systemów CIM. Składniki te, pokazane na rys.5, składają się na kompleksowy system

technik komputerowego wspomaganie CAx. Jeśli do takiego systemu dołączy się przepływ i składowanie informacji za pomocą banków danych i połączy wszystko lokalną siecią komputerową (LAN), to otrzyma się pełną koncepcję komputerowo zintegrowanego wytwarzania CIM. Swego rodzaju klasyczny przepływ informacji technicznej w przedsiębiorstwie jest pokazany na rys.6 [4]. Jest to model zaproponowany przez firmę Siemens, przy czym jest on rozumiany jako sposób postępowania, czy jako swego rodzaju strategia i koncepcja dla osiągnięcia celów marketingowych przedsiębiorstwa. Model ten obejmuje główne funkcje fabryki, do których należą: planowanie, sprzedaż, zaopatrzenie, planowanie i sterowanie produkcją (PPC), komputerowo wspomaganie konstruowanie (CAD), projektowanie i planowanie jakości (CAQ), a także wywarzanie (CAM). Wszystkie te składniki są połączone ze sobą intensywnym przepływem informacji poprzez linie komunikacyjne, które zapewniają w możliwie krótkim czasie dostawę i przetwarzanie synchronizowanej informacji, dotyczącej określonego stanu systemu. Cechą wyróżniającą model Siemens jest włączenie systemu wspomagania organizacji (CAO), który zawiera całą księgowość, dział kadr oraz finanse przedsiębiorstwa. W modelu tym każdy moduł jest dokładnie opisany i podzielony na mniejsze segmenty, a ich współdziałanie dobrze wyjaśnione. Model Siemens nadaje się bardzo dobrze do tego by objaśnić zarówno zależności ogólne, jak i pytania szczegółowe w komputerowo zintegrowanym wytwarzaniu.

Obok wyżej opisanego modelu spotyka się w literaturze także model IBM z lat 70-tych pod nazwą COPICS (Communication Oriented Production Information and Control System) [4]. Model ten ujmuje wszystkie najważniejsze funkcje, jak planowanie, sterowanie i wytwarzanie. Jednakże mimo bardzo wczesnego zaangażowania firmy IBM w przetwarzanie danych w przedsiębiorstwie, nie doszło do opracowania ogólnego modelu CIM. Firma ta rozwinęła jednak tak dalece oprogramowanie, iż może dostarczać specjalne programy dla każdego obszaru działania fabryki.

Znanym modelem jest model NIST (National Institute of Standards and Technology), który był testowany w specjalnie w tym celu zorganizowanym systemie wytwarzania. Planowanie i sterowanie przebiegiem produkcji przejmuje tu hierarchiczny system komputerowy i sensorowy. Dzieje się to w dużej mierze w czasie rzeczywistym, zwłaszcza na najniższym poziomie.

Na uwagę zasługuje ponadto model firmy DEC (Digital Equipment Corporation), wytwórcy i użytkownika komputerów i oprogramowania dla CIM-u. Model ten, pokazany na rys.7 [4], wykazuje duże podobieństwo do modelu Siemens. Projektant takiego systemu przeprowadza analizę wszystkich działań wytwórczych, dokonuje identyfikacji ich funkcji oraz związanych z tym strumieni danych. Informacje te mogą służyć do zaprojektowania realnego fizycznego systemu.

Bardzo przejrzysty jest model systemu wytwarzania Amherst-Karlsruhe pokazany na rys.8 [4]. Ułatwia on zrozumienie przepływu informacji, działalności decyzyjnej oraz infrastruktury komunikacyjnej w sterowaniu wytwarzaniem. Model został stworzony przede wszystkim dla przebiegów dyskretnych, ale wiele aspektów odnosi się też do procesów ciągłych. Model ten nie obejmuje szeregu działań, które nie dotyczą bezpośrednio produkcji, a więc: badań rynkowych, marketingu, długookresowego planowania, zaopatrzenia oraz finansów. Zakłada się w tym przypadku także to, że system otrzymuje zlecenia i dysponuje wszystkimi środkami niezbędnymi do planowania i sterowania systemu wytwarzania. Pierwszy poziom symbolizuje rozwój i konstrukcję wyrobu, a wynikiem są rysunki konstrukcyjne oraz zestawienia części. Na drugim poziomie odbywa się planowanie, gdzie sporządza się plany technologiczne dla obróbki, montażu i kontroli jakości. Te plany technologiczne wraz z rysunkami, zestawieniami części oraz zleceniami są danymi wejściowymi do planowania produkcji (PPC). Przy pomocy sieci komputerowych oraz po zastosowaniu protokołu MAP (Manufacturing Automation Protocol) wszystkie wymienione aktywności są ze sobą informatycznie połączone. Sterowanie

wytwarzaniem odbywa się w czasie rzeczywistym z pomocą hierarchicznie ułożonego systemu komputerowego. Urządzenia wytwórcze oraz transportowe są nadzorowane przez system zbierania danych. Dane te odzwierciedlają stan systemu wytwarzania i spełniają rolę informacji zwrotnej dla sterowania. Komunikacja na poziomie warsztatu odbywa się poprzez tzw. fieldbus'y.

Ze względu na dzisiejsze oraz przyszłościowe wymagania rynkowe, w których dominuje wielość wariantowa wyrobów, podstawowym problemem systemów wytwarzania jest zagadnienie takiego wykorzystania środków produkcji by wytworzony wyrób był tani, dobry pod względem jakości oraz szybko pojawiał się na rynku. Jest to trudne zadanie, w większości o naturze organizacyjnej. W jego rozwiązywaniu muszą być zastosowane różnorodne metody graficzne, matematyczne i heurystyczne. W rozwiązywaniu tego zadania jedyną realną pomocą może być jak najszerze zastosowanie techniki komputerowej. Na podstawie tego co już powiedziano można twierdzić, iż pomocą w rozwiązywaniu tego zadania może być koncepcja komputerowo zintegrowanego wytwarzania CIM.

Nowe systemy CIM-owskie powstają przy założeniu standaryzowanych interfejsów: do urządzeń produkcyjnych, elementów sieci komunikacyjnych, komputerów i oprogramowania. Największy problem leży w projektowaniu modułowego oprogramowania, które mogłoby być zastosowane w różnych aplikacjach. Już dziś koszty oprogramowania wynoszą 60% kosztów jednego modułu instalacji CIM-owskiej. Przyszłość udanych wdrożeń CIM-owskich będzie zależać od dostępności standaryzowanych komponentów urządzeń i oprogramowania, ale także od programowych narzędzi umożliwiających zestawianie i łączenie tych modułów.

Systemy i procesy wytwarzania są wielowarstwowe i rozwijają się na bazie wieloletnich doświadczeń. Dlatego też nie jest właściwie możliwa budowa i eksploatacja całkowicie zautomatyzowanej fabryki, w której komputer miałby pełną wiedzę, konieczną do prowadzenia takiego przedsiębiorstwa. Komputer może jednak przejąć ogromną ilość zadań, głównie rutynowych. Strategiczne planowanie i sterowanie, a także usuwanie wielu awarii i zakłóceń, muszą wykonywać doświadczeni menedżerowie, dla których komputer będzie jedynie niezbędnym narzędziem.

CIM nie jest i nie będzie lekarstwem na wszystkie bolączki producentów, a jego aplikacja musi być ekonomicznie uzasadniona. Dlatego też często będą stosowane tylko wybrane moduły CIM-owskie, usprawniające pracę przedsiębiorstwa i dające się zintegrować z istniejącym systemem produkcyjnym. Istotą drugiej generacji CIM, jak się niekiedy określa obecne tendencje, nie jest zatem budowa systemów CIM ze złożonym uniwersalnym oprogramowaniem, które trudno dopasować do profilu danego przedsiębiorstwa, lecz opracowanie narzędzi do tworzenia uproszczonych i zdecentralizowanych systemów CIM, umożliwiających łatwą ich modyfikację i rozbudowę w zależności od potrzeb i istniejących w danym okresie i miejscu warunków. Zatem dziś pojmujemy CIM jako narzędzie informatyczno-komunikacyjne służące powiązaniu różnych działów przedsiębiorstwa odznaczających się dużą autonomią.

### **3. LABORATORIUM SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH, FUNKCJE DYDAKTYCZNE I PRACE BADAWCZE**

Jak na to już wskazano we wprowadzeniu, sukces przedsięwzięcia, mimo bardzo burzliwego rozwoju techniki, zależy w decydujący sposób od kwalifikacji i motywacji załogi przedsiębiorstwa. Stwierdzenie to, pojawiające się w literaturze technicznej przy okazji analizy przedsiębiorstw osiągających światowe sukcesy, jest swego rodzaju wyzwaniem dla całego, a w tym przypadku polskiego, systemu edukacji. Z punktu widzenia tematu tego opracowania szczególne znaczenie mają uczelnie techniczne, bowiem obok funkcji edukacyjnej pełnią lub powinny one pełnić rolę naturalnego zaplecza rozwojowego dla przemysłu.

Uświadomienie sobie tych faktów przez tych wszystkich, którzy mają wpływ na istniejący stan edukacji, jest szczególnie ważne, bowiem może być początkiem przeobrażeń zarówno w zakresie nauczania, jak i finansowania badań naukowych i rozwojowych. Generalne zmiany są niekiedy bardzo trudne lub czasem wręcz niemożliwe, ale zmiany wyspowe, jak to często ma miejsce we wdrożeniach niektórych modułów CIM-u, pozwalają uzyskać doświadczenie, dokonać częściowej oceny i w rezultacie ułatwić szersze zmiany.

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji w wyniku realizacji w latach 1990-93 projektu TEMPUS JEP-105 oraz wielu dodatkowych działań i projektów powstało „Laboratorium Systemów Produkcyjnych”. W dalekosiężnym zamyśle miało ono spełniać dwa, związane ze sobą cele. Po pierwsze, miało być ono podstawowym laboratorium dla powołanego w 1990 roku na Wydziale Mechanicznym kierunku studiów „Automatyka i Robotyka”. Po drugie, stanowić podstawową bazę dla badań nad różnymi aspektami nowoczesnych systemów produkcyjnych.

Na rysunku 9 jest pokazany schemat elastycznego systemu wytwórczego, który jest podstawowym wyposażeniem tego laboratorium. Jak łatwo się zorientować, powstały system jest w znacznej mierze profesjonalną realizacją najważniejszych modułów CIM-u. Ta myśl przewodnia była swego rodzaju założeniem przy zestawianiu i kompletowaniu modułów systemu wytwarzania. System ten jest stale uzupełniany i ulepszany, tak iż może on spełniać rolę systemu demonstracyjnego, użytecznego zarówno w kształceniu studentów kilku wydziałów i kierunków studiów, jak i w doszkalaniu kadry przemysłowej na studiach podyplomowych i specjalistycznych kursach.

Uruchomienie tego laboratorium, przy znacznej pomocy projektów finansowanych przez Unię Europejską, doszkalanii oraz stażach pracowników we współpracujących i zaprzyjaźnionych zagranicznych ośrodkach naukowych, pozwoliło na skompletowanie wieloosobowej, młodej, prężnej i interdyscyplinarnej grupy, dla której laboratorium to stanowi bazę materialną do pracy naukowej. Wyniki pracy naukowej takiego zespołu zależą oczywiście od instytucjonalnych, materialnych i finansowych warunków, ale w nie mniejszym stopniu od kreatywności i zaangażowania każdego uczestnika. Bardzo ważne jest także stworzenie warunków, w których choćby początkowo małe sukcesy, wyzwalają konieczny w pracy badawczej entuzjazm.

Urządzenia, maszyny, oprogramowanie, ale także istnienie zespołu badawczego niezbędnej wielkości umożliwiło takie ukształtowanie tematyki badawczej, by objęła ona zasadnicze elementy procesu tworzenia (kreowania, powstawania) wyrobu, a także jego produkcję. Spełniają się w ten sposób dwa zasadnicze wymagania w stosunku do tematyki badawczej uprawianej na wyższej uczelni, którymi są związek badań z uprawianą dydaktyką oraz związek tych badań z przemysłem i tendencjami jego rozwoju.

### **3.1. Rola komputera w procesie konstruowania**

Czynności konstrukcyjne, poczynając od rzemieślniczego wytwarzania w ubiegłym stuleciu aż do współczesnych komputerowo wspomaganych sposobów, przeszły długą ewolucyjną drogę rozwoju. Na rysunku 10 [6] pokazano na osi czasu ważniejsze stopnie tego rozwoju. Jak to widać, powstają dziś metody, by konstrukcyjne powstawanie produktu powiązać z czynnościami prowadzącymi do jego wytworzenia. Na tej drodze spotyka się dość sporo nowości, do których zalicza się nie tylko takie metody jak „Simultaneous Engineering” czy „Concurrent Engineering”, ale przede wszystkim metody prowadzące do budowy informatycznego modelu produktu poprzez np. obiekty elementarne (features) oraz posługiwania się parametrycznie pracującymi systemami CAD.

Na uwagę zasługują też informatyczne modele produktu bazowane na normie STEP (Standard of the Exchange of Product Model Data) ISO-10303. STEP jest wspólną definicją informacji o

modelu wyrobu sformułowaną w neutralnym formacie, tak by dane te mogły być wykorzystywane w całym cyklu życia wyrobu i by modele mogły współpracować z obecnymi i przyszłymi systemami informatycznymi.

Ogólnie konstruowanie, jak to wynika z rys.11, można przedstawić jako proces składający się z pięciu po sobie następujących faz.

*Pierwsza faza* to rozpoznanie potrzeby istnienia produktu. Do takiego wniosku dochodzi się bądź to przez oceną iż istniejący produkt jest niezbywalny na rynku, bądź to przez rozpoznanie iż istnieje zapotrzebowanie na określony produkt u klientów.

*Druga faza* to definicja problemu, rozumiana jako szczegółowa specyfikacja produktu, który ma być skonstruowany. Chodzi tu o określenie cech i własności produktu. Faza ta zawiera też informacje z uwagi na koszt, przepisy i normy, warunki wytwarzania produktu, jakość oraz serwis.

*Trzecia faza* to faza koncepcji, zawierająca zestawienie lub syntezę rozwiązań alternatywnych. Uważa się tę fazę za najbardziej kreatywną i decydującą o kształcie produktu. Synteza konstrukcyjna jest powiązana ściśle z *czwartą fazą*, którą jest analiza. Wnioski wypływające z analizy, przeprowadzanej kilkakrotnie, powinny doprowadzić do optymalnego rozwiązania.

*Piąta faza* to ocena rozwiązania konstrukcyjnego. Schemat oceny powinien zawierać porównanie rozwiązania z warunkami brzegowymi, określonymi w fazie definiowania problemu, ale także ocenę wykonalności produktu oraz jego użyteczności. W przeszłości, a także jeszcze i dziś, konieczne było w tym celu wykonanie prototypu i jego testowanie. Dziś, dzięki technice komputerowej, możliwa jest budowa modelu prototypu w komputerze i jego komputerowe testowanie. Wreszcie rozwiązanie konstrukcyjne, w formie rysunków, podlega dalszej obróbce zmierzającej do przygotowania procesu wytwarzania.

Przez zastosowanie komputera w procesie konstrukcyjnym można wiele czynności zautomatyzować, przy czym poszczególne fazy pozostają niezmienione. Obszary zastosowania komputera w projektowaniu i konstruowaniu można, stosownie do rys.12, podzielić na pięć zakresów: • definiowanie problemu, • geometryczne modelowanie, • techniczna analiza, • ocena rozwiązania konstrukcyjnego, • automatyczne projektowanie.

W fazie definiowania problemu wymagana jest wysoka kreatywność konstruktora, ale komputer może być nieocenioną pomocą, może bowiem prezentować istniejące już podobne rozwiązania i przedstawiać zespoły standardowe.

W fazie geometrycznego modelowania, komputer służy do przedstawienia uproszczonego modelu produktu, a także jego animacji. Własności użytkowe można tu animować na zasadzie trikowego filmu, co pozwala jednak rozpoznać błędy i zaproponować ich korekcję.

Zaproponowane rozwiązania konstrukcyjne wymagają dość obszernej analizy. Taką analizą może być np. modelowanie przy pomocy metody elementów skończonych i obliczenia dynamiczne, statyczne itd. Mogą tu być zastosowane programy symulacyjne, w których można sprawdzać np. przewodność cieplną, zużycie energii, zakłócenia we współpracy z innymi zespołami itp. Ponadto możliwa jest tu optymalizacja, jeśli istnieją tylko obiektywne parametry dla zaproponowanego rozwiązania. Ocena rozwiązania konstrukcyjnego musi zagwarantować, że szereg specjalnych kryteriów będzie dotrzymany. Tymi kryteriami są koszty produkcji, przepisy związane z użytkowaniem produktu itp. W tej fazie sprawdza się też wykonalność projektu, dokładność konstrukcji, kinematykę itd.

W fazie automatycznego projektowania wykonuje się rysunki, by dane konstrukcyjne przekazać do przygotowania produkcji, programowania NC czy najogólniej do wytwarzania. Zastosowanie tu różnych systemów CAD uwalnia konstruktora przede wszystkim od prac rutynowych. Przykładem zastosowania komputera w procesie konstruowania może być system komputerowo wspomaganego projektowania zespołu wrzecionowego opracowany w ITMiA. Struktura tego systemu jest pokazana na rys.13 [7]. Przez odpowiednie opracowanie, dobór oraz wykorzystanie oprogramowania, baz danych czy baz wiedzy, powstała możliwość



konstruowania wrzecion obrabiarek przy użyciu komputera. Podział geometrycznego kształtowania na dwa zabiegi umożliwił prostą analizę wariantową, a wykorzystanie bazy wiedzy, w której zawarte są różnego rodzaju wskazówki konstrukcyjne zaczerpnięte z doświadczeń, prowadzi do właściwego rozwiązania.

Przykładem systemu do kształtowania i obliczania prowadnic ślizgowych obrabiarek jest system powstały w ramach realizacji międzynarodowego projektu Copernicus [8]. W systemie tym konstruktor jest wspomagany komputerem nie tylko podczas geometrycznego kształtowania, ale także podczas przechodzenia od modelu 2D do obliczeniowego modelu niezbędnego w metodzie elementów skończonych. Na rysunku 14 pokazany jest model obliczeniowy MES-u dla określenia odkształceń stykowych. Do modelowania łoża i sań obrabiarki użyto tu elementów powierzchniowych i objętościowych, natomiast strefę styku modelowano elementami prętowymi. Bez zastosowania komputera oraz dość skomplikowanego oprogramowania tego rodzaju obliczenia byłyby niemożliwe.

Jeszcze innym systemem wykorzystywanym w procesie projektowo-konstrukcyjnym, w którym komputer odgrywa rolę kluczową, jest system pokazany na rys.15 [9]. Jest to system ekspertowy, który został opracowany w Instytucie Technologii Maszyn i Automatyzacji. System ten ma umożliwić racjonalne kształtowanie śrubowych połączeń korpusów obrabiarek, w którym stosunkowo duża liczba czynników decyduje o wynikowej sztywności połączenia. System ten jest implementowany na sprzęcie klasy IBM/PC i pracuje w środowisku Windows. Sam system ekspertowy składa się z bazy wiedzy, bazy danych oraz z mechanizmu wnioskującego. Jako narzędzia do jego budowy przyjęto ogólny, szkieletowy system NEXPERT Object w.3.0 amerykańskiej firmy Neuron Data. Rolę systemu CAD pełni tu AutoCAD, który integruje kształtowanie w oparciu o system wiedzy i obliczenia. Założono także wykorzystanie mechanicznej nakładki programowej, rozszerzającej możliwości systemu AutoCAD, którą stanowi program GENIUS. Ważnym składnikiem tego systemu są elementy pomocnicze w formie graficznej bazy danych oraz graficznej bazy wiedzy.

### 3.2. Symulacja

Bardzo wydajnym środkiem, pomocniczym w całym procesie powstawania i wytwarzania wyrobu, może być symulacja. Dość długo przemysł bronił się przed stosowaniem symulacji, traktując ją jako egzotyczne narzędzie, przydatne co najwyżej w badaniach akademickich. Tym bardziej, że do przeprowadzania symulacji potrzebne są komputery o stosunkowo dużej mocy obliczeniowej. W ostatnich latach sytuacja uległa jednak korzystnej zmianie, gdyż nawet zwykłe komputery osobiste mają sporą moc obliczeniową, nie mówiąc już o stacjach komputerowych czy łączeniu się, dzięki sieci, z superkomputerami. Systemy symulacyjne stały się także znacznie bardziej przyjazne w użyciu. Dzięki zastosowaniu symulacji można już we wczesnej fazie powstawania produktu lub planowania jego wytwarzania rozpoznać różne błędy, których usunięcie w późniejszych fazach byłoby kosztowne i czasochłonne. Symulacja, przez zastosowanie iteracyjnego procesu optymalizacyjnego, może się też przyczynić do poprawy produktu oraz procesu wytwarzania. Symulacja przyczynia się też do oszczędności np. w budowie prototypów.

Na rysunku 16 [10] przedstawiono zastosowania symulacji we wszystkich fazach cyklu życia produktu. Dzięki komputerom dużej mocy wynik symulacji pojawia się w formie ruchomych obrazów. Stosuje się też symulację w czasie rzeczywistym, zwłaszcza wówczas gdy użytkownik ma mieć możliwość interaktywnej interwencji. W procesie wytwarzania symulację wykorzystuje się do weryfikacji przygotowanych przebiegów obróbki, zwłaszcza badań kolizyjności obrabiarek czy robotów. Symulacja może wskazać na ewentualne „wąskie gardła”, stopień obciążenia poszczególnych maszyn itp., co pozwala na ocenienie określonego przebiegu, czy użytego urządzenia, od strony ekonomicznej. Wprowadzając celowo

zakłócenia można badać, jak w takich warunkach będzie się zachowywało urządzenie lub proces.

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji opracowano program symulacyjny dla zbadania jakości programowania robota w systemie off-line. Programowanie takie wprowadza się w robotach głównie dla jego zalet w porównaniu z programowaniem on-line. Programowanie off-line ma zalety zwłaszcza wówczas, gdy nie tylko samo programowanie, ale także testowanie programu, odbywa się poza liniami produkcyjnymi. Stosowane programy symulacyjne umożliwiają graficzną animację ruchów, sprawdzenie i zoptymalizowanie programów sterowania robotami, dla rozpoznania kolizji, a ponadto mogą być użyte do planowania gniazd obróbkowych obsługiwanych przez robot.

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji opracowano system symulacji, którego koncepcję pokazano na rys.17 [11]. Program symulacyjny opracowany został przy pomocy systemów CAD. Właściwa symulacja jest swego rodzaju aplikacją systemu AutoCAD, przy czym stosuje się tu język High C Metware. System symulacyjny jest używany do automatycznego generowania programów robotycznych, co odpowiada technice CAD/CAM dla robotów. System jest też używany do testowania nowych algorytmów sterowania i programowania robotów o redundantnych kinematykach.

Przykładem symulacji są szkice na rys.18 [12], gdzie pokazano kolejne fazy symulowanego ruchu robota dwuramiennego. Roboty o redundantnych kinematykach wzbudzają coraz więcej zainteresowania, bowiem spełniają cały szereg założeń dodatkowych, jak: omijanie przeszkód, zachowanie określonego zakresu wychyleń w przegubach, itd. Dla takich robotów opracowano w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji nowy algorytm sterowania, a także koncepcję programowania przy pomocy języka tekstowego, który rozszerza stosowane języki standardowe.

### 3.3. Integracja systemów CAD i CAM

Jak to wyżej pokazano, dzięki wspomaganie komputerowemu w obszarze konstruowania wyrobu, uzyskuje się zasadniczą zmianę w pracy konstruktora. Istnieje możliwość wykonywania wielu czynności w jednym miejscu i w znacznie krótszym czasie, nie mówiąc już o możliwościach różnorodnych obliczeń i analizie dużej liczby wariantów czy optymalizacji rozwiązania.

Rynek, a zwłaszcza jego globalizacja, stawia przed producentami bardzo duże wymagania, nie tylko natury kosztowej ale zwłaszcza czasowej. Jednym z istotnych miejsc, w których można skrócić czas jaki upływa od pomysłu do gotowego wyrobu, jest etap przygotowania produkcji, do którego wchodzi cały proces konstruowania i uruchamiania produkcji. Na rysunku 19 przedstawiono dwa różne podejścia do tego etapu. Tak zwane podejście sekwencyjne, jeszcze ciągle powszechnie stosowane, oraz podejście równoległe, w którym poszczególne kroki uruchamiania produkcji zachodzą częściowo na siebie. Ten drugi sposób może być jednak stosowany wówczas, gdy zamiast dokumentów „papierowych” zostanie użyty komputer, jako narzędzie informacyjne, dzięki któremu raz zarejestrowana informacja może być odpowiednio przetwarzana, magazynowana i udostępniana w dowolnym miejscu i czasie.

Równoczesne opracowywanie konstrukcyjne i technologiczne produktu (Concurrent Engineering) nie tylko znacząco skraca czas przygotowywania produkcji, ale eliminuje dodatkowe prace związane z wprowadzaniem poprawek i zmian, będących wynikiem nietechnologiczności konstrukcji lub dostosowania rozwiązań konstrukcyjnych do technologicznych możliwości zakładu. Jest to jedna z zasadniczych zalet projektowania współbieżnego. Wymusza on kreatywne współdziałanie zespołu konstruktorów, technologów i materiałoznawców, ale także osób z działów marketingowych, zaopatrzenia i zbytu. Jest to szczególnie ważne w świetle badań stwierdzających, że charakterystyczne dla procesów

przygotowania produkcji jest to, że wiedza o produkcie oraz odpowiedzialność za koszty przesuwały się coraz bardziej na wczesne stadia tego procesu. Oznacza to, że swoboda decyzji maleje wraz z postępującym procesem powstawania produktu (rys.20) [10]. Cenne i ważne są zatem prace mające na celu opracowanie metod i systemów pozwalających na projektowanie kompleksowe, i to zarówno w obszarze konstrukcji, technologii, jak i planowania procesów wytwórczych.

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej opracowano już częściowo system projektowania współbieżnego dla technicznego przygotowania produkcji [13], którego strukturę przedstawiono na rys.21. Za podstawowy pakiet oprogramowania wybrano moduły CAD/CAM firmy CIMLINC wraz z otwartym programowalnym integratorem LINKAGE. Integrator ten wykorzystując funkcje UNIX-a, uzupełnione odpowiednim językiem oprogramowania, umożliwia tworzenie własnych aplikacji o właściwościach systemu projektowania współbieżnego. Cechą charakterystyczną, będącą jednocześnie koniecznym warunkiem efektywnego działania systemu, jest możliwość pracy w sieci wszystkich członków zespołu powołanego do realizacji konkretnego projektu. Fizycznie osoby te mogą znajdować się w tradycyjnej strukturze organizacyjnej biura konstrukcyjnego czy też technologicznego. Logicznie zaś poszczególne osoby będą jednak przypisane do konkretnego projektu.

Opracowana dokumentacja i programy są zapisywane w odpowiednich plikach lub mogą być składane w relacyjnych bazach danych, opatrzonej stosownym kodem projektu, znanym wszystkim członkom zespołu. Tak oprogramowany system pełni rolę typowego modułu EDM (Engineering Data Management), umożliwiającego tworzenie, zarządzanie i przetwarzanie danych opisujących procesy wytwórcze. Moduły systemu, a w szczególności formularze użytkownika, stanowią praktyczne przewodniki, które są wypełniane lub modyfikowane przez współpracujących ze sobą projektantów.

Trzeba sobie zdawać jednak sprawę z tego, że wdrożenie tej metodyki wymaga wielu zmian organizacyjnych, dysponowania odpowiednimi środkami informatycznymi, ale także zmiany mentalności współpracowników. Integracja istniejących narzędzi komputerowych rozpoczęła się już w latach 80-tych i dzisiaj na rynku pojawiają się systemy softwarowe, które mają budowę modułową. Zawierają one podstawowe moduły zarówno z zakresu konstruowania, jak i opracowania przygotowania produkcji. Składniki przyszłościowego miejsca pracy konstruktora i projektanta produkcji pokazane są bardzo schematycznie na rys.22 [14]. Ujęte tu narzędzia są przydatne zarówno w konstruowaniu, jak i przygotowaniu produkcji. Realizacja tak pomyślanego miejsca pracy umożliwiłaby przeprowadzenie całego procesu powstawania wyrobu, począwszy od listy wymagań co do cech produktu, aż po wygenerowanie danych niezbędnych do wyprodukowania wyrobu.

### **3.4. Planowanie i sterowanie produkcją**

Krótkie terminy realizacji zleceń, oraz ich dotrzymanie, są obok kosztów i jakości najważniejszymi czynnikami, które zapewniają konkurencyjność przedsiębiorstwa. Terminowość wykonania zlecenia, zwłaszcza przy realizacji wielu różnorodnych zadań wykonawczych, nie jest sprawą prostą i musi się opierać o określony system planowania i sterowania produkcją. Funkcje takiego systemu PPC (Product Planing Control) pokazano na rys.23 [15]. Podstawą planowania i sterowania produkcją jest zarządzanie odpowiednimi danymi, tak by były one aktualne, właściwe i poprawne. Z jednej strony jest to problem organizacyjny, z drugiej zaś techniczny w sensie składowania i przetwarzania danych. W przeszłości systemy PPC były odwzorowaniem hierarchicznych struktur organizacyjnych, co uniemożliwiło szybkie reakcje na pojawiające się zakłócenia. Dziś, wobec możliwości jakie stwarzają rozproszone bazy

danych, kompetencje decyzyjne mogą być zdecentralizowane, co znacznie skraca czas reakcji na ewentualne zakłócenia.

Funkcje planowania zawierają w sobie planowanie programu produkcji, planowanie ilościowe oraz planowanie terminowości i wydajności. Natomiast zadania sterowania można podzielić na zarządzanie zleceniami oraz nadzorowanie zleceń. Dla różnych rodzajów produkcji stosuje się różne metody planowania i sterowania, w zależności od tego jaki jest horyzont planowania, spektrum produktów czy posiadane zasoby. Zakresy zastosowania niektórych najbardziej znanych metod pokazano na rys.24 [15].

Nie wchodząc w szczegóły innych, w większości dość znanych metod, trzeba zwrócić uwagę na tzw. system kierowania wytwarzaniem (SKW), który odznacza się dużą elastycznością, zwłaszcza w zakresie produkcji jednostkowej i małoseryjnej, jest skutecznym narzędziem do poprawy wydajności i terminowości realizacji zleceń, a więc do skrócenia czasu wytwarzania. Ponadto wdrażanie bardzo rozbudowanych i kosztownych systemów informatycznych PPC jest związane ze sporym ryzykiem inwestycyjnym i dlatego wiele przedsiębiorstw, zwłaszcza małych i średnich, szuka rozwiązania prostszego, jakim jest system kierowania wytwarzaniem. Obecne systemy kierowania wytwarzaniem stanowią nie tylko funkcjonalne uzupełnienie, ale także swego rodzaju alternatywę do już istniejących i wdrażanych systemów PPC.

W hierarchicznej pięciopoziomowej strukturze przetwarzania danych odnoszących się do wytwarzania, pokazanej na rys.25 [16], system kierowania wytwarzaniem obejmuje poziomy 3 i 4. Obok modelu pięciopoziomowego pokazano iż system kierowania otrzymuje dane z poziomu planowania, przetwarza je i przekazuje na poziom sterowania gniazdami produkcyjnymi. Ale system przyjmuje także informacje z różnych poziomów i przekazuje je do poziomu najwyższego. Szczegółowe funkcje, które spełnia system kierowania wytwarzaniem, zostały zamieszczone na rys.26 [16].

Zadaniem w module planowania dokładnego jest dokonanie swego rodzaju optymalizacji kolejności obróbki, przy czym kryteriami mogą być najkrótsze czasy trwania operacji, zmniejszenie czasu przezbierania maszyny lub czasu trwania wymiany narzędzi. Obok takiego zoptymalizowania realizacji zleceń musi być dokonana rezerwacja odpowiednich środków produkcji, a więc narzędzi i przyrządów. Równoległe do rezerwacji środków produkcji musi przebiegać sterowanie przepływem materiału, tak by półwyroby i elementy obrabiane były dostarczone i odtransportowane dalej do właściwych miejsc i we właściwym czasie. Nadzorowanie procesu ułatwia jego odpowiednia wizualizacja, dzięki której obsługa łatwo śledzi bieżący stan i ma możliwość przekazywania dodatkowych poleceń, a przy zakłóceniach może podjąć środki ich usunięcia. Obok tych klasycznych funkcji, system kierowania wytwarzaniem musi zawierać też funkcje zapewnienia jakości, utrzymania na ruchu wszystkich urządzeń, ale także diagnozowania ich stanu. Funkcje zapewnienia jakości i utrzymania na ruchu są wspomagane przez odpowiednie funkcje oceny także statystyczne.

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatyk opracowywany jest w ramach międzynarodowego projektu (Copernicus) pod tytułem „Adaptable Low-Shop Floor Control System” adaptowalny system do planowania sterowania wytwarzaniem, przeznaczony głównie dla średnich przedsiębiorstw [7]. System ten jest przygotowywany wraz z Instytutem Sterowania Urządzeniami Wytwórczymi Uniwersytetu w Stuttgarcie oraz Katedrą Automatyk Technicznego Uniwersytetu w Pradze. Opracowywany system kierowania wytwarzaniem ma być tani i adaptowalny, co uzyska się przez odpowiednią strukturę oraz standardy programowe. Na rysunku 27 pokazano funkcjonalne moduły systemu. Aby system ten, znajdujący się obecnie w fazie realizacyjnej, był oparty na rzeczywistych danych, przeprowadzono stosunkowo dokładną analizę trzech różnych zakładów budowy maszyn z Polski, Czech i Słowacji. Przed wdrożeniem systemu w przemyśle zostanie dokonana jego implementacja w Laboratorium Systemów Produkcyjnych Instytutu Technologii Maszyn i Automatyk.

### 3.5. Komputerowo wspomagane zarządzanie pomocniczymi środkami produkcyjnymi

Aby uzyskać wysoki stopień organizacji procesów wytwarzania i montażu niezbędne jest dostarczenie we właściwym czasie i we właściwe miejsce jednoznacznie zdefiniowanych danych nie tylko o przedmiocie obrabianym i maszynach wytwórczych, ale także danych o narzędziach obróbkowych, środkach pomiarowych oraz uchwytach. W przedsiębiorstwie zarządzanie pomocniczymi środkami produkcyjnymi można podzielić na 5 zakresów funkcyjnych, co widać dobrze na rys.28 [4]. W każdym z tych zakresów można ponadto wyróżnić szereg zadań szczegółowych, które muszą być wykonane jeśli proces produkcyjny nie ma ulec zahamowaniu lub przerwaniu.

Jeśli ograniczyć się tylko do narzędzi obróbkowych to jest jasne, że w każdym przypadku musi powstać swego rodzaju struktura zarządzania narzędziami, gdyż stanowią one jeden z czynników mających decydujący wpływ na harmonogram wykonywania zleceń produkcyjnych. Ta struktura lub System Zarządzania Gospodarką Narzędziową zależy od stanu organizacji i struktury przedsiębiorstwa. Jednakże w każdym przedsiębiorstwie można rzeczywisty obieg narzędzi przedstawić jak na rys.29 [17]. Zawiera on procedury związane z fizycznym obiegiem narzędzi. Można na tej podstawie zauważyć, jak skomplikowane zależności muszą być odwzorowane w systemie informatycznym, w którym każda z komórek biorąca udział w przepływie narzędzi musi mieć dostęp do określonych danych, a ponadto należy zapewnić spójność i aktualność danych w skali całego przedsiębiorstwa. Oznacza to, że system informatyczny musi ujmować odpowiednie dane, udostępniać je uprawnionym jednostkom i przeprowadzać aktualizację danych w taki sposób by zagwarantować ich bezpieczeństwo i jednoznaczność.

W opisywanym już laboratorium CIM-u budowany i badany jest informatyczny system obiegu narzędzi, a jego schemat pokazano na rys.30. Obok obrabiarek, w których stosowane są narzędzia obróbkowe, można wyróżnić urządzenie do mierzenia narzędzi, a także bazę danych systemu gospodarki narzędziowej, w której gromadzone są zarówno harmonogramy użycia narzędzi, jak i ich wymiary rzeczywiste. Poprzez sieć komputerową system sterowania wytwarzaniem stosownie do zleceń, generuje harmonogramy użycia narzędzi i uwzględniając wymiary ich rzeczywiste (zmierzone) przesyła je do bazy danych, skąd są pobierane i przesyłane do obrabiarek.

### 3.6. Zapewnienie jakości

Problem zapewnienia jakości zajmuje w działaniach produkcyjnych centralne miejsce. Zadania zapewnienia jakości polegają na tym, by już w czasie konstruowania zwracać uwagę na jakość i by w czasie wytwarzania uzyskano żądaną jakość. Klient oraz otoczenie rynkowe ustalają standardy jakości, a efektywność zapewnienia jakości zależy od tego, w jakim stopniu może być ona zintegrowana z całym procesem wytwarzania. Działania dla zapewnienia jakości muszą być też bardzo ściśle związane z serwisem i sprzedażą wyrobu.

Na rysunku 31 [18] pokazano schematycznie otoczenie i cele przetwarzania danych w zarządzaniu jakością. Celem jest wytworzenie jakościowo lepszego wyrobu, którego produkcja ma przebiegać szybciej, być elastyczniejsza, tańsza i wydajniejsza. Środki wiodące do tego to informacja i wiedza, praca w zespole oraz komputerowe przetwarzanie danych.

W zarządzaniu jakością stosunkowo wcześniej rozpoznano, że właśnie komputer może być tym właściwym narzędziem do wspomagania działań w zakresie poprawy jakości wyrobu. Może on sterować stanowiskiem do prób, nadzorować proces, zbierać dane i dokonać ich oceny itp. Największą wartość komputera polega na jego zdolności do zintegrowania wszystkich działań jakościowych w całym procesie wytwarzania.

Problematyka zapewnienia jakości, w sensie zarządzania, staje się w nowoczesnym przedsiębiorstwie coraz bardziej kompleksowa. Odnosi się to zwłaszcza do działów rozwoju wyrobu, w których stosuje się szereg metod zapobiegających produkcji o niskiej jakości. W wielu metodach, jak np. TQM (Total Quality Management) istnieje potrzeba, a nawet konieczność, współpracy wszystkich działów i poziomów przedsiębiorstwa. Natomiast przy stosowaniu takich metod jak FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) czy QFD (Quality Function Deployment) współpraca ta musi być rzeczywiście praktykowana.

W Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji, w ramach laboratorium CIM-u, są prowadzone dość intensywne prace, których celem jest opracowanie systemu zapewnienia jakości w zintegrowanym wytwarzaniu, zgodnie z zaleceniami norm ISO serii 9000. W szczególności badania koncentrują się na modułach CAQ (Computer Aided Quality), obejmujących swym zasięgiem zarządzanie i nadzorowanie środków pomiarowych, planowanie jakości, statystyczną kontrolę procesu, planowanie i przeprowadzanie kontroli jakości, a także zarządzanie zleceniami kontroli jakości czy ocenę danych uzyskanych z kontroli jakości. Budowany system tworzy tzw. pętlę jakości (Quality Loop - ISO9004) pokazane na rys.32 [19]. Poszczególne elementy tej pętli wiążą ze sobą etap projektowania CAD, opracowania technologii CAD/CAM, wytwarzanie i kontrolę. Statystycznie przetworzone, zmierzone wartości pozwalają w tej pętli na nadzorowanie stabilności procesu wytwarzania. Metody statystyczne SPC (Statistical Process Control) zyskały na znaczeniu, dzięki wspomaganemu komputerowo, gdyż cała analiza wyników pomiarowych została uproszczona i przyspieszona. Wspomaganie komputerowe nie ogranicza się przy tym tylko do etapów procesu wytwarzania, ale jest istotne na wszystkich stopniach pętli jakości i należy dziś do podstawowych elementów systemu zapewnienia i zarządzania jakością.

### 3.7. Sieci komunikacyjne w automatyce wytwarzania

Obecna sytuacja w przemyśle odznacza się tym, iż mamy do czynienia z szeregiem urządzeń zautomatyzowanych, w większości pracujących w systemie „wyspowym”, nie powiązanych komunikacyjnie zarówno w układzie pionowym jak i poziomym. W komputerowo zintegrowanych systemach wytwarzania komunikacja spełnia centralną rolę, a wybór systemu komunikacyjnego decyduje w znacznym stopniu o sprawności i niezawodności całego przedsięwzięcia.

Jak to już powiedziano wyżej, istotą tzw. drugiej generacji CIM są lub będą zdecentralizowane systemy o strukturach segmentowych, w których realizowane procesy zachodzą możliwie w pełni w poszczególnych jednostkach organizacyjnych (rys.33) [20]. W jednostkach tych są realizowane funkcje podobne do realizowanych w ramach poszczególnych, tradycyjnie ukształtowanych systemów (PPC, CAD, CAM, CAQ, DNC, BDE), lecz o odpowiednim dla określonej jednostki wyspecjalizowaniu. Szczegółowe dane produkcyjne mogą być przechowywane w odpowiednich gniazdach, a tylko dane o starcie i zakończeniu procesu powinny być przekazywane do lub z wyższych poziomów.

Różnorodność stosowanego w praktyce sprzętu, oprogramowania, interfejsów, przesyłanych danych, wymagań związanych z procesami komunikacji, krytycznych ograniczeń (np. praca w czasie rzeczywistym) wskazuje na to, że jedynym rozsądnym rozwiązaniem dla systemów automatyki jest zastosowanie rozproszonego przetwarzania danych. Przyjęcie konwencji zdecentralizowanej struktury systemu wymaga zapewnienia określonych mechanizmów komunikowania się urządzeń przetwarzających. Dotyczy to zarówno problematyki sprzętowej i oprogramowania jak i protokołów wymiany informacji.

Cechą charakterystyczną komputerowo zintegrowanych systemów wytwarzania CIM jest wysoki stopień ich integracji i automatyzacji. Oznacza to między innymi powszechne zastosowanie w tych systemach sieci komputerowych, rozproszonego przetwarzania danych, a

także wykorzystanie metod sztucznej inteligencji i systemów zarządzania rozproszonymi bazami danych.

Technice komunikacyjnej, przeznaczonej dla potrzeb automatyzacji wytwarzania, stawianych jest szereg wymagań, które zależnie od zastosowań mogą być bardzo różnorodne. Na rysunku 34 [20] pokazano strukturę komunikacyjną przedsiębiorstwa, gdzie widoczny jest wyraźny podział na trzy obszary:

- obszar między planowaniem a kierowaniem produkcją, jest to zakres zastosowania sieci biurowej,
- obszar między kierowaniem produkcją a gniazdami produkcyjnymi, połączony siecią typu backbone,
- obszar między poziomem gniazd a poziomem procesu, połączony siecią typu Fieldbus, która łączy poszczególne urządzenia automatyzacji.

Od poziomu planowania przez poziom kierowania (zarządzania) aż do poziomu gniazd, wymagana jest transmisja dużej liczby danych o złożonych strukturach, przy czym przepustowość jest tu ważniejsza niż praca w czasie rzeczywistym. Przykładem tego rodzaju komunikacji jest transmisja danych z systemu CAD do systemu planowania CAP. Sieć komputerowa na tych górnych poziomach musi łączyć różne działy i umożliwiać dostęp do sieci rozległych WAN (Wide Area Network), aby można było wymieniać dane z filiami przedsiębiorstwa i z klientami czy dostawcami. Natomiast na dolnych poziomach, od poziomu sterowania gniazdem, przez poziom sterowania maszynami do poziomu czujników czy układów wykonawczych, jest przenoszonych mniej danych o prostszych strukturach. Wymagane jest natomiast zachowanie ścisłych warunków czasowych. Rozprzestrzenienie segmentów sieci jest przy tym mniejsze w porównaniu z górnymi warstwami.

Wymaganiem, które w jednakowym stopniu dotyczy wszystkich poziomów, jest bardzo duża niezawodność. Podobnie jak w innych zastosowaniach, technika komunikacji rozwija się w kierunku systemów otwartych, które odpowiadają standardom i są wspomagane przez wielu producentów.

Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, wraz z Przemysłowym Instytutem Automatyki Przemysłowej oraz innymi podwykonawcami, realizuje projekt zamawiany pt.: „Sieciowe systemy komunikacyjne integrujące automatyzację wytwarzania”, którego celem jest opracowanie struktur, metod i modułów otwartego systemu komunikacji dla potrzeb integracji procesów wytwarzania i automatyki przemysłowej. W wyniku tych prac zostanie opracowana metodyka wdrażania takich systemów komunikacji na przykładzie rozwiązań pilotażowych. Podejmuje się też działania dla upowszechnienia wiedzy w tej dziedzinie oraz utworzenie swego rodzaju ośrodków doradczych dla wdrażania otwartych systemów komunikacji w przemyśle krajowym.

Bazując na wyposażeniu Laboratorium Systemów Produkcyjnych (LSP), które zawiera najważniejsze moduły CIM-u (rys.9), już obecnie następuje faza realizacyjna implementacji systemu komunikacyjnego jako układu pilotażowego. Na rysunku 35 pokazano strukturę fizyczną budowanej pilotażowej sieci komunikacyjnej. Poszczególne składniki systemu wytwarzania to:

- centrum frezarskie CXM32 z układem sterowania SINUMERIK 840C i kartą interfejsową MAP/MMS,
- model systemu wytwórczego, z nadrzędnym komputerem klasy IBM PC wraz z siecią miejscową PROFIBUS, łączącą sterowniki przemysłowe PLC typu PEP Smart I/O,
- system sterowania i kontroli procesów ciągłych, z nadrzędnym komputerem klasy IBM PC i oprogramowaniem SCADA (Paragon TNT) wraz z siecią PROFIBUS,
- gniazdo montażowe z nadrzędnym komputerem klasy PC i oprogramowaniem SCADA (Paragon TNT) oraz systemem magistralowym CAN,
- współrzędnościowa maszyna pomiarowa CMM ze stacją roboczą HP715/33 oraz

- model systemu wytwórczego z siecią miejscową InterBus-S.

Nie wchodząc w szczegóły tej sieci komunikacyjnej, opisanej w innych pracach publikowanych na tej konferencji, warto chyba zauważyć iż jest to sieć, która umożliwia z jednej strony demonstrację różnych modułów obecnie najbardziej rozpowszechnionych, ale także prowadzenie badań stosunkowo różnorodnych elementów otwartego systemu komunikacji, przeznaczonych do integracji procesów wytwarzania.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Automatyzacja ma strategiczne i kluczowe znaczenie dla technologicznego poziomu techniki wytwarzania, co schematycznie wynika z rys.36. Przyczyny automatyzacji wytwarzania leżą w pierwszym rzędzie w dążeniu do zmniejszenia zatrudnienia, a przez to do obniżania kosztów wytwarzania. Znaczną, pozytywną rolę, odgrywa też oddziaływanie automatyzacji na jakość wytwarzania, zmniejszenie zużycia energii, a także zwiększenie wykorzystania maszyn i urządzeń wytwórczych.

Tylko wzrost automatyzacji może podołać rozrastającej się kompleksowości procesów produkcyjnych, a równocześnie zapewnić dostatecznie szybką reakcję na potrzeby rynku. Automatyzacja odznacza się wysokim stopniem innowacyjności, zachodzącym głównie w wyniku gwałtownego rozwoju mikroelektroniki. Albowiem przy jej pomocy można w nowoczesnej fabryce rozwiązywać problemy, które wcześniej, przy użyciu konwencjonalnej techniki, nie były w ogóle możliwe do rozwiązania lub przy ogromnym nakładzie czasu i kosztów.

Kamieniem milowym w wytwarzaniu był rozwój obrabiarek i maszyn technologicznych sterowanych komputerowo. Komputer sterujący programem obróbki jest połączony z obrabiarką poprzez układy sensorów, systemów pomiarowych i regulujących. Programy obróbkowe CNC mogą być dziś w sposób automatyczny tworzone z danych CAD lub przez obsługę, przy znacznym wspomaganie komputerowym. Ponadto, większość procesów w przedsiębiorstwie można dziś symulować przed bezpośrednim zastosowaniem oraz optymalizować. Bazy wiedzy dążą do tego, by ludzką zdolność do rozwiązywania problemów odtworzyć w komputerze.

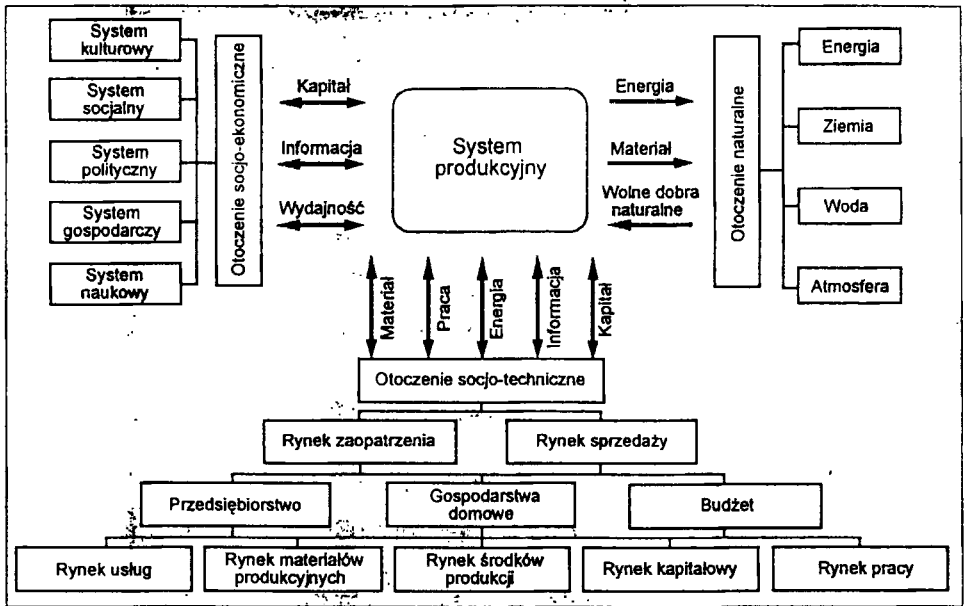
Od pewnego czasu obserwuje się także rosnące znaczenie oprogramowania w stosunku do znaczenia hardware'u. Ważny punkt ciężkości w automatyzacji wytwarzania tworzą sieci informatyczne. Przyszłościowe systemy dążą w kierunku informatycznej integracji rozproszonych pętli regulacyjnych. Ograniczając się tylko do przedsiębiorstwa zadaniem przemysłowej techniki informatycznej jest integracja wszystkich działań tam zachodzących (rys.37) [21]. Obejmuje ona problemy od komputerowo wspomaganiej konstrukcji, projektowania i sterowania procesami wytwarzania i montażu aż do zapewnienia jakości, ale także fabryczną rachunkowość, wspomaganie sprzedaży i zaopatrzenia czy wreszcie systemy informatyczne wspierające organizację i zarządzanie.

Narzędzia przemysłowej techniki informatycznej sięgają od prostego przetwarzania tekstu poprzez moduły grafiki, geometrii i technologii aż do banków danych, systemów dyspozycyjnych, metod przetwarzania wiedzy oraz sieci komunikacyjnych. Jeśli przemysł polski ma uczestniczyć w globalnej konkurencji i dążyć do integracji z gospodarką europejską, to problematyka, którą w sposób niepełny poruszyłem w tym referacie, musi znaleźć swoje odbicie w edukacji i tematyce badań naukowych.

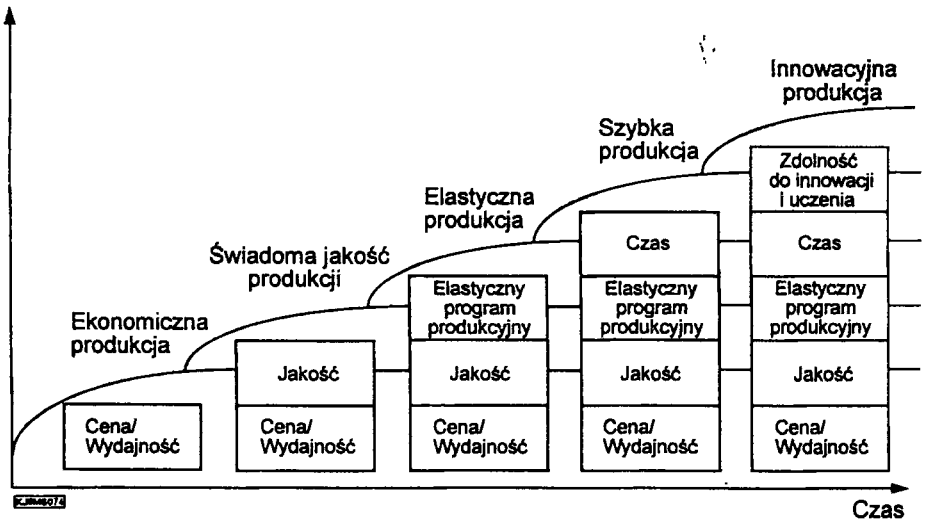


## LITERATURA

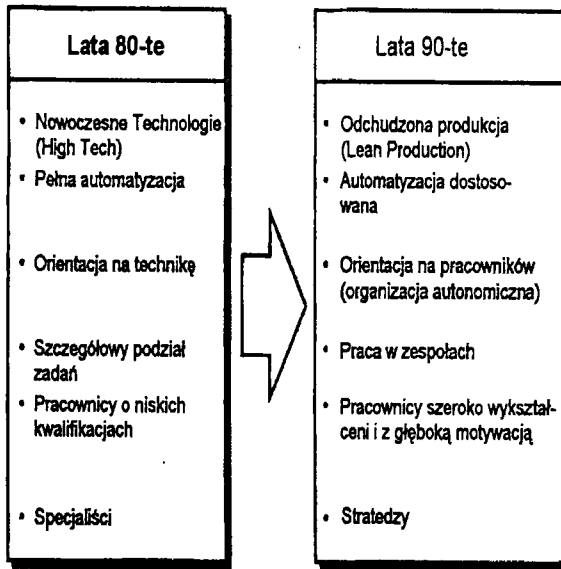
- [1] Office of Science and Technology Policy „National Critical Technologies”. Government Report, Washington DC: The White House, March 1991
- [2] Spur G.: *Marktführerschaft als Managementaufgabe*. Produktionstechnisches Kolloquium, Berlin 1995
- [3] Hammer H.: *Innovative Produktentwicklungsprozesse bei Bearbeitungszentren und Fertigungssystemen*. Produktionstechnisches Kolloquium, Berlin 1992
- [4] Rembold U., Nnaji B.O., Storr A.: *Computer Integrated Manufacturing and Engineering*. Addison-Wesley Publishing Company Inc. 1993
- [5] Nabold Ch.: *CIM-Bausteine: Stand und Perspektive*, Technische Rundschau Nr 22, 1989
- [6] Krause F.-L.: *Konstruktionstechnik*, Zwf 89 (1994)
- [7] Koch J.: *Von der Konstruktion zur Produktion*. Machine Tools, Automation and Robotics in Mechanical Engineering MATAR-PRAHA'96
- [8] Heisel U., Bach P., Chlebus E., Dybała B., Fried M., Izykowski St., Koch J., Repetzki S., Rudolf B., Sykora P., Talacko J., Weck M.: *CAD-FEM-Anwendung bei der Entwicklung von Gleitführungsbaugruppen*, wt - Produktion und Management 86 (1996) 50-56
- [9] Izykowski St.: *Zastosowanie systemów ekspertowych w procesach projektowo-konstrukcyjnych maszyn i urządzeń wytwórczych*. II Konferencja Naukowa - Komputerowe Wspomaganie Prac Inżynierskich, Szklarska Poreba'95, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 1995
- [10] Krause F.-L.: *Leistungssteigerung der Produktionsvorbereitung*. Produktionstechnisches Kolloquium, Berlin 1992
- [11] Koch T., Kowalczewski P., Szypicyn A., Dutkowiak M.: *Automated robot program generation using the simulation system for robotised workcell*. International Conference on Computer Integration Manufacturing, Zakopane 1994
- [12] Koch T.: *Programowanie redundantnych robotów przemysłowych*. Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej Nr 62, Seria: Monografie Nr 18, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1996
- [13] Chlebus E., Kozera M.: *Integration von CAx-Techniken in der Arbeitsvorbereitung und Prozessplanung*. Machine Tools, Automation and Robotics in Mechanical Engineering MATAR-PRAHA'96
- [14] *Der Konstruktionsarbeitsplatz der Zukunft-Vom Entwurf zur NC-Programmierung*. Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium, Aachen'93, VDI Verlag, Düsseldorf 1993
- [15] Eversheim W.: *Organisation in der Produktionsstruktur, Band 1 Grundlagen*. VDI Verlag, Düsseldorf 1990
- [16] *Leittechniken für flexible Fertigungssysteme*. Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium, Aachen'90, VDI Verlag, Düsseldorf 1990
- [17] Petersen R.: *Papierlose Datenübertragung*. Wissenschaft und Technik, Nr 7/8, 1992
- [18] *Innovative Software-Technologien im Qualitätsmanagement*. Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium, Aachen'93, VDI Verlag, Düsseldorf 1993
- [19] Koch T., Dziuba R., Jednoróg A., Zadrozny R.: *Komputerowo wspomaganie zapewnienie jakości CAQ*. Techniczne Aspekty Zapewnienia Jakości - Seminarium, 23-24 styczeń 1996, Wrocław
- [20] Koch J., Reiner J., Smalec Z., Trzciniński P.: *Kommunikationskonzept einer Pilotanlage im CIM Labor des Institutes für Fertigungstechnik und Automatisierung*. International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Zakopane Mai 14-17 1996
- [21] Krause F.-L.: *Industrielle Informationstechnik*. Zwf 89 (1994)



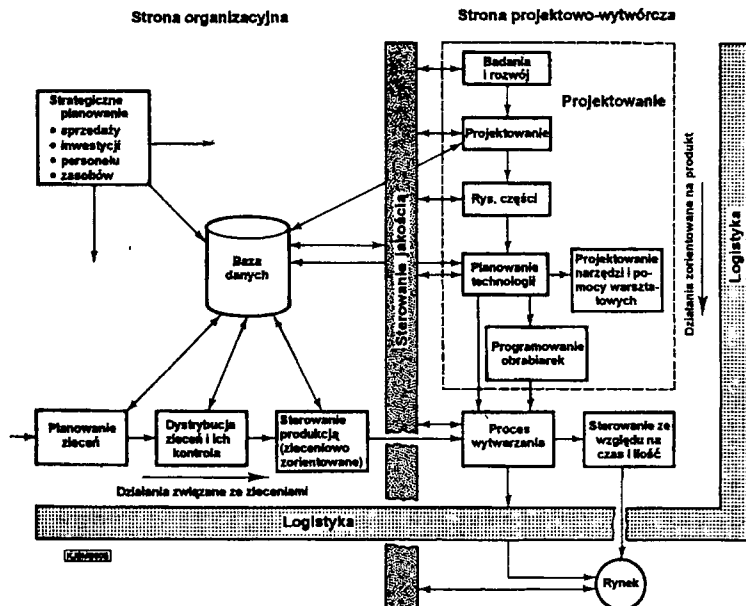
Rys.1 Otoczenie systemu produkcyjnego



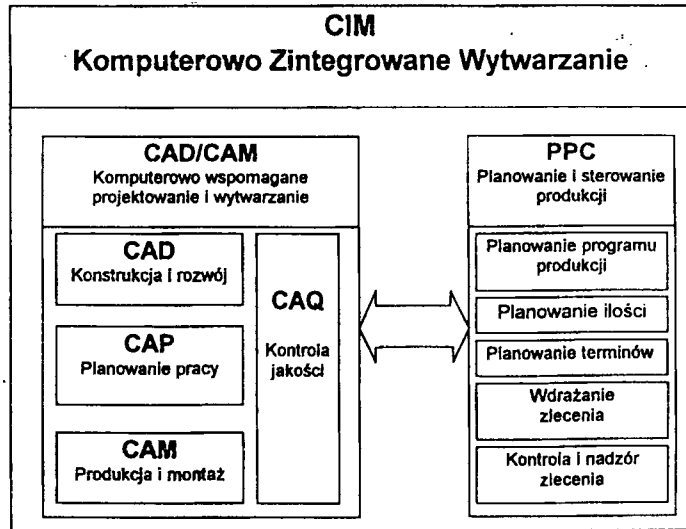
Rys.2 Evolucja produkcji jako następstwo zmieniających się żądań rynku



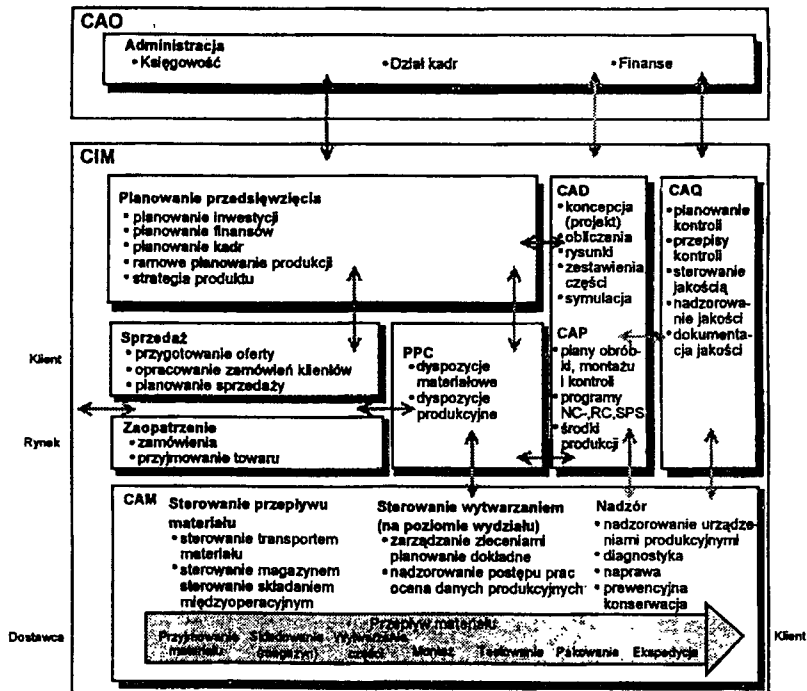
Rys.3 Przewartościowanie akcentów w technikach wytwarzania

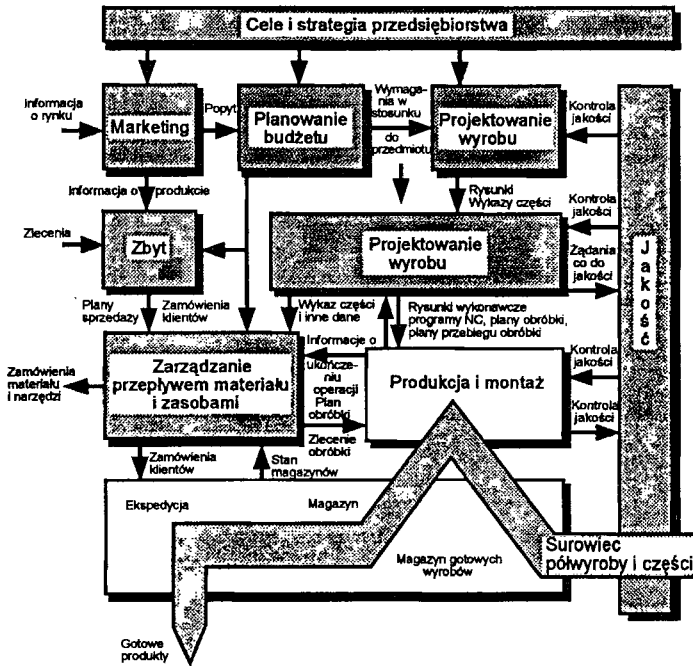


Rys.4 Przedsiębiorstwo produkcyjne jako przedsięwzięcie organizacyjno-inżynierskie



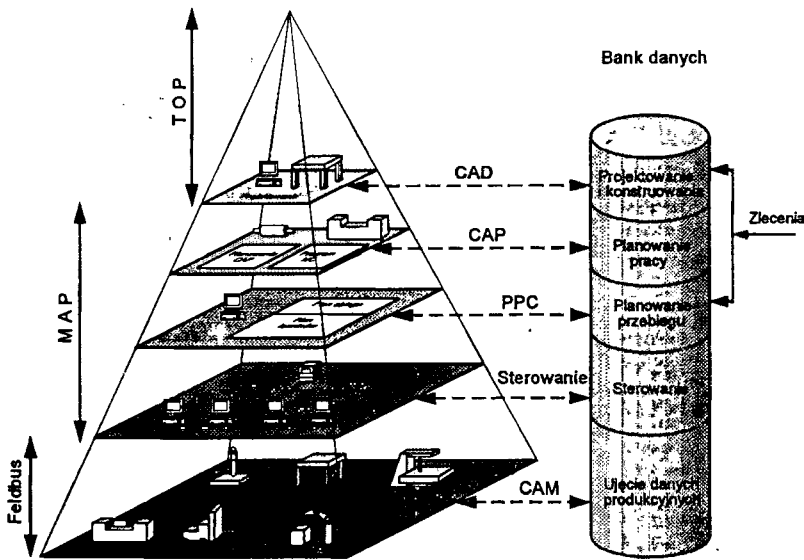
Rys. 5. Składniki systemu CIM



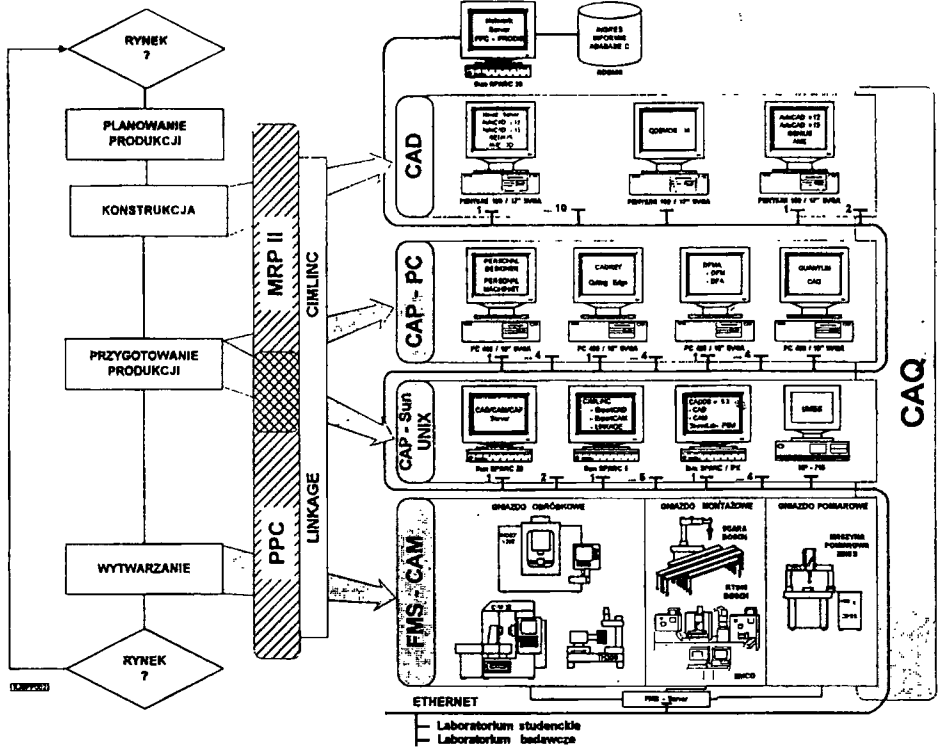


Rys.7 Model CIM-u wg Digital Equipment Corporation

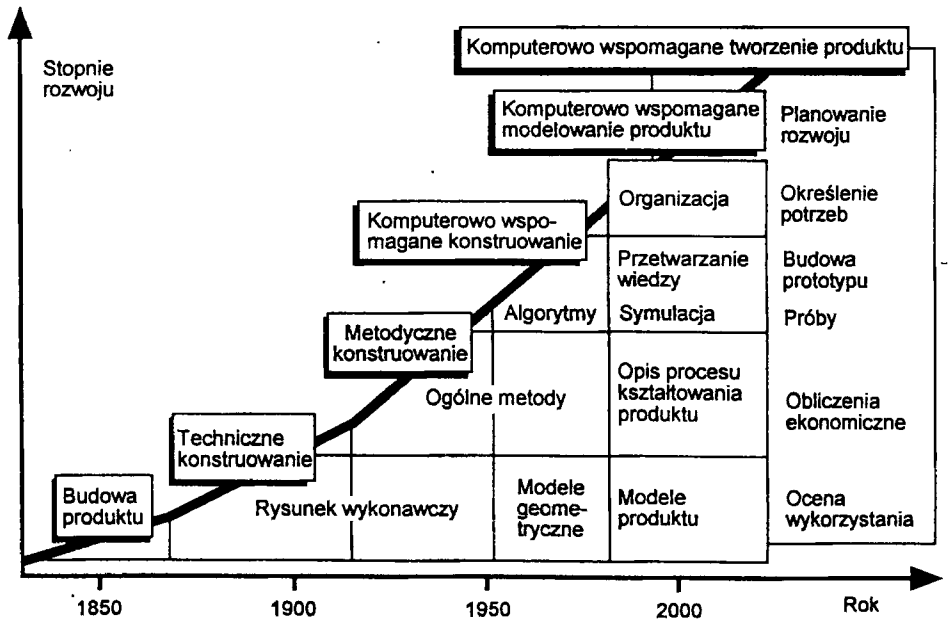
Techniczne planowanie i sterowanie



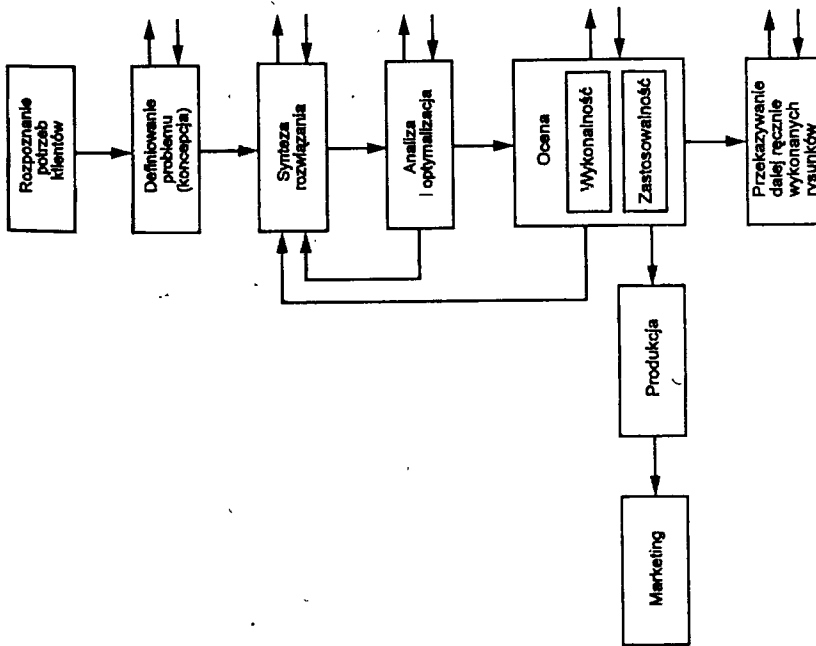
Rys. 8 Hierarchiczna koncepcja struktury planowania i sterowania



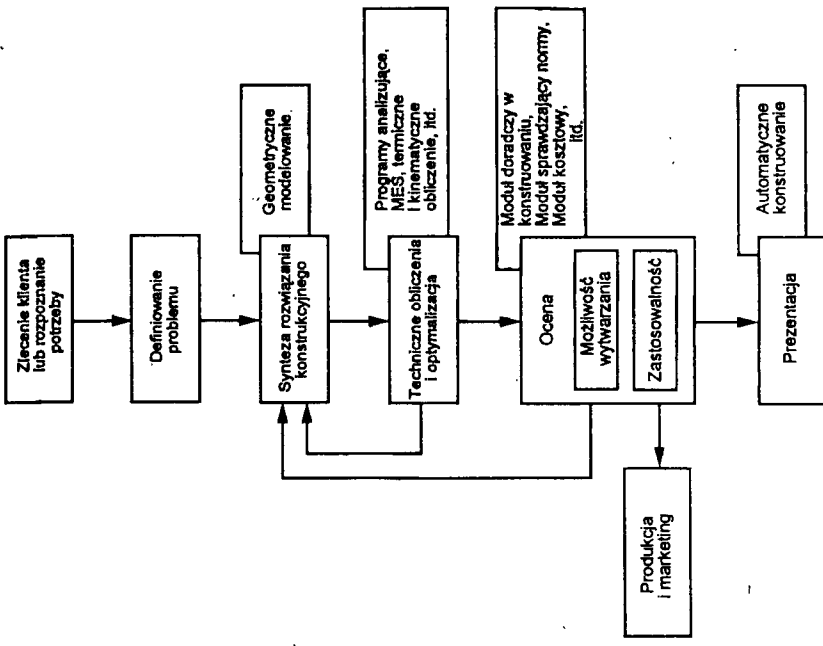
Rys. 9. Elastyczny System Produkcyjny



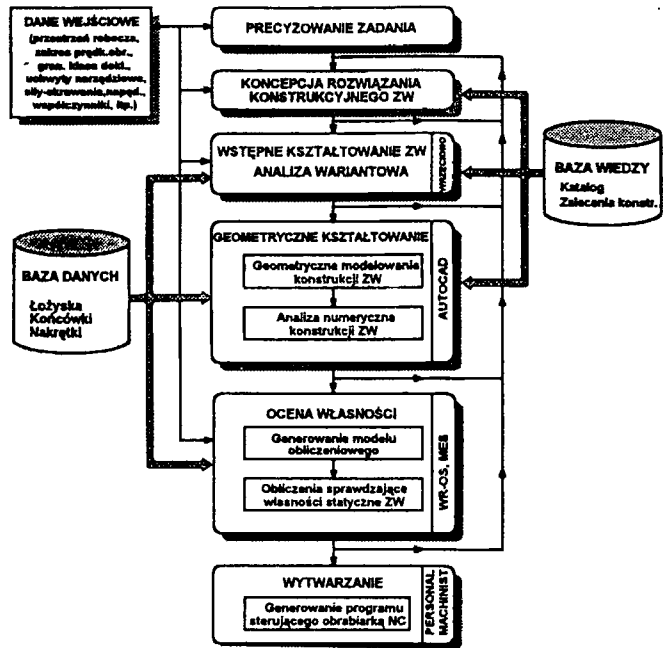
Rys.10 Ewolucja modelowania produktu



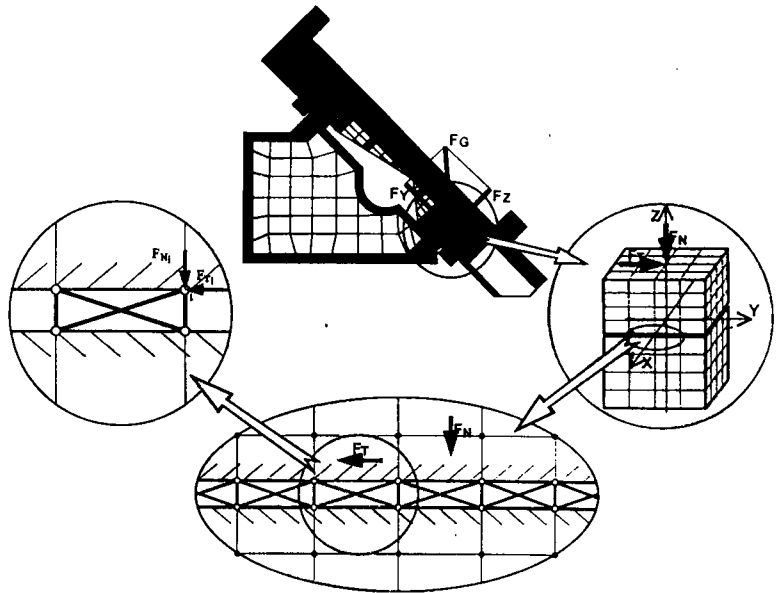
Rys. 11 Schematyczne przedstawienie faz procesu konstruowania



Rys. 12 Zastosowanie komputerów w procesie konstruowania

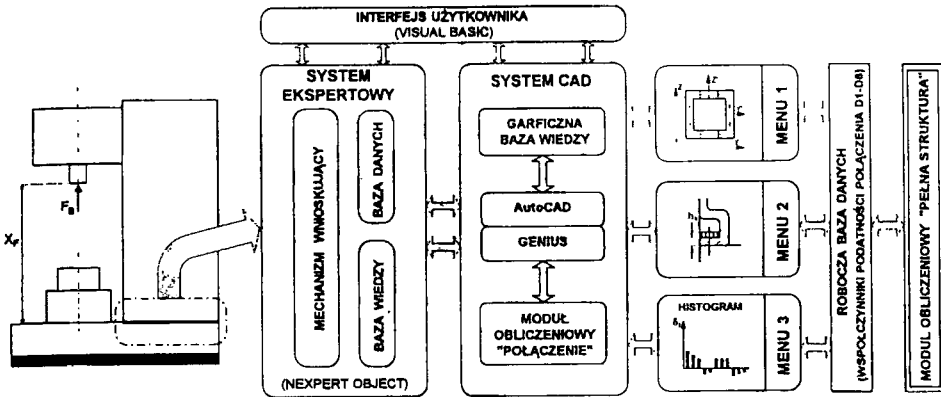


Rys.13 Struktura systemu konstruowania wrzeciona



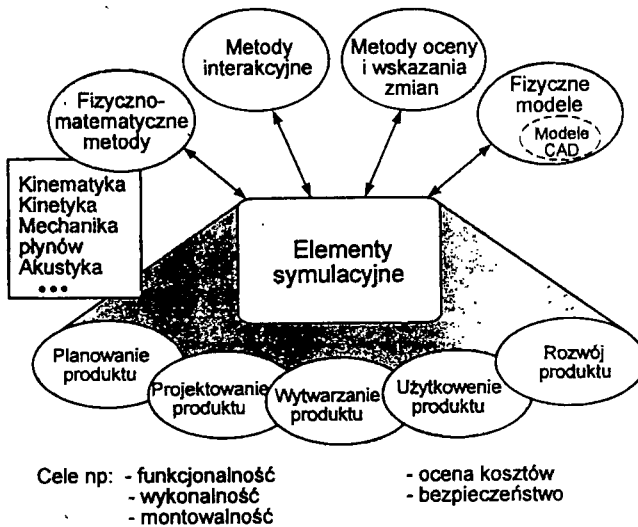
Rys. 14. Model obliczeniowy MES połączeń przewodniczych ślizgowych





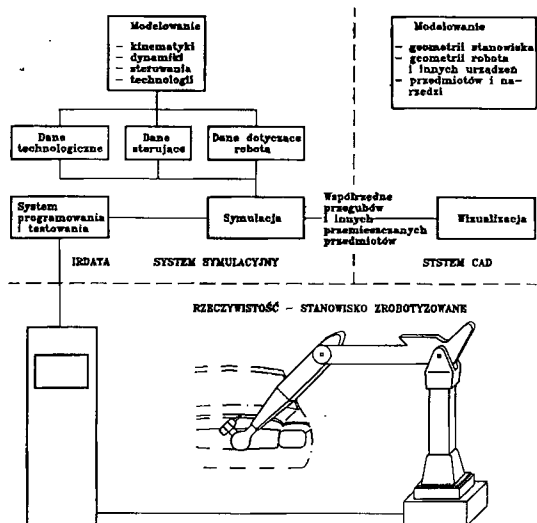
ISAPP011

Rys. 15. Struktura użytkowa konstrukcyjnego systemu ekspertowego

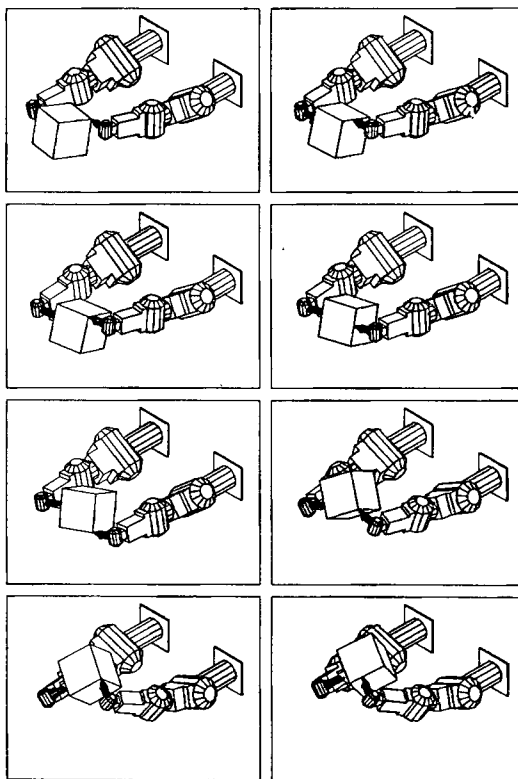


Rys.16 Zastosowanie symulacji w przygotowaniu produkcji

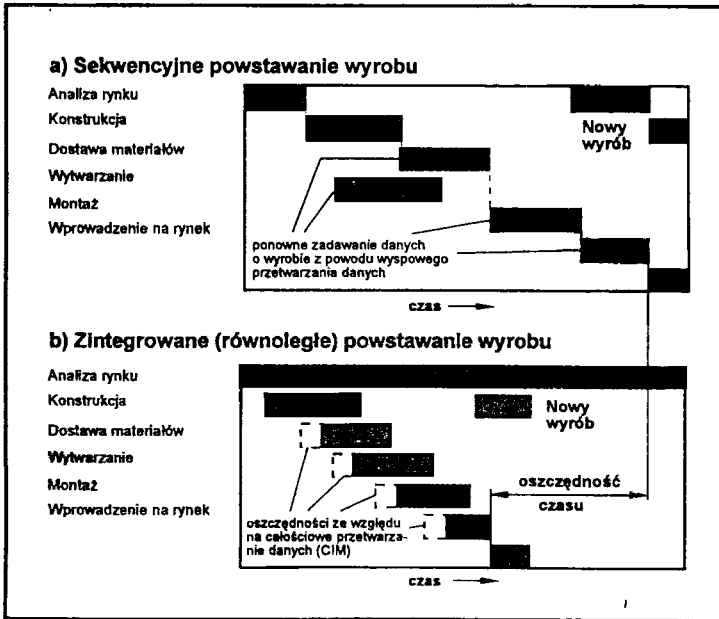
LS-03107



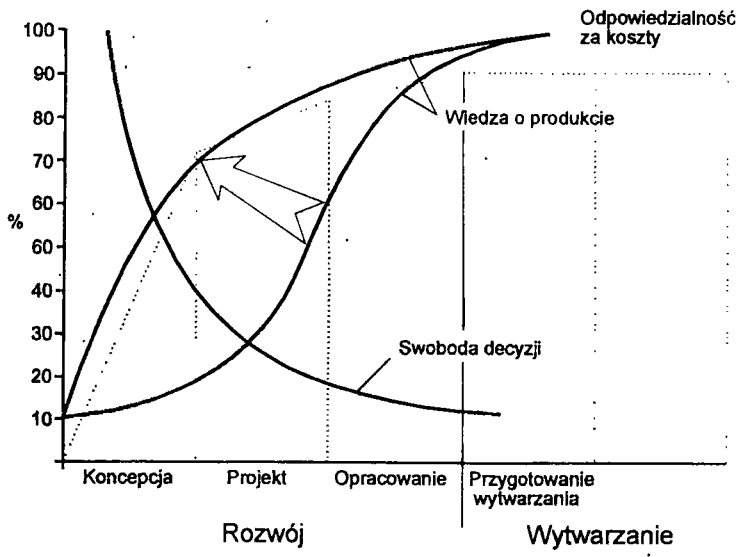
Rys. 17 Koncepcja systemu symulacji stanowiska zrobotyzowanego



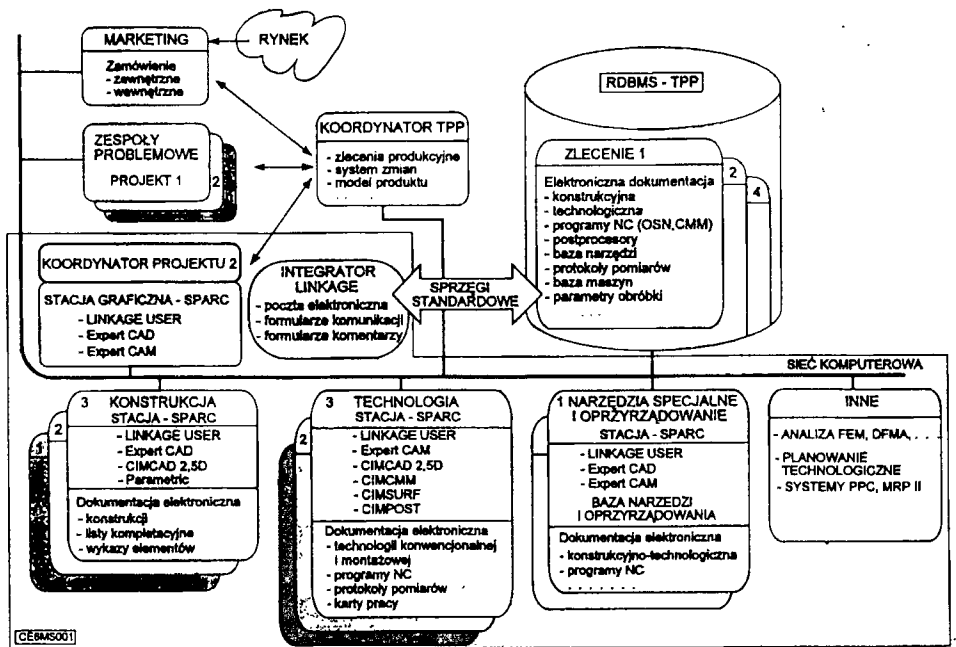
Rys. 18 Kolejne fazy symulowanego ruchu robota dwuramiennego



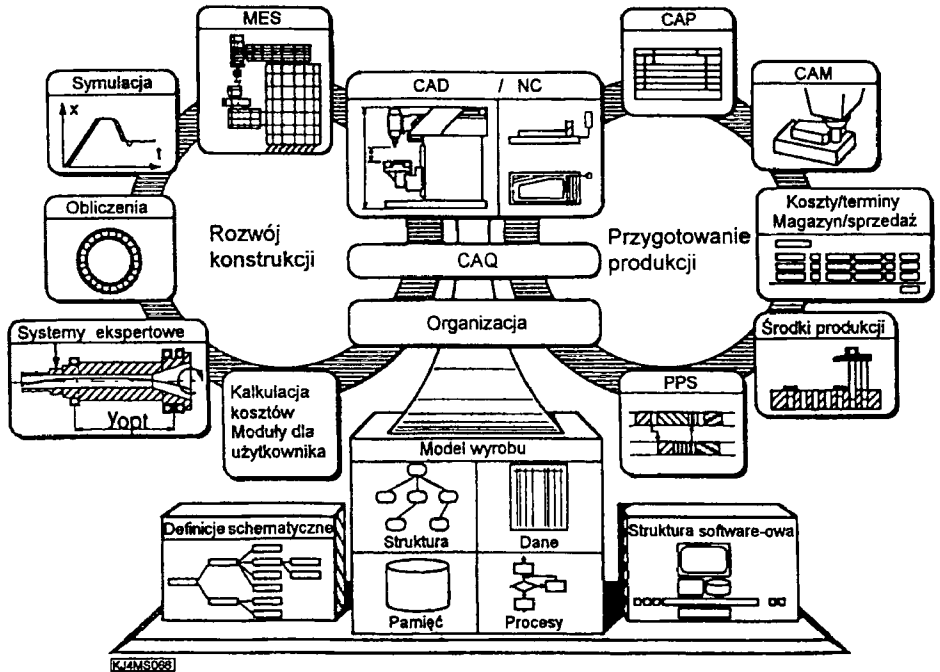
Rys. 19 Oszczędności czasowe spowodowane zintegrowaną produkcją i całościowym przetwarzaniem danych



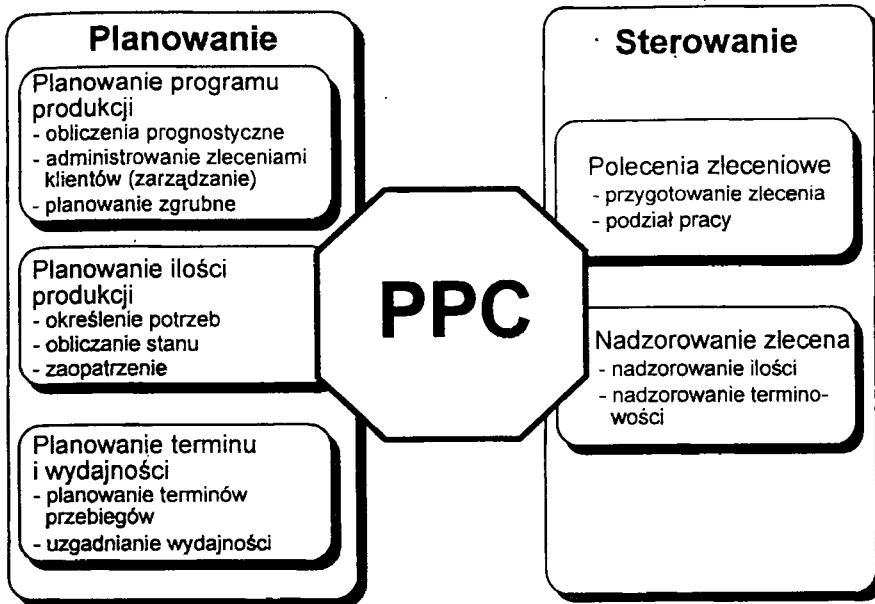
Rys.20 Wiedza o produkcie, możliwość decyzji oraz odpowiedzialność za koszty



Rys. 21 Struktura systemu do współbieżnego projektowania opracowana na bazie integratora LINKAGE



Rys. 22 Składniki miejsca pracy konstruktora / technologa



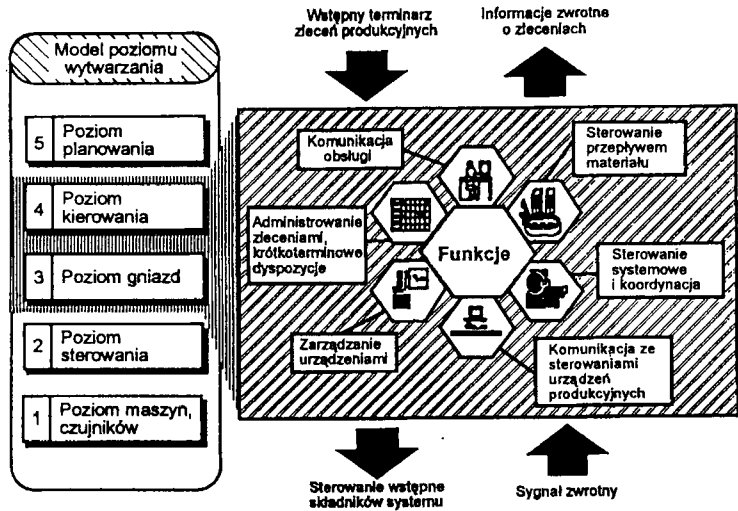
Rys. 23 Funkcje planowania i sterowania produkcją

Rodzaj wytwarzania		Wytwarzanie jednostkowe	Wytwarzanie seryjne	
			Wytwarzanie małoseryjne	Wytw. wieloseryjne
Rodzaj przebiegów wytwarzania		Wytwarzanie podzespołów	Wytwarzanie seryjne wielo-wariantowe	Wytwarzanie seryjne mało-wariantowe
Rodzaje urządzeń	Pojedyncze obrabiarki		Stanowisko kierowania wytwarzaniem	MRP I + II
	Gniazda obróbkowe			
Zasada przepływu	Wytwarzanie grupowe	KANBAN		
	Wytwarzanie w liniach			MRP I + II

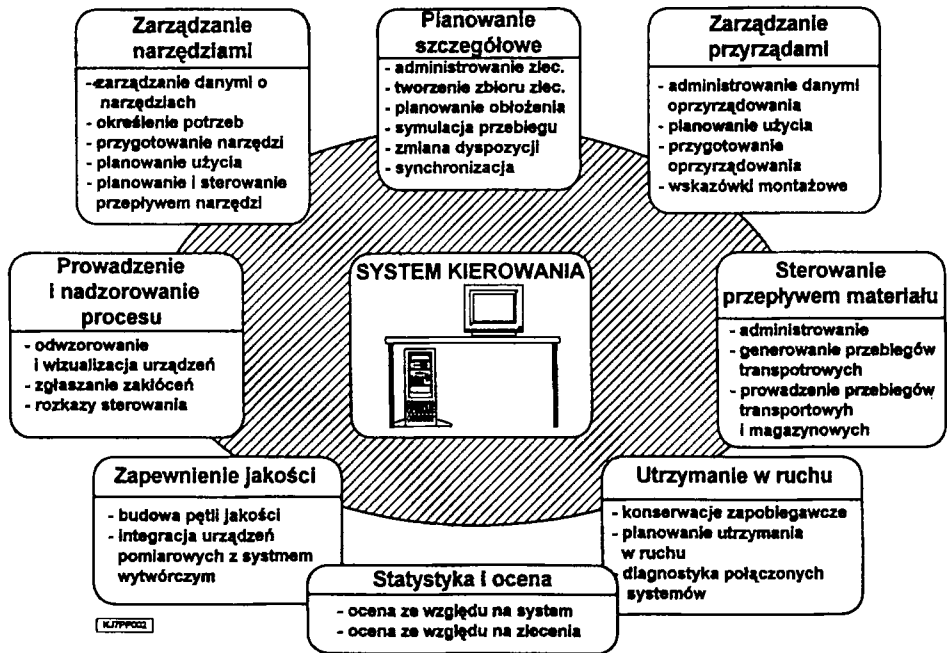
Legenda: MRP I: Material Requirement Planning  
 MRP II: Management Resources Planning  
 OPT: Optimized Production Technology

Rys.24 Zakresy stosowalności metod wg Busch'a

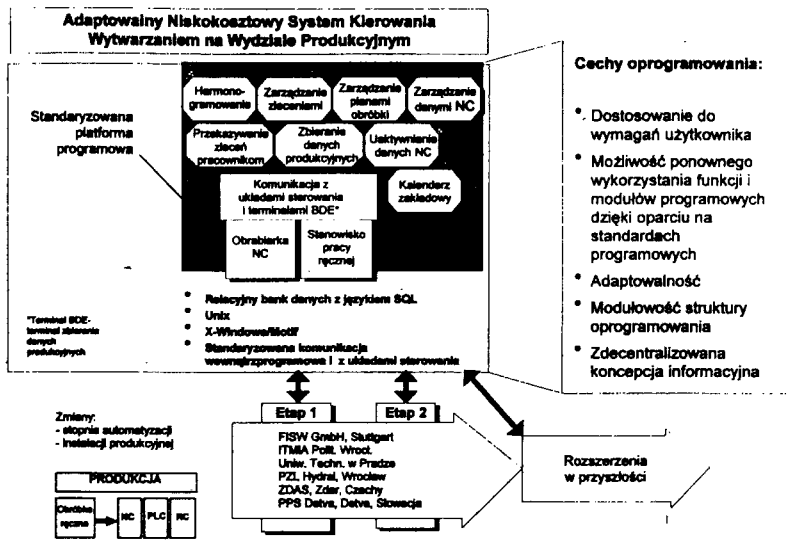
- poziom 5: poziom planowania (Enterprise/Plant-Level),
- poziom 4: poziom kierowania (Section/ Area/Facility- Level),
- poziom 3: poziom gniazd (Cell-Level),
- poziom 2: poziom sterowania (Station-Level) i
- poziom 1: poziom maszyn, czujników (Equipment-Level)



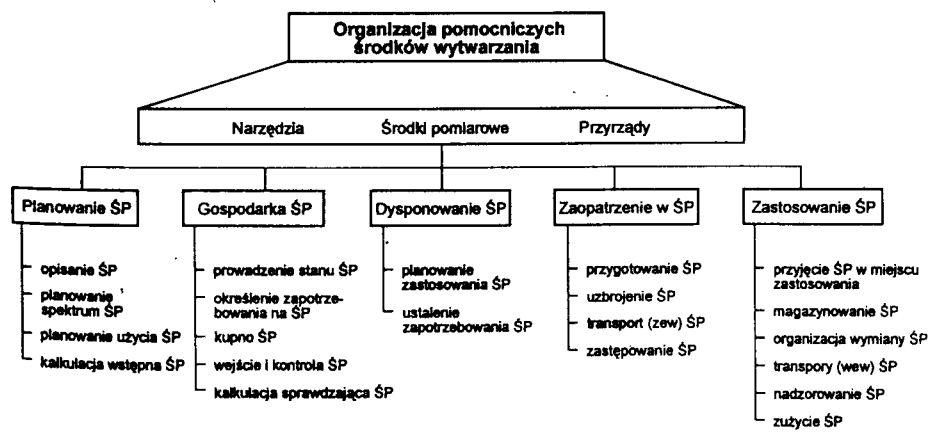
Rys. 25 System kierowania produkcją w hierarchii poziomów wytwarzania



Rys. 26. Funkcje systemu kierowania

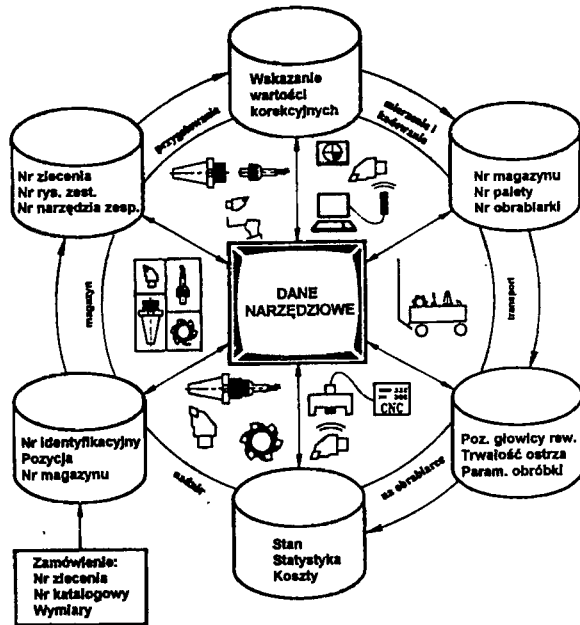


Rys. 27 Zamierzenia, cele i funkcje realizowanego w ramach projektu "COPERNICUS" Systemu Kierowania Wytwarzaniem

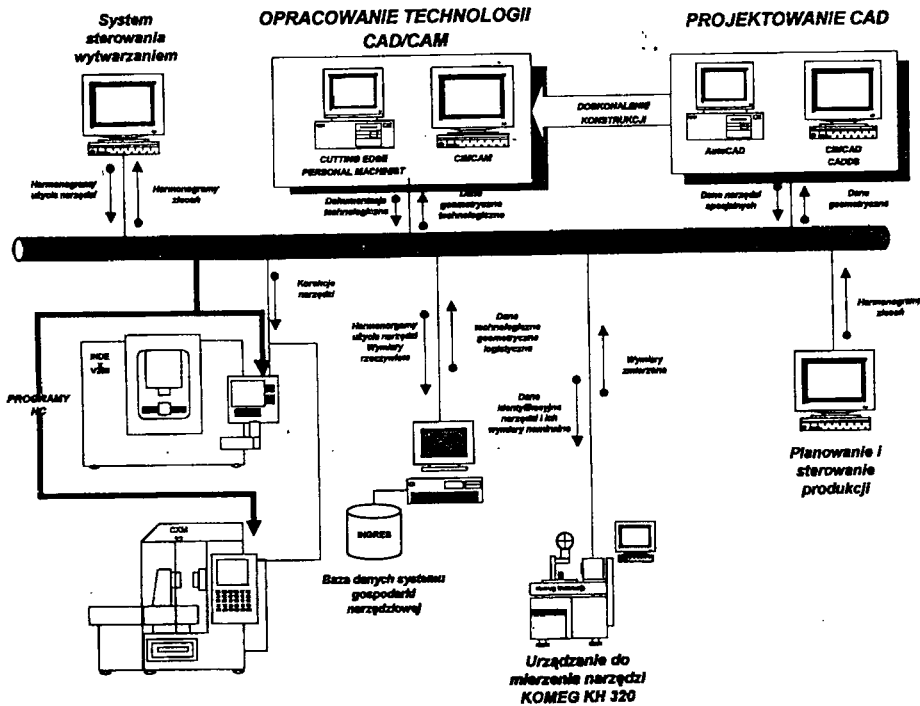


ŚP- środki pomocnicze

Rys.28 Organizacja pomocniczych środków wytwarzania

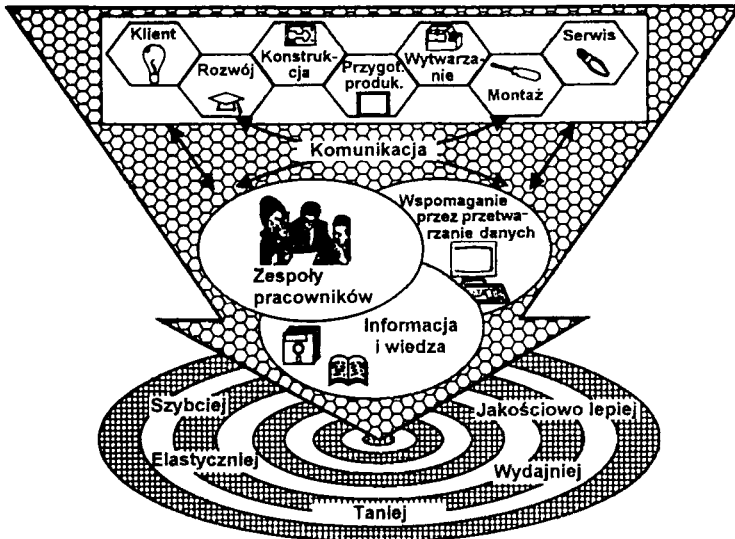


Rys. 29 Obieg narzędzi w zintegrowanym wytwarzaniu

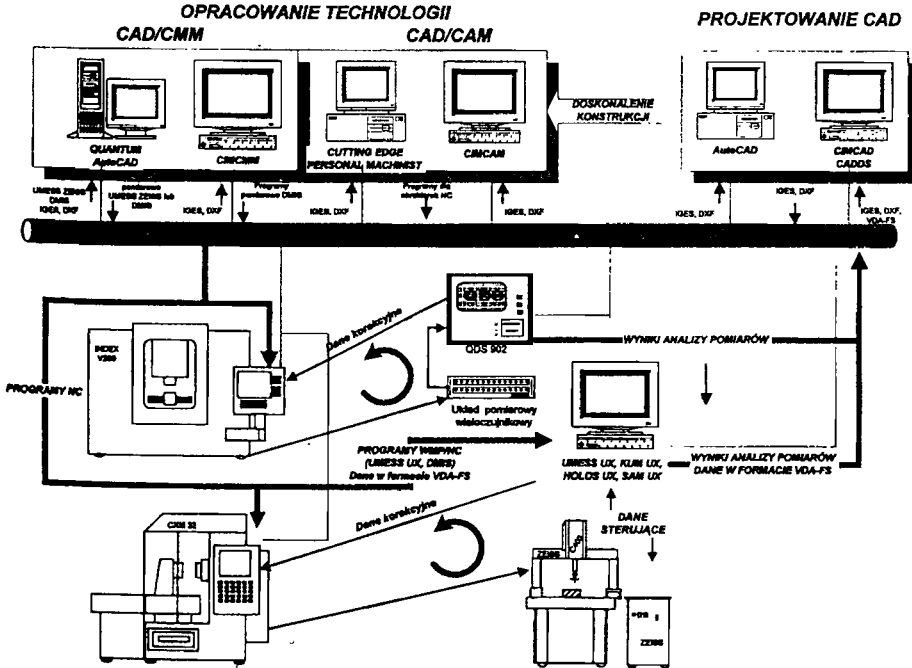


Rys 30. Obieg informacji związanych z komputerowo wspomaganą gospodarką narzędziową w laboratorium CSP

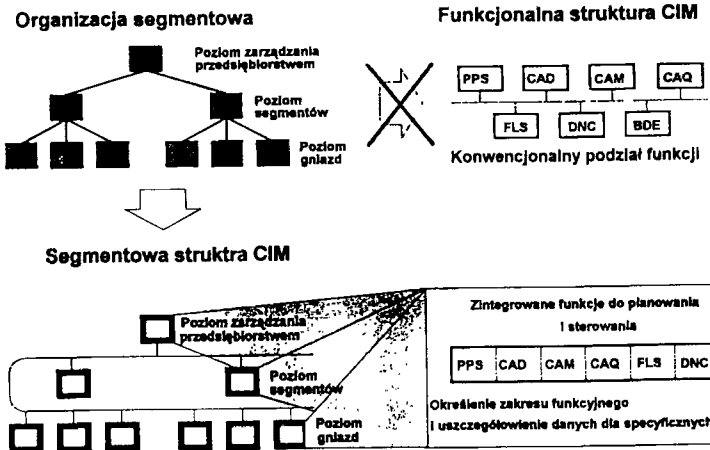




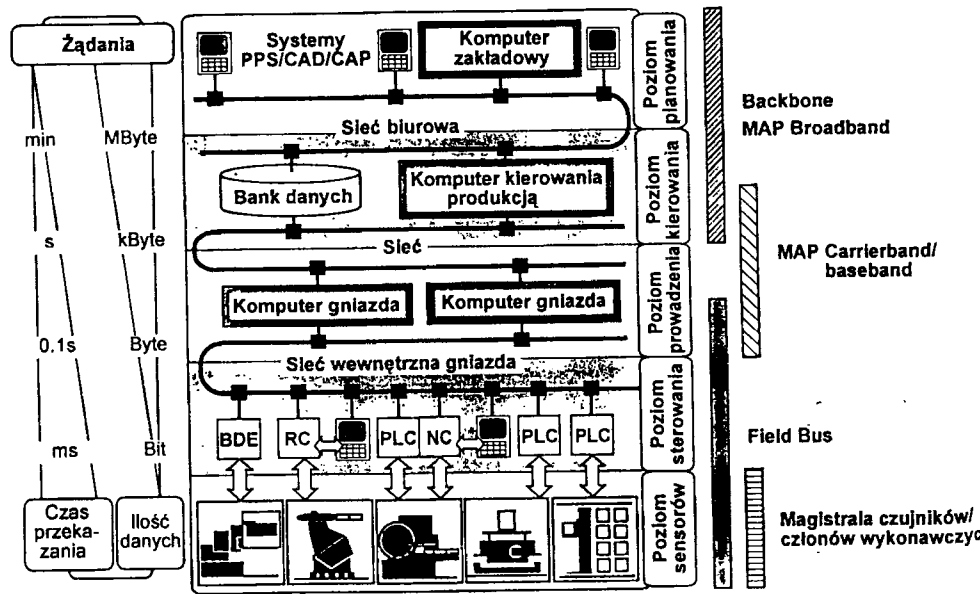
Rys. 31 Otoczenie i cele przetwarzania danych w zarządzaniu jakością



Rys.32 Pętla regulacji jakości w Laboratorium CSP

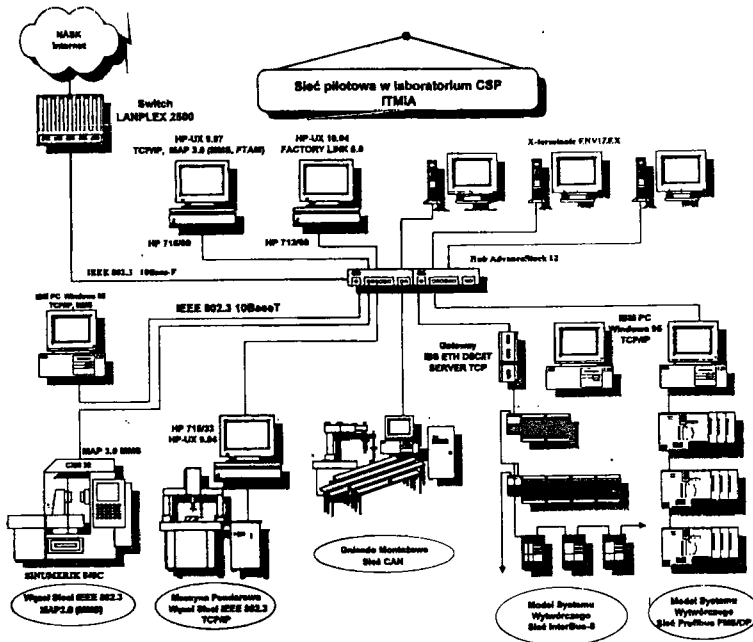


Rys. 33 Koncepcja CIM drugiej generacji

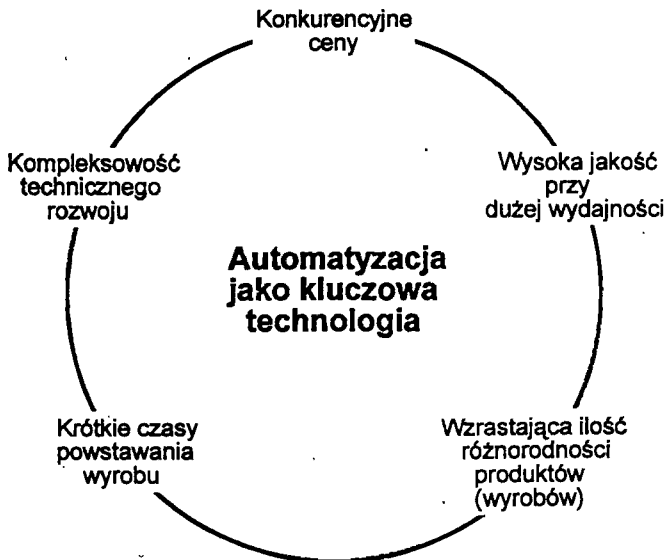


Rys. 34 Obszary zastosowań systemów komunikacji

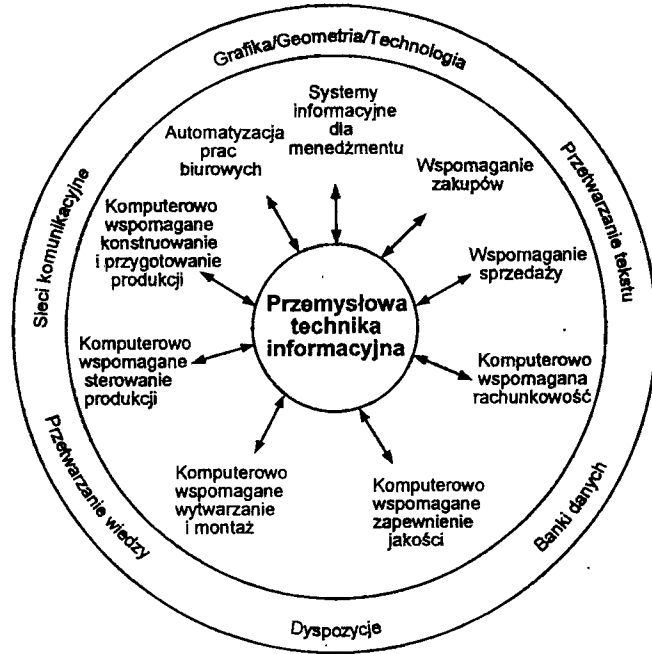
COMSOS



Rys. 35 Struktura fizyczna pilotowej sieci komunikacyjnej IEEE 802.3 z protokołami TCP/IP oraz MAP/MMS



Rys. 36 Strategiczne znaczenie automatyzacji



Rys. 37 Zadania integracyjne przemysłowej techniki informacyjnej